

FELDVERSUCHE ÜBER DIE ZUGFÄHIGKEIT VON ACKERSCHLEPPERREIFEN

Von G. Bock

Dieser Bericht befasst sich mit Versuchen über die Zugfähigkeit von Schlepperreifen bei verschiedenen Böden und Bodenzuständen, die mit dem Ziel durchgeführt worden sind, Unterlagen über den Einfluss

1. der Reifenabmessungen (Reifendurchmesser und -breite),
2. der Achslast und
3. des Profils

zu gewinnen. Ferner wird über Versuche mit Spezialreifen, mit Gleitschutzmitteln für Luftreifen und mit Kettenlaufwerken, die auf Schmierböden durchgeführt worden sind, berichtet.

Versuche mit Luftreifen auf dem Acker haben den Nachteil, dass sie auf inhomogenem Boden durchgeführt werden und dass sie zur Beobachtung der Vorgänge in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Boden und im Boden selbst wenig geeignet sind. Feldversuche haben andererseits den Vorteil, dass der Boden in seiner Schichtung, im Bewuchs, in der Durchfeuchtung usw. so erfasst wird, wie er in der Praxis vorkommt.

Versuchsgrundlagen

Die Untersuchungen beschränken sich im wesentlichen auf Zugkraft- und Rollwiderstandsmessungen. Bei den Zugkraftmessungen werden die zu prüfenden Reifen an hinterradgetriebenen Schleppern, die durch einen Messwagen belastet werden, gefahren. Dabei wird der Zugwiderstand über eine Fahrstrecke von jeweils etwa 10 m annähernd konstant gehalten und stufenweise vergrößert bzw. verkleinert. Die Zugkraft wird mittels eines hydraulischen Zugkraftschreibers (Amsler) aufgeschrieben.

Die statische Vorder- und Hinterachslast G_v und G_h des Schleppers (einschl. Fahrer) werden auf der Waage ermittelt. Durch Zusatzgewichte werden die gewünschten Belastungen (etwa Auslastung nach Tragfähigkeitsangaben) erzielt. Mittels verstellbarer Anhängervorrichtungen wird die Zughakenhöhe h stets so gewählt, dass sie in einem bestimmten Verhältnis zum Radstand a steht: $h/a = 1/4$, wobei der Zugwiderstand stets parallel zur Fahrbahn wirkt (Bild 1). Dadurch wird die Berechnung der bei Ausübung einer Zugkraft Z vorliegenden Hinterachslast G'_h vereinfacht. Es ist dann bei gleichmässiger Fahrgeschwindigkeit in der Ebene

$$G'_h = G_h + \Delta G_Z + \Delta G_R,$$

wobei $\Delta G_Z = Z \cdot h/a$ die Achslastvergrößerung in-

folge der Zugkraft und ΔG_R die Achslastvergrößerung infolge des Rollwiderstandsmomentes der Triebäder und der Rollwiderstandskraft der Vorderräder, also des gesamten Schlepperrollwiderstandes sind. Die Vorderachse wird gleichzeitig entsprechend der Vergrößerung der Hinterachslast entlastet. ΔG_R kann bei kleinen Rollwiderständen vernachlässigt werden.

Die Berechnung des Schlupfes σ erfolgt nach der Beziehung

$$\sigma = \frac{s_o - s}{s_o} \cdot 100\%$$

Dabei ist s der wirklich zurückgelegte Weg und s_o der „schlupflose“ Weg je Umdrehung des Triebades. Die Bestimmung des Weges s_o ist nun sehr umstritten. Legt man denjenigen Weg s_1 zugrunde, der sich bei Leerfahrt des Schleppers ergibt, dann macht man insofern einen Fehler, als bereits infolge des Rollwiderstandes der Vorderräder ein Schlupf vorliegt. Auch der Weg s_2 , der sich beim gezogenen Rade ergibt, ist nicht zutreffend, da – ähnlich wie beim Bremsen – ein negativer Schlupf vorliegt. Der Wert s_o liegt zwischen s_1 und s_2 . Der Unterschied zwischen s_1 und s_2 ist bei trockenen festen Böden klein (etwa 1%), er wird jedoch auf lockeren und nassen Böden erheblich. Die exakte Behandlung dieser Frage muss einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben.

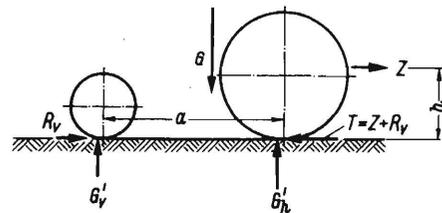


Bild 1. Die am Schlepper angreifenden Kräfte beim Zug in der Ebene und bei gleichbleibender Geschwindigkeit.

- G Schleppergewicht (im Schwerpunkt angreifend)
- G'_v und G'_h Reaktionskräfte der Achslasten beim Fahren
- $G'_v + G'_h = G$
- Z Zugwiderstand
- R_v Rollwiderstand der Vorderräder
- T Triebkraft der Hinterräder
- h Zughakenhöhe
- a Radstand

Aus praktischen Überlegungen heraus wird im Folgenden der arithmetische Mittelwert $s_o = (s_1 + s_2)/2$ gewählt. Die Ermittlung von s_1 und s_2 muss auf jedem Versuchsfeld für jeden Reifen vorgenommen werden, da eine Vorausberechnung dieser Werte aus den Abmessungen noch nicht möglich ist¹⁾. Aus den gemessenen Zugkräften und den zugehörigen Schlupfwerten

¹⁾ Es sei darauf hingewiesen, dass in einem früheren Versuchsbericht [1] aus messtechnischen Gründen der Weg s_2 der Schlupfberechnung zugrundegelegt wurde.

lassen sich die Zugkraft-Schlupf-Kurven entwickeln. Diese ermöglichen den Vergleich zweier oder mehrerer Reifen, die an Schleppern mit gleichen Achslasten und gleichem Verhältnis Zughakenhöhe : Radstand gefahren werden. Sobald diese Voraussetzungen nicht zutreffen, müssen anstelle der Zugkräfte die dimensionslosen Kraftschlussbeiwerte über dem Schlupf aufgetragen werden. Der Kraftschlussbeiwert κ^2 ist kein physikalischer, sondern ein rechnerischer Wert, unter dem das Verhältnis Triebkraft T zu der augenblicklich vorliegenden Triebachslast G'_h verstanden werden soll, also

$$\text{Kraftschlussbeiwert } \kappa = T/G'_h$$

Das vielfach übliche Verfahren, den durch Messungen mit hinterradangetriebenen Vierradschleppern gewonnenen Wert Z/G'_h darzustellen, genügt für überschlägige Vergleiche, jedoch nicht für exakte Untersuchungen, da hierbei der oft beträchtliche Rollwiderstand der Vorderräder vernachlässigt wird.

Die Triebkraft T^3 ist die von den Triebrädern am Boden abgestützte, in Fahrtrichtung wirkende Kraft; sie ist bei einem hinterradgetriebenen Vierradschlepper bei nicht beschleunigter Fahrt in der Ebene gleich der Summe aus der Zugkraft Z und dem Rollwiderstand R_v der Vorderräder, also

$$T = Z + R_v$$

Es sei hier bemerkt, dass das auf die Triebräder wirkende Rollwiderstandsmoment zwar Schubspannungen in der Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn, jedoch keine resultierende Horizontalkraft ergibt, also keinen Anteil an T erfordert (s.a. Söhne [4]). Diese Schubspannungen beanspruchen allerdings bereits die Haftung zwischen Reifen und Boden und haben dadurch einen Einfluss auf den oben definierten Kraftschlussbeiwert. Diese Vorgänge entziehen sich jedoch bislang der messtechnischen Erfassung⁴).

Bei der Einführung des Kraftschlussbeiwertes ging man von der Überlegung aus, dass entsprechend dem Coulombschen Reibungsgesetz für ein und denselben Reifen am angetriebenen, ziehenden Rade das Gesetz $Z = \kappa \cdot G$ gelte, sofern Bodenzustand und Reifeninnendruck gleichgehalten werden. κ stellt dabei den Kraftschlussbeiwert dar, wobei der Index (z.B. in κ_{10}) den zugehörigen Schlupf in % angibt. Es muss

2) Man findet in der Literatur den Kraftschlussbeiwert auch mit den Buchstaben μ und f bezeichnet. Da sich jedoch diese beiden Buchstaben im Zusammenhang mit Raduntersuchungen für den Reibungsbeiwert bzw. den „Arm der rollenden Reibung“ eingebürgert haben, ist in dieser Arbeit – vorbehaltlich einer späteren Festlegung – κ als Symbol für den Kraftschlussbeiwert gewählt worden.

3) Die Bezeichnung T tritt anstelle des früher [1] verwendeten, weniger klaren Ausdruckes „nutzbare Umfangskraft U_N “ (vergl. auch Heyde [3]).

4) Lentz [5] verwendet den Ausdruck „Radhaftzahl“, der das Verhältnis Radumfangskraft (aus dem Nabendrehmoment rechnerisch ermittelt) zur Radlast darstellt.

vorweggeschickt werden, dass dieses Gesetz nur bedingt gültig ist. Der Kraftschlussbeiwert ist in gewissem Umfang auch von der Achslast abhängig.

