

BEOBACHTUNGEN BEI FELDVERSUCHEN ÜBER DIE ZUGFÄHIGKEIT VON SCHLEPPERN

Von Günter Bock

Feldversuche über die Zugfähigkeit von Schleppern dienen einerseits dem direkten Vergleich verschiedener Schlepperbauformen, verschieden gestalteter Reifen, Gleisketten oder Gleitschutzvorrichtungen und andererseits der Ermittlung rechnerischer Unterlagen über Kraftschluss und Rollwiderstand der verschiedenen Schlepperlaufwerke, die der Konstrukteur braucht.

Durchführung und Wertung der Schlepperfeldversuche

In einem Bericht über Feldversuche mit Schleppern muss neben den Angaben über die Abmessungen und Gewichte des Versuchsfahrzeugs einschliesslich des Laufwerks eine ausreichende Kennzeichnung des Bodens nach Textur, Struktur, Feuchtigkeit, Festigkeit u.a. vorgenommen werden. Es müssen, streng genommen, so viele Eigenschaften des Bodens angegeben werden, dass eine Wiederholung des Versuches an einer anderen Stelle unter denselben Verhältnissen zu denselben Ergebnissen führt.

Der Vorgang der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn wird von der Bodenseite her gesehen im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst: von der Scherfestigkeit des Bodens, die ihrerseits von der Kohäsion und der inneren Reibung des Bodens abhängig ist, von der plastischen Verformbarkeit des Bodens, von der Reibung zwischen Reifen und Boden, von der Adhäsion (Klebekraft) zwischen Reifen und Boden. Dies sind jedoch Kenngrössen, die versuchstechnisch schwer zu erfassen sind und mit denen auch der Praktiker wenig anfangen kann. Sie sind aber für ein tieferes forschungsmässiges Eindringen in die Elementarvorgänge zwischen Reifen und Fahrbahn wichtig, über die *Söhne* [1] näher berichten wird. Glücklicherweise bestehen – allerdings noch nicht völlig bekannte – Zusammenhänge zwischen diesen und anderen, leichter erfassbaren Grössen, nämlich der Korngrössenverteilung, der Bodenfeuchtigkeit und der Bodendichte.

Die Korngrössenverteilung wird durch die Sieb- und Schlämmanalyse ermittelt und am vollkommensten durch eine Summenkurve dargestellt (vgl. *Stoppel* [2]). Einfacher, aber weniger aussagekräftig als die Summenkurve ist die Angabe der prozentualen Anteile der Kornfraktionen Grobsand, Feinsand, Schluff und Ton. Auf Grund des Gehalts an den einzelnen Kornfraktionen kann man die Böden klassifizieren. Man bedient sich dabei bekannter Bezeichnungen wie: sandiger Lehm, toniger Lehm

usw. Durch die mehr oder weniger weiten Grenzen einer solchen Klassifizierung können jedoch Böden, die mit demselben Begriff bezeichnet werden, merkbar unterschiedliche mechanische Eigenschaften haben, auch wenn die Bodenfeuchtigkeit und die Bodendichte gleich sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, in exakten Versuchsarbeiten zumindest die prozentualen Anteile der Kornfraktionen, noch besser aber die Summenkurven der Korngrössenverteilung anzugeben.

Die Bodenfeuchtigkeit ist einfach durch Trocknen einer Bodenprobe und durch Wägung vor und nach der Trocknung zu bestimmen. In Deutschland ist es im allgemeinen üblich, den Wassergehalt in Gewichtsprozent der Trockensubstanz anzugeben. Wenn der Wassergehalt in Bezug auf die Tiefe unterschiedlich ist, ist es bei gewissen Untersuchungen zweckmässig, ihn von Schicht zu Schicht festzustellen, wobei die Schichten etwa 1 bis 2 cm dick zu wählen sind. Im allgemeinen genügt bei Reifenversuchen allerdings die Feststellung der Feuchtigkeit in der oberen 4 bis 5 cm dicken Erdschicht.

Die Bodendichte wird am exaktesten durch Ermittlung des Porenanteils in verschiedener Tiefe festgestellt. Diese Methode ist jedoch sehr aufwendig und zeitraubend, so dass sie im allgemeinen bei Feldversuchen über Zugfähigkeit und Rollwiderstand nicht zur Anwendung kommt. Anstelle der Bodendichte wird vielfach zur Beschreibung der mechanischen Bodeneigenschaften die Angabe derjenigen Kraft genügen, die notwendig ist, um einen Körper – etwa einen zylindrischen Stab, einen Kegel oder eine Kugel – in den Boden zu drücken. Ein solches Gerät (Bodensonde) zur Aufzeichnung dieser Kraft hat bereits 1923 *von Meyenburg* [3] beschrieben. In Amerika sind derartige Geräte unter dem Namen Penetrometer bekannt und in Gebrauch. In Deutschland ist die Brauchbarkeit derartiger Geräte noch umstritten. Anstelle dessen beschränken wir uns vorläufig auf die Angabe des Bearbeitungszustandes (geschält, gepflügt, gegrubbert u.U. mit Angabe der Jahreszeit) bzw. des landwirtschaftlichen Kulturzustandes (Stoppel, Klee, Wiese u.ä.).

