Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Allrad- oder Hinterradantrieb bei Ackerschleppern hoher Leistung

Von **Walter Söhne**, Braunschweig-Völkenrode

Ackerschlepper mit Allradantrieb haben in der Vergangenheit gegenüber hinterradangetriebenen Schleppern keinen großen Marktanteil gewinnen können. Neuerdings werden in Deutschland, England und den USA aber eine größere Anzahl Schleppertypen mit Allradantrieb angeboten. Im folgenden soll die Frage untersucht werden, ob bei Ackerschleppern hoher Leistung ein größerer Anteil von solchen mit Allradantrieb gerechtfertigt erscheint.

Entwicklung der Motorleistungen und des Leistungsgewichts der Ackerschlepper

Der seit 1947 in den USA und England und seit 1954 auch in der Bundesrepublik Deutschland zu beobachtende Anstieg der mittleren Schleppermotorleistungen hält unvermindert an, **Bild 1.** Er ist bedingt durch die Forderung der Landwirtschaft nach größeren Flächenleistungen von Landmaschinen und Geräten und wird vor allem in den USA begünstigt durch das

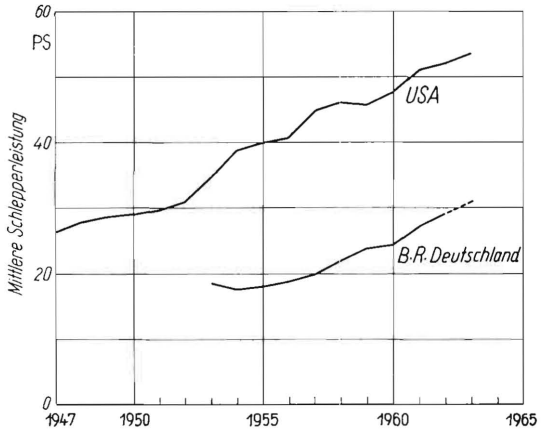


Bild 1. Entwicklung der mittleren Motorleistung der Neubauschlepper in den USA und der BR Deutschland nach *Seifert*.

Bild 2. IHC-Schlepper 4300 auf der Prüfstrecke der Universität Nebraska.

Privatdozent Dr.-Ing. Walter Söhne ist Abteilungsleiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

Anwachsen der Größe der landwirtschaftlichen Betriebe und das Streben, die Lohnkosten zu verringern. Dort beträgt die mittlere Leistung der Neubauschlepper z. Z. etwa 55 PS und in der Bundesrepublik Deutschland etwa 32 PS. Ein Drittel aller Neubauschlepper in den USA liegt in der Leistungsklasse zwischen 65 und 100 PS, während in Deutschland ein zunehmender Prozentsatz in der Leistungsklasse von 45 bis 60 PS liegt. Inzwischen sind in Amerika einige Schleppertypen der Leistungsklasse 100 bis 120 PS auf dem Markt erschienen (z. B. John Deere 5010). Gleichzeitig wurden aber auch Schlepper mit Allradantrieb in der Leistungsklasse 150 bis 300 PS entwickelt (z. B. IHC 4300, **Bild 2**). Hierbei handelt es sich jedoch um keine echten Ackerschlepper mehr. Vielmehr wurden Schlepper mit Motoren, Getrieben und Fahrwerken für die Bauindustrie für eine Verwendung in der Landwirtschaft modifiziert. Da ihre Stückzahl vorerst wohl gering sein dürfte, sollen sie in der folgenden Betrachtung außer acht gelassen werden.

Die steigende Motorleistung der Schlepper kann dazu verwendet werden, entweder die Arbeitsbreiten zu vergrößern, d. h., bei der Bodenbearbeitung mehr Pflugkörper zu ziehen oder mehrere Geräte zu kombinieren (Minimum Tillage) oder mit höherer Geschwindigkeit zu arbeiten. In den ersten beiden Fällen müssen Schlepper und Gerät proportional der Leistung schwerer und entsprechend teurer werden, so daß das Leistungsgewicht des Schleppers mit zunehmender Motorleistung konstant bleibt. Im dritten Falle ist nur eine geringe Steigerung von Schlepper- und Gerätegewicht erforderlich, so daß das Leistungsgewicht des Schleppers mit zunehmender Motorleistung abnehmen kann. Diese Lösung müßte wirtschaftlicher sein.

Tatsächlich werden alle drei Methoden gleichzeitig verfolgt und müßten auch in Zukunft weiter entwickelt werden. Wenn die Arbeitsgeschwindigkeiten nur langsam zunehmen, dann deswegen, weil Schlepper und Gerät hinsichtlich Qualität der Arbeit und Fahrkomfort erst einer höheren Geschwindigkeit angepaßt werden müssen.

In **Bild 3** ist das Leistungsgewicht in Abhängigkeit der Schlepper von der Motorleistung nach einer Aufstellung vom Institut für Schlepperforschung [1] dargestellt. In dem Bereich über 70 PS scheint sich vorerst die Abnahme der Leistungsgewichte mit zunehmender Motorleistung nicht fortzusetzen. Es ist jedoch nicht wahrscheinlich, daß sich hierdurch bereits eine Änderung der seitherigen Tendenz ankündigt. Auch bei den neuen Schleppern von 80 bis 120 PS dürfte das Leistungsgewicht mit der Weiterentwicklung der Leistung abnehmen. Dies wird um so mehr der Fall sein, je mehr die Arbeitsgeschwindigkeiten zunehmen.

Möglichkeiten der Zugkraftübertragung zwischen Schlepper und Boden

Für Schlepper mit einer Leistung zwischen 60 und 140 PS bestehen folgende Möglichkeiten, Zugkräfte zu übertragen:

1. durch konventionellen Hinterradantrieb
2. durch Allradantrieb
   a) mit kleinen Vorder- und großen Hinterrädern
   b) mit gleichgroßen Rädern
   c) als Tandemschlepper
3. durch Kettenantrieb

Diese Möglichkeiten sollen im folgenden kritisch einander gegenüber gestellt werden.

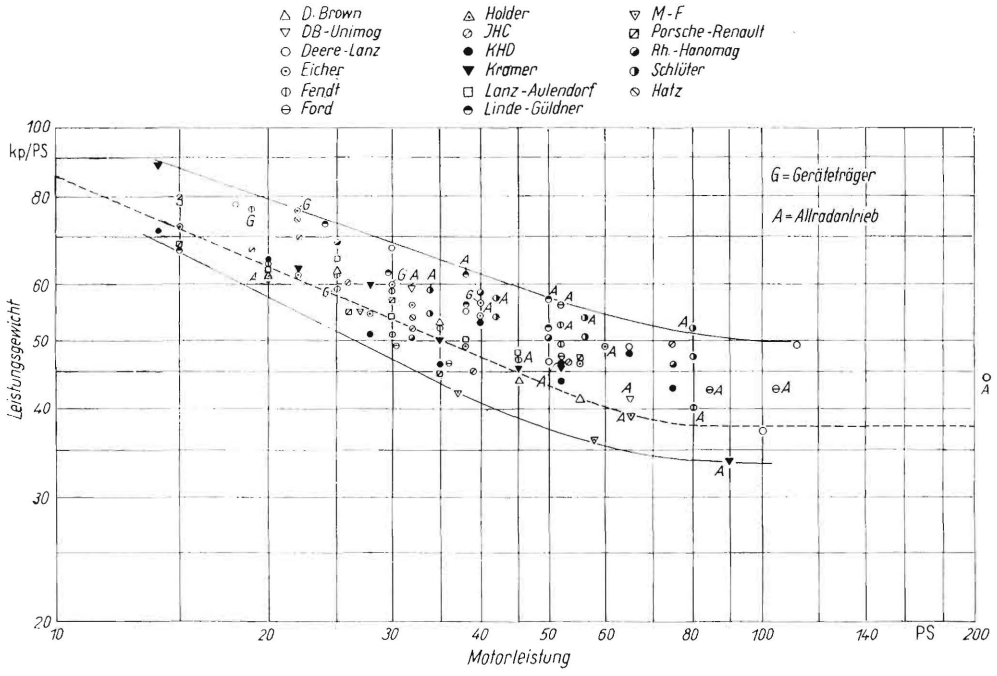


Bild 3. Leistungsgewicht der Schlepper in Abhängigkeit von der Motorleistung nach einer Aufstellung des Instituts für Schlepperforschung der FAL [1].

Welche Verbesserungen sind mit Allradantrieb zu erzielen?