In den folgenden Bildern wird entweder die Zugkraft oder der Kraftschlussbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf kurvenmässig dargestellt. In anderen Darstellungen wird die Zugkraft bzw. der Kraftschlussbeiwert für einen bestimmten Schlupf (z.B. 20%) über einer anderen Größe (Reifendurchmesser, Bodenart) aufgetragen. Auf einem äusserlich gleichmässig erscheinenden Boden können die Bodeneigenschaften von Meter zu Meter verschieden sein; deshalb und infolge kleiner Unebenheiten treten Streuungen der Messwerte auf. Der Übersichtlichkeit wegen werden

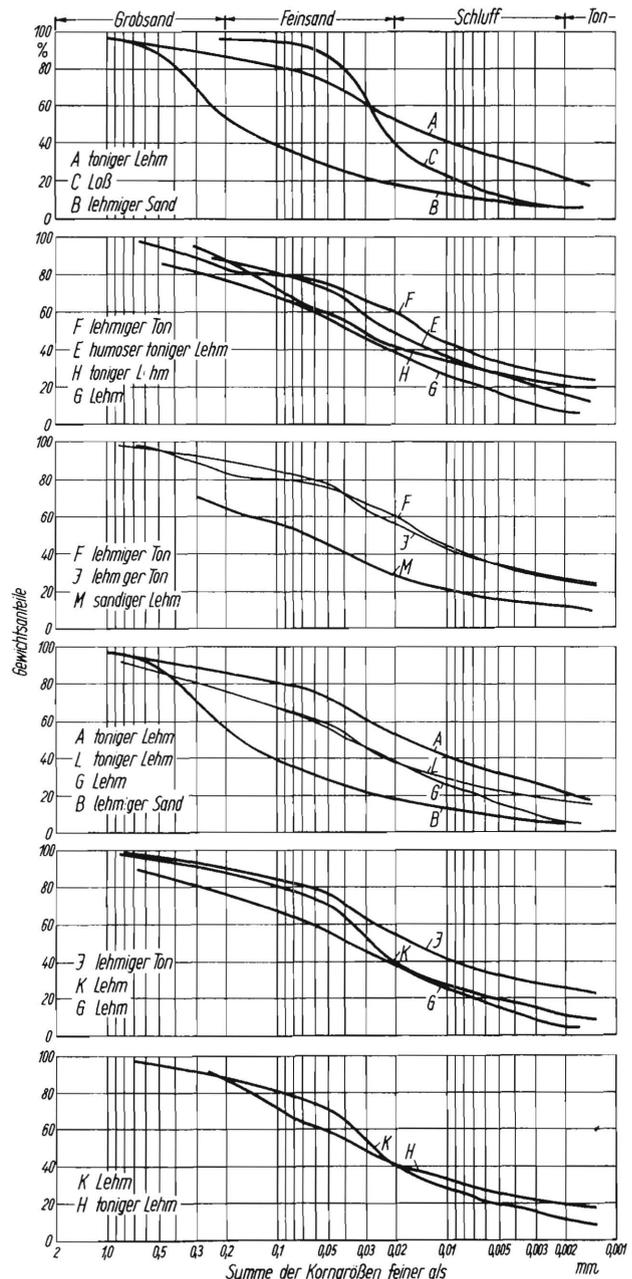


Bild 2 bis 7. Korngrößenverteilung der Versuchsböden (s. a. Zahlentafel 1). Die Böden sind in den Bildern nach den einzelnen Vergleichsversuchen gruppiert.

im Folgenden nur Kurven von den Mittelwerten gebracht, wenn nicht besondere Gründe dafür vorliegen, sämtliche Messpunkte oder die Streubereiche anzugeben.

Von den Ackerböden, auf denen die Versuche durchgeführt worden sind, wurden mechanische Bodenanalysen (Sieb- und Schlämmanalysen) gemacht, die Korngrößenverteilung der Böden ist in Bild 2 bis 7 in Form von Summenkurven dargestellt. Diesen Summenkurven wurden die Bodenfraktionen Grobsand Feinsand, Schluff und Ton entnommen und danach die Böden eingeteilt und bezeichnet (Zahlentafel 1).

Zahlentafel 1

Mechanische Bodenanalysen der Versuchsböden

Boden	Anteile in Gew. %				Bodenbezeichnung
	Grob-sand	Fein-sand	Schluff	Ton	
B	46	36	12	6	lehmiger Sand (Völkensrode)
M	36	35	17	12	sandiger Lehm (Lucklum)
G	24	38	31	7	Lehm (Lucklum)
C	4	57	32	7	Löss (Bodenstedt)
K	13	46	29	12	Lehm (Lucklum)
D	10	38	38	14	„ „
L	25	37	21	17	toniger Lehm (Lucklum)
E	14	37	33	16	humoser toniger Lehm (Lucklum)
H	13	46	21	20	toniger Lehm (Lucklum)
A	14	33	31	22	„ „ „
J	10	35	28	27	lehmiger Ton (Lucklum)
F	18	22	34	26	„ „ „

Reifenabmessungen und Zugfähigkeit

Durch frühere Untersuchungen in Bornim mit eisernen Greiferrädern waren die Vorteile grosser Durchmesser zahlenmässig belegt [6]. Für Luftreifen gab es im Jahre 1949 keine in Deutschland allgemein zugängliche Veröffentlichungen, die darüber Auskunft geben konnten, in welchem Masse sich die Abmessungen des Reifens auf die Zugfähigkeit auswirken, obgleich durch Einzelversuche durchaus bekannt war, dass grosse Reifendurchmesser vorteilhaft sind.

Im Herbst 1949 wurde mit Messungen über die Zugfähigkeit anhand einer Auswahl amerikanischer Reifen begonnen, die durch die Schlepper- und die Reifenindustrie gemeinschaftlich beschafft worden waren. Über die damaligen Ergebnisse wurde bereits berichtet [1].

Im wesentlichen ergab sich, dass für Reifen gleicher Breite die bei gleichem Reifeninnendruck (0,84 atü = 12 lb./sq. in.) und zugehöriger Belastung ermittelten Kraftschlussbeiwerte etwa linear mit dem Aussendurchmesser ansteigen. Bild 8 zeigt Kraftschlussbeiwerte bei 20% Schlupf für Reifen von 9" Breite für einige Bodenzustände. Messergebnisse für Reifen mit 8" Breite sind für einen Boden eingezeichnet.

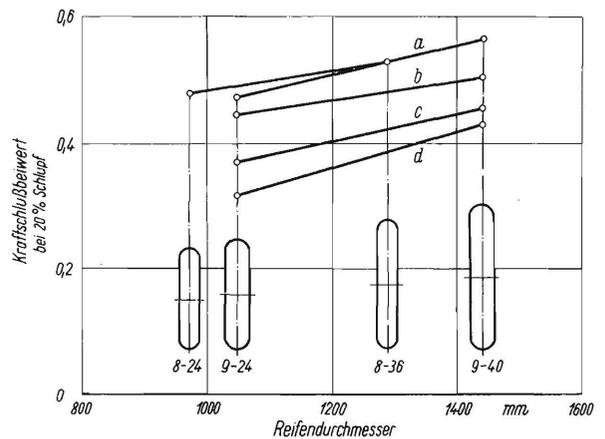


Bild 8. Kraftschlussbeiwerte bei 20% Schlupf in Abhängigkeit vom Reifendurchmesser.

(Die Werte sind mit Hochstollenreifen mit geschlossenem Profil bei 0,84 atü Reifeninnendruck und der bei diesem Druck zulässigen Belastung ermittelt worden.)

- a) toniger Lehm A, geschält und abgetrocknet
- b) „ „ A, nach leichtem Regen
- c) lehmiger Sand B, wenig feucht
- d) Löss C, gepflügt, feucht.

Welchen Gewinn an Zugkraft die Verwendung von Reifen grösseren Durchmessers bringen kann, ist in Bild 9 an einem Beispiel eines Schleppers von 1400 kg Hinterachslast, der einmal mit Reifen 9,00–24, dann mit Reifen 9,00–40 ausgestattet war, dargestellt. Ferner ist in diesem Bild ein Vergleich der mit Reifen 8–24 bzw. 8–32 bei $G_h = 800$ kg erreichbaren Zugkräfte gezeigt.

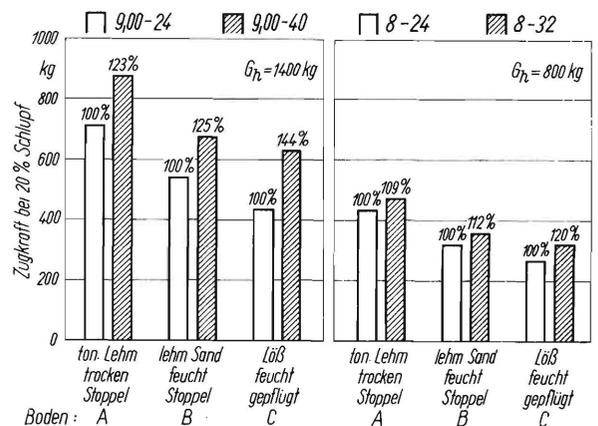


Bild 9. Zugkraftgewinn durch Verwendung von Reifen mit grösserem Durchmesser.

