

# Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT  
UND FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA

Heft 5/1961

17. OKT. 1961  
Erl.

MÜNCHEN

11. JAHRGANG

Franz Josef Sonnen:

## Ein Überblick über Ergebnisse von Feldversuchen mit Triebdadreifen von Ackerschleppern

*Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode*

Untersuchungen zur Verbesserung der Zugfähigkeit von Luftreifen gingen bis vor wenigen Jahren kaum über die Messung von Zugkraft, Fahrwiderstand und Schlupf an Rädern und Fahrzeugen natürlicher Größe hinaus. Dabei war man bestrebt, nur eine Einflußgröße zu ändern und die anderen möglichst konstant zu halten. Solche Versuche werden sowohl auf dem Acker, also unmittelbar unter den Bedingungen der Praxis, als auch in Bodenrinnen mit immer wiederholter Aufbereitung des Versuchsbodens gemacht. In jüngerer Zeit werden diese Untersuchungen auch mit Modellen in verkleinertem Maßstab in Bodenrinnen durchgeführt.

Das Ziel aller derartigen Untersuchungen, nämlich das Erkennen innerer Zusammenhänge und die Vorausberechnung der Wirkung irgendwelcher Veränderungen, setzt eine Theorie oder mindestens eine Arbeitshypothese voraus. Diese können allein aus Feldversuchen nicht oder nur mit großem Aufwand erarbeitet werden; dafür sind systematische Versuche in Bodenrinnen besser geeignet, sofern die Gültigkeit ihrer Ergebnisse für die Praxis laufend überprüft wird. Wie die erste internationale Konferenz über die Mechanik des Systems Boden—Fahrzeug gezeigt hat, wird unter dem Einfluß der grundlegenden Veröffentlichungen von BEKKER [1; 2] in den einschlägigen Forschungsinstituten verschiedener Länder an einer wissenschaftlichen Durchdringung dieser Probleme gearbeitet.

Im Institut für Schlepperforschung sind Versuche zur Verbesserung der Zugfähigkeit von Luftreifen bisher ausschließlich auf dem Felde durchgeführt worden; dabei wurde der Boden durch die Angabe von Art und Zustand gekennzeichnet. Für letzteren wurden landwirtschaftliche Begriffe verwendet, wie Lockerheit, Bearbeitungszustand, Bewuchs und Feuchtigkeit. Seit dem Jahre 1960 werden, soweit wie irgend möglich, parallel zu den Zugkraftversuchen Bodenkenngrößen ermittelt. Die Versuche gestatten den Vergleich von Reifen verschiedener Ausführung unter bestimmten Verhältnissen und ermöglichen es, die Einsatzgrenzen von Zug- und Arbeitsmaschinen sowie Transportfahrzeugen unter landwirtschaftlichen Bedingungen abzustecken. Eine allgemein gültige Wertung der einzelnen Ergebnisse war jedoch noch nicht möglich. Eine Sichtung der gesamten, zum Teil auch unveröffentlichten Unterlagen aus älteren [3÷7] und neuen Versuchen führte zu Erkenntnissen, über die im folgenden berichtet wird<sup>1)</sup>.

Die Deutung der Versuchsergebnisse fügt sich in die Theorie von BEKKER ein, ohne daß im einzelnen ein rechnerischer Nachweis geführt werden kann. Eine weitere, grundsätzliche Bearbeitung dieser Fragen in der Bodenrinne ist geplant.

### Methode der Versuchsdurchführung und der Auswertung

Die zu untersuchenden Triebdadreifen werden an einem Schlepper angebaut, der einen Meßwagen zu ziehen hat, dessen Zugwiderstand beliebig variiert werden kann; die Zugkraft des Schleppers und der Schlupf seiner Triebräder werden registriert. Der Fahrwiderstand der Vorderachse und derjenige des gesamten Schleppers werden

getrennt ermittelt; hieraus kann mit hinreichender Genauigkeit der Fahrwiderstand der Triebräder bei Leerfahrt errechnet werden. Für die Errechnung des Kraftschlußbeiwertes wäre an sich die Kenntnis des Fahrwiderstandes in Abhängigkeit vom Schlupf erforderlich. Da die Feststellung dieses Verlaufes jedoch bei Feldversuchen große Schwierigkeiten bereitet, andererseits selbst eine Verdopplung des Fahrwiderstandes mit steigendem Schlupf eine Änderung des Kraftschlußbeiwertes nur um etwa 2% bei üblichen Abmessungen ergäbe, wird der Fahrwiderstand bei Leerfahrt benutzt. Der Ausdruck „Kraftschlußbeiwert“ wird hier als Oberbegriff verwendet, während bei eindeutigen Triebkräften oder Bremskräften die Bezeichnungen „Triebkraftbeiwert“ oder „Bremskraftbeiwert“ gewählt werden, da diese nach vorliegenden Ergebnissen bei gleichen Bedingungen unterschiedlich sein können. Zur Auswertung werden die im Versuch ermittelten Meßpunkte von Zugkraft und Schlupf aufgetragen; durch das sich ergebende Streufeld wird eine Mittelwertkurve gelegt. Diese Mittelwertkurve wird für die Berechnung der Kraftschlußbeiwerte  $\alpha$  verwendet;

hierfür gilt die Formel  $\alpha = \frac{T}{B}$ . In ihr bedeuten  $T$  die Triebkraft, die sich aus der Zugkraft und dem Fahrwiderstand der Vorderachse ergibt, und  $B$  die Betriebsachslast unter dem Einfluß von Gewicht, Schwerpunktslage, Zugkraft, Fahrwiderstand und deren Angriffspunkten. Nur in bestimmten Fällen werden die den einzelnen Meßpunkten entsprechenden Kraftschlußbeiwerte errechnet. Die Versuchsfelder waren nach dem Augenschein eben. Um bei der Mittelwertbildung den Einfluß eventuell vorhandener geringfügiger Steigungen eliminieren zu können, wurde die Meßstrecke in beiden Richtungen durchfahren. Für die Auswahl der Versuchsfelder, die Anordnung der Meßstrecken, die Einstufung der Böden und die Feststellung der Bodenfeuchtigkeit wurde das von Bock [5] erarbeitete Verfahren angewandt.