Bei schmierigen Böden ist es wichtig, zu wissen, ob der Boden stark oder weniger stark am Reifen haften bleibt. Erwünscht wäre ein einfaches feldverwendungsfähiges Gerät, mit dem man Kennwerte über die „Klebekraft“ ermitteln kann. Es scheint

so, dass gewisse Gummisorten stärker zum Kleben am Boden neigen als andere. Die Selbstreinigung der Reifen, die beim Fahren auf Schmierboden eine wesentliche Rolle spielt, könnte möglicherweise durch Auswahl geeigneter Gummisorten verbessert werden. Man sollte auch dieser Frage einmal nachgehen.

Es ist schwierig, Versuchsfelder von völlig gleichförmiger Beschaffenheit zu finden. Man würde deshalb, wenn man z.B. beim Vergleich von drei Reifenprofilen A, B und C nur wenige Messungen durchführt, möglicherweise das eine ungerecht beurteilen, wenn man die Messungen mit diesem auf zufällig schlechteren Stellen des Ackers vornimmt. Da man eine Untersuchung des Ackers auf Gleichmässigkeit seiner Beschaffenheit vor dem Versuch im allgemeinen nicht durchführen kann, ist eine gerechte Beurteilung bei Vergleichsversuchen nur möglich, wenn man mit jedem Reifen oder jedem Schlepper viele Messungen macht und zwar umso mehr, je grössere Unterschiede innerhalb der Versuchsfläche zu erwarten sind.

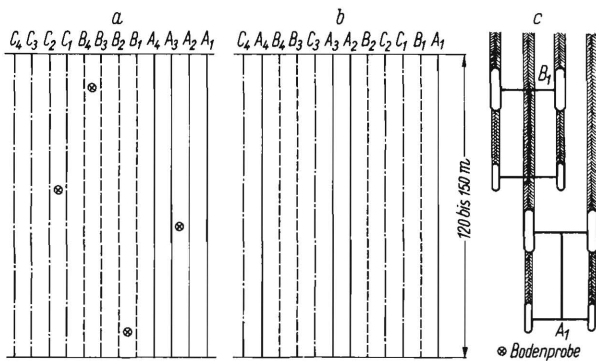


Bild 1. Anordnung der Messstrecken.

Um möglichst viele Messwerte (Zugkraft in Abhängigkeit vom Schlupf) auf einer verhältnismässig kleinen Versuchsfläche zu gewinnen, wird bei den vom Institut für Schlepperforschung durchgeführten Feldversuchen die nachstehend beschriebene Messmethode angewendet:

Nach Möglichkeit werden Felder von einer Länge von 120 bis 150 m ausgewählt. Auf einer Messstrecke, die das Versuchsfahrzeug mit dem angehängten Bremswagen zurücklegt, werden etwa 10 oder 12 Messpunkte bei verschiedenen Zugkräften gewonnen. Mit einer Reifenausrüstung wird die Messlänge mindestens dreimal, nach Möglichkeit viermal oder noch öfter durchfahren. Bei Boden stark unterschiedlicher Beschaffenheit, vor allem auf Schmierboden, müssen viele Messpunkte gewonnen werden, um zu einigermaßen sicheren Mittelwerten kommen zu können. Deshalb sind auf solchen Böden mehr als vier Fahrten notwendig. Dabei werden die Fahrten jeweils mit einer Reifenausrüstung nicht unmittelbar nebeneinander gelegt, sondern müssen über das Feld verteilt werden. Bei der Anordnung $A_1 A_2 A_3 A_4 B_1$

$B_2 B_3 B_4 C_1 C_2 C_3 C_4$ nach Bild 1a besteht nämlich die Gefahr, dass beim Vorliegen

a) einer stetigen Änderung der Bodeneigenschaften von A_1 nach C_4 oder

b) einer sprungweisen Änderung der Bodeneigenschaften, die z.B. zwischen B_4 und C_1 liegen möge,

etwa auftretende Unterschiede in der Zugfähigkeit auf die Reifen zurückgeführt werden, in Wirklichkeit aber durch die unterschiedlichen Bodeneigenschaften bedingt sind, oder aber dass – sofern die Änderung der Bodeneigenschaften erkannt worden ist – nachträglich nicht festgestellt werden kann, welcher Anteil im Unterschied der Zugfähigkeit zweier Reifen nun auf den Boden und welcher auf die Reifen zurückzuführen ist.

Ob nun eine gleichsinnige Fahrtenfolge $A_1 B_1 C_1 A_2 B_2 C_2$ oder eine wechselnde Fahrtenfolge etwa $A_1 B_1 C_1 C_2 B_2 A_2 A_3 C_3 B_3 B_4 A_4 C_4$ zweckmässiger ist, sei dahingestellt.

Sofern es möglich ist, werden jeweils zwei Doppelpuren in der in Bild 1c gezeigten Weise ineinander gelegt.

An vier Stellen des Versuchsfeldes werden Bodenproben für die mechanische Bodenanalyse entnommen. Wenn diese Bodenproben etwa gleiche Werte (s. Zahlentafel 1) zeigen, kann man mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass das Feld insgesamt gleichförmig ist. Wenn die Bodenproben grössere Unterschiede (s. Zahlentafel 2) aufweisen, dann ist es zwar ein Hinweis, dass das Versuchsfeld nicht gleichförmig ist, jedoch ist daraus noch nicht zu erkennen, welche Teile des Ackers nun diese Beschaffenheit haben und welche jene.

Zahlentafel 1
Bodenanalyse eines sandigen Lehmes.