Die Frage, in welchem Maße die Zugfähigkeit von Schleppern durch den Allradantrieb gegenüber dem Hinterradantrieb gesteigert werden kann, ist mehrfach untersucht worden [2 bis 6]. Die Verbesserung der Zugfähigkeit hat zwei Gründe:

1. Beim Allradantrieb belastet das gesamte Schleppergewicht die Triebachsen, während beim Hinterradantrieb der Rollwiderstand der Vorderräder, deren Achslast im Betrieb zwischen 40 und 10% des Gesamtschleppergewichts liegen kann, von der Triebkraft der Hinterräder abgezogen werden muß.
2. Beim Allradschlepper mit gleichgroßen Rädern verdichten die Fronträder den Boden, verringern den Gesamtrollwiderstand und bewirken eine bessere Kraftübertragung durch die Hinterräder. Das Ausmaß dieser Verbesserung hängt stark vom Bodenzustand ab. Während amerikanische Messungen in der Bodenrinne, d. h. auf relativ lockeren Böden, bei 16% Schlupf Verbesserungen des Kraftschlußbeiwertes der Hinterräder gegenüber den angetriebenen Fronträdern von 25 bis 35% und bei 40% Schlupf Verbesserungen von 14 bis 20% beim zweiten Überfahren erzielten, zeigen die Meßergebnisse des Instituts für Schlepperforschung auf verschiedenen Böden bei 16% Schlupf Verbesserungen von 6 bis 18% und bei 40% Schlupf von 6 bis 11% [2], wobei die höheren Verbesserungen auf wenig tragfähigem und die niedrigeren Verbesserungen auf tragfähigem Boden erzielt wurden.

Die Zugkraftschlupfkurven eines Schlepperreifens bei verschiedenen Bodenarten und -zuständen lassen sich in Bereiche nach **Bild 4** zusammenfassen. Für die folgenden Beispielrechnungen wurden von Zugkraftschlupfkurven bei vier verschiede-

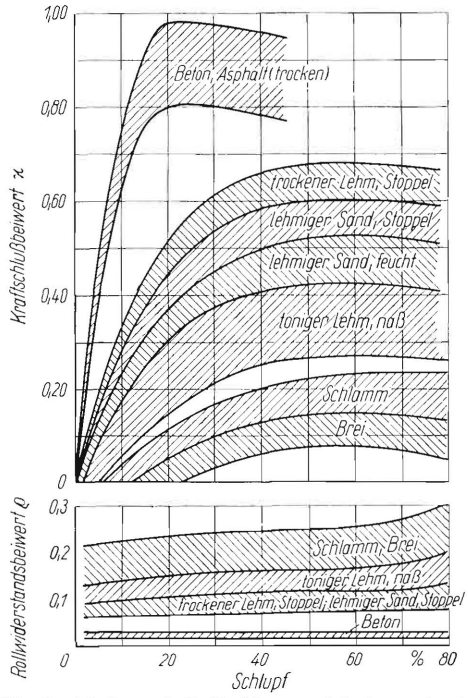


Bild 4. Kraftschluß- und Rollwiderstandsbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf bei verschiedenen Bodenverhältnissen von Beton bis breiigem Boden.

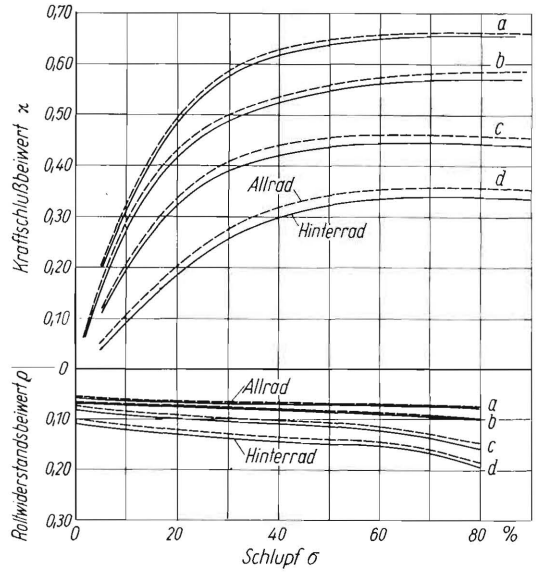


Bild 5. Angenommene Kraftschluß- und Rollwiderstandsbeiwerte von Schleppern mit Allrad- und Hinterradantrieb.

a) trockener Lehm, Stoppelfeld
b) lehmiger Sand, Stoppelfeld
c) feuchter, lehmiger Sand
d) nasser, toniger Lehm

Rollwiderstandsbeiwert der Fronträder bei Hinterradantrieb
a) 0,09 b) 0,11 c) 0,13 d) 0,175

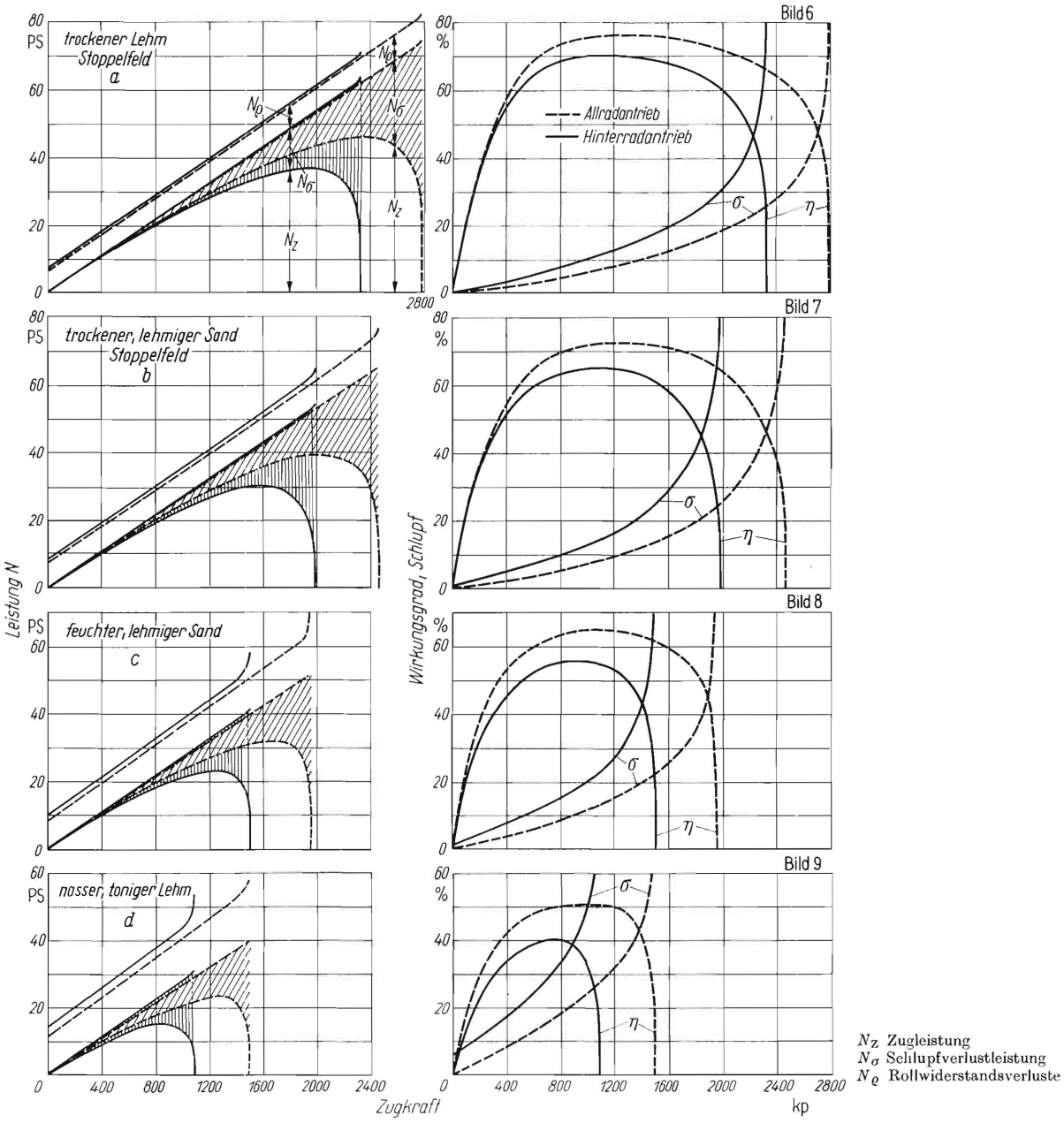
nen Bodenverhältnissen ausgegangen, zwischen denen sich die meisten Fahrten auf dem Acker abspielen dürften, die also extrem ungünstige Werte nicht einschließen. Es sind-:

a) trockener Lehm, Stoppelfeld
b) lehmiger Sand, Stoppelfeld
c) feuchter, lehmiger Sand
d) nasser, toniger Lehm.