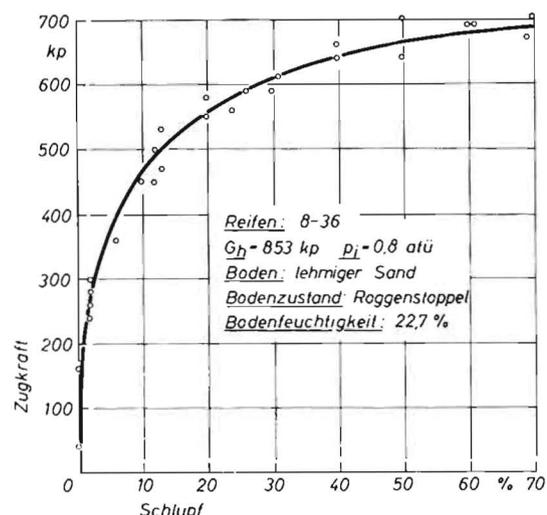


Bild 1: Zugkraft-Schlupf-Kurve

<sup>1)</sup> Diese Ergebnisse sind schon in den Jahren 1959 und 1960 anlässlich interner Veranstaltungen des Instituts für Schlepperforschung vor einem kleineren Kreis vorgetragen worden. Sie werden hier in überarbeiteter Form vorgelegt.

### Einfluß des Außendurchmessers auf die Zugfähigkeit

Die Versuche zur Ermittlung des Einflusses des Außendurchmessers wurden in der Hauptsache mit Reifen von 8" Breite durchgeführt. Für die Auswertung konnten auch ältere Einzelergebnisse von Vergleichsversuchen mit 9", 10" und 11" breiten Reifen herangezogen werden.

Die Ergebnisse einer Versuchsreihe, die unter besonders gleichmäßigen Bedingungen durchgeführt werden konnte, wurde aus einer größeren Anzahl zur Erklärung ausgewählt. In Bild 1 sind die Meßwerte eines Reifens auf einem bestimmten Boden dargestellt, in dem verhältnismäßig schmalen Streubereich der Meßpunkte wurde die Mittelwertkurve eingetragen. Bild 2 zeigt den Verlauf der Mittelwertkurven der bei gleicher Last und bei gleichem Innendruck untersuchten Reifen 8-24, 8-28, 8-32 und 8-36; auf die Eintragung der Meßpunkte wurde wegen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Zugkraft steigt mit steigendem Außendurchmesser bei gleichem Schlupf deutlich an. Dies kann dadurch erklärt werden, daß mit steigendem Außendurchmesser auch die Aufstandsfläche zwischen Reifen und Boden größer wird und damit größere Bodenmassen erfaßt werden, andererseits, daß durch die vergrößerte Eingriffslänge bei gleichem prozentualen Schlupf größere Wege in der Aufstandsfläche möglich sind, auf denen sowohl der Reifen, besonders aber auch der Boden zur Aufnahme der Schubkräfte „vorgespannt“ werden können. Die Vorstellung über den Einfluß des „Vorspannweges“ wird durch Bild 3 gestützt, in der die Meßpunkte der in den Bildern 1 und 2 gezeigten Kurvenverläufe nicht über dem Schlupf, sondern über einem Wegmaßstab aufgetragen wurden, der sich aus der Multiplikation des im Versuch gemessenen Rollhalbmessers mit den entsprechenden Schlupfwerten ergibt. Im Gegensatz zu Bild 2 ist keine Stufung vorhanden, sondern die Streubereiche liegen in einem „Einheitsband“. Dieses Ergebnis wurde auch in den anderen Versuchsreihen auf verschiedenen Böden festgestellt, wobei sich auch hier die Erfahrung bestätigte, daß bei ungünstigen Bodenverhältnissen die Streuung der Meßwerte sich vergrößert, also zu einem breiteren „Einheitsband“ führt.

Die Ergebnisse der Versuche an Reifen unterschiedlichen Außendurchmessers, aber gleicher Breite auf verschiedenen Böden sind

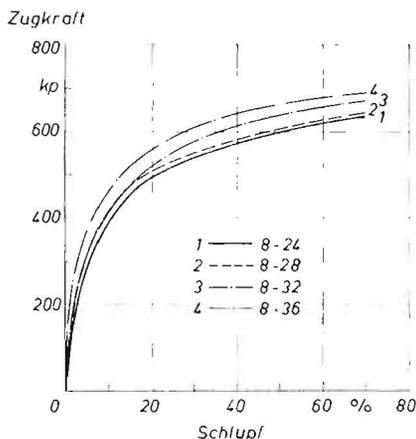


Bild 2: Einfluß des Durchmessers auf die Zugkraft

$G_b = 853 \text{ kp}$ ;  $\mu_i = 0,8 \text{ atü}$ ; Boden: lehmiger Sand; Bodenzustand: Roggenstoppel; Bodenfeuchtigkeit: 22,7%

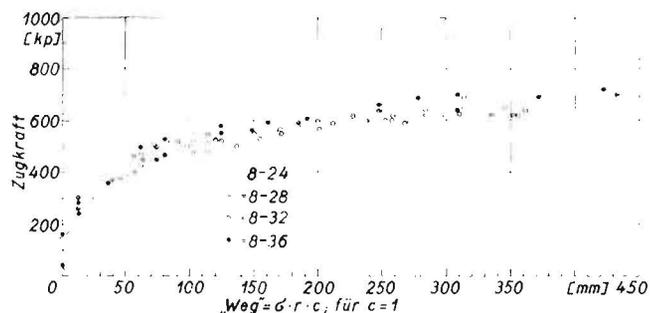


Bild 3: Verlauf der Zugkraft von Reifen verschiedenen Außendurchmessers und gleicher Breite in Abhängigkeit vom „Vorspannweg“

$G_b = 583 \text{ kp}$ ;  $\mu_i = 0,8 \text{ atü}$ ; Boden: lehmiger Sand; Bodenzustand: Roggenstoppel; Bodenfeuchtigkeit: 22,7%

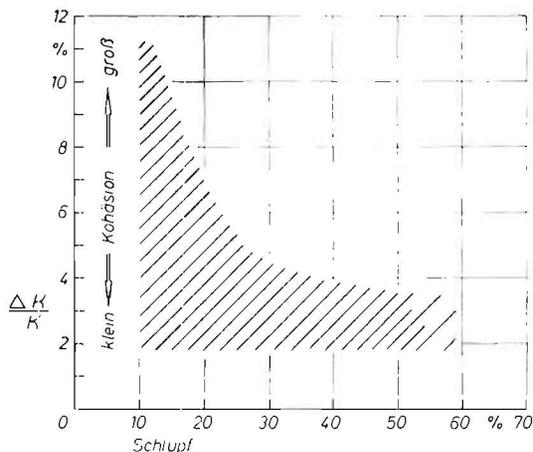


Bild 4: Einfluß des Durchmessers auf den Triebkraftbeiwert bei gleicher Last, gleicher Breite, gleichem Innendruck