Probe	Grobsand	Feinsand	Schluff	Ton	Wasser
	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. % *)
A	39,4	34,4	17,2	9,0	12,5
B	39,4	35,2	17,9	7,5	13,7
C	39,5	34,5	17,8	8,2	13,0
D	37,6	36,2	16,4	9,8	12,9

*) der Trockensubstanz

Zahlentafel 2
Bodenanalyse eines tonigen Lehmes.

Probe	Grobsand Gew. %	Feinsand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Wasser	
					Boden feucht Gew. % *)	Boden nass Gew. % *)
A	18,5	35,5	30,6	15,4		26,3
B	12,2	30,6	32,9	24,3	~15	28,0
C	13,4	30,2	32,4	24,0		28,5
D	13,7	35,1	27,6	23,6		25,4

*) der Trockensubstanz

An drei Beispielen soll gezeigt werden, wie sich die Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit auf die Grösse und Streubreite¹⁾ der Messwerte auswirken können. Bild 2 zeigt die Messwerte von einem Versuch auf einem sandigen Lehm von sehr gleichmässiger Beschaffenheit bezüglich der Korngrössenzusammensetzung und der Bodenfeuchtigkeit (s. Zahlen-

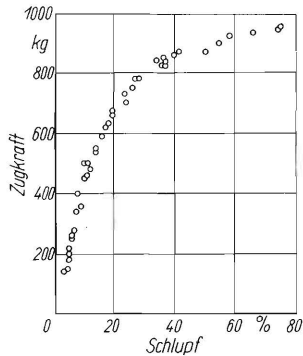


Bild 2. Geringe Streubreite der Messwerte auf einem gleichmässigen, sandigen Lehm nach Zahlentafel 1.

Bodenzustand: Acker, geschält.
Reifen 10–28 AS; 0,8 atü
Hinterachslast $G_h = 1400$ kg

tafel 1). Man erkennt, dass die Streubreite der Messwerte sehr gering ist. In Bild 3 und 4 werden Versuchsergebnisse von zwei Versuchen, die zu verschiedenen Zeiten auf demselben Acker durchgeführt worden sind, gezeigt. Die Analysen der vier Bodenproben (Zahlentafel 2) lassen erkennen, dass die Zusammensetzung des tonigen Lehmes dieses Versuchsfeldes unterschiedlich war. Im feuchten Zustand (genaue Bestimmungen des Wassergehalts sind hier leider nicht vorgenommen worden; er betrug etwa 15%) machen sich die Unterschiede noch nicht sehr bemerkbar (Bild 3). Immerhin ist die Streubreite der Messwerte bei diesem Versuch bereits erheblich grösser als bei dem in Bild 2 dargestellten. Die Ergebnisse des Versuchs auf dem sehr nassen Boden (25 bis 28% Wassergehalt) zeigen dagegen eine sehr starke Streubreite (Bild 4), die so gross ist, dass eine Mittelwertbildung und damit ein Vergleich mit einem anderen Reifen bei der unter diesen Umständen zu geringen Anzahl von Messpunkten nicht verantwortet werden konnte.

Neben der bereits besprochenen unterschiedlichen Bodenzusammensetzung lag bei dem Versuch, dessen Ergebnis in Bild 4 dargestellt ist, auch eine unterschiedliche Feuchtigkeit vor. Die vier Bodenproben zeigten Wassergehalte von 26,3; 28,0; 28,5 und 25,4%. Bei verhältnismässig grosser Feuchtigkeit nimmt die Scherfestigkeit des Bodens schon mit geringer Vergrösserung des Wassergehalts beträchtlich ab. Deshalb ist anzunehmen, dass wegen der

örtlich ungleichförmigen Bodenfeuchtigkeit die Scherfestigkeit grössere Unterschiede aufgewiesen hat als bei dem Versuch auf dem nur feuchten Acker, woraus die stärkere Streubreite der Messwerte in erster Linie zu erklären ist. Allerdings hat auch der Umstand eine Rolle gespielt, dass der Reifen einmal etwas stärker, dann etwas weniger stark verschmiert gewesen ist. Dieses Verhalten kann wohl darauf zurückgeführt werden, dass auch die Adhäsion zwischen Reifen und Boden, also die „Klebekraft“, durch geringe Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes stark beeinflusst wird.

Besonders das Bild 4 mahnt nun zur Vorsicht bei Vergleichsversuchen auf nicht gleichförmigen Böden. Ermittelt man Zugkraft und Schlupf mit dem Messwagen, so ist bei genügend grosser Anzahl von Messwerten eine Mittelwertskurve mit einiger Sicherheit anzugeben und ein evtl. bestehender Unterschied zwischen zwei Schleppern oder zwei Reifenausrüstungen aufzufinden, vorausgesetzt, dass die Messfahrten über das Feld verteilt werden. Wenn man aber mit einem angehängten Arbeitsgerät oder einem Ackerwagen den Zugwiderstand erzeugt, muss berücksichtigt werden, dass auch der Widerstand des Gerätes oder des Wagens an verschiedenen Stellen des Ackers verschieden gross sein kann.