Es waren damals auch Messungen mit dem Reifen 11–24 durchgeführt worden, wobei die Tragfähigkeit ebenfalls ausgenutzt wurde. Würde man die mit diesem Reifen gewonnenen Werte in das Diagramm nach Bild 8 als Ordinaten über dem entsprechenden Durchmesser eintragen, dann wäre ersichtlich, dass der breitere Reifen etwas besser abschneidet als der schmale, ausgenommen auf schmierendem, aber tragfähigem Boden⁵⁾.

Es trat nun die Frage auf: Was bringt eine Vergrösserung der Reifenbreite bei gleichem Aussendurchmesser vergl. [1], Bild 5 und 6.

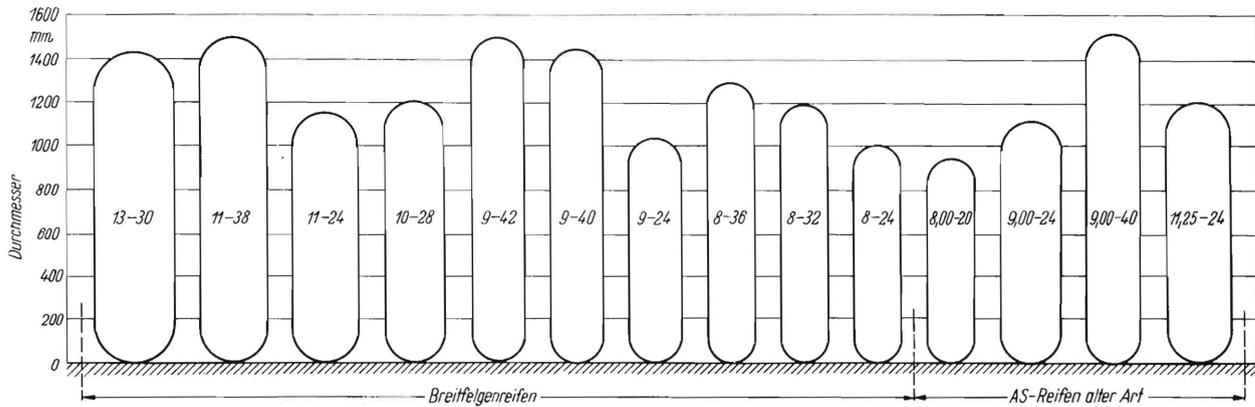


Bild 10. Gegenüberstellung der in diesem Bericht untersuchten Reifengrößen.

durchmesser, gleichem Reifeninnendruck und bei gleicher Achslast? Wenn auch im allgemeinen aus Preisgründen eine Reifengröße verwendet wird, deren Tragfähigkeit gerade ausreicht, so ist doch die Frage, ob und unter welchen Verhältnissen überdimensionierte Reifen Vorteile ergeben, von Interesse.

Es stehen z.B. für einen Schlepper mit 950 kg Hinterachslast die Reifen 8-32 und 10-28 oder für einen Schlepper mit 1400 kg Hinterachslast die Reifen 9-42, 11-38 und 13-30 zur Auswahl. Bild 10 und Zahlentafel 2 zeigen eine Übersicht sämtlicher in diesem Bericht untersuchten AS-Reifen.

Zahlentafel 2

Abmessungen der in diesem Bericht untersuchten AS-Reifen

Bezeichnung	Durchmesser mm	Breite mm	Tragfähigkeit bei 0,8 atü kg
8-24	990	210	425
8-32	1185	210	475
8-36	1295	210	500
9-24	1035	240	522
9-40	1441	238	664
9-42	1500	242	710
10-28	1200	272	690
11-24	1152	295	763
11-38	1520	302	1000
13-30	1420	365	1200
8,00-20	935	215	400
9,00-24	1115	265	650
9,00-40	1520	245	750
11,25-24	1205	295	800

Es war ursprünglich geplant, Vergleichsversuche mit amerikanischen Reifen 9-40 und 13-30 durchzuführen, weil diese fast gleichen Aussendurchmesser haben (1441 bzw. 1420 mm). Aus praktischen Gründen wurden jedoch die in Deutschland gebräuchlichen Größen 9-42 und 13-30 gewählt. Bei den Versuchen mit diesen Reifen auf verschiedenen Böden wurde stets der gleiche Schlepper genommen, sodass die statische Hinterachslast nur um die Differenz der Rädergewichte verschieden war. Die Reifen wurden mit 0,8 atü gefahren. Dieser Reifeninnendruck von 0,8 atü wird bekanntlich zurzeit als untere Grenze

angesehen, weil bei weiterer Absenkung des Luftdruckes ein Wandern des Reifens auf der Felge bei schwerem Zug zu befürchten ist. Die Säulendarstellung (Bild 11) zeigt nun als Ergebnis, dass der breitere, nicht ausgelastete Reifen 13-30 in fast allen Fällen (Böden E, F und G) schlechter war als der

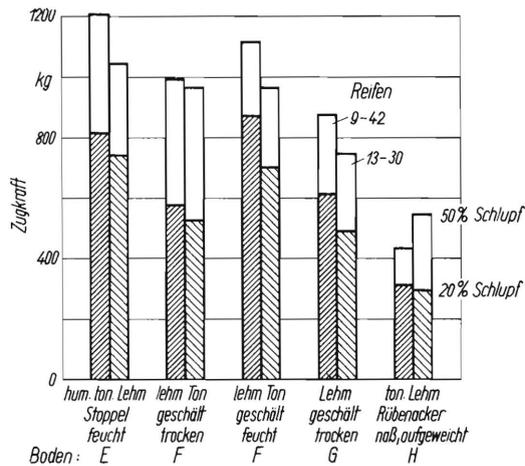


Bild 11. Einfluss der Reifenbreite auf die Zugkraft bei 20 bzw. 50 % Schlupf.

Reifen	Reifen Ø	G_h	G_v	Luftdruck
9-42	1500 mm	1470 kg	740 kg	0,8 atü
13-30	1420 mm	1530 kg	740 kg	0,8 atü

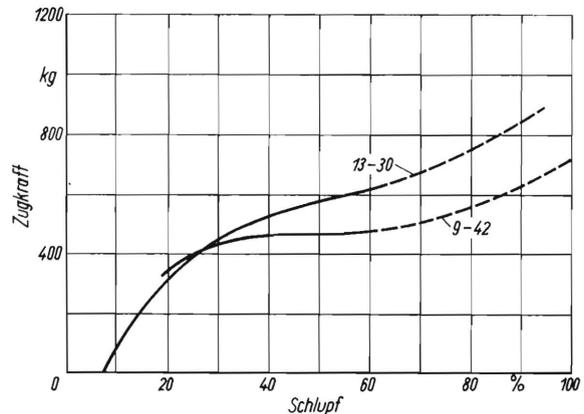


Bild 12. Einfluss der Reifenbreite auf nassem, aufgeweichtem Rübenabfuhracker. Boden: toniger Lehm H (20 % Ton). Reifen, Belastung und Luftdruck wie in Bild 11.

Reifen 9–42. Eine Ausnahme trat nur auf dem aufgeweichten, wenig tragfähigen Rübenabfuhracker (Boden *H*) ein. Bild 12 zeigt die Zugkraftschlupfcurven für die beiden Reifen auf dem nassen Rübenabfuhracker (waagrechtes Abgleiten für 9–42 ab 25% Schlupf).

Der Grund für das schlechtere Verhalten des breiteren Reifens auf trockenen und wenig feuchten, festen Böden könnte in Folgendem zu suchen sein: Der Reifen 13–30 wurde, wie auch der Reifen 9–42, mit 0,8 atü gefahren; er war bei einer Hinterachslast von 1530 kg bei weitem nicht ausgelastet, seine Einfederung und damit seine Bodenberührungsfläche waren geringer als bei voller zulässiger Belastung. Seine Fläche war zwar breiter, aber wesentlich kürzer als die des Reifens 9–42.

Da diese Ergebnisse scheinbar im Widerspruch stehen mit den oben angegebenen, die bei voller Auslastung dem breiteren Reifen einen im allgemeinen besseren Kraftschlussbeiwert zuordneten, ergibt sich die Frage nach der gegenseitigen Abhängigkeit von Achslast und Kraftschlussbeiwert.

Achslast und Kraftschlussbeiwert

Einige eigene Versuchsergebnisse und diesbezügliche fremde Untersuchungen sollen hier mitgeteilt werden, da sie bereits einige wichtige Rückschlüsse zulassen.

Von unseren Versuchen sind drei Versuchsreihen besonders aufschlussreich:

1. Die Reifen 11,25–24 AS, die eine Tragfähigkeit von 1600 kg (je Achse) bei 0,8 atü haben, wurden auf lehmigem Ton mit einer statischen Hinterachslast G_h von 1775 kg und 1100 kg, in beiden Fällen mit 0,8 atü Reifeninnendruck, gefahren. Bild 13 zeigt die Ergebnisse der Zugkraftmessungen, Bild 14 die Umrechnung auf den Kraftschlussbeiwert. Man erkennt, dass der Kraftschlussbeiwert bei Schlupfwerten über 15% mit steigender Achslast zunimmt.