$\Delta K$  prozentualer Anstieg des Triebkraftbeiwertes bei Vergrößerung des Durchmessers um 4"

in Bild 4 dargestellt. In ihm ist auf der Abszisse der Schlupf, auf der Ordinate der prozentuale Anstieg des Triebkraftbeiwertes bei einer Vergrößerung des Durchmessers um 4" (Kurzbezeichnung  $\frac{\Delta K}{K}$ ) angetragen. Das Diagramm zeigt den Bereich der gemessenen Mittelwerte in Abhängigkeit vom Schlupf. Den Einfluß von Bodenart und Bodenzustand kennzeichnet die Angabe der Kohäsion im linken Teil der Darstellung. Bei großer Kohäsion können im Bereich von 0 bis etwa 15% Schlupf durch die Durchmesserergrößerung eindeutige Vorteile erzielt werden. Diese Vorteile werden mit steigendem Schlupf geringer. Bei hohem Schlupf ist nunmehr eine Verbesserung in der Größenordnung von 3–4% zu erwarten. Als Erklärung hierfür kann angesehen werden, daß nach Auflösung der Kohäsion beziehungsweise nach dem Überschreiten der Scherfestigkeit (maximale Schubspannung), was bereits nach kurzen Gleitwegen eintreten kann [8], die Kraftübertragung mit zunehmendem Schlupf durch die wenig von Eingriffslänge und Flächenpressung abhängige Reibung erfolgt. Bei Böden mit geringer oder fehlender Kohäsion ist der Vorteil der Durchmesserergrößerung kleiner, er richtet sich danach, welche Schubkräfte der Boden infolge der Vergrößerung des „Vorspannweges“ aufnehmen kann.

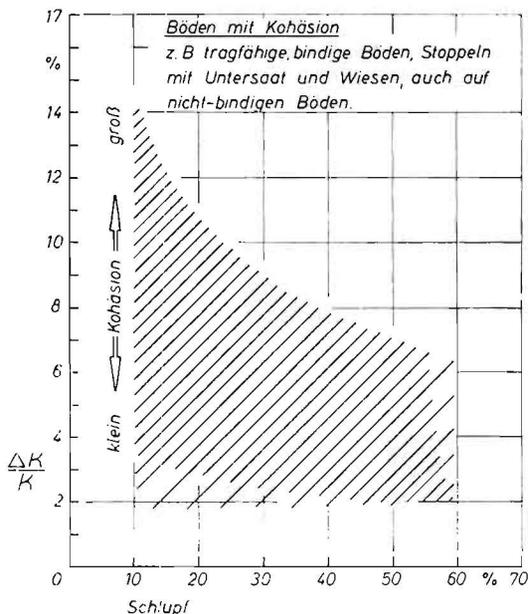


Bild 5: Einfluß der Reifenbreite auf den Triebkraftbeiwert bei gleicher Last, gleichem Durchmesser, gleichem Innendruck

$\Delta K$  prozentualer Anstieg des Triebkraftbeiwertes bei einer Vergrößerung der Breite um 25%

## Einfluß der Breite

Für die Ermittlung des Einflusses der Reifenbreite wurden 8" und 10" breite Reifen verwandt, die bei gleichem Rollradius mit gleichem Innendruck und gleicher Radlast gefahren wurden. Praktisch gleiche Ergebnisse lieferten auch die Versuche mit 9" und 11" breiten Reifen, bei denen die prozentuale Breitendifferenz etwas geringer ist.

Der große Einfluß der Bodenbeschaffenheit war auch bei diesen Meßreihen deutlich festzustellen. Die Verhältnisse bei kohärenten Böden zeigt Bild 5. Bei großer Kohäsion kann der Gewinn durch breitere Reifen vorwiegend im unteren Schlupfbereich groß sein; er nimmt mit steigendem Schlupf ab. Der Abfall ist nicht so stark wie in Bild 4. Hierfür kann als Erklärung gelten, daß bei Vergrößerung der Reifenbreite zur Erzielung gleicher Laufruhe auf der Straße die Anzahl der Stollen je Reifen geringer sein, also ein weiterer Stollenabstand gewählt werden kann; dieser ergibt bei sonst gleichen Verhältnissen auf landwirtschaftlich genutzten Böden im allgemeinen eine Verbesserung der Zugfähigkeit.

Bei Böden ohne Kohäsion muß noch unterschieden werden zwischen tragfähiger und wenig tragfähiger Oberschicht (Bild 6). Ist sie genügend tragfähig, so kann die Verwendung schmaler Reifen vorteilhaft sein, im mittleren und oberen Schlupfbereich sind jedoch die breiteren Reifen häufig überlegen. Auf wenig tragfähigen Böden sind schmale Reifen meistens nur dann vorteilhaft, wenn sie durch eine lockere Oberschicht auf festen Untergrund durchreifen können, während die breiteren Reifen auf der lockeren Oberschicht „schwimmen“. Mit zunehmendem Schlupf verringert sich der Vorteil der schmalen Reifen, bei mittlerem bis hohem Schlupf sind die breiteren unter solchen Verhältnissen überlegen. Die Begründung kann in der schon erwähnten weiteren Teilung und in den kräftigeren Stollen der breiteren Reifen liegen, die erst nach einem gewissen „Eindringweg“ voll wirksam werden. Ist der Untergrund nicht tragfähig, so ist die Zugfähigkeit breiterer Reifen erheblich besser. Im ganzen sind also breitere Reifen im allgemeinen für die Übertragung von großen Zugkräften besser als schmale geeignet; sie ergeben bei den innerhalb eines Wirtschaftsjahres wechselnden Bodenzuständen bessere Zugsicherheit.