In Bild 5 ist links der Verlauf der Zugkraft eines Schleppers über dem Schlupf schematisch dargestellt. Der Streubereich ist schraffiert angedeutet. Für einen zweiten Schlepper, der sich von dem ersten nur durch die Laufflächenmusterung seiner Reifen unterscheidet, möge der gleiche Zugkraft-Schlupf-Verlauf bei derselben Streubreite vorliegen. Rechts im Bild ist der Fahrwiderstand W eines gezogenen Anhängers angegeben. Der schraffierte Bereich gibt an, welche Fahrwiderstandswerte auf dem Feld auftreten können, auch wenn keinerlei Veränderungen am Anhänger und in seiner Belastung vorgenommen werden.

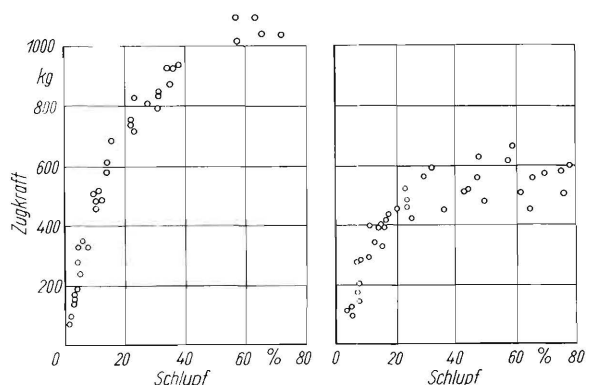


Bild 3 und 4. Grosse Streubreiten der Messwerte auf einem ungleichmässigen, tonigen Lehm nach Zahlentafel 2.

1) Die hier benutzten Ausdrücke „Streubreite“ und „Streubereich“ sind nicht mit der in der Statistik gebräuchlichen „Streuung“ (= mittlere quadratische Abweichung) in Zusammenhang zu bringen, sondern sollen den gesamten Bereich der jeweils gemessenen Werte umfassen (entsprechend der „Variationsbreite“ in der Biologie).

	Bild 3 (links)	Bild 4 (rechts)
Bodenzustand	Acker geschält	Acker geschält
Feuchtigkeit	~ 15 %	i. M. 27 %
Reifen	9,00–24 AS; 0,8 atü	10–28 AS; 0,8 atü
Hinterachslast G_h	1300 kg	1400 kg

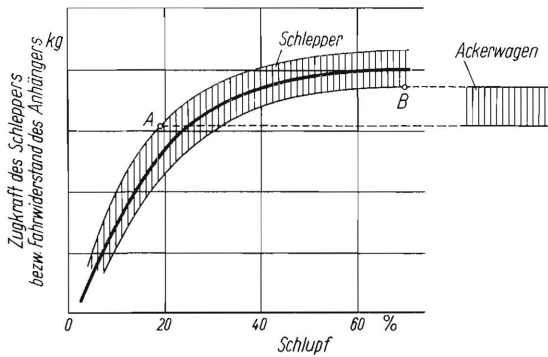


Bild 5. Ausserachtlassen der Streubreiten von Schlepperzugkraft und Anhängerfahrwiderstand kann bei Feldversuchen zu Fehlschlüssen führen.

Wenn man nun die beiden Schlepper in der Weise vergleicht, dass man zuerst den einen Schlepper den Anhänger eine Strecke ziehen lässt und dann den anderen Schlepper vor den Anhänger spannt, dann kann folgendes eintreten: Der erste Schlepper fährt über verhältnismässig günstigen Boden, auf dem der Fahrwiderstand des Anhängers sich an der unteren Grenze des Widerstandsbereiches bewegt, während der Schlupf der Schleppertriebäder bei der entsprechenden Zugkraft verhältnismässig gering ist (Fall A, Bild 5). Der Schlepper mit den anderen Reifen fährt nun auf einer Fahrstrecke mit ungünstigen Eigenschaften. (Es ist dabei durchaus möglich, dass man die ungünstigeren mechanischen Eigenschaften des Bodens mit dem Auge nicht erkennen kann.) Der Fahrwiderstand des Anhängers liegt hier an der oberen Grenze des Widerstandsbereiches. Der Schlupf der Triebäder nimmt jetzt die grössten Werte an, die bei der erforderlichen Zugkraft im Rahmen des Streubereiches möglich sind. Im ungünstigsten Falle wird der Schlepper mit durchrutschenden Rädern auf der Stelle stehen bleiben (Fall B, Bild 5).

Die am zweiten Schlepper verwendeten Reifen würden daraufhin schlechter beurteilt als die des ersten Schleppers, obgleich bei genügend grosser Anzahl von Messungen und bei richtiger Anlage der Versuche beide Reifen sich als gleichwertig erweisen würden.

Einfluss der Achslast auf die Triebkraft bzw. den Kraftschlussbeiwert

Es ist vielfach üblich, die Triebkraft²⁾ des Schleppers aus dem Produkt Triebachslast und Kraftschlussbeiwert zu berechnen, wobei der Kraftschlussbeiwert als unabhängig von der Achslast angenommen wird. Jedoch zeigte die Praxis, dass diese Auffassung nicht immer richtig ist.

2) Die Triebkraft T ist die von den Triebädern am Boden abgestützte, in Fahrtrichtung wirkende Kraft; sie ist bei einem hinterradgetriebenen Vierradschlepper bei nicht beschleunigter Fahrt auf waagerechter Fahrbahn gleich der Summe aus der Zugkraft Z und dem Rollwiderstand der Vorderräder R_v . Es ist also $T = Z + R_v$. Es wird vorausgesetzt, dass die Triebkraft nicht durch die Motorleistung begrenzt wird.