2. Auf ähnlichem Boden wurden mit dem Reifen 13–30 mit verschiedener Hinterachslast Zugkraftmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Bild 15 zu sehen sind. Die Umrechnung ergab auch in diesem Fall ein stetes Zunehmen des Kraftschlussbeiwertes

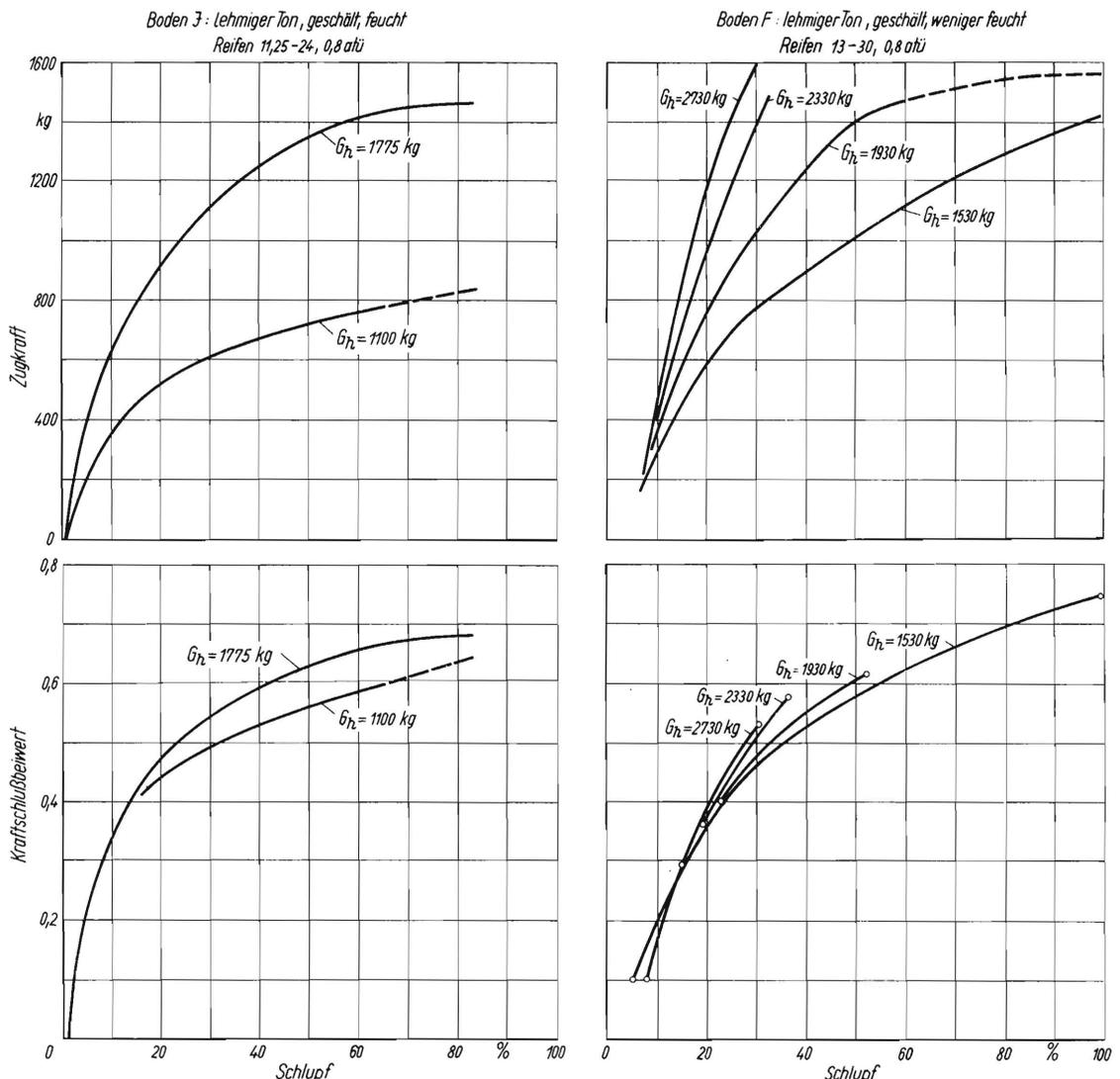


Bild 13 bis 16. Einfluss der Achslast auf Zugfähigkeit und Kraftschlussbeiwert zweier verschiedener Reifen auf etwa gleichem Boden.

Die Kraftschlussbeiwerte nehmen bei Schlupfwerten über 15% mit steigenden Achslasten zu.

mit wachsender Hinterachslast (Bild 16). Dass im Bereich geringen Schlupfes ein anderes Verhalten vorliegt, ist darauf zurückzuführen, dass aus Zeit- und Platzmangel der „schlupflose“ Weg nur bei einer Hinterachslast ermittelt und für die Schlupfberechnung bei allen Achslasten zugrundegelegt wurde. Es hätte jedoch berücksichtigt werden müssen, dass bei grösserer Achslast der „schlupflose“ Weg wegen der stärkeren Verformung des Reifens geringer ist als bei kleiner.

3. Ein anderes Resultat ergab sich auf Lehm. Der Versuchsacker war etwa sechs Wochen vorher geschält worden und sehr stark ausgetrocknet. Man kann diesen Boden als Reibungsboden auffassen, während bei den Böden in den beiden vorher genannten Versuchen die Kohäsion eine wesentliche Rolle spielte. Die Reifen 11,25–24 wurden mit 1700 kg und 1100 kg Hinterachslast bei 0,8 atü gefahren. Die Kraftschlussbeiwerte beider Messreihen stimmen gut überein (Bild 17).

Einen weiteren Beitrag zur Frage des Kraftschlussbeiwertes liefert die Arbeit von Gross und Elliott [7]. Sie hatten Zugkraftmessungen mit einem Gleiskettenfahrzeug auf Sand bei verschiedener Belastung durchgeführt. In Bild 18 sind die Zugkräfte über dem Schlupf bei drei verschiedenen Fahrzeuglasten dargestellt und in Bild 19 die Kraftschlussbeiwerte Z/G über der Fahrzeuglast bei 10, 30 und 50 % Schlupf. Man erkennt, dass dieser Wert Z/G bei 10 % Schlupf nahezu konstant bleibt, dagegen bei 50 % Schlupf mit zunehmender Belastung abfällt. Dieses Verhalten könnte erstens durch das stärkere Aufbäumen bei grösserer Zugkraft und zweitens durch ein nicht-lineares Anwachsen des Rollwiderstandes beeinflusst sein.

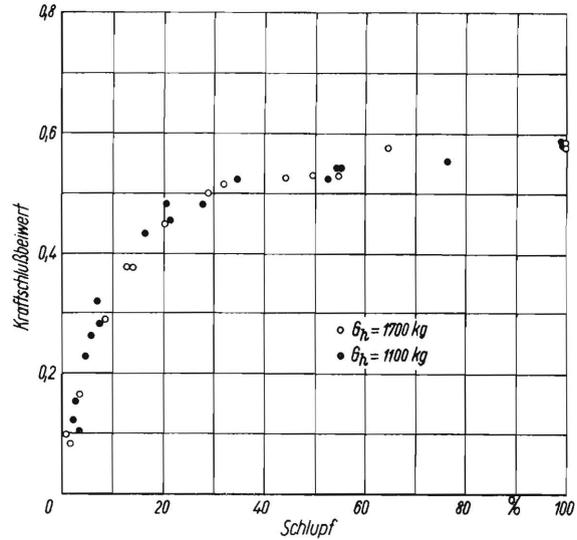


Bild 17. Kraftschlussbeiwert auf „Reibungsboden“ bei zwei verschiedenen Belastungen.

Boden G: Lehm, geschält, trocken
Reifen: 11,25 – 24/0,8 atü

Die Achslast ist hier ohne Einfluss auf den Kraftschlussbeiwert.

Beim Kettenfahrzeug wird die Auflagefläche mit zunehmender Belastung i.a. nicht vergrössert, während beim Luftreifen die Abplattung zunimmt. Über einen ähnlichen Versuch auf Boden mit Kohäsionswirkung berichten Gross und Elliott nicht; für derartige Böden geben sie jedoch den Verlauf der Abscherfestigkeit in Abhängigkeit vom Flächendruck an (vgl. Söhne [8] Bild 27). Es wurde eine mehr als lineare Zunahme der Abscherfestigkeit von einem bestimmten Flächendruck an festgestellt. Falls dieses Verhalten tatsächlich vorliegt, könnte darin – neben der grösser werdenden Fläche und neben