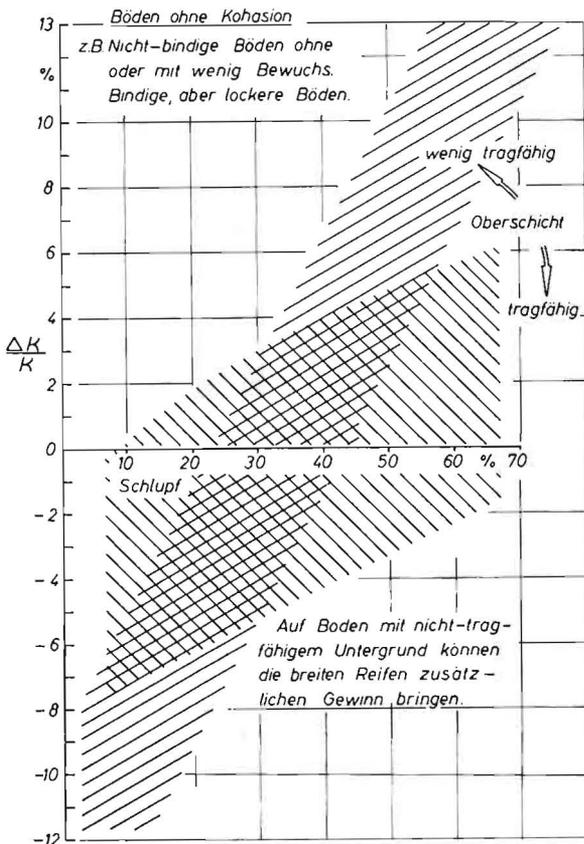


Bild 6: Einfluß der Reifenbreite auf den Triebkraftbeiwert bei gleicher Last, gleichem Durchmesser, gleichem Innendruck

$\frac{\Delta K}{K}$  = prozentualer Anstieg des Triebkraftbeiwertes bei einer Vergrößerung der Breite um 25%

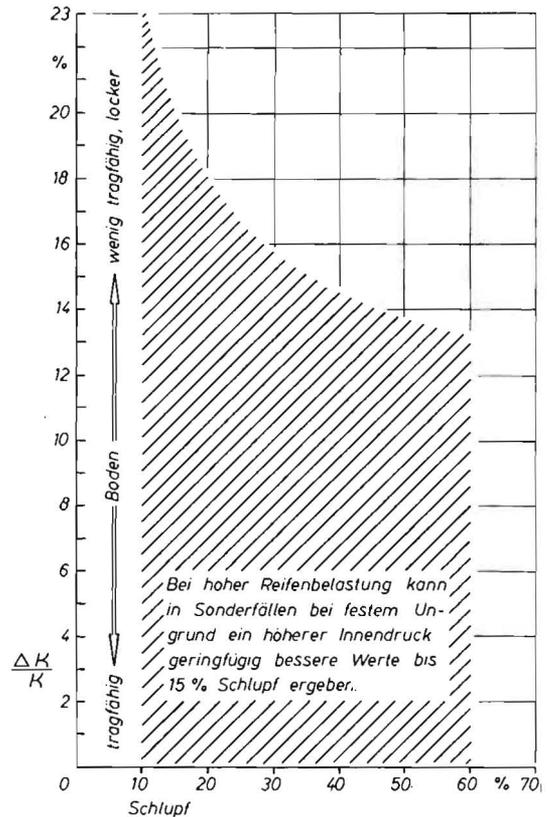


Bild 7: Einfluß des Innendruckes auf den Triebkraftbeiwert bei gleicher Last und gleichen Reifenabmessungen

$\frac{\Delta K}{K}$  = prozentualer Anstieg des Triebkraftbeiwertes bei Absenkung des Innendruckes von 1,5 atü auf 0,8 atü

## Einfluß des Innendruckes

Zur Versuchsreihe über den Einfluß des Innendruckes wurden Reifen mit Breiten von 8" bis 13" mit unterschiedlichen Felgendurchmessern benutzt. Jede Garnitur wurde bei sonst gleichen Bedingungen mit den Innendrüken 1,5 und 0,8 atü untersucht.

Die Absenkung des Reifeninnendruckes bringt um so größere Vorteile, je weniger tragfähig, beziehungsweise je lockerer der Boden ist. Diese Tendenz läßt sich in Bild 7 deutlich erkennen. Beim Vergleich mit den anderen Bildern fällt auf, daß im allgemeinen durch das Absenken des Innendruckes bei weitem größere Vorteile erzielt werden können als durch die Vergrößerung des Durchmessers oder der Reifenbreite in den angegebenen Grenzen. Voraussetzung ist allerdings die Verwendung von Reifen genügender Tragfähigkeit, da nur mit diesen bei geringem Innendruck ohne Schaden gearbeitet werden kann. Durch das Verringern des Innendruckes wird der Reifen weicher, er kann sich dem Boden besser anpassen und hat einen geringeren Fahrwiderstand, außerdem wird infolge seiner vergrößerten Abplattung die Aufstandsfläche und damit auch die Eingriffslänge größer. In Sonderfällen kann bei hoher Reifenbelastung auf weicher Oberschicht und festem Untergrund ein höherer Innendruck etwas bessere Werte im unteren Schlupfbereich ergeben, bei Werten über 15% Schlupf ist jedoch der geringere Innendruck wieder günstiger.

## Einfluß des Profilverschleißes

Die Untersuchungen über die Wirkung des Profilverschleißes wurden mit Reifen der Größe 10–28 durchgeführt, über die Ergebnisse wurde zum Teil schon früher berichtet [7]. Während die Zugkraft bei AS-Reifen mit neuem Profil fast immer bis zu 100% Schlupf ansteigt, kann bei Reifen mit abgenutztem Profil sich ein Maximum im Arbeitsbereich einstellen. Diese unerwünschte Möglichkeit nimmt mit steigendem Verschleiß zu. Bild 8 zeigt die Kurvenverläufe einer Reifengarnitur mit neuer und einer mit halbabgefahrenen Profilierung unter sonst gleichen Verhältnissen. Die im Versuch gemessene hohe Zugkraft des halbabgefahrenen Reifens ist im Arbeitseinsatz praktisch nicht verwendbar, da der Schlupf infolge der instabilen Kennung im Bereich oberhalb von