Frühere Versuche zu dieser Frage hatten folgendes ergeben:

- Auf Reibungsboden³⁾ hatten Ackerschlepperreifen mit 0,8 atü Innendruck im Bereich von 60% bis 100% Ausnutzung der Tragfähigkeit einen von der Achslast unabhängigen gleichbleibenden Kraftschlussbeiwert.
- Auf wenig feuchten, bindigen Böden wurde der Kraftschlussbeiwert mit zunehmender Achslast sogar etwas grösser.

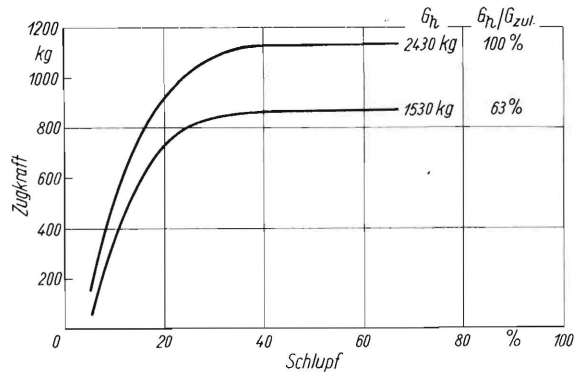


Bild 6. Zugkraft-Schlupf-Kurven bei zwei verschiedenen Achslasten.

Boden: nasser, weicher Lehm
Reifen 13-30 AS; 0,8 atü

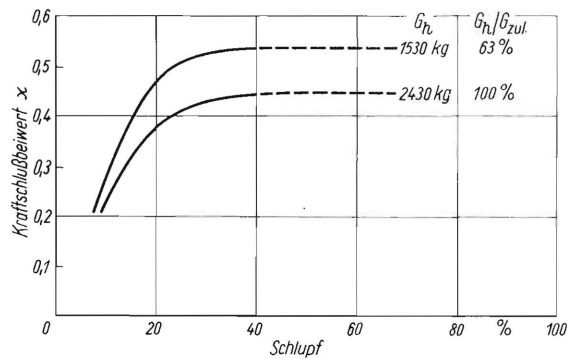


Bild 7. Kraftschlussbeiwert in Abhängigkeit von der Triebachslast, Boden und Reifen wie in Bild 6.

$\kappa = T/G'_h$ Kraftschlussbeiwert
 T Triebkraft
 G'_h Triebachslast beim Fahren
 G^h statische Triebachslast
 G^h_{zul} zulässige Achslast (nach Reifenkatalog)

Neue Versuche auf nassem, aufgeweichtem, wenig tragfähigem Boden mit Reifen 13-30 AS bei 0,8 atü Innendruck ergaben das in Bild 6 gezeigte Zugkraftverhalten. Bei der grösseren Achslast von 2430 kg, die eine etwa 100%ige Ausnutzung der Tragfähigkeit des Reifens bei 0,8 atü darstellt, war also eine höhere Zugkraft erzielt worden als bei einer Achslast von 1530 kg (entsprechend einer 63%igen Ausnutzung der Tragfähigkeit). Die Zunahme der Zugkraft entsprach aber nicht der Vergrösserung der Achslast. Dieses geht deutlich hervor aus dem Verlauf der Kraftschlussbeiwerte für die beiden Be-

3) Unter Reibungsboden wird ein Boden verstanden, bei dem die horizontalen Scherkräfte im wesentlichen durch Reibung übertragen werden.

lastungen. Bild 7 zeigt, dass der Kraftschlussbeiwert bei 100%iger Ausnutzung der Tragfähigkeit (2430 kg) nur etwa 80% des Kraftschlussbeiwertes beträgt, der bei 1530 kg Achslast erzielt worden ist.

Ein ähnliches Verhalten fanden wir bei Versuchen auf einem kultivierten Hochmoor. Das Versuchsfeld war mit Hafer bestellt gewesen und im August 1952 getellert worden. Der Versuch wurde im November 1952 vorgenommen, als nach starken Regenfällen der Moorboden sehr nass war. Die Messungen wurden mit Reifen 10–28 AS bei 0,8 atü Reifeninnendruck durchgeführt. Als statische Belastungen der Hinterachse wurden 850 kg = 60 % und 1300 kg = 93 % der Tragfähigkeit der Reifen bei 0,8 atü gewählt. Die Bilder 8 und 9 zeigen den Verlauf der Zugkräfte bzw. der Kraftschlussbeiwerte über dem Schlupf.

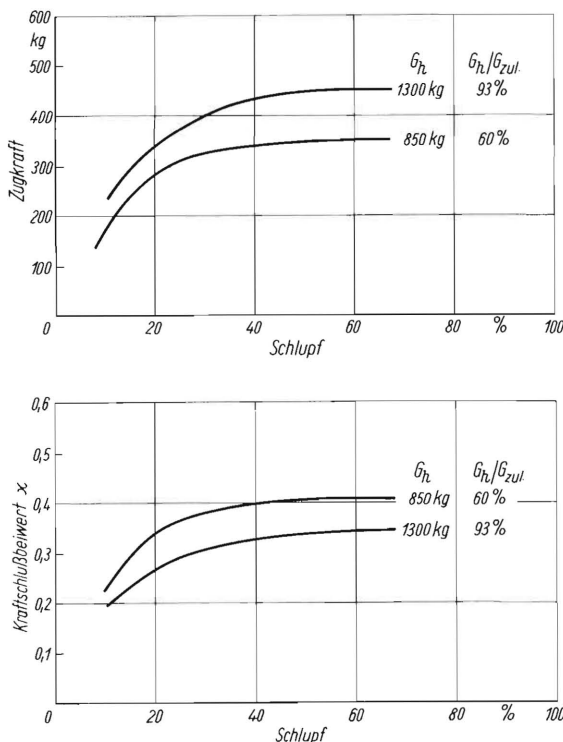


Bild 8 und 9. Zugkraft und Kraftschlussbeiwert über dem Schlupf in Abhängigkeit von der Achslast auf nassem, kultiviertem Hochmoor. Reifen 10–28 AS; 0,8 atü