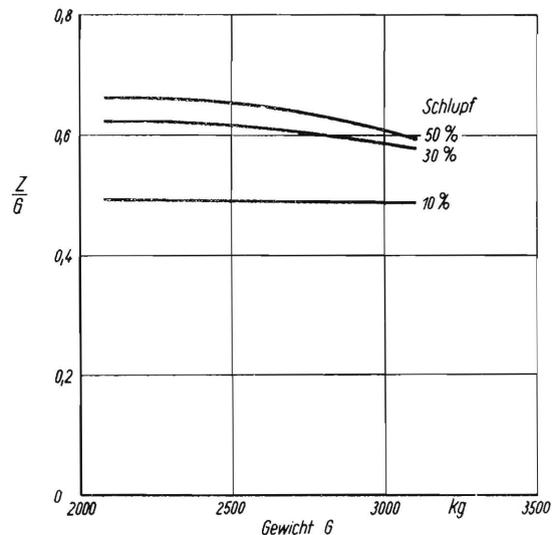
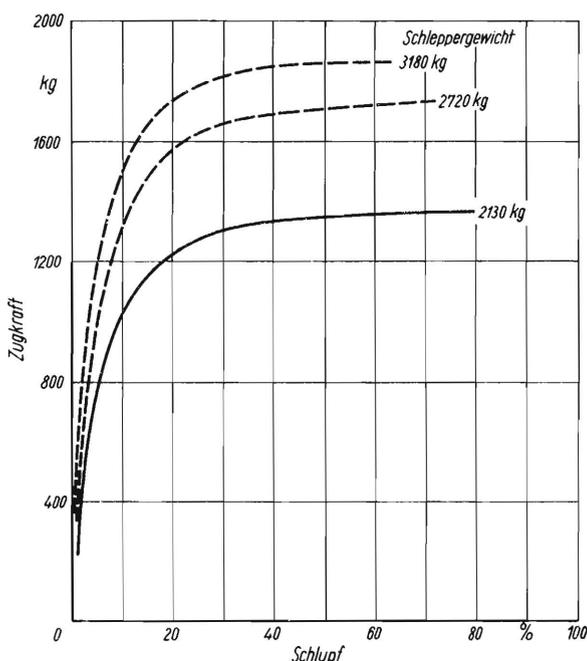


Bild 18 und 19. Zugkraft und Kraftschlussbeiwert eines Kettenfahrzeuges auf Sandboden in Abhängigkeit vom Schlupf und Fahrzeuggewicht (nach Gross und Elliott [7]).

dem vielleicht tieferen Eindringen der Stollen in eine festere Unterschicht – die Erklärung für das Anwachsen des Kraftschlussbeiwertes mit zunehmender Belastung bei Luftreifen auf bindigen Böden gesehen werden.

Aus den Versuchen, die durch Messungen z.B. mit den Reifen 8–32 und 10–28 ergänzt werden sollen, glauben wir folgende Schlüsse ziehen zu können:

1. Auf Reibungsböden kann im Bereich von 60 bis 100% zulässiger Traglast und bei konstantem Luftdruck mit einem etwa konstanten Kraftschlussbeiwert gerechnet werden. (Frühere Versuche von *Helmut Meyer* und *F. Kliefoth* [9] hatten bereits ergeben, dass bei konstanter Last der Kraftschlussbeiwert mit Absenken des Luftdruckes anwächst⁶⁾).
2. Auf bindigen, tragfähigen Böden ist der Kraftschlussbeiwert bei Unterbelastung schlechter als bei voller Auslastung.
3. Reifen mit grossem Querschnitt bringen gegenüber schmalen bezüglich der Zugfähigkeit dann keinen Vorteil, wenn der Boden verhältnismässig fest ist und die Reifen wegen Nichtausnutzung ihrer Tragfähigkeit eine zu kurze Bodenaufstandsfläche haben. Diese Ergebnisse beziehen sich auf Reifen mit der bisher üblichen Wandsteifigkeit, Profilierung und den bisherigen Verhältnissen in Stollenhöhe und Stollenzahl.
4. Auf wenig tragfähigen Böden, also z.B. auf tief aufgeweichtem Rübenacker, ferner auf einem winter-nassen, gepflügten Acker und auf Moor, vermutlich auch auf losem Sand, sinken bei gleicher Belastung die breiteren Reifen weniger tief ein als die schmalen, so dass dann breite Reifen günstiger sind als schmale Reifen gleichen Durchmessers. Bekanntlich hat auch die Zwillingsbereifung auf derartigen Böden ähnliche Vorteile.

6) vgl. auch *Lentz* [5].



Bild 20. Zusammenhängende und offene (open center) Profilierung von *Firestone*-Reifen.

Wegen der geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Reifen, die gleichen Aussendurchmesser, aber verschiedene Breite haben, ist es schwierig, festzustellen, ob der schmale, in seiner Tragfähigkeit gerade ausgenutzte Reifen grundsätzlich als der günstigste (bei den unter 3 genannten Bodenverhältnissen!) anzusehen ist und ob eine Verbreiterung eine proportionale Verschlechterung der Zugfähigkeit zur Folge hat. Es ist durchaus denkbar, dass z.B. ein Reifen, der zwischen dem 9–42 und dem 13–30 liegt, die besten Ergebnisse bringen könnte.

Reifenprofil und Zugfähigkeit

Eine weitere Frage, die Schlepper- und Reifenindustrie gleichermassen bewegt, ist die: Kann die Zugfähigkeit der heutigen Reifen durch Massnahmen, die die Profilgestaltung betreffen, noch vergrössert werden? Diese Frage ist aber immer eng mit einer zweiten verbunden, nämlich der: Wird der Verschleiss eines Reifens mit einem neu entwickelten griffigeren Profil auch nicht grösser als derjenige der bisherigen Reifen? Nur wenige Schlepperbesitzer können sich Reifen leisten, die wohl auf beste Griffigkeit auf dem Acker entwickelt sind, die aber bei Strassenfahrt schnell verschleissen. Im allgemeinen müssen Reifen verwendet werden, die für beide Zwecke gleich gut geeignet sind.

Der Übergang vom Flachstollenreifen zum Hochstollenreifen hatte ausser auf Sand und fester Strasse einen Gewinn an Zugfähigkeit vor allem dort gebracht, wo Feuchtigkeit an der Oberfläche den Flachstollenreifen zum Durchrutschen brachte. Die Profilierung war bei den einzelnen Firmen zwar verschieden, im grossen und ganzen jedoch insofern einheitlich, als die Stollen sich gegeneinander abstützten. Reifen mit sogenanntem offenem Profil wurden zuerst in Amerika entwickelt. Von diesen Reifen wird behauptet, dass sie weicher sind als die Reifen mit

zusammenhängenden Stollen und deshalb eine grössere Bodenberührungsfläche haben, weil die Versteifung des Mantels durch zusammenhängende Stollen entfällt. Daneben wird dem offenen Profil eine bessere Selbstreinigung nachgesagt.

Um einen Überblick zu bekommen, welche Gewinne allein durch Übergang vom geschlossenen zum offenen Profil ohne sonstige Änderungen des Profils zu erreichen sind, wurden zwei Sätze Reifen 10–28 *Firestone* mit offenem und geschlossenem Profil beschafft (Bild 20), in der Hoffnung, dass alle sonstigen Abmessungen gleich sein würden. Leider waren noch weitere kleine Unterschiede festzustellen, von

denen man aber annehmen darf, dass sie auf dem Acker keinen wesentlichen Einfluss haben. Die Zugkraftvergleichsmessungen mit diesen Reifen ergaben folgendes:

1. Auf lehmigem Ton, Stoppel, abgetrocknet, war der Reifen mit offenem Profil bei 20% Schlupf etwas besser (um ungefähr 4%) als derjenige mit geschlossenem Profil.
2. Auf Boden der gleichen Zusammensetzung, aber im geschälten und feuchten Zustand, war ein gesicherter Vorteil für eine der beiden Profilarten nicht zu erkennen.
3. Auf geschältem Lehm war der Reifen mit geschlossenem Profil bei 20% Schlupf besser (um 4–5%).

Die Erscheinung, dass ein Profil auf einem Boden besser ist als ein anderes, auf einem anderen Boden dagegen eine umgekehrte Wertung gilt, und auf dem dritten Boden beide Profile etwa gleichwertig sind, ist durchaus die Regel. Hierzu eine weitere Darstellung von Vergleichsmessungen mit vier verschiedenen Profilen auf verschiedenen Böden (Bild 21). Auf den vier untersuchten Böden kann keines der Profile als das auf jedem Boden beste bzw. schlechteste bezeichnet werden, wiewohl das Profil IV im ganzen gesehen und im besonderen auf dem nassen, schmierenden tonigen Lehm am besten abschneidet.

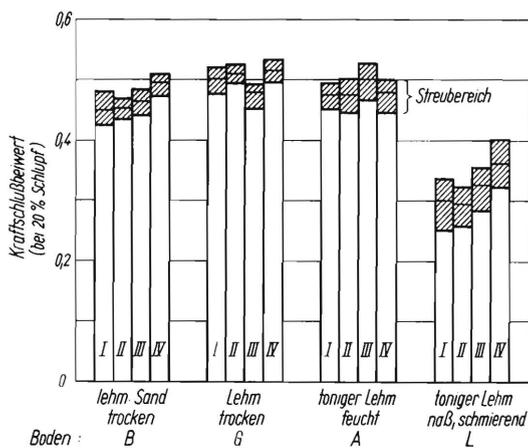


Bild 21. Zugfähigkeit vier verschiedener Laufflächen-Profilierungen von Reifen 9,00–24 am gleichen Schlepper. (Das schraffierte Feld gibt den Streubereich der Messwerte an).

Die Vielzahl der Faktoren, die die Zugfähigkeit beeinflussen, erschwert es sehr, aus den bisherigen Kenntnissen heraus ein Profil zu gestalten, das unter allen Verhältnissen als optimal gelten kann, selbst wenn man die Forderung nach Verschleissfestigkeit nicht berücksichtigen würde. Man kann wohl Profile gestalten, die auf einer Gruppe von Böden besser sind, wenn man in Kauf nehmen will, dass sie auf anderen schlechter sind. Aufgrund eingehender Versuche ist die *United States Rubber Company* zu dem in Bild 22 gezeigten Profil gekommen.