Dabei wurden auf Grund der oben angegebenen Messungen beim Allradantrieb Kraftschlußbeiwerte angenommen, die um die in **Bild 5** angegebenen Werte günstiger sind als bei Hinterradantrieb. Mit Hilfe der in **Tafel 1** angegebenen Schlepperdaten wurden die Leistungsbilanzen und die Wirkungsgrade für die angegebenen Bodenverhältnisse berechnet, **Bilder 6 bis 9.** Beim trockenen Lehm, Stoppelfeld (Bild 6) ist bei 20% Radschlupf die übertragbare Zugkraft beim Allradantrieb um 27% größer und bei 50% Schlupf um 20% größer als beim Hinterradantrieb, und der optimale Wirkungsgrad der Kraftübertragung ist 77% statt 70%. Beim nassen, tonigen Lehm ist die Zugkraft bei 30% Schlupf sogar um 57% größer und bei 50% Schlupf

Tafel 1. Angenommene Schlepperdaten für die Errechnung der Leistungsbilanzen.

		Hinterrad-antrieb	Allrad-antrieb
Motorleistung	PS	85	85
Schleppergewicht ohne Ballast	kp	3400	3400
statische Hinterachslast	kp	2300	1360
statische Vorderachslast	kp	1100	2040
Schleppergewicht mit Ballast und Fahrer	kp	4200	4200
statische Hinterachslast	kp	3100	1700
statische Vorderachslast	kp	1100	2500
Leistungsgewicht ohne Ballast	kp/PS	40	40
Leistungsgewicht mit Ballast	kp/PS	49,5	49,5
Radstand	m	2,5	2,5
Reifen, hinten		18,4/15—30 AS	12,4/11—36 AS
Reifen, vorn		7,50—16	12,4/11—36 AS
Höhe der Zugschiene	m	0,45	0,45
Fahrgeschwindigkeit ohne Schlupf für die Beispielrechnung	m/s	2,0	2,0



Bilder 6 bis 9. Vergleich der Leistungsbilanzen sowie des Wirkungsgrades η und des Schlupfes σ bei Hinterrad- und Allradantrieb in Abhängigkeit von der Zugkraft unter verschiedenen Bodenverhältnissen. Kraftschluß- und Rollwiderstandsbeiwerte nach Bild 5. Die den Bildern zugrundegelegten Schlepperdaten siehe Tafel 1.

um 44% größer, und der optimale Wirkungsgrad ist 51% statt 40%. Schon bei verhältnismäßig günstigen Bodenverhältnissen fallen also die Zugkraft- und Leistungsverbesserungen des Allradantriebes durchaus ins Gewicht. Die Vorteile des Allradantriebes kommen jedoch um so mehr zur Geltung, je weniger die Fahrbahn in der Lage ist, große Triebkräfte zu übertragen und je größer der Rollwiderstand ist. Das geht jedoch noch eindeutiger aus **Bild 10 und 11** hervor.

In Bild 10 ist dargestellt, wie groß das Schleppergewicht G bei Hinterrad- und Allradantrieb sein muß, um bei verschiedenen Bodenzuständen eine Zugkraft Z von 1 Mp zu erreichen. Diese Bodenzustände sind gekennzeichnet durch das Verhältnis Zugkraft durch Schleppergewicht, das sich beim hinterradangetriebenen Schlepper jeweils maximal erreichen läßt. Bild 11 zeigt die maximal erreichbare Zugkraft von hinterrad- und allradangetriebenen Schleppern in Prozenten des Schleppergewichtes für verschiedene Bodenzustände.

Bild 12 gibt das erforderliche Brutto-Schlepperleistungsgewicht in Abhängigkeit von der (effektiven) Geschwindigkeit bei 20% Schlupf nach den Zugkraft-Schlupfkurven in Bild 4 und den Leistungsdiagrammen in Bild 6 bis 8 wieder. Dabei wurde jedoch die Einschränkung gemacht, daß nur 80% der maximalen Motorleistung zu übertragen seien. Die volle Motorleistung kann ebenfalls übertragen werden, jedoch nur bei entsprechend höherem Schlupf. Das Bild zeigt außerdem das erforderliche Brutto-Schleppergewicht unter der Annahme einer konstanten Motorleistung von 85 PS. Hieraus geht folgendes hervor: Unter der Annahme gleicher Arbeitsgeschwindigkeit könnten die Allradschlepper für Boden a um 17%, für Boden b und c um 20% leichter gebaut werden als Hinterradschlepper, um die gleiche Motorleistung zu übertragen. Wenn man für alle Bodenverhältnisse den Allradschlepper um 20% leichter macht, so sind trotzdem die Zugkräfte bei 20% Schlupf nach Bild 6 bis 9

auf Boden a um 1,5%	auf Boden c um 12%
auf Boden b um 7,5%	auf Boden d um 40%

und bei 30% Schlupf auf Boden d um 25% größer als beim Hinterradschlepper.

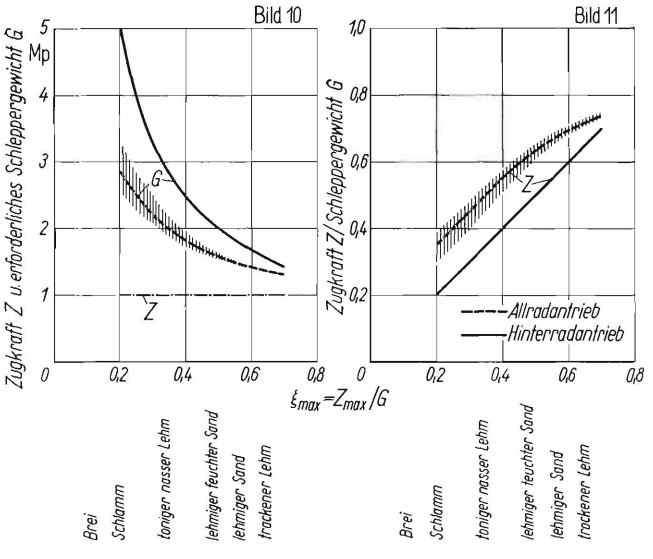


Bild 10. Erforderliches Schleppergewicht bei Hinterradantrieb und Allradantrieb für eine maximal erreichbare Zugkraft von 1 Mp bei verschiedenen Bodenarten und -zuständen.

Bild 11. Maximal erreichbare Zugkraft von Schleppern mit Hinterrad- und Allradantrieb bei verschiedenen Bodenarten und -zuständen bezogen auf das Schleppergewicht.

Das auf den jeweiligen Bodenzustand optimal erreichbare Verhältnis $\xi_{max} = Z_{max}/G$ = max. Zugkraft/Schleppergewicht für Hinterradantrieb ist als Maß für den Bodenzustand gewählt. Der Streubereich ist bedingt durch unterschiedliche Rollwiderstände bei gegebenem $\varkappa_{max}$ sowie durch unterschiedliche Lastverhältnisse von Vorder- zur Hinterachse und unterschiedliche Radlastverlagerungen auf Grund der Schlepperdaten.