Aus den bisherigen Versuchen ergibt sich noch kein abgerundetes Bild über den Einfluss der Achslast auf die Triebkraft des Schleppers; jedoch ist zu erkennen, dass unterschieden werden muss zwischen:

- a) dem Reibungsboden,
- b) einem wenig feuchten, bindigen Boden und
- c) einem wenig tragfähigen Boden.

Im letzten Fall kommt es darauf an, ein tiefes Einsinken der Schleppertriebbräder zu vermeiden, um den Eigenrollwiderstand nicht zu gross werden zu lassen. Dies gelingt durch grosse und breite Reifen oder andere Mittel zur Verbreiterung der Bodenberührungsfläche.

Bei allen bislang durchgeführten Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Böden, die vom sehr festen, bindigen Mineralboden bis zum wenig tragfähigen Moorboden reichten, hat eine Zusatzlast stets eine Vergrösserung der Triebkraft zur Folge gehabt. Es muss allerdings betont werden, dass es sich immer um übliche Ackerschlepper-Reifen bei Belastungen innerhalb der Tragfähigkeit der Reifen bei 0,8 atü Innendruck handelte. Beobachtungen in der Praxis lassen den Schluss zu, dass bei spezifisch höher belasteten Reifen von einer bestimmten Grenze an Zusatzlasten keinen Gewinn an Triebkraft mehr bringen können, wenn Böden von geringer Tragfähigkeit befahren werden.

Zugfähigkeit von Schlepperreifen auf Moorböden

Bekanntlich bereitet die Transporteinheit Radschlepper mit Ackerwagen dem Landwirt grosse Sorgen, wenn infolge starker Niederschläge die Zugfähigkeit des Schleppers absinkt, während gleichzeitig der Fahrwiderstand des Ackerwagens erheblich zunimmt. Das trifft besonders auf Moorböden zu. In Bild 10 ist dieser Zusammenhang schematisch

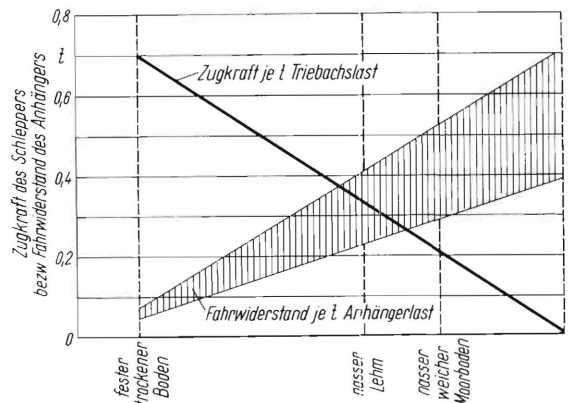


Bild 10. Schlepperzugkraft und Fahrwiderstand eines Ackerwagens auf waagerechter Fahrbahn in Abhängigkeit von Bodenart bzw. -zustand.

dargestellt worden. Links sind Werte angegeben für einen festen, trockenen Boden. Die Zugkraft je t Triebachslast beträgt etwa 0,7 t, während der Fahrwiderstand des Anhängers je t Anhängerlast von 0,05 bis 0,08 t je nach der Festigkeit des Bodens und nach Reifengrösse, Reifeninnendruck und Auslastung des Reifens schwankt. Je ungünstiger der Kraftschluss eines Bodens ist, umso weiter rechts im Bild müsste dieser Boden eingeordnet werden. Je nachdem, ob der Kraftschluss infolge einer starken Schmierschicht oder mehr infolge der Lockerheit des Bodens schlechter wird, wird sich nun ein Anhängerwiderstand einstellen, der entweder an der unteren Grenze oder mehr nach der oberen Grenze des Widerstandsbereiches zu liegen kommt. Auf aufgeweichtem Schmierboden, wie er im Herbst bei der Rübenabfuhr oft zu finden ist, tritt etwa der Fall ein, dass bei 0,3 t Zugkraft je t Triebachslast etwa

0,3 t Fahrwiderstand je t Anhängergewicht vorliegen. Bei sehr nassem, wenig tragfähigem Boden (z.B. nassem Moor) tritt ein Kraftschlussbeiwert von etwa 0,2 t je t Triebachslast und ein Fahrwiderstand von etwa 0,3 bis 0,5 t je Anhängergewicht auf. Die Bodenverhältnisse können aber auch so katastrophal schlecht werden, dass der Schlepper überhaupt keine Zugkraft mehr ausüben kann. An solchen Stellen ist dann der Fahrwiderstand eines Anhängers, den man etwa durch eine Seilwinde bewegen muss, so gross, wie aus dem Widerstandsbereich ganz rechts im Bilde hervorgeht.