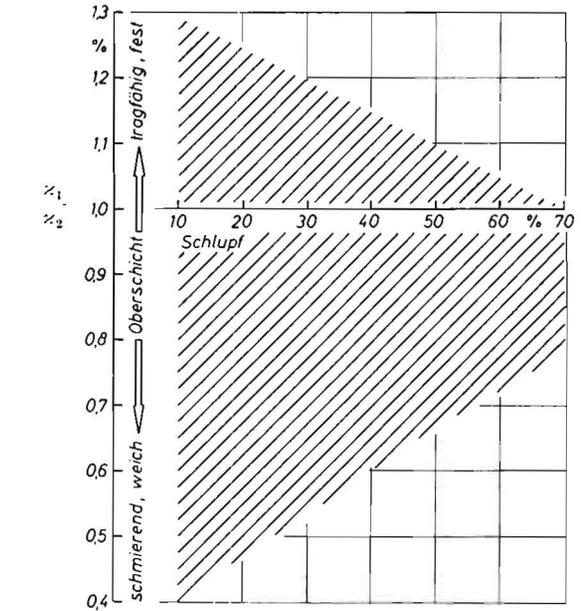
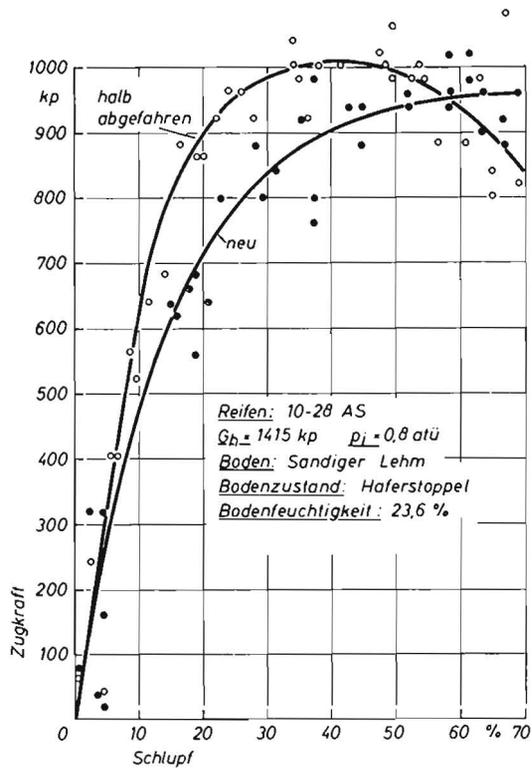


Bild 9 (oben): Einfluß des Profilverschleißes auf den Triebkraftbeiwert bei gleicher Last, gleichem Durchmesser, gleichem Innendruck  
 $x_1$  = Triebkraftbeiwert des halb abgefahrenen Reifens  
 $x_2$  = Triebkraftbeiwert des neuen Reifens

Bild 8 (links): Einfluß des Profilverschleißes

etwa 15—20% sehr leicht bei gleicher Zugkraft auf hohe Werte springen kann und das Fahrzeug sich damit festfährt, wenn nicht sofort der Zugwiderstand stark verringert wird. Einen Überblick über die Ergebnisse der Versuchsreihe gibt Bild 9. Auf tragfähigen, festen Oberflächen kann der abgenutzte Reifen, vorwiegend im Bereich geringen Schlupfes, günstigere Zugkräfte aufbringen, da infolge der Verkürzung die Stollen steifer sind und weniger leicht ausweichen können; bei weichen, lockeren oder schmierigen Oberschichten läßt die Zugfähigkeit abgenutzter Reifen je nach Verschleiß und Bodenbeschaffenheit sehr wesentlich nach, da sie nicht in festen Grund durchreifen können, beziehungsweise ihre Selbstreinigung schlechter ist.

**Berechnung von Zugkraft-Schlupfcurven**

Allgemein nimmt die Zugkraft mit dem Schlupf zu, gegebenenfalls bis zu einem Maximum, um nach dessen Überschreiten mehr oder weniger stark abzufallen. Auf landwirtschaftlich genutzten Böden und bei normaler Reifenprofilierung nähert sich der Kurvenverlauf im allgemeinen asymptotisch einem Grenzwert. Kurven mit einem Maximum treten bei Reifen mit zu geringer Stollenhöhe, falscher Ausbildung beziehungsweise Laufrichtung des Profiles auf.

Die Annäherung kann beschrieben werden durch eine e-Funktion mit folgendem Aufbau:

$$y = y_{max} - A \cdot e^{-kx}$$

Diese Gleichung erfüllt sowohl die über den ganzen Schlupfbereich ansteigenden Kurven der Zugkraft als auch des Triebkraftbeiwertes [9; 10]. Mit ihr kann bei Kurven, die ein Maximum aufweisen, auch der ansteigende Ast beschrieben werden, der allein für den sicheren Fahrbetrieb ausschlaggebend ist. Zu einer Funktion entsprechenden Aufbaues kommen auch JANOSI und HANOMOTO [11] bei der Beschreibung des ansteigenden Schubspannungsverlaufes im Boden in Abhängigkeit vom Weg. Besitzt die Schubspannungskurve ein Maximum, so kann ihr Verlauf durch eine kompliziertere Formel nach BEKKER [12] wiedergegeben werden. Wie weit die oben angegebene Gleichung den im Versuch gewonnenen Ergebnissen genügt, läßt sich aus Bild 10 erkennen, das als Beispiel für eine größere Anzahl von Versuchsergebnissen stehen mag. Im linken Teil des Bildes sind über dem Schlupf die Meßpunkte des Triebkraftbeiwertes, die Mittelwertkurve und die obere und untere Grenze des Streubereiches eingetragen. Im mittleren Teil ist in halblogarithmischem Maßstab die Differenz  $\Delta K = K_{max} - K$  zwischen dem höchsten und dem jeweiligen Triebkraftbeiwert der

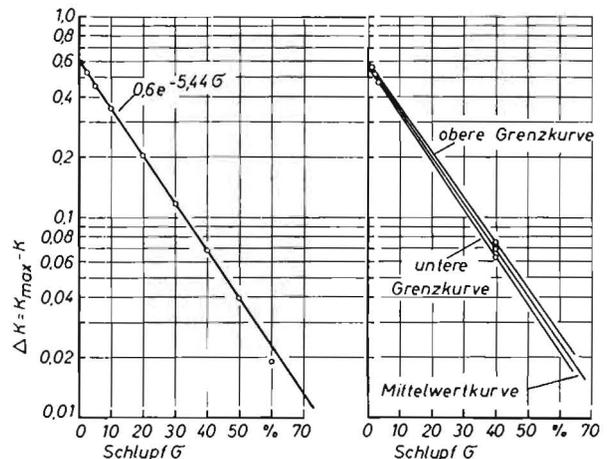
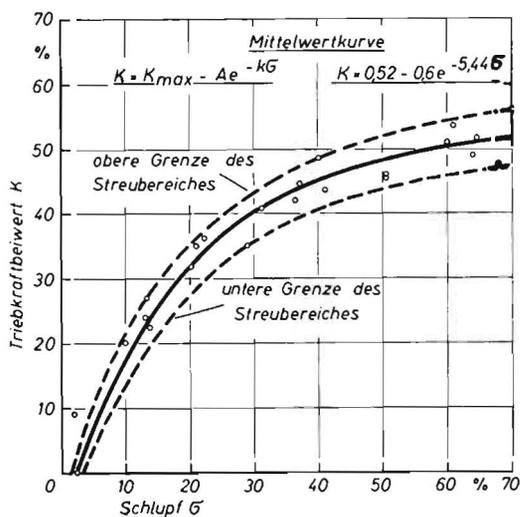