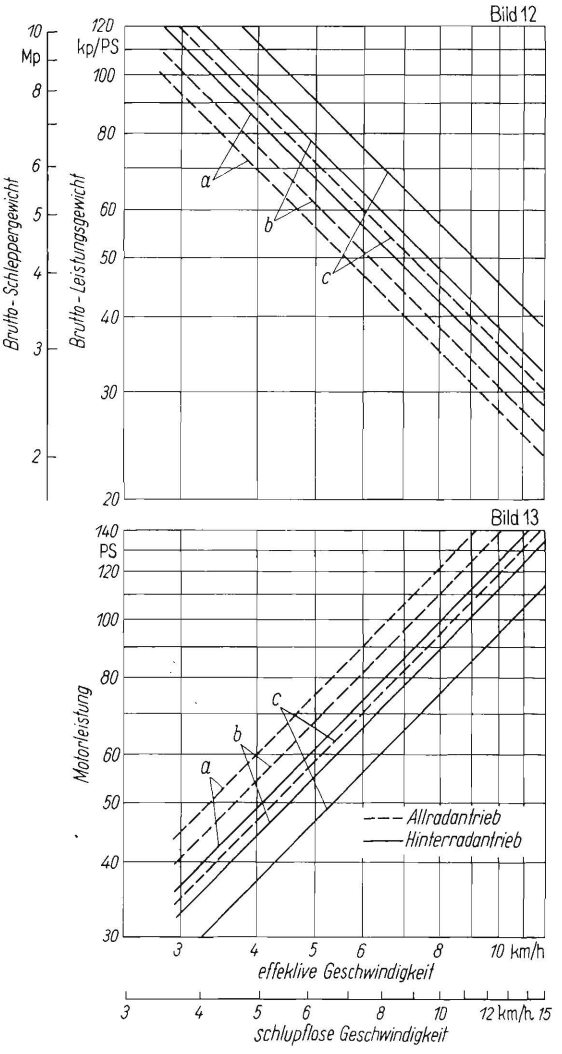


Bild 12. Erforderliches Brutto-Leistungsgewicht bei Schleppern mit Allrad- und Hinterradantrieb in Abhängigkeit von der (effektiven) Geschwindigkeit bei 20% Schlupf; das angegebene Bruttoschleppergewicht gilt unter der Annahme einer konstanten Motorleistung von 85 PS.

Bild 13. Übertragbare Motorleistung in Abhängigkeit von der (effektiven) Geschwindigkeit bei 20% Schlupf und unter der Annahme eines konstanten Schleppergesamtgewichtes von 4,2 Mp.

Den Diagrammen sind die Zugkraft-Schlupfkurven und die Leistungskurven in Bild 6 bis 8 zugrundegelegt. Es ist ein Getriebewirkungsgrad von 90% und eine Motorleistung von 80% der Nennleistung angenommen.

Boden a: trockener Lehm, Stoppel
Boden b: lehmiger Sand, Stoppel
Boden c: feuchter, lehmiger Sand

Bild 13 zeigt die übertragbare Motorleistung unter der Annahme eines konstanten Schleppergesamtgewichts von 4,2 Mp. Danach kann man bei Allradantrieb eine um 21 bzw. 24% höhere Motorleistung als bei Hinterradantrieb übertragen.

Aus Bild 12 und 13 geht ferner eindeutig hervor, daß die hohe Leistung moderner Schlepper bei niedriger Geschwindigkeit überhaupt nicht mehr auf den Boden übertragen werden kann. Bei einer schlupflosen Geschwindigkeit von 7,5 km/h bzw. einer effektiven Geschwindigkeit von 6,0 km/h beträgt das erforderliche Bruttoleistungsgewicht:

	Boden a	Boden b	Boden c
bei Allradantrieb kp/PS	46,5	51,2	60,0
bei Hinterradantrieb kp/PS	56,4	63,6	75,0

Dieses Bruttoleistungsgewicht ist aber nicht identisch mit dem Nettoleistungsgewicht nach Bild 3. Das Nettoleistungs-

gewicht kann durch Zusatzgewichte und Wasserfüllung der Reifen und das Gewicht des Fahrers in der Größenordnung bis zu 50% erhöht werden. Beim Pflügen mit Anbaupflügen kann nach *Skalweit* bei Schwimmstellung des Krafthebers durch das Gewicht des Pfluges und die vertikalen Bodenkräfte die Hinterachslast um 65%, bei Achslasterhöhung durch regelnden Kraftheber bis zu 85% erhöht werden. Bei Allradantrieb belasten zwar ebenfalls der Pflug und die vertikalen Bodenkräfte den Schlepper zusätzlich, aber die Lastverlagerung von den Vorder- auf die Hinterräder wirkt sich nicht zugkrafterhöhend aus, da beide Achsen angetrieben sind.

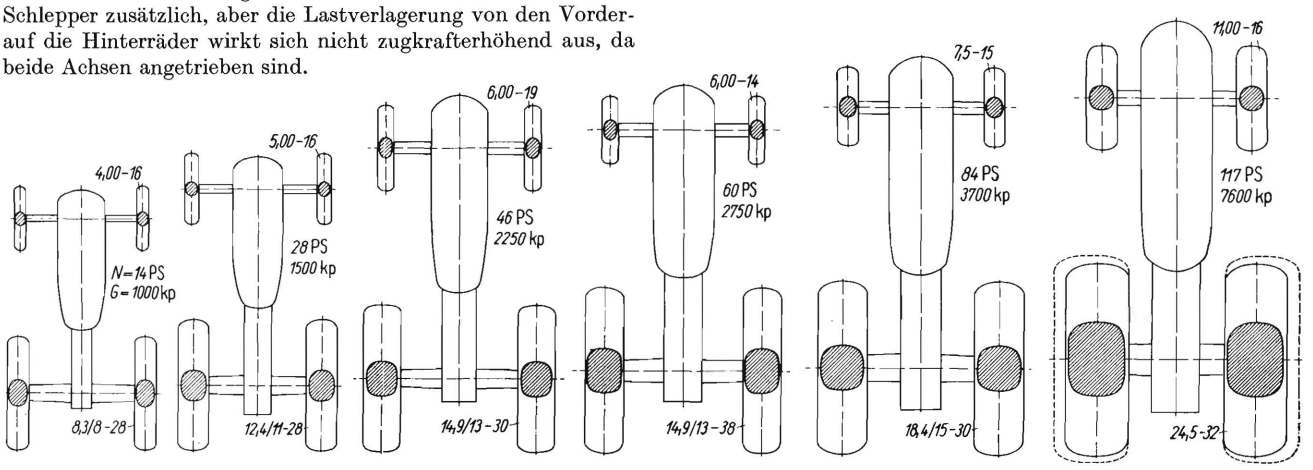


Bild 14. Schematischer Grundriß von hinterradangetriebenen Ackerschleppern verschiedenen Gewichts von zwei Herstellern. Die schraffierte Fläche ist die Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn, unter der Voraussetzung eines Flächendruckes der Hinterräder von 1 kp/cm² und der Vorderräder von 2 kp/cm².

Unter der Annahme, daß durch Zusatzbelastung, Anbaupflüge und Bodenkräfte das Schlepper-Leergewicht bei Hinterradantrieb um 67% und bei Allradantrieb nur um 55% erhöht wird, beträgt das erforderliche Nettoleistungsgewicht:

	Boden a	Boden b	Boden c
mit Allradantrieb kp/PS	30,0	33,0	38,7
mit Hinterradantrieb kp/PS	33,7	38,1	44,9

Wenn es schließlich gelingt, die schlupflose Geschwindigkeit auf 10 km/h (entsprechend einer effektiven Geschwindigkeit von 8 km/h) zu erhöhen, ermäßigt sich das erforderliche Nettoleistungsgewicht noch einmal auf

	Boden a	Boden b	Boden c
mit Allradantrieb kp/PS	22,5	24,7	29,0
mit Hinterradantrieb kp/PS	25,3	28,5	33,6

Damit wäre es möglich, einen 100-PS-Allradschlepper mit einem Leergewicht von 3 Mp zu entwickeln, der in der Lage ist, auf leichtem Boden einen Fünfscharpflug mit 9 km/h, auf mittelschwerem Boden einen Vierscharpflug mit 8 km/h und auf schwerem Boden einen Dreischarpflug mit 7,8 km/h effektiver Geschwindigkeit zu ziehen [14].

Trotz der Vorteile des Allradschleppers auf schwierigen Böden blieb der Absatz dieser Schlepperart im Leistungsbereich

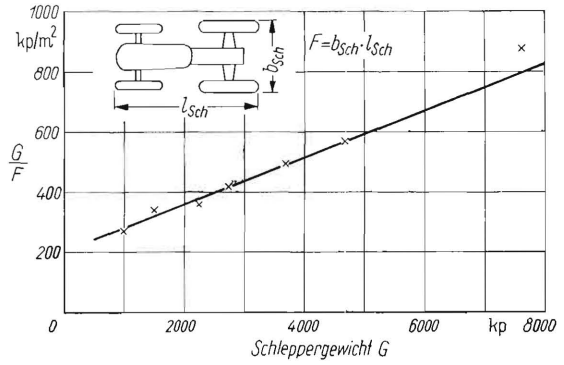


Bild 15. Grundflächenbelastung der Ackerschlepper nach Bild 14 in Abhängigkeit vom Gewicht. Als Grundfläche wurde das Produkt $b_{Sch} \times l_{Sch}$ gewählt.

bis 50 PS noch erheblich unter 10% der Gesamtzahl dieser Schleppergrößen. Dafür gibt es folgende Erklärung: Wenn ein hinterradangetriebener Schlepper von z. B. 35 PS auf schwierigen Böden nicht genügte, wird es häufig als vorteilhafter angesehen, einen 50 PS hinterradangetriebenen als einen 35 PS allradangetriebenen Schlepper zu kaufen. Die Frage ist nun, ob diese Auffassung auch bei höheren Motorleistungen noch gilt, wenn es sich z. B. darum handelt, sich für einen 80 PS-Allrad-schlepper mit 3200 kp Gewicht oder für einen 115 PS-Hinterradschlepper mit 4600 kp Gewicht, die auf einem ungünstigen Boden etwa gleich große Zugkräfte entwickeln, zu entscheiden.