Um bei ungünstigen Bodenverhältnissen noch befriedigende Transportleistungen zu erzielen, muss man

- 1) den Zugwiderstand des Anhängers verringern durch Reifen grösserer Abmessungen (u.U. bei verringertem Innendruck), evtl. durch Verbreiterungen oder Zwillingsreifen⁴⁾, Raupenlaufwerke und vor allen Dingen durch Lastverringern und
- 2) die Zugkraft des Schleppers verbessern durch Reifen grösserer Abmessungen, durch Zwillingsreifen, Gitterräder, Gleitschutzmittel, Vierradantrieb oder Kettenlaufwerke und – mit Einschränkungen – durch zusätzliche Beschwerung der Triebachsen.

Auf Sonderlösungen, wie Zapfwellenantrieb des Anhängers, soll hier nicht eingegangen werden.

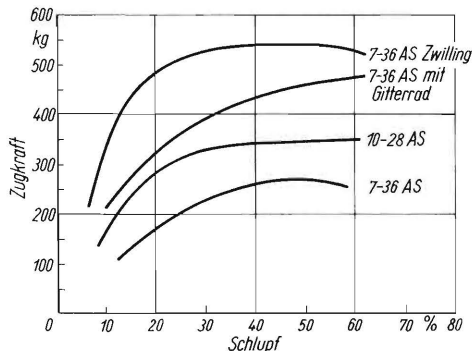


Bild 11. Zugkraftgewinn durch Verwendung breiterer Reifen und zusätzlicher Verbreiterungen auf nassem Moorboden. Reifeninnendruck in allen Fällen 0,8 atü. Triebachslast $G_h = 850$ kg bei Einfachbereifung 7-36 AS

Im Rahmen einer Untersuchung über die Möglichkeiten der Motorisierung von Moorwirtschaften wurden Zugkraftmessungen mit verschiedenen Reifenausstattungen auf kultiviertem Hochmoor durchgeführt. Von besonderem Interesse dürfte das Ergebnis einer Versuchsreihe mit einem Schlepper sein, der ungefähr 850 kg Hinterachslast und 500 kg Vorderachslast hatte und neben der Normalbereifung 7-36 AS mit Reifen 10-28 AS, 7-36 AS mit Gitterrädern und 7-36 AS Zwillingsbereifung ausgerüstet wurde.

4) Unter Zwillingsreifen wird an dieser Stelle und in den folgenden Ausführungen die zusätzliche Anordnung eines zweiten Reifens neben dem üblichen, dessen Tragfähigkeit an sich ausreichend ist, verstanden. Beim Strassenfahrzeug dagegen spricht man von Zwillingsreifen, wenn an Stelle eines grösseren Reifens zwei kleinere verwendet werden, von denen jeder nur etwa die Hälfte der erforderlichen Tragfähigkeit besitzt.

Die Versuche wurden im November 1952 auf nassem, kultiviertem Hochmoor durchgeführt. Das Ergebnis der Vergleichsmessungen geht aus Bild 11 hervor. Es ist zu beachten, dass der Reifeninnendruck stets 0,8 atü betragen hat. Man könnte entgegenhalten, dass bei der Verwendung von Gitterrädern

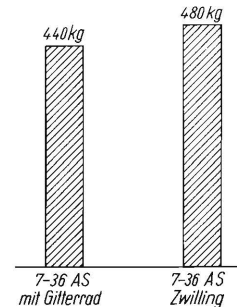


Bild 12. Zugkräfte eines 16 PS-Schleppers mit Gitterrädern bzw. Zwillingsbereifung auf sehr nassem Moorboden. Reifen 7-36 AS. Triebachslast $G_h = 950$ kg

der Reifeninnendruck geringer sein soll. Die Empfehlung eines Reifeninnendruckes von 0,5 atü bezieht sich auf den Einsatz des Schleppers mit Gitterrädern bei Bestellarbeiten im Frühjahr. Bei grösseren Zugkräften, vor allem auch dann, wenn ein Wechsel vom Feld auf den Feldweg erfolgt, – z.B. beim Kartoffelfahren im Herbst – kann ein Luftdruck von 0,5 atü nicht empfohlen werden. Deshalb wurden die Versuche auch bei Gitterrädern mit 0,8 atü durchgeführt. Es wurde noch eine Vergleichsmessung zwischen der Ausstattung 7-36 AS mit Gitterrad und 7-36 AS Zwillingsbereifung auf einem noch nasserem Schlag als vorher durchgeführt. Dabei wurden allerdings nur die Höchstkräfte dicht vor der Rutschgrenze gemessen. Bild 12 zeigt die Ergebnisse. Wie im vorher beschriebenen Versuch erwies sich auch hier die Zwillingsbereifung dem Gitterrad etwas überlegen.

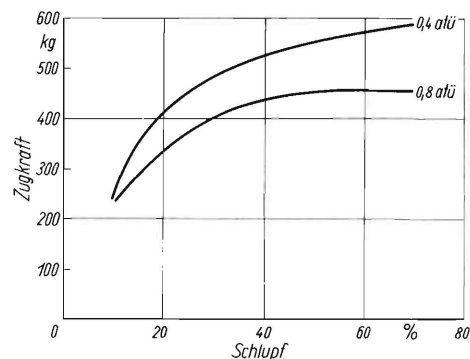


Bild 13. Zugkraft eines Schleppers auf nassem, kultiviertem Hochmoor bei verschiedenem Reifenluftdruck. Reifen 10-28 AS. Triebachslast $G_h = 1300$ kg

Welche Möglichkeiten in einer weiteren Absenkung des Luftdruckes gerade beim Einsatz auf Moorböden noch liegen, bewies ein Versuch mit Reifen 10-28 AS bei 1300 kg Triebachslast und Reifeninnendruck von 0,4 und 0,8 atü (Bild 13).