Das Profil wird im wesentlichen durch folgende Größen gekennzeichnet:

- a) Stollenhöhe
- b) Stollenbreite
- c) Zahl der Stollen je Umfang bzw. Grösse der Abstände zwischen den Stollen
- d) Flankenwinkel
- e) Laufflächenbreite
- f) Winkel zwischen den Stollen.



Bild 22. Profilierung eines U.S. Rubber-Reifens.

Über den Einfluss der Stollenhöhe haben *Reed* und *Shields* Untersuchungen durchgeführt. Die Veröffentlichung [10] gestattet leider keinen ausreichenden Einblick in die Versuchsergebnisse wegen ihrer unvollständigen Wiedergabe. Mit dem Einfluss der Greiferhöhe von Gleisketten haben sich *Gross* und *Elliott* befasst [7]. In Bild 23 sind die grössten Zugkräfte, die mit normalen und mit höheren Greifern erzielt worden sind, über dem Wassergehalt aufgetragen, so dass auch der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit auf die Zugfähigkeit veranschaulicht wird. Im folgenden Bild 24 ist der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit auf die Zugkraft auf sandigem, also Reibungsboden und auf bindigem Boden dargestellt.

Weniger bekannt sind die Faktoren, die die Adhäsion, also die Eigenschaft des Bodens, am Gummi hängenzubleiben, beeinflussen. Auch über die reine Reibung zwischen Reifen und Boden liegt nur wenig Zahlenmaterial vor. Denn es ist bekannt, dass auch unprofilierte Reifen eine je nach Boden verschieden grosse Zugkraft aufbringen können. Einige eigene Versuchsergebnisse in Bild 25 und 26 geben einen

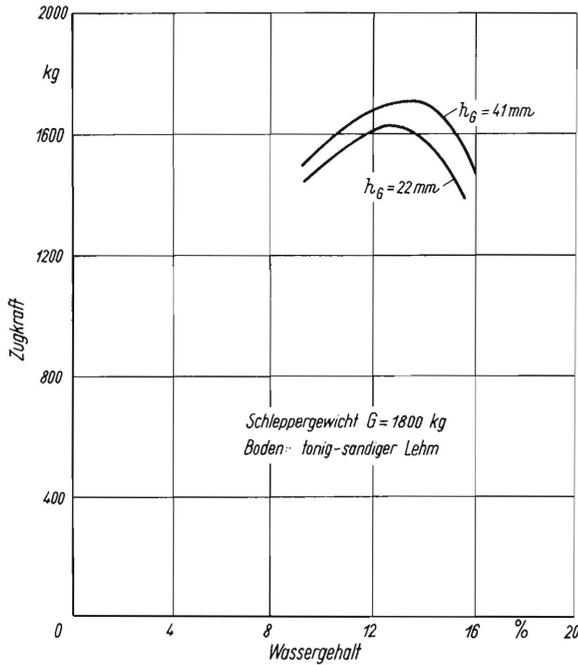


Bild 23. Einfluss der Greiferhöhe und der Bodenfeuchtigkeit auf die grösste Zugkraft eines Kettenschleppers (nach Gross und Elliott [7]).

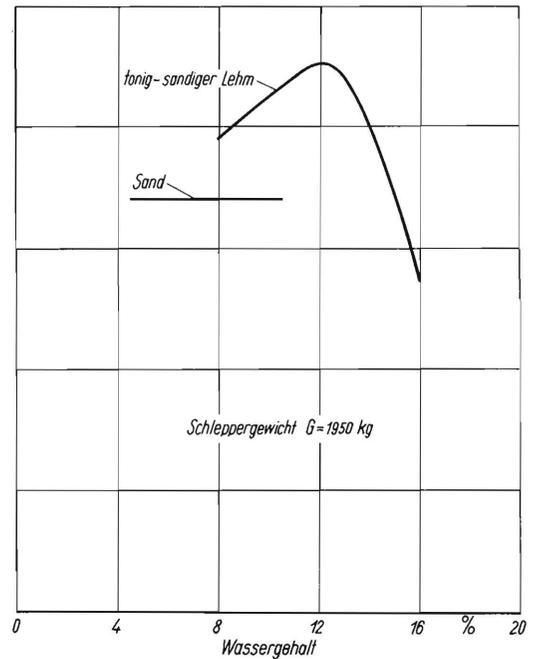


Bild 24. Einfluss der Bodenfeuchtigkeit auf die grösste Zugkraft eines Kettenschleppers auf bindigem Boden (tonig-sandigem Lehm) und auf Reibungsboden (Sand); (nach Gross und Elliott [7]).

Beitrag zur Frage des Einflusses der Profilierung im Vergleich zu unprofilierten Reifen. Es wurden verglichen

- a) neue Hochstollenreifen 9,00 – 24 AS
- b) abgefahrene Hochstollenreifen (9 – 10 mm Stollenhöhe) 9,00 – 24 AS
- c) LKW-Reifen 9,00 – 20 e HD, mit Strassenprofil

auf zwei verschiedenen Böden, nämlich auf Lehm in geschältem, trockenem Zustand und auf tonigem Lehm (Rübenacker), durchnässt, jedoch an der Oberfläche abgetrocknet.

Auf dem trockenen Lehmboden, der als Reibungsboden zu bewerten ist, schneidet der Reifen mit abgefahrenen Stollen besser ab als der neue Hochstollenreifen. Selbst der unprofilierte Reifen ergibt Zug-

kräfte von beachtlicher Grösse, obgleich dieser Reifen wegen seines steiferen Aufbaues und kleineren Durchmessers gegenüber dem AS-Reifen im Nachteil ist. Der Kraftschluss zwischen diesem unprofilierten Reifen und dem Boden wird in diesem Fall nur durch Reibung zwischen Gummi und Erdreich erzielt. (Zu einem exakten Vergleich wäre ein AS-Reifen ohne Profil erforderlich gewesen. Leider stand ein solcher nicht zur Verfügung. Der Vergleich von AS-Reifen mit einem Kraftwagenreifen war andererseits im Hinblick auf die Verwendung an über die Zapfwelle angetriebenen Ackerwagen von Interesse). Auf dem bindigen, feuchten Boden kommt der profilierte Reifen voll zur Wirkung, wie aus Bild 26 zu ersehen ist.

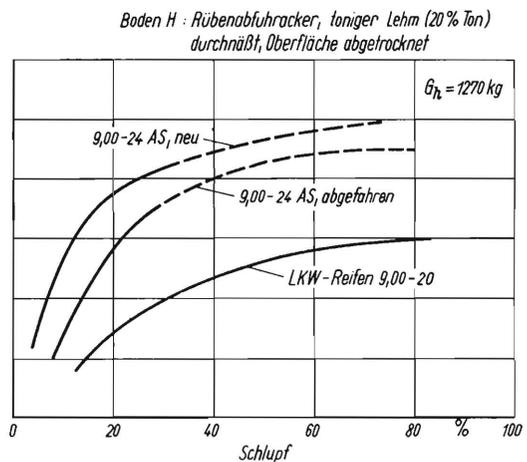
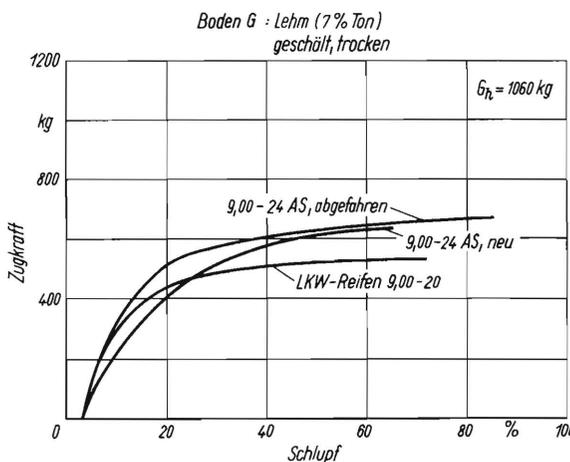


Bild 25 und 26. Zugfähigkeit von profilierten Hochstollenreifen und unprofilierten LKW-Reifen (Reifenluftdruck 1,5 atü) (verschiedene Achslasten!) links: auf trockenem Reibungsboden (Lehm, geschält) rechts: auf nassem, bindigem Boden (toniger Lehm, Rübenacker, durchnässt, jedoch an der Oberfläche abgetrocknet).