Bild 10: Rechnerische Ermittlung des Verlaufes von Triebkraft-Beiwert-Kurven  
 Reifen: 10—28 AS;  $G_h = 1403$  kp;  $p_i = 0,8$  atü; Boden: schwerer Lehm; Bodenzustand: geschälte Weizenstoppel; Bodenfeuchtigkeit: 34,7%

Mittelwertkurve aufgetragen. Die durch Kreise gekennzeichneten Punkte der Mittelwertkurve werden mit guter Genauigkeit durch eine Gerade erfüllt, die auf der Ordinate den Wert  $A$  (hier 0,6) abschneidet. Der Abfall der Geraden wird durch den Ausdruck  $e^{-k\alpha}$ , in diesem Fall durch  $e^{-5,44\alpha}$  bestimmt. Der Wert für  $e^{-k}$  läßt sich aus der mittleren Darstellung entnehmen, wenn man zu der Geraden eine Parallele durch den Punkt  $\Delta\alpha = 1$  zieht, sie bis zum Schlupfwert 100% verlängert und an dieser Stelle den zugehörigen Wert für  $\Delta\alpha$  abliest. Das Auffinden der den Kurvenverlauf charakterisierenden Größen ist also auf graphischem Wege verhältnismäßig einfach möglich. In der rechten Darstellung wird gezeigt, daß auch die obere und die untere Grenzkurve der angegebenen Gesetzmäßigkeit genügen. Auf Grund dieser Erkenntnis kann auch die Mittelwertkurve nach Festlegung der oberen und unteren Grenze des Streubereiches verhältnismäßig einfach graphisch gefunden werden. Es wird sich also in Zukunft darum handeln, eine Relation zwischen  $\alpha_{max}$ ,  $A$  und  $k$  als den das Verhalten von Triebrädern kennzeichnenden Werten, ergänzt durch den Fahrwiderstandsbeiwert  $\varphi$ , und den Kenngrößen von Laufwerk und Boden zu finden.

#### Zuordnung der Beiwerte für Fahrwiderstand und Triebkraft

Der Wirkungsgrad eines Triebrades auf einem bestimmten Boden wird gekennzeichnet durch die Triebkraft, den Fahrwiderstand und den Schlupf. Außer zur Ermittlung des Wirkungsgrades ist die Kenntnis der Beiwerte für Triebkraft und Fahrwiderstand häufig die Voraussetzung für notwendige Rechnungen. Infolge der Abhängigkeit vom Schlupf kann der Triebkraftbeiwert sehr unterschiedliche Werte annehmen; zu Vergleichszwecken werden daher meist die Werte bei 15 und 50% Schlupf ( $\alpha_{15}$ ;  $\alpha_{50}$ ) benutzt. Die Beiwerte für Triebkraft und Fahrwiderstand werden vom Reifenaufbau, den Reifenabmessungen, dem Innendruck und in sehr starkem Maße von den Bodenverhältnissen beeinflusst. So kann schon eine Änderung der Feuchtigkeit erhebliche Abweichungen ergeben. Unter diesen Voraussetzungen ist eine exakte Zuordnung der beiden Kenngrößen nicht möglich, es kann sich nur um die Angabe von Bereichen handeln.

Um Unterschiede im Reifenaufbau, der Ausbildung der Lauffläche und des Innendruckes auszuschalten, wurden für diesen Vergleich nur die Werte von Schlepptrieberradreifen benutzt. Die angegebenen Fahrwiderstandsbeiwerte gelten für die Leerfahrt des Schleppers. In Bild 11 ist der Fahrwiderstandsbeiwert von Schlepptrieberrädern über ihrem Triebkraftbeiwert  $\alpha_{15}$  aufgetragen; Bild 12 zeigt die Werte für  $\alpha_{50}$ . Die Darstellungen lassen erkennen, daß bei Böden mit gleichmäßiger Struktur von der Oberschicht bis zum Untergrund eine Zuordnung in einem ziemlich schmalen Streuband möglich ist. Da in der Oberschicht und im Untergrund große Variationen auftreten können, wird der Bereich jedoch auseinandergezogen. Als Oberschicht wird in diesem Falle der Boden bis zu einer Tiefe von etwa 5–6 cm verstanden, die daran anschließenden tiefer liegenden Schichten werden als Untergrund bezeichnet. Eine genaue Zuordnung verschiedener Bereiche zu bestimmten Bodenarten ist nicht möglich, da durch den Bodenzustand die Grenzen verwischt werden. Trotzdem hat sich bestätigt, daß geringe Triebkräfte und großer Fahrwiderstand vorwiegend den landwirtschaftlich genutzten Sandböden und große Triebkräfte und geringer Fahrwiderstand den Böden mit überwiegend Lehmanteil zugeordnet sind. Die Diagramme beruhen auf der Auswertung der Feldversuche, die in den vergangenen acht Jahren gemacht worden sind. Auch die Ergebnisse von im Ausland durchgeführten Versuchen fügen sich ein, wobei jedoch die amerikanischen Versuche verhältnismäßig geringe Fahrwiderstandsbeiwerte ergaben; sie liegen daher im unteren Bereich der Darstellung [13; 14].

Eine Relation zwischen den Fahrwiderstandsbeiwerten der Trieberradreifen und solchen von Schlepperfront- oder Ackerwagenreifen ist nicht ohne weiteres möglich. Infolge der Unterschiede von Innendruck, Reifenaufbau und Profilierung weisen die Ackerwagen- und Schlepper-Frontreifen im allgemeinen höhere Fahrwiderstände auf. Die Vergroberung ist in der Hauptsache bedingt durch die Erhöhung des Innendruckes, deren Auswirkung zu sehr von Bodenart und -zustand abhängt, als daß sie in ähnlich einfacher Weise dargestellt werden könnte.