Zur Beantwortung dieser Frage kann eine Modellbetrachtung ähnlicher Schlepper verschiedener Größen dienen, **Bild 14.** Das Gewicht ähnlicher Körper steigt proportional der dritten Potenz, ihr Grundriß aber proportional der zweiten Potenz ihrer Länge an. Dementsprechend steigt auch mit zunehmender Schleppergröße ihr Gewicht stärker an als ihre vertikale Projektionsfläche, selbst wenn die Schlepper nicht ganz ähnlich sind; d. h., mit zunehmendem Schleppergewicht nimmt die Verhältniszahl aus Gewicht dividiert durch die vertikale Projektionsfläche[1]) zu, wie **Bild 15** aus den Schleppern nach Bild 12 zeigt. Entsprechend würde auch der spezifische Flächendruck in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Boden zunehmen, wenn die Reifen nur ähnlich vergrößert würden. Mit Rücksicht auf Bodenverdichtung und Kraftübertragung soll aber der Druck in der Berührungsfläche gleich bleiben, ja er sollte sogar bei größeren Schleppern kleiner werden. Infolgedessen muß die Berührungsfläche wenigstens proportional dem Gewicht und damit stärker zunehmen als proportional der Projektionsfläche oder den Abmessungen des Schleppers. Tatsächlich steigt nach *Bekker* [7] die Tragfähigkeit der Geländereifen für Erdbaumaschinen und militärische Fahrzeuge mit dem Reifendurchmesser D und der Reifenbreite b etwa nach der Beziehung

$$G = 8550\ (D \cdot b)^{1,26}$$

die der Ackerschlepperreifen nach der Beziehung

$$G = 2400\ (D \cdot b)^{1,26}$$

an; bei annähernd ähnlichen Reifen gilt auch die Beziehung

$$G = 1850\ D^2 \cdot b,$$

wobei D und b in m und G in kp anzusetzen sind, **Bild 16.** Das bedeutet aber, daß der Reifeninnendruck und der Flächendruck in der Berührungsfläche Reifen-Boden mit größer werdendem Reifen zunehmen muß, oder daß die Reifendeformation bei gleichem Reifeninnendruck immer größer wird. In Bild 14 sind die Berührungsflächen zwischen Reifen und Boden unter der Voraussetzung eingetragen, daß der Flächendruck der Hinterräder 1 kp/cm² und der der Vorderräder 2 kp/cm² ist.

[1]) Da es sich um eine Vergleichszahl handelt, wurde der Einfachheit halber die Projektionsfläche F aus Schlepperbreite b_{Sch} über den Hinterrädern mal Schlepperlänge l_{Sch} von Vorderrad vorn bis Hinterrad hinten gewählt.

Tafel 2. Gewichts- und Leistungsgrenzen für Schlepper mit Hinterradantrieb durch Reihenabstände bzw. Furchenbreiten beim Fahren in der Ebene.

	zulässiger größter Reifen	Tragfähigkeit kp	Schlepper-leergewicht*) kp	Leistungs-gewicht kp/PS	Schlepper-leistung PS
Reihenabstand der Kartoffeln					
62,5 cm	9,5/ 9—36 AS	730	1520	49	31
75 cm	12,4/11—38 AS	1100	2280	40	57
Reihenabstand der Rüben					
45 cm	11,2/10—28 AS	800	1660	46	36
50 cm	12,4/11—38 AS	1100	2280	40	57
Arbeitsbreite des Pflugkörpers**)					
14″	14,9/13—30 AS	1350	2800	39	72

*) bei einer Hinterachslast von 65% des Schlepperleergewichts und bei einer 67,5prozentigen Auslastung der Tragfähigkeit bei Leergewicht.

**) Die zulässige größte Reifenbreite hängt von der Körperform, der dadurch bedingten Furchenräumung sowie von der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und vom Bewuchs ab.

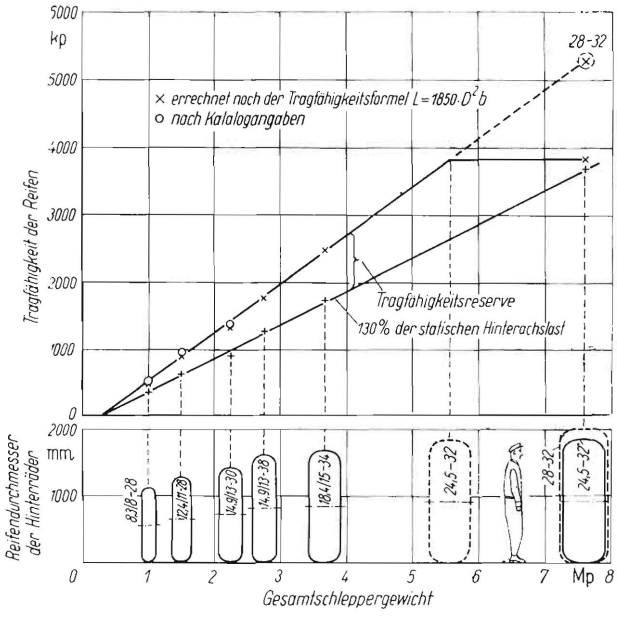


Bild 16. Verwendete Hinterradreifen bei Schleppern verschiedenen Gewichts nach Bild 14; Vergleich der bei ihnen auftretenden statischen Hinterachslast unter der Voraussetzung einer Achslasterhöhung von 30% mit der maximalen Tragfähigkeit der Reifen bei einem Reifeninnendruck von 1,0 atü.

Der Reifen 24.5—32 hat bei dem Schleppergewicht von 7,6 Mp keine Tragfähigkeitsreserve. Er würde für einen 5,6 Mp schweren Schlepper mit gleicher Reserve wie die übrigen Reifen ausreichen. Der 7,6 Mp schwere Schlepper benötigte einen Reifen 28—32 bei gleicher Tragfähigkeitsreserve.

Wie Bild 14 und 16 zeigen, sind die Reifen des 7,6 Mp schweren Schleppers im Vergleich zu den anderen Schleppern unterdimensioniert. Diese Reifen müssen also mit höherem Luftdruck gefahren werden. Damit ist aber der Einsatzbereich dieses Schleppers nicht mehr so groß wie der der anderen Typen. Aus dieser Ähnlichkeitsbetrachtung ergibt sich also eine physikalisch bedingte Grenze für die Größenentwicklung konventioneller hinterradangetriebener Schlepper.

Unabhängig hiervon ergeben sich aber folgende weitere Grenzen:

1. Wenn der Schlepper als Hackfruchtschlepper benutzt wird und in Reihen fahren soll, sollten die Reifen bei einem Reihenabstand der Kartoffeln von 62,5 cm nach *Thaer* nicht breiter werden als 9,5/9″ und bei 75 cm Reihenabstand nicht breiter als 12,4/11″. Bei Zuckerrüben sind die entsprechenden Grenzen nach *Schünke*: bei einem Reihenabstand von 450 mm 11,2/10″ und bei 500 mm 12,4/11″.
2. Solange die Schlepperreifen beim Pflügen noch in der Furche fahren, sollten sie nicht breiter werden als 12,4/11″ bei 12″-Pflugkörpern und 14,9″/13 bei 14″-Pflugkörpern, wenn man die Furchen nicht breiter räumt. Damit ergeben sich die in **Tafel 2** angeführten maximalen Schleppergewichte und Leistungen.
3. Auch mit Rücksicht auf Bodenverdichtung, plastisches Fließen und Spurtiefe sollte die Achslast auf dem Feld ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Diese zulässige Achslast hängt vom jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und der Bodenart und seiner Verdichtungsempfindlichkeit ab. Die früher als Grenzwerte genannten Gewichte von 3000 kp pro Achse und Leistungsübertragungen von 80 bis 100 PS pro Achse wurden bei neueren Schleppern bereits überschritten. Durch großvolumigere Reifen mit geringerem Reifeninnendruck könnte die Achslast noch heraufgesetzt werden. Doch wird es dann noch schwieriger, solche Reifen unterzubringen.
4. Die Schlepperbreite darf mit Rücksicht auf die Straßenverkehrsordnung nicht größer als 2,5 m sein. Damit ergibt sich eine Grenze von 6 Mp nach **Bild 17,** wenn man sich nicht in der Breite beschränkt. Die Hinterachslast darf mitRücksicht auf die Straßenbelastung nicht höher als 10 Mp werden. Diese sich aus der Straßenverkehrsordnung ergebende Grenze im Gewicht liegt noch erheblich oberhalb des zukünftigen Größenbereiches von Ackerschleppern und kann hier außer Betracht bleiben.