Beim Vergleich verschiedener auf dem Markt befindlicher Profilierungen ist es sehr schwierig, den Grund für auftretende Unterschiede in der Zugfähigkeit im einzelnen zu ermitteln, da sich die Reifen immer in mehreren Merkmalen unterscheiden. Es wurden deshalb von der *Deutschen Dunlop Gummi Compagnie* eine Reihe von verschiedenen Reifen 8-36 für Versuche zur Verfügung gestellt, die sich jeweils nur in einem Profilvermerkmal von einem anderen Reifen unterscheiden, Bild 27. Es ist zu hoffen, dass

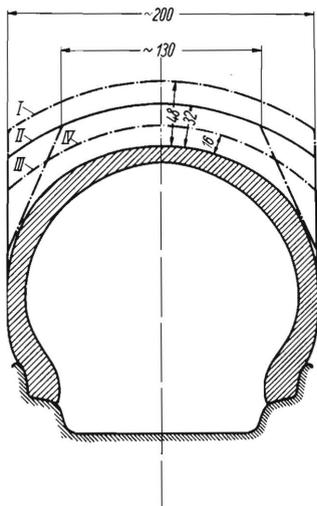


Bild 27. Versuchsreifen 8-36 (Dunlop) in verschiedenen Ausführungen der Stollenform.

mit Hilfe dieser Reifen einige grundsätzliche Fragen, die die Profilierung betreffen, geklärt werden können. Nachstehend werden von den bisher vorliegenden Versuchen die Ergebnisse von drei Messreihen besprochen:

- a) Bild 28 zeigt den Einfluss der Stollenhöhe auf einem durchnässten Lehm. Im Gebiet geringen Schlupfes ist der Reifen mit den niedrigen Stollen günstig, bei grösseren Schlupfwerten ergeben die höheren Stollen grössere Zugkraftwerte. Der Gewinn ist nicht proportional dem Zuwachs der Stollenhöhe.
- b) Bild 29 zeigt das Ergebnis eines Versuches, bei dem ein Reifen mit normaler Laufflächenbreite mit einem Reifen mit schmalerer Laufflächenbreite auf trockenem Lehm Boden verglichen wurde. Bei dem letzteren waren die Stollen seitlich schräg abgedreht worden, Bild 21. Ein Grund für die Untersuchung eines derartigen Reifens ist dadurch gegeben, dass von seiten einiger Kartoffelzüchter behauptet wird, dass bei der jetzt üblichen Laufflächenbreite die Entwicklung der Kartoffeln beeinträchtigt wird. Auf dem angegebenen Boden war der schmalere Reifen entgegen ausländischen Beobachtungen besser als der Reifen mit normaler Laufflächenbreite.
- c) Auf bindigem, oberflächlich nassem Boden (Bild 30) war bei diesen beiden Reifen dasselbe Verhalten

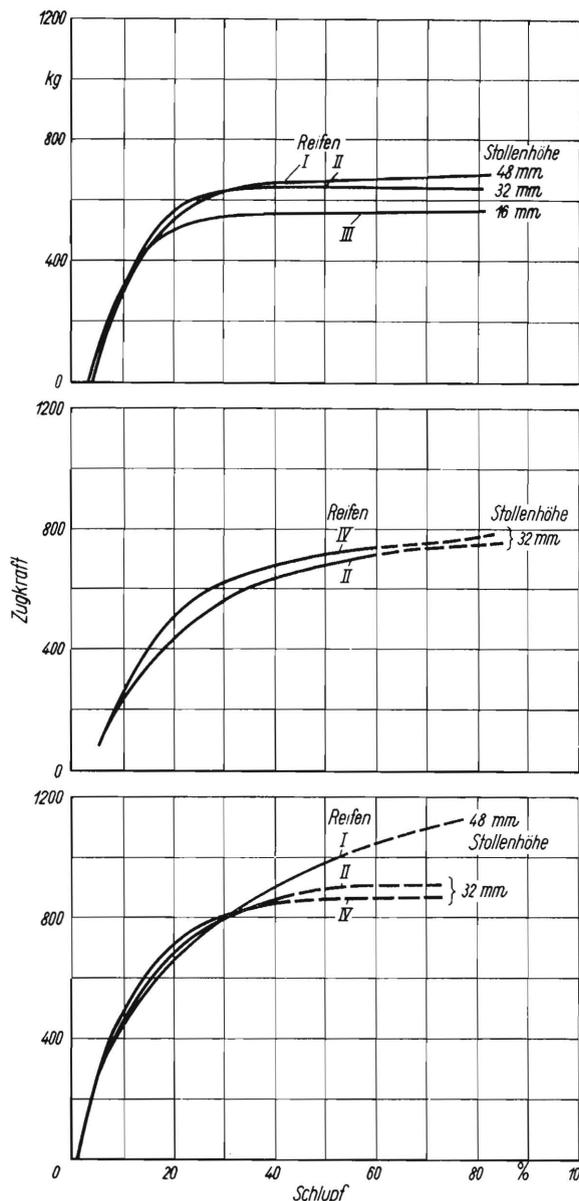


Bild 28 bis 30. Einfluss der Stollenhöhe und der Laufflächenbreite auf die Zugkraft bei Reifen 8-36 (s. Bild 27).

Bild 28 (oben): Lehm K mit 12% Ton, geschält, stark durchnässt.

Bild 29 (Mitte): Lehm G, geschält, trocken.

Bild 30 (unten): toniger Lehm J, Stoppel, nass.

bis zu etwa 35% Schlupf festzustellen, während bei grösseren Schlupfwerten die breitere Lauffläche grössere Zugkräfte ergab. In das gleiche Bild ist noch der Zugkraftverlauf für den Reifen mit normaler Laufflächenbreite, aber 48 mm hohen Stollen eingetragen. Dieser ergab hier bei grösseren Schlupfwerten erheblich grössere Zugkräfte als der Normalreifen. Er hat sozusagen eine Zugkraftreserve.

Zugfähigkeit auf Schmierböden

Es besteht zwar das Bestreben, den Wirkungsgrad des Laufwerkes auf trockenen bzw. wenig feuchten Böden weiterhin zu verbessern; es kann jedoch gesagt werden, dass auf derartigen Böden die benötig-

ten Zugkräfte bei nicht übertriebenen Anforderungen durch die heutigen Reifen geleistet werden können. Auf Schmierböden ist es dagegen oft unmöglich, die notwendige Zugkraft überhaupt zu erreichen. Von Industrie und Forschung wird daher dieses Problem vordringlich behandelt.

Unter dem Begriff „Schmierboden“ sollen verstanden werden:

1. bindige Böden, die durch Regenfall in der oberen Schicht nur geringe Scherfestigkeit haben und bei denen die Reibung zwischen Gummi und Boden klein ist, wo jedoch in einer tieferen Schicht die Festigkeit erhalten ist und
2. Böden, die auch in den tieferen Schichten stark durchnässt sind.

In beiden Fällen spielen hinsichtlich der Zugfähigkeit sowohl die Adhäsion zwischen Boden und Reifen als auch die Kohäsion des Bodens eine Rolle. Diese physikalischen Grössen können bekanntlich solche Werte annehmen, dass eine „Selbstreinigung“ des Reifens trotz aller konstruktiven Massnahmen und trotz richtiger Laufrichtung des Reifens nicht mehr erfolgt; die Profilierung wird dann infolge Zuschmierens unwirksam.

Bei den tief durchnässen Böden ist ferner die Tragfähigkeit des Bodens von entscheidendem Einfluss. Bei tiefem Einsinken des Laufwerkes kann der Rollwiderstand so gross werden, dass selbst die Eigenfortbewegung unmöglich wird.

Für sehr nasse aufgeweichte Böden sind besonders von amerikanischen Reifenfirmen Spezialprofile entwickelt worden, deren Merkmale besonders hohe Stollen mit grossen Abständen sind (spade grip tires). Da sich für die AS-Reifen mit der jetzt üblichen Profilierung der Name „Hochstollenreifen“

eingebürgert hat, wären die „spade grip tires“ als „Höchststollenreifen“ zu bezeichnen.

Auch die französische Firma *Michelin* stellt derartige Reifen (*Michelin Labour*) her. Die *Continental-Gummi-Werke* hatten bereits vor dem Kriege versuchsweise ein solches Profil entwickelt. Die grossen Abstände zwischen den Stollen verringern die Gefahr des Zuschmierens der Lücken. Für den Konstrukteur eines solchen Profiles ergibt sich u.a. das Problem, trotz dieser grossen Abstände einen ruhigen Lauf auf fester Bahn und ausreichende Verschleissfestigkeit zu erzielen.



Bild 31. Profilierung des Spezialreifens *Michelin Labour* 10 – 28.