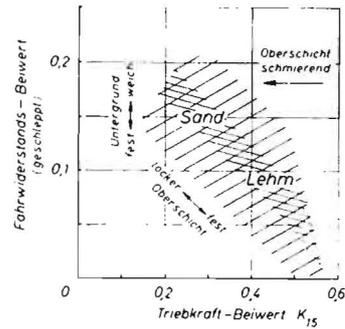


Bild 11: Abhängigkeit der Beiwerte für die Triebkraft (bei 15% Schlupf) und den Fahrwiderstand der Schlepptrieberradreifen von Bodenart und -zustand

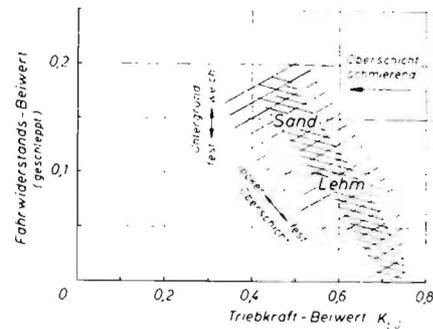


Bild 12: Abhängigkeit der Beiwerte für die Triebkraft (bei 50% Schlupf) und den Fahrwiderstand der Schlepptrieberradreifen von Bodenart und -zustand

#### Zusammenfassung

Langjährige Feldversuche haben erkennen lassen, daß mit ihrer Hilfe zwar Vergleichsversuche durchgeführt werden können, daß eine grundsätzliche Klärung jedoch nur unter großem Aufwand möglich ist. Hierfür sind Versuche in Bodenrinnen wegen der Möglichkeit, gewünschte Versuchsbedingungen einzuhalten, besser geeignet, sofern die Gültigkeit ihrer Ergebnisse für die Praxis laufend überprüft wird.

Die große Anzahl von Versuchsergebnissen gestattete die Beantwortung der Fragen nach der Verbesserung der Zugfähigkeit, nach der Möglichkeit der mathematischen Beschreibung der versuchsmäßig gewonnenen Kurvenverläufe von Zugkraft und Triebkraftbeiwert in Abhängigkeit vom Schlupf und nach der Zuordnung von Triebkraft- und Fahrwiderstandsbeiwerten. Die Zugfähigkeit kann auf landwirtschaftlich genutzten Böden durch Verwendung von Reifen größeren Außendurchmessers, großer Breite, am stärksten aber durch Verwendung geringen Innendruckes je nach den Bodenverhältnissen verbessert werden. Die Beschreibung der Zugkraft- und Triebkraftbeiwert-Verläufe ist mittels einer  $e$ -Funktion möglich. Für die Zuordnung von Triebkraftbeiwert und Fahrwiderstandsbeiwert können in Abhängigkeit von Bodenart und -zustand gewisse Bereiche angegeben werden.

#### Schrifttum

- [1] BEKKER, M. G.: Theory of Land Locomotion, Ann. Arbor, The University of Michigan Press 1956
- [2] BEKKER, M. G.: Off-The-Road Locomotion, Ann. Arbor, The University of Michigan Press 1960
- [3] MEYER, H., und F. KLEFOTH: Versuche über die Haftfähigkeit der Schlepperluftreifen auf schwerem Boden, Technik in der Landwirtschaft 16 (1935), S. 317–321 und 17 (1936), S. 8–10
- [4] BOCK, G.: Feldversuche über die Zugfähigkeit von Ackerschlepperreifen, In: 10. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1952 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3), S. 88–100
- [5] BOCK, G.: Beobachtungen bei Feldversuchen über die Zugfähigkeit von Schleppern, In: 11. Konstrukteurheft, 2. Teil, VDI-Verlag (Grundlagen der Landtechnik, Heft 5), S. 42–48
- [6] LANGE, H.: Über die Zugfähigkeit von Reifen gleichen Außendurchmessers, Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 103–105
- [7] SONNEN, F. J.: Einfluß der Profilierung von AS-Reifen auf die Zugfähigkeit, Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 92–95
- [8] SÖHNE, W.: Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden, In: 10. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1952 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3), S. 75–87
- [9] SÖHNE, W., und F. J. SONNEN: Messungen von Rollwiderstand und Zugkraft von luftbereiften Ackerschleppern sowie mechanischen Bodenkenngrößen und Versuch einer Zuordnung, Vortrag, gehalten auf der 1. Internationalen Konferenz über die Mechanik des Systems Boden — Fahrzeug in Turin vom 12. bis 16. Juni 1961, vorgelegt als Drucksache 32

- [10] SONNEN, F. J.: Diskussionsbeitrag zu Drucksache 32 (siehe [9]).  
 [11] JANOSI, Z., und B. HANAMOTO: The Analytical Determination of Drawbar-pull as a Function of Slip for Tracked Vehicles in Deformable Soils. Vortrag, gehalten auf der I. Internationalen Konferenz über die Mechanik des Systems Boden — Fahrzeug in Turin vom 12. bis 16. Juni 1961, vorgelegt als Drucksache 41.  
 [12] BEKKER, M. G.: Über die Wechselbeziehungen zwischen Fahrzeug und Boden bei Geländefahrt. ATZ 62 (1960), S. 181—183.  
 [13] BAULY, P. H.: The Comparative Performance of Some Traction Aids. Journal of Agricultural Engineering Research, (1956), Vol. 1, S. 12—22.  
 [14] WALTERS, F. C., und W. H. WORTHINGTON: Farm Tractors and their Tires. SAE Transactions 64 (1956), S. 394—405.

## Résumé

*Franz Josef Sonnen: "A Survey of Results obtained from Field Trials made with Driving Wheel Tyres of Agricultural Tractors."*

*Field trials extending over many years have shown that, although comparative trials can be carried out with their aid, a thorough explanation can only be effected with a great expenditure of time and energy. Trials made in furrows are suitable, since experimental requirements and conditions can be better maintained. However, the applicability of such results to practical operating conditions must be constantly checked.*

*The large number of results of trials enable problems concerning improvements in tractive effort to be solved by the use of mathematical explanations of curves showing tractive effort in relation to slip and the relations between available power at the motor and resistance to traction as obtained from the results of trials. Tractive effort can be increased under operating conditions pertaining in agricultural practice by the use of tyres of greater diameter and greater width. The most effective method is the use of lower tube pressures to suit prevailing soil conditions. It is possible to describe tractive effort and other curves by the use of an "e" function. The relation between power at the motor and resistance to traction can be limited to certain fields of values in accordance with soil types and conditions prevailing at the time.*