Der Reifeninnendruck von 0,4 atü ist zwar vorläufig in der Praxis noch nicht zu verwirklichen. Immerhin scheint es sich zu lohnen, dieser Frage nachzugehen. Die Abplattung des Reifens bei 0,4 atü Innendruck war auf dem Moorboden zwar längst nicht so ausgeprägt wie auf starrem Untergrund, aber immerhin noch so stark, dass sie Reifen mit dem heutigen Unterbau auf die Dauer nicht gut bekommen würde. Ausserdem trat eine weitere Erscheinung auf: die Faltung der Seitenwand. In Bild 14 kommt die Falte nicht gut zum Ausdruck, deshalb ist ein deutlicheres Bild 15 von der Seitenwandfaltung aus einem amerikanischen Bericht [4] gezeigt. In dieser Seitenwandfaltung liegt eine wichtige Grenze der Luftdrucksenkung, selbst wenn es gelingen sollte, den sicheren Sitz des Reifens auf der Felge auch bei niedrigeren Luftdrücken als 0,8 atü zu gewährleisten.



Bild 14. Seitenwandfaltung eines Reifens mit 0,4 atü Luftdruck auf Moorboden (zu Bild 13).

Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse der Zugkraftmessungen auf Moorboden auf alle anderen ungünstigen Bodenverhältnisse ist nicht möglich. So kann es z.B. vorkommen, dass auf einem Waldboden mit etwa 30 cm starker, dicker humoser, nasser Oberschicht das einfach bereifte Rad durch diese Schicht hindurchdrückt auf festen, griffigen Untergrund, während die Zwillingsbereifung auf der nachgiebigen Oberschicht „schwimmt“ und deshalb weniger Triebkraft übertragen kann. Schlechte Erfahrungen mit Gitterrädern und Zwillingsbereifung sind auch auf tonreichen Schmierböden mit grosser Klebkraft gemacht worden, wo der Boden in dicken Wülsten auf

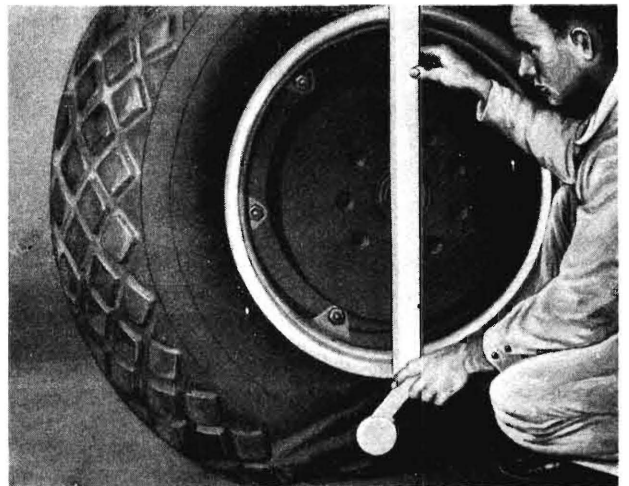


Bild 15. Seitenwandfaltung eines Reifens (aus einem amerikanischen Bericht [4]).

das Rad gewalzt wird, bzw. wo das Erdreich durch die Stäbe des Gitterrades hindurchgequetscht wird und sich im Inneren in dicken Klumpen ansammelt. In solchen Fällen ergaben sowohl Zwillingsbereifung als auch Zusatzgitterräder keine Verbesserung der Zugkraft des Schleppers, wohl aber einen erhöhten Leistungsverlust durch vergrösserten Rollwiderstand.

Schrifttum

- [1] Söhne, W.: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. (In diesem Heft.)
- [2] Stoppel, Th.: Die Kennzeichnung der Ackerböden nach der Textur. In: Grundl. d. Landtechn. Heft 3. Düsseldorf 1952. S. 101/108.
- [3] Meyenburg, K. von: Registrier-, Druck- und Festigkeitssonde für Kulturböden und andere stechbare Körper. Int. Mitt. f. Bodenkunde 13 (1923) S. 201.
Meyenburg, K. von: Bodenfestigkeitsprüfer. Landmasch. 6 (1926) S. 713/715.
Delille, Kurt: Verfahren zur Feststellung der Bodenfestigkeit. Dt. Landw. Presse 52 (1925) S. 194.
Delille, Kurt: Das Bedürfnis nach einem Bodenfestigkeitsprüfer. Landmasch. 6 (1926) S. 681/682.
Delille, Kurt: Fühlen oder Messen? Zur Untersuchung der Bodenfestigkeit. Landmasch. 7 (1927) S. 99/100.
Speiser, Heinz: Versuche zur Erprobung des Bernstein'schen Bodenschnittprüfers. Diss. Univ. Halle-Wittenberg 1929.
- [4] Mc Kibben, E.G., J.F. Reed and C.A. Reaves: Some effects of rim width on tractor tire performance under four conditions. Agricult. Engng. Bd. 33, August 1952, S. 487/490.

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