Um einen Überblick zu bekommen, unter welchen Verhältnissen die Höchststollenreifen vorteilhaft sind und welche Gewinne an Zugkraft gegenüber üb-

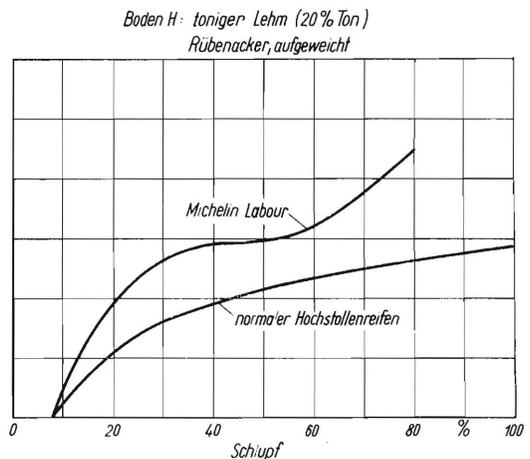
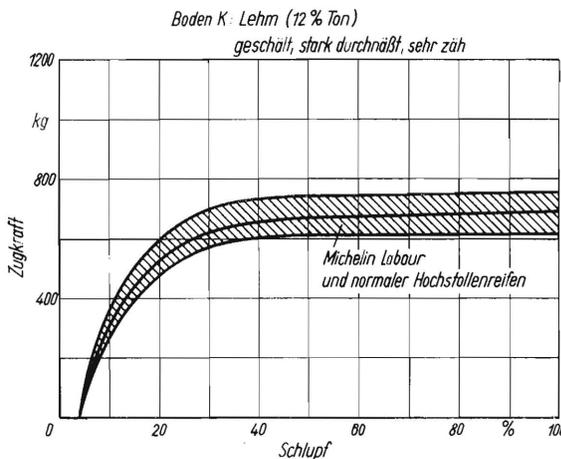


Bild 32 und 33. Vergleich zwischen einem *Michelin Labour* 10 – 28 und einem modernen Hochstollenreifen 10 – 28 AS.
Bild 32 (links): Auf einem sehr zähen, bindigen Boden liegen die Messwerte beider Reifen in dem schraffierten Bereich. Die Reifen sind hier einander gleichwertig.
Bild 33 (rechts): Auf aufgeweichtem Rübenacker ist der *Michelin Labour* erheblich besser.

lichen Hochstollenreifen zu erzielen sind, wurden Vergleichsversuche zwischen einem modernen Hochstollenreifen 10–28 AS einer deutschen Firma und einem 10–28 *Michelin Labour* (Bild 31) durchgeführt. Die wesentlichen Unterschiede der Profilierung sind:

	Michelin Labour 10 – 28	Hochstollenreifen 10 – 28 AS
Zahl der Stollen	14	18
mittlere Stollenhöhe (in mm)	57	35

Die Versuche ergaben folgendes:

1. Auf einem durchnässten Lehmboden, der sehr zähe war und die Profilierung beider Reifen bereits bei Leerfahrt zuschmierte, waren beide Reifen gleichwertig. Das schraffierte Feld in Bild 32 gibt den Bereich an, in dem die mit beiden Reifen gewonnenen Messpunkte liegen.

2. Auf einem stark durchnässten Rübenabfuhracker, der einen grösseren Wassergehalt aufwies und weniger zäh und tragfähig war als der Boden im vorigen Versuch, war der *Michelin Labour* erheblich besser. Bei diesem Reifen trat das Verschmieren erst bei grösserer Zugkraft ein. Selbst dann wurde beim Eintreten in die Bodenberührungsfläche der in den Profillücken befindliche Boden zur Seite herausgequetscht, so dass der Reifen stets eine Griffwirkung hatte. Dieses Verhalten ist auch im Verlauf der Zugkraft-Schlupf-Kurve (Bild 33) zu erkennen.

Ausser diesen vorstehend geschilderten Versuchen mit Luftreifen sind auch Vergleichsversuche mit Gleitschutzmitteln für Luftreifen und Kettenlaufwerken gemacht worden. Auf einem bindigen Boden mit oberer Schmierschicht wurden Flachstollenreifen, Hochstollenreifen, Klappgreifer auf Flachstollenreifen und ein wenig zweckmässiges Kettenlaufwerk verglichen (Bild 34). Das Kettenlaufwerk wird deshalb als wenig zweckmässig bezeichnet, weil es zu unwirksamen Greifern, eine zu kurze Auflagefläche und eine ungleiche Lastverteilung unter Zug hatte. Die Reifen hatten die Abmessungen 8,00–20 AS, hatten also für heutige Auffassungen einen kleinen Durchmesser. Auf diesem Boden schnitt der Hochstollenreifen ohne zusätzliche Gleitschutzmittel unter Berücksichtigung der auf dem Trieblaufwerk ruhenden Last (s. schraffierte Säulen in Bild 34) am besten ab.

Andere Ergebnisse wurden auf bis in tiefere Schichten durchnässtem Lehmboden erzielt (Bild 35). Hier waren die mit Gleitschutzmitteln versehenen Flachstollenreifen besser als der unbewehrte Hochstollenreifen. Das Bild veranschaulicht, dass ein Kettenlaufwerk an sich noch nicht die Garantie für gute Zugfähigkeit gibt. Grösse und Ausbildung der Auflagefläche, Lastverteilung über die Auflage und Aus-

bildung der Greifer beeinflussen die Zugfähigkeit des Kettenlaufwerkes.

Bei der Wertung dieser Versuche ist daran zu erinnern, dass Reifen 8,00–20 verwendet worden sind. Schon Reifen 8–36 würden infolge des grösseren Durchmessers für den Radschlepper bessere Zugkräfte ergeben. Macht man dann von den weiteren Möglichkeiten wie sehr breiten Reifen, Zwillingreifen, Höchststollen Gebrauch, dann dürfte der Unterschied zwischen Kettenschlepper und Radschlepper mit unbewehrten Reifen nicht mehr so gross sein, wie es in Bild 35 erscheint. Es muss allerdings angenommen werden, dass Höchststollenreifen, wenn sie für Strassenfahrt verwendet werden, einen verhältnismässig grossen Verschleiss der Stollen aufweisen, so dass ihre Wirksamkeit ständig nachlässt. Ihre Verwendung wird daher auf Spezialzwecke beschränkt bleiben.

Schlussbetrachtung

Unsere Kenntnisse über den Kraftschluss zwischen Laufwerk und Ackerboden sind heute noch nicht soweit gediehen, dass Zugkraft und Laufwerkswirkungsgrad unter Berücksichtigung aller möglichen Veränderungen am Laufwerk und Bodenzustände exakt vorausberechnet werden können. Das Versuchsmaterial aus zahlreichen Untersuchungen, die besonders in USA, England, Frankreich und Deutschland durchgeführt worden sind, gestattet jedoch, auf die meisten an den Konstrukteur herantretenden Fragen eine ungefähre Antwort zu geben. Eine vertiefte Betrachtung dieses Problems, bei der Laboratoriumsversuche und Ackerversuche sich ergänzen müssen, ist notwendig.

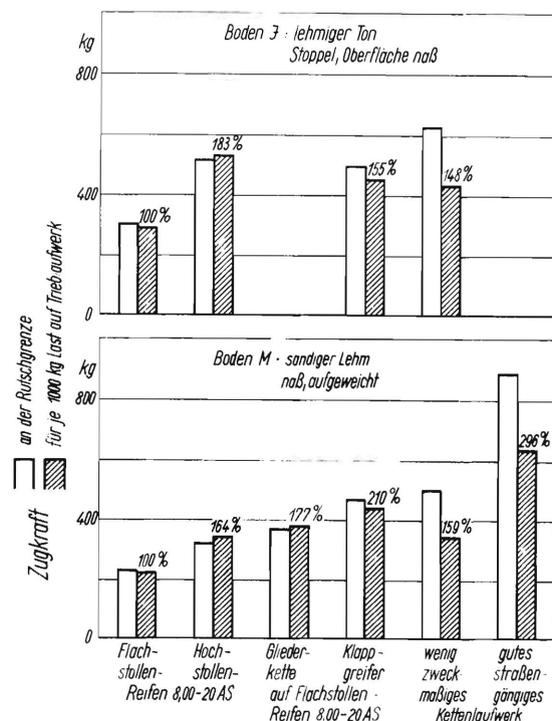


Bild 34 und 35. Vergleich der Zugfähigkeit verschiedener Laufwerke auf Schmierböden.

Schrifttum

- [1] Bock, G.: Reifenprobleme. In „Der Schlepper und sein Gerät“. Berichte über Landtechnik, Heft XI, S.19/29. Wolfratshausen 1950.
- [2] Meyer, H. und G. Bock: Fahrtmechanik. Landtechnik 6 (1951) S. 175/181.
- [3] Heyde, H.: Mechanik für Ingenieure. Bd.I Statik/Mechanik. Leipzig 1950, S. 46.
- [4] Söhne, W.: Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen, unter rollenden Rädern sowie bei der Bodenbearbeitung. Grundlagen der Landtechnik 1951, Heft 1, S. 90, Bild 10.
- [5] Lentz, A.: Arbeitsgeschwindigkeiten der Schlepper. Landtechn. Forschung 2 (1952) Heft 1.
- [6] Meyer, H.: Der Einfluss der Triebräder auf die Leistung der Radschlepper. Techn.i.d.Landw.12 (1931) S. 131/137.
- [7] Gross, W.A. und A.D.Elliott: Traction as influenced by soils and their condition. SAE National Tractor Meeting, Sept. 1946.
- [8] Söhne, W.: Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden. (In diesem Heft).
- [9] Meyer, H. und F. Kliefoth: Versuche über die Haftfähigkeit der Schlepperluftreifen auf schwerem Boden. Techn.i.d.Landw.16 (1935) S.317/321 und 17 (1936) S. 8/10.
- [10] Reed, J.F. und J.W.Shields: The effect of lug height and of rim width on the performance of farm tractor tires. SAE National Tractor Meeting, Sept. 1950.

Institut für Schlepperforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dipl. Ing. H. Meyer

Anschrift des Verfassers: Dipl. Ing. Günter Bock, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft



Versuchseinrichtung des Institutes für Schlepperforschung zum Messen von Zugkraft und Schlupf der Ackerschlepperreifen.

Links im Bilde der Schlepper mit den zu untersuchenden Reifen,
rechts der Bremswagen mit den Messinstrumenten.