*Franz Josef Sonnen: «Un aperçu sur les résultats obtenus par les essais dans le champ avec les pneumatiques de roues motrices des tracteurs agricoles.»*

*Les essais dans le champ poursuivis pendant de nombreuses années ont montré que l'on peut faire des essais de comparaison en se basant sur leurs résultats, mais qu'un éclaircissement fondamental des*

*phénomènes n'est possible qu'avec de grosses dépenses. Des essais dans des rigoles permettent plus facilement de reproduire fidèlement les conditions d'essai et conviennent mieux à la condition que l'on contrôle continuellement la validité des résultats pour la pratique. Les nombreux résultats d'essai permettent de répondre aux questions visant l'amélioration de la capacité de traction, la possibilité de l'interprétation mathématique des courbes de l'effort de traction et du coefficient de traction en fonction du patinage, enregistrées pendant les essais, et la détermination du rapport entre le coefficient de traction et le coefficient de résistance à l'avancement. La capacité de traction sur les terres agricoles peut être améliorée par l'utilisation de pneumatiques dont le diamètre extérieur et la largeur sont très grand, et, en premier lieu, par la réduction de la pression intérieure des pneumatiques suivant les conditions du sol. La description des courbes de l'effort de traction et du coefficient de traction est possible au moyen d'une fonction e. On peut déterminer certaines zones limites pour le rapport entre le coefficient de traction et le coefficient de résistance à l'avancement en fonction de la structure et de l'état du sol.*

*Franz Josef Sonnen: «Ojenda a los resultados de ensayos hechos con neumáticos de las ruedas propulsoras de tractores, efectuados en el campo.»*

*Ensayos efectuados en el transcurso de años han demostrado que, si bien sirven para establecer comparaciones, sólo podrían dar resultados fundamentales, invirtiendo en ellos cantidades muy elevadas. Para tales ensayos se prestan en primer lugar pliegos de terreno, por la posibilidad de cumplir en ellos ciertas condiciones, siempre que se comprueben continuamente los resultados con miras a la práctica.*

*El elevado número de resultados conseguidos en estos ensayos permite contestar a las preguntas por la elevación del esfuerzo de tracción, por la posibilidad de la descripción matemática de las curvas de la fuerza de tracción y del coeficiente de potencia en dependencia del resbalamiento y de la coordinación de los coeficientes de la potencia de propulsión y de la resistencia a la rodadura. En terreno de explotación agrícola la tracción puede aumentar, empleando neumáticos de diámetro exterior más grande y de anchura más grande, pero todavía más, trabajando con presiones interiores reducidas, según las condiciones del terreno. La descripción de las curvas de los coeficientes del esfuerzo de tracción y del propulsión es posible con el empleo de una función «e». Para la coordinación de los coeficientes del esfuerzo de propulsión y de la resistencia a la rodadura, en dependencia de la condición y del estado del terreno, se pueden dar ciertos márgenes.*

## AUS DER KTL-ARBEIT

Friedrich Feldmann:

### Zahlenmäßige Festlegung von Schleppergrößenklassen

*Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Frankfurt/Main*

Für die unterschiedlichen Betriebsgrößen und -systeme in der westdeutschen Landwirtschaft hat STEFFEN [1] vom landwirtschaftlichen Bedarf her einige notwendige Schleppergrößen und ihre grundsätzlichen Unterschiede ausgearbeitet. Daraus hat FRANKE [2] ein auf diese Bedürfnisse abgestimmtes Schlepperbauprogramm entwickelt. Weil die dort genannten Zahlen im einzelnen einer Erläuterung bedürfen, sollen im vorliegenden Beitrag genauere Definitionen und Zahlenwerte für die Einordnung der Schlepper in ein Größenklassensystem dargelegt werden.

Bei den landwirtschaftlichen Schleppern mit angetriebener Hinterachse bestehen Wechselbeziehungen zwischen Schleppergewicht, zulässigem Gesamtgewicht, Reifengröße und Motorleistung, die für die einzelnen Zahlenwerte nur einen geringen Spielraum übriglassen. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Anforderungen und dieser Hauptkenndaten ist hier eine zahlenmäßige Abstufung von fünf Schleppergrößenklassen vorgenommen und in Tafel I niedergelegt worden. Diese Tafel stellt das Ergebnis von Überlegungen dar, deren Richtigkeit rückwirkend und im einzelnen bewiesen wird. Die verwendeten Begriffe und Zahlenwerte lehnen sich an die von SEIFERT [3] an.

#### Schleppergewicht

Das Schleppergewicht setzt sich zusammen erstens aus dem Leergewicht des betriebsfertigen Schleppers einschließlich Kraftheber

und Dreipunktgestänge (wie zum Beispiel in den Prospekten angegeben) und zweitens aus dem Gewicht des Fahrers, des Verdecks und der auch dann ständig am Schlepper verbleibenden Anbauteile für Mähwerk oder Frontlader, wenn diese Geräte selbst abgebaut sind. Beide Gewichte bilden das übliche Mindestbetriebsgewicht des Schleppers. Dieses kann noch durch Zusatzlasten vergrößert werden, die die Zugfähigkeit des Schleppers erhöhen. Als Zusatzlasten kommen in Frage: Mähwerk, Frontlader, Frontladergegengewicht, Ladepritsche, Ballastgewichte, Wasserfüllung der Reifen und ein Teil der Deichselstützlast von Einachsanhängern. Diese Stützlast ist im allgemeinen höher als die für die Zusatzlasten in Tafel I eingearbeiteten Werte. Diesem Umstand trägt der später behandelte Zuschlag für „Gerätetransport und Einachsanhängerbetrieb“ Rechnung.

Das auf Grund der später genannten Beziehungen angesetzte Leergewicht ist in Zeile I für jede Größenklasse mit einer gewissen Spanne angegeben (zum Beispiel in Größenklasse IIA mit  $G_L = 1250$  bis  $1600$  kp). Dabei ist berücksichtigt, daß die Schlepper der Größenklasse I und II als Bestellungs- und Pflegeschlepper gewisse Höchstgewichte nicht überschreiten sollen. Das in Zeile 2 angegebene übliche Mindestbetriebsgewicht ist um 200 bis 300 kp höher als das Leergewicht. Als Zusatzlasten sind in der Größenklasse II 400 kp und in Größenklasse III 500 kp angesetzt, während in den Größenklassen IV und V die verwendeten Reifen auch erheblich höhere Werte erlauben. Damit ergibt sich in Zeile 3