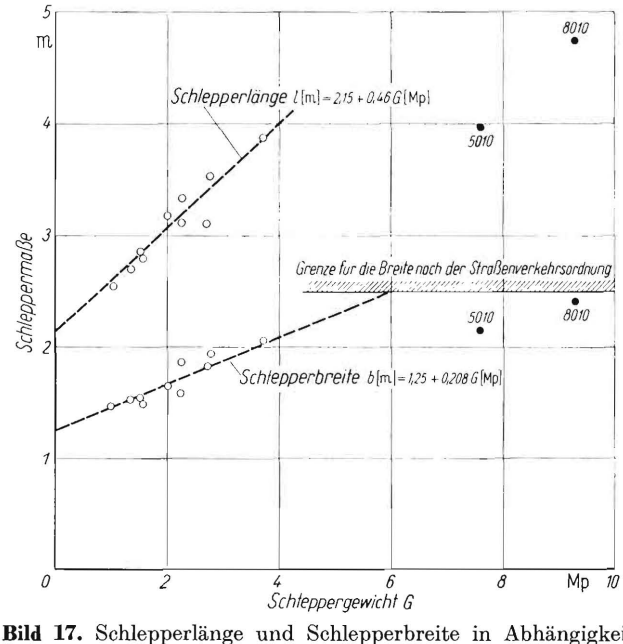


Bild 17. Schlepperlänge und Schlepperbreite in Abhängigkeit vom Schleppergewicht.

Aus den seitherigen Ausführungen geht eindeutig hervor, daß es bei den herkömmlichen, hinterradangetriebenen Schleppern aus physikalischen Gründen eine vorläufig noch unbekannte obere Gewichts- und Leistungsgrenze gibt, die nicht überschritten werden sollte. *Bekker* hat gezeigt, daß das „Train"-Konzept, also die Aufteilung der Fahrzeuge in mehrere durch Gelenke verbundene Glieder, diese Grenzen überwinden kann [6; 7].

Tatsächlich ist aber schon der allradangetriebene Schlepper mit gleich großen Vorder- und Hinterrädern der erste Schritt auf diesem Wege, weil er es ermöglicht, die kritischen Grenzen in der Größe der Schlepperräder erheblich hinauszuschieben. Das gleiche gilt für den Tandemschlepper, bei dem zusätzlich auch eine mögliche kritische Größe des Motors durch Aufteilung in zwei Einheiten vermieden werden kann.

Wenn man von den in Bild 3 gestrichelt eingezeichneten Leistungsgewichten ausgeht, ergeben sich die in **Bild 18** dargestellten Schlepperleergewichte in Abhängigkeit von der Motorleistung. Hieraus wurden die Schleppergewichte mit Ballast und Pflug unter der Annahme errechnet, daß diese bei Leergewichten bis 3 Mp gleich 155% der Leergewichte sind und bei Schleppern mit Leergewichten zwischen 3 und 10 MP von 155% auf 135% der Leergewichte abnehmen.

Beim Pflügen mit dem Anbau- oder Aufsattelpflug kann die Hinterachslast beim Normalschlepper durch das Gewicht des Pfluges und die resultierenden Bodenkräfte auf den Pflug größer werden als das Schlepperleergewicht.

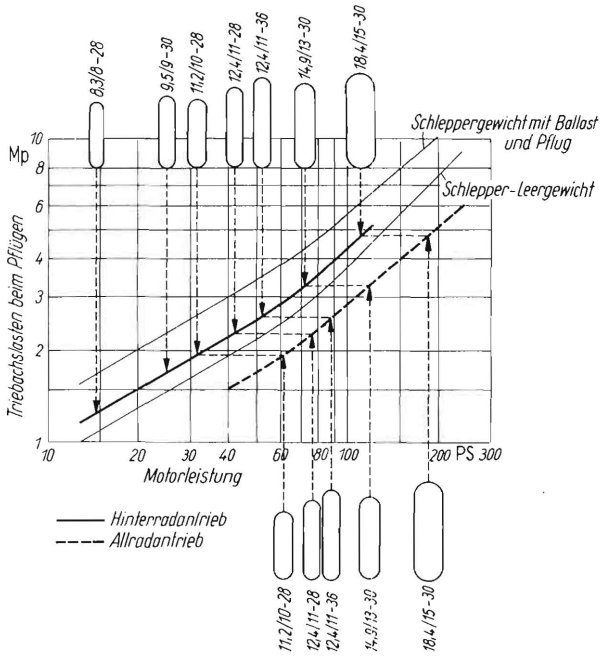


Bild 18. Schlepperleergewicht, Schleppergewicht mit Ballast und Anbaupflug sowie Triebachslast beim Pflügen mit Hinterradantrieb und Allradantrieb in Abhängigkeit von der Motorleistung sowie die erforderlichen Reifenabmessungen in beiden Fällen.

Unter diesen Annahmen ist beim hinterradangetriebenen Schlepper schon bei einer Leistung von 53 PS die Tragfähigkeit der Reifen 12,4/11—36 und bei 73 PS die Tragfähigkeit der Reifen 14,9/13—30 erreicht[2]). Durch den Übergang zu Allradantrieb mit gleichgroßen Rädern läßt sich die Gesamtbelastung beim Pflügen gleichmäßig auf beide Achsen verteilen, wobei im statischen Zustand etwa 60% des Schleppergewichtes auf der Vorderachse und 40% auf der Hinterachse liegen müßten. Um die Achslastverlagerung möglichst klein zu halten, sollte auch bei Schleppern mit Allradantrieb der Radstand relativ groß sein. Dann wird die durch die Reifengröße 14,9/13—30 gegebene Grenze erst bei 120 PS erreicht. Da in Zukunft bei dieser Leistung keine Reifen mehr in der Furche laufen sollten, kann man auch noch größere Reifen als 14,9/13—30 verwenden. Damit bietet der Allradschlepper noch genügend Entwicklungsspielraum.

[2]) Die vom Verfasser früher angegebenen höheren Grenzwerte [8] sind unter Berücksichtigung einer höheren Auslastung der Reifen bei Leergewicht errechnet.

Gegenüberstellung verschiedener Fahrwerksysteme

Schlepper mit Hinterradantrieb

Der konventionelle Hinterradantrieb ist ohne Zweifel die einfachste und bei nicht allzu hohen Leistungen auch billigste Lösung der Leistungsübertragung. Beim Pflügen mit dem Anbaupflug ist es zudem, wie oben gesagt, möglich, durch das Gewicht des Pfluges und die Bodenkräfte am Pflug die Hinterachse zusätzlich zu belasten, so daß hierbei unter Umständen Hinterachslasten gleich dem Gesamtgewicht des Schleppers auftreten. Auch bei Anhängegeräten und Ackerwagen ergeben sich erhebliche Zusatzbelastungen der Hinterachse. Bei günstigen Bodenverhältnissen sind die Unterschiede in der maximalen Zugkraft, in der Leistungsbilanz und im Wirkungsgrad der Kraftübertragung gegenüber dem Allradantrieb nicht allzu groß.

Sollten auf ungünstigem Boden die Zugkräfte des normalen hinterradangetriebenen Schleppers nicht ausreichen, so kann man sie durch folgende Hilfsmittel steigern [9; 10]: Durch Zusatzgewichte oder Wasserfüllung der Hinterreifen läßt sich die Hinterachslast erheblich vergrößern; dabei steigt die Zugkraft auf Reibungsböden, wie Sand, lehmigem Sand, sandigem Lehm, etwa proportional der Hinterachslast an. Reifenketten und Zusatzgreifer sind auf Reibungsböden nicht so wirkungsvoll. Auch Zwillingsbereifung allein hat wenig Einfluß; jedoch lassen sich durch wassergefüllte Zwillingsreifen die Hinterachslast und die Zugkräfte mehr als verdoppeln. Eine Halbraupe über Hinterrad und kleinem Zusatzrad vergrößert auf Reibungsböden den Kraftschlußbeiwert um rund 40% [10].

Auf schweren, nassen Lehm- und Tonböden kann der Kraftschlußbeiwert mit höherer Hinterachslast abnehmen. Lediglich bei wassergefüllten Zwillingsreifen kann sich der Kraftschlußbeiwert geringfügig vergrößern und die Zugkraft entsprechend der Zusatzlast zunehmen. Zusatzgreiferräder können Verbesserungen des Kraftschlußbeiwertes um über 100% bewirken, während die Halbraupe etwa 50% höhere Zugkraftbeiwerte erzielt, aber zum Verschmieren neigt. Voraussetzung für die Verwendung im praktischen Betrieb ist, daß die Hilfsmittel den Straßentransport nicht beeinträchtigen und leicht abgebaut werden können. Unter diesem Gesichtspunkt ist auf schweren, nassen Böden die Verbindung Reifen plus Zusatzgreiferrad, dessen Greifer leicht ausgefahren werden können, die z. Z. beste Lösung [10].

Alle diese Hilfsmittel verursachen zusätzliche Kosten und beim An- und Abbau bzw. Ausfahren der Greifer zusätzliche Arbeit. Es muß deshalb geprüft werden, ob in der Leistungsklasse bis 75 PS ein Schlepper in konventioneller Bauweise, aber mit angetriebenen kleinen Vorderrädern, nicht günstiger ist.

Allradantrieb mit kleinen gelenkten Vorderrädern und großen Hinterrädern

Dieser Schleppertyp kommt — wie oben dargelegt — also nur für Leistungsklassen in Frage, bei denen die Hinterräder bestimmte Größen nach Tafel 2 nicht überschreiten sollen. Die Wahl, ob ein solcher Schlepper einem konventionellen hinterradangetriebenen Schlepper mit gleicher oder höherer Leistung vorzuziehen ist, ist abhängig von den Bodenverhältnissen, auf denen der Schlepper vorzugsweise eingesetzt werden soll, evtl. von der Hanglage sowie von dem Verhältnis zwischen dem Mehrpreis für angetriebene Vorderräder und dem Mehrpreis für einen stärkeren Schlepper mit auf den gegebenen Bodenverhältnissen gleicher Zugkraft sowie dem Betriebskostenverhältnis dieser beiden Schlepper.

Wird ein Schleppertyp mit und ohne Vorderradantrieb gebaut, so empfehlen sich beim Vorderradantrieb breitere Reifen mit niedrigerem Luftdruck.

Allradantrieb mit gleich großen Rädern

Bei Schleppern hoher Leistung, deren Hinterräder zu groß würden, kommt Allradantrieb mit gleich großen Rädern in Frage. Hierbei sollten im Stand etwa 60 bis 65% des Gewichtes auf den Vorderrädern und 40 bis 35% auf den Hinterrädern ruhen, so daß sich bei schwerem Zug eine annähernd gleiche Gewichtsverteilung ergibt. Entscheidend für die Konzeption dieser Schlepper ist die Wahl der Lenkung. Die normale Achsschenkellenkung der Vorderräder wird bei den großen Radabmessungen einen zu geringen Lenkausschlag ermöglichen. In diesem Fall gibt es folgende Lösungen:

1. Knick- oder Artikulationslenkung und
2. Allradlenkung.

Bei der Knicklenkung ist der Schlepperrahmen genau in der Mitte zwischen Vorder- und Hinterachse geteilt und die beiden Teile sind durch ein Universalgelenk verbunden. Die Kraftlenkung erfolgt mit Hilfe von hydraulischen Zylindern um dieses Gelenk. Vorder- und Hinterräder laufen immer in gleicher Spur, so daß die Verspannung der Vorder- gegen die Hinterreifen beim Kurvenfahren entfällt und auch der Rollwiderstand beim Kurvenfahren kleiner ist. Nachteilig wirkt sich die Knicklenkung beim Frontanbau von Hack- und Pflegegeräten aus.

Bei der Allradlenkung wird jedes Rad durch ein Kugelgelenk angetrieben und gelenkt. Außer der konventionellen Lenkung, bei der nur die Vorderräder eingeschlagen werden, können hierbei Vorder- und Hinterräder in entgegengesetzter Richtung eingeschlagen werden, so daß sich kleinere Wenderadien ergeben. Es können auch Vorder- und Hinterräder gleichsinnig eingeschlagen werden. Hierdurch kann ein Schieben des Schleppers am Hang vermieden werden. Auch ist er in engen Höfen dadurch manövrierfähiger.

Der Tandemschlepper

Eine besondere Lösung des Vierradantriebes bietet schließlich der Tandemschlepper, der in Form eines 2 mal 50 PS-Schleppers eine gewisse Bedeutung erlangt hat. Beim Tandemschlepper werden zwei Schlepper ohne Vorderachsen durch ein Kugelgelenk miteinander verbunden und diese Knicklenkung hydraulisch betätigt. Der Fahrer schaltet die Getriebe vorn und hinten gleichzeitig und gibt Gas über eine Fernbetätigung. Beim Semitandem-Schlepper verbleibt die Vorderachse am vorderen Schlepper, und es wird mit ihr gelenkt. Ein Vorteil dieses Typs ist die Verwendung von zwei gleichen Motoren und gleichen konventionellen Hinterachsen aus bisher in großer Serie gebauten 50-PS-Schleppern. Auf die Dauer ist es nicht sehr wahrscheinlich, daß man zwei Motoren verwendet, wenn man die gleiche Leistung mit einem einzelnen Motor erreicht. Es ist vielmehr anzunehmen, daß es sich hierbei um eine Übergangslösung handelt, weil echte Schlepper mit einer Leistung von 100 PS beim Erscheinen der Tandemschlepper vor einigen Jahren noch nicht vorhanden waren. Als weiterer Vorteil der Tandemschlepper wurde auch die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß man durch Kombination von Schleppern verschiedener Leistung, z. B. von 35 PS und 50 PS, folgende Leistungen erzielen kann:

als Einzelschlepper	35 PS und 50 PS
als Tandemschlepper	35 PS + 35 PS = 70 PS
	35 PS + 50 PS = 85 PS
	50 PS + 50 PS = 100 PS.

Obwohl diese Kombinationsmöglichkeiten zunächst vielversprechend aussehen, ist es doch fraglich, ob der Landwirt sich die Mühe machen wird, zwei Schlepper je nach Bedarf einzeln zu fahren oder sie zusammenzubauen und als Tandemschlepper zu fahren. Er wird wohl eher einen starken Schlepper und einen älteren gebrauchten Schlepper geringerer Leistung benutzen.

Gleiskettenschlepper

Obwohl Gleiskettenschlepper auch als Ackerschlepper mit hohen Zugkräften bei schwierigen Böden eine alte Tradition haben, werden sie wahrscheinlich in vielen Fällen durch den Allradschlepper verdrängt werden. Ihren Nachteilen: geringe Arbeitsgeschwindigkeit, hoher Preis, hohe Wartungskosten durch den Verschleiß der Gleisketten, hohes Gewicht, schlechte Lenkung und mangelnde Straßengängigkeit stehen die geringeren Kosten, größere Arbeitsgeschwindigkeit und bequemere Lenkung des Allradschleppers bei ebenfalls hohen Zugleistungen gegenüber.

Anders sieht es dagegen in der Baumaschinenindustrie aus, wo Kettenschlepper vorwiegend dann eingesetzt werden, wenn hohe Schub- oder Zugkräfte bei kleiner Geschwindigkeit und kurzen Wegen ausgeübt werden sollen.

Weitere Argumente für und gegen den Schlepper mit Allradantrieb

Allradantrieb ist, worauf bereits *Sonnen* [2] hingewiesen hat, besonders sinnvoll für Schlepper mit Frontladern, da die unter dem Lader liegende Achse stark zusätzlich belastet wird. Deshalb verwendet man auch bei Schlepperladern im Baumaschinenbetrieb vorwiegend allradangetriebene Fahrzeuge. Ein weiterer Vorteil des Allradantriebes ist die bessere Lenkfähigkeit am Hang. Die gelenkten und angetriebenen Vorderräder ziehen den Schlepper in die gewünschte Richtung.

Ein wesentlicher Nachteil der Allradschlepper sind die höheren Kosten für eine zusätzliche Antriebsachse mit Differentialgetriebe sowie für die Knicklenkung oder die Allradlenkung und einen Überlastungsschutz oder ein drittes Differential zwischen den Achsen. Die höheren Kosten hierfür lassen sich eher bei Schleppern hoher Leistung rechtfertigen und z. T. abfangen als bei Schleppern bis 75 PS. Auf griffiger Fahrbahn muß der Antrieb der gelenkten Vorderräder abgeschaltet werden, um eine Verspannung der Achsen gegeneinander zu vermeiden. Eine hydraulische Lenkhilfe ist sowohl bei Allradschleppern mit Knicklenkung oder Allradlenkung als auch bei hinterradangetriebenen Schleppern hoher Leistung und hohen Gewichts erforderlich.

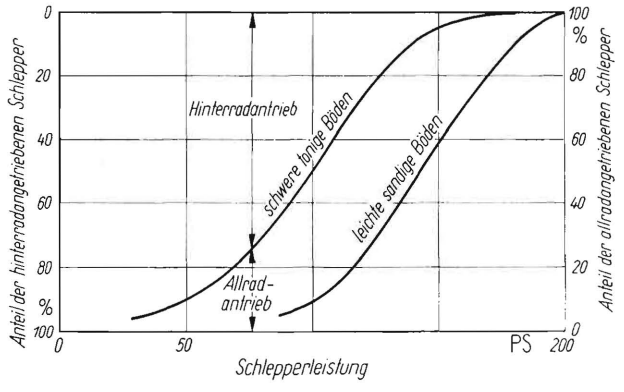


Bild 19. Geschätzter Übergang des Bereiches der Schlepper mit Hinterradantrieb zum Bereich der Schlepper mit Allradantrieb in Abhängigkeit von der Schlepperleistung. Der Übergang vom Hinterrad- zum Allradantrieb wird bei Schleppern, die vorwiegend auf schweren, tonigen Böden eingesetzt werden, früher erfolgen müssen als bei Schleppern, die vorwiegend auf leichten Sandböden eingesetzt werden.

Die Entwicklungskosten für Schlepper hoher Leistung mit Vierradantrieb sind relativ hoch, und auch ihr zahlenmäßiger Absatz wegen der geringen Zahl großer Betriebe in Mitteleuropa ist vorerst relativ gering. Es kommt deshalb darauf an, daß solche Schlepper auch außerhalb der Landwirtschaft, vor allem in der Bauwirtschaft als Spezialmaschinen Verwendung finden, die bereit und in der Lage ist, höhere Kosten für solche Maschinen zu tragen als die Land- und Forstwirtschaft. Es kommt also, wie schon *Franke* [11] bemerkt hat, darauf an, daß es dem Konstrukteur gelingt, einen vielseitig verwendbaren Grundtyp zu schaffen. Ein Beispiel dafür ist der Unimog, der auch in Betriebszweigen außerhalb der Landwirtschaft als geländegängiges Fahrzeug mit Allradantrieb und höherer Geschwindigkeit eine vielseitige Verwendung gefunden hat.

In **Bild 19** ist versucht worden, den Übergang von Schleppern mit Hinterradantrieb zu solchen mit Allradantrieb in Abhängigkeit von der Schlepperleistung abzuschätzen. Ohne Zweifel wird in dem Bereich bis 75 PS der hinterradangetriebene Schlepper wegen seiner großen Einfachheit auch in Zukunft dominieren. Nur für ungünstige Bodenverhältnisse wird ein relativ kleiner, aber möglicherweise steigender Anteil von allradangetriebenen Schleppern vorwiegend mit kleinen, gelenkten Vorderrädern und großen Hinterrädern Verwendung finden.

Bei Ackerschleppern sehr hoher Leistung wird jedoch der allradangetriebene Schlepper mit gleich großen Rädern und Artikulationslenkung oder Allradlenkung dominieren. Der Übergang vom hinterradangetriebenen zum allradangetriebenen Schlepper wird für nachgiebige, nasse Lehm- und Tonböden früher erfolgen müssen als für weniger empfindliche Reibungsböden, wie es etwa in Bild 19 dargestellt ist.

Das Verhältnis allradangetriebener Schlepper zu hinterradangetriebenen Schleppern kann sich ändern, wenn die hydrostatische Kraftübertragung sich durchsetzen sollte, es kann sich auch ändern, wenn mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit der Schlepper höhere Anforderungen an den Fahrkomfort gestellt werden, die nur durch eine Federung aller vier Räder zu erfüllen sind.

Zusammenfassung

Der Vorteil der Allradschlepper beruht darauf, daß das gesamte Schleppergewicht die Triebachsen belastet und damit zur Erzeugung von Vortrieb herangezogen werden kann. Weiterhin haben Allradschlepper mit gleich großen Rädern eine bessere Kraftübertragung in der Hinterachse als konventionelle hinterradangetriebene Schlepper. Ein Vergleich der Leistungsbilanzen zeigt, daß die Vorteile des Allradschleppers um so größer werden, je weniger die Fahrbahn große Triebkräfte übertragen kann, und je größer der Rollwiderstand wird.

Bei Schleppern hoher Leistung ergeben sich jedoch zusätzliche Argumente für den Allradantrieb. Wie eine Modellbetrachtung zeigt, muß bei hinterradangetriebenen Schleppern mit steigendem Gewicht die Größe der Reifen stärker anwachsen als die Schlepperabmessungen. Ferner dürfen bei Hackfruchtschleppern sowie bei Schleppern, die beim Pflügen in der Furche fahren, bestimmte Grenzen der Reifenbreite nicht überschritten werden. Durch den Übergang zum Allradantrieb mit gleich großen Rädern, die bei schwerem Zug gleichmäßig belastet werden, kann man diese Grenzen leichter einhalten als bei Hinterradantrieb. Es erscheint daher gerechtfertigt, daß bei Schleppern hoher Leistung ein größerer prozentualer Anteil mit Allradantrieb ausgerüstet wird als bei Schleppern kleiner und mittlerer Leistung.

Schrifttum

[1] *Meyer, H., Schünke, Seifert, Skalweit und Wendeborn:* Der Ackerschlepper und sein Zubehör. Landtechnik **18** (1964) S. 622/34.

[2] *Sonnen, F. J.:* Zur Frage des Allradantriebes von Ackerschleppern. Landtechn. Forsch. **12** (1962) S. 1/6.

[3] *Franke, R.:* Four wheel drives. Paper presented at an Open Meeting on 15th Jan. 1963.

[4] *Richey, C. B.:* Traction tests of a tandem-tractor. Transactions ASAE **2** (1959) S. 16/17.

[5] *Reed, J. F.; A. W. Cooper and C. A. Reaves:* Effects of two-wheel and tandems drives on traction and soil compacting stresses. Transactions ASAE **2** (1959) S. 22/25.

[6] *Bekker, M. G.:* Theory of landlocomotion. The mechanics of vehicle mobility. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1956.

[7] *Bekker, M. G.:* Off-the-road locomotion. Research and development in terra mechanics. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1960.

[8] *Söhne, W.:* Beitrag zur Mechanik des Systems Fahrzeug-Boden unter besonderer Berücksichtigung des Ackerschleppers. Grundlagen d. Landtechnik H. 17. Düsseldorf 1963. S. 5/16.

[9] *Southwell, P. H.:* An investigation of traction and traction aids. ASAE Paper No. 62-622. Winter Meeting 1962 der American Society of Agricultural Engineers.

[10] *Bailey, P. H.:* The comparative performance of some traction aids. J. Agric. Engng. Research **1** (1956) S. 12/22.

[11] *Franke, R.:* Der Allradantrieb für Ackerschlepper. Landtechnik **18** (1963) S. 580/83.

[12] *Buckingham, F.:* Four-wheel drive. Implement and Tractor. 21. März 1963. S. 46/49.

[13] *Buchele, W. F.:* Design and operation of MSU tandem tractor. Transactions ASAE **2** (1959) S. 11/12.

[14] *Söhne, W., und R. Möller:* Über den Entwurf von Streichblechen unter besonderer Berücksichtigung von Streichblechen für höhere Geschwindigkeit. Grundlagen d. Landtechnik H. 15. Düsseldorf 1962. S. 15/27.