

## ÜBER DIE BODENKRÄFTE BEIM PFLÜGEN BEI VERSCHIEDENER KÖRPERFORM UND BODENART

Von G. Getzlaff

Die früheren Untersuchungen über die Grösse und Richtung der an einem Pflugkörper wirkenden Kräfte und Momente bezogen sich auf einen Körper und eine Bodenart [1]. Nachstehend wird über Versuche mit drei verschiedenen Körperformen auf verschiedenen Böden mit stark unterschiedlichem Bearbeitungswiderstand berichtet.

Die Versuchseinrichtung und -durchführung waren dieselben wie in der bereits erwähnten Arbeit [1], sodass es sich erübrigt, hier näher darauf einzugehen. Der jeweils zu untersuchende Pflugkörper wurde als letzter Körper eines dreischarigen Rahmen-Anhängepfluges mit dem 6-Komponenten-Messgerät fest verbunden. Die jeweilige Arbeitstiefe wurde in der üblichen Weise eingestellt, während die Arbeitsbreite des Versuchskörpers durch seitliches Verschieben des vorhergehenden Pflugkörpers verändert werden konnte.

Die Messungen an den Pflugkörpern wurden ohne ein vorhergehendes Sech und ohne eine Anlage-schiene mit Schleifsohle vorgenommen. Bei der Beurteilung der so gewonnenen Grösse der Längskraft bzw. des spezifischen Zugwiderstandes muss deshalb beachtet werden, dass entgegen der sonst üblichen Feststellung dieser Werte in den nachstehenden Messergebnissen die Sohlen- und Anlagereibung sowie die rollende Reibung der Räder in der Längskraft nicht enthalten sind. Infolge der fehlenden Anlage mit Schleifsohle ändern sich auch die am Pflugkörperumpf wirkenden Vertikal- und Seitenkräfte, weil die sonst von der Pflugkörper-

anlage übernommenen Kräfte (und Momente) durch den Rumpf gehen und damit mitgemessen werden. Die Pfluggeschwindigkeit betrug bei allen Messungen  $v = 1 \text{ m/s}$ . Die Vorrucht waren Erbsen bzw. Weizen.

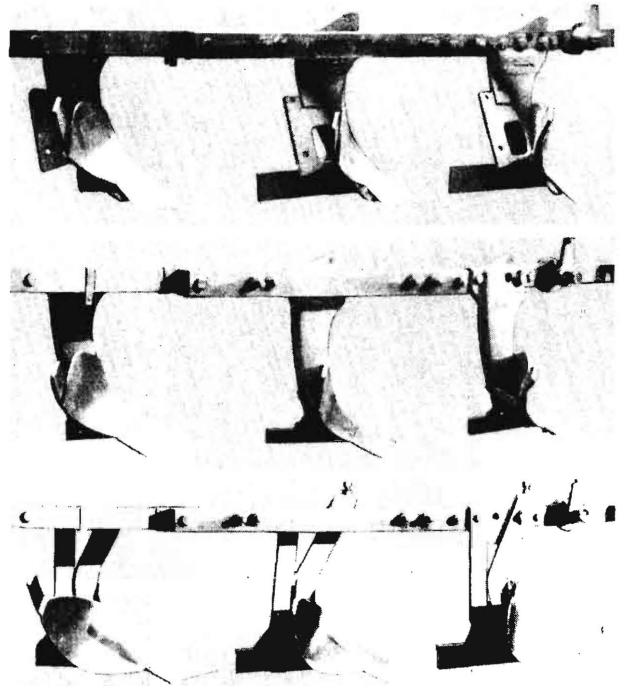


Bild 1. Die untersuchten Pflugkörperformen.

- oben: steile Form (S)
- Mitte: liegende Form (L)
- unten: Wendelform (W)

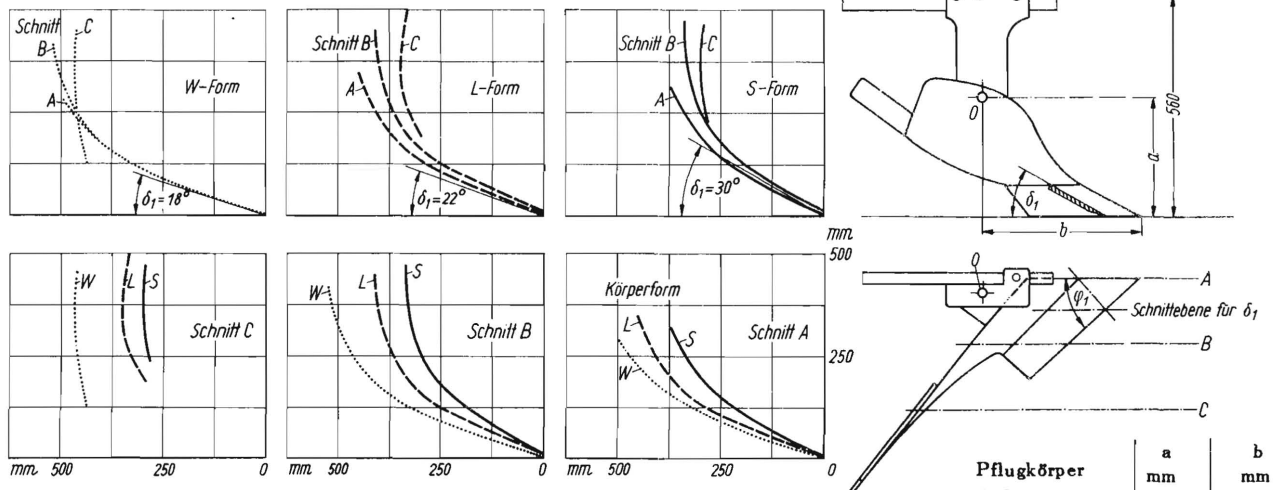


Bild 2. Die senkrechten Formlinien der untersuchten Pflugkörperformen. Diese Formlinien stimmen nicht mit denen der genormten Körper überein. 0 = Bezugspunkt für die gemessenen Momente

Pflugkörper	a mm	b mm
steile Form (S)	310	377
liegende Form (L)	310	435
Wendelform (W)	326	536

Die untersuchten drei Pflugkörper nach Bild 1 sind keine Normkörper nach DIN 11119; ihre senkrechten Formlinien nach den Schnitten A, B und C sind in Bild 2 einander gegenübergestellt. Es handelt sich dabei um eine steile Form (S-Form), eine liegende Form (L-Form) und eine Wendelform (W-Form), deren Schnittwinkel  $\delta_1$  und Scharschneidenwinkel  $\varphi_1$  aus Zahlentafel 1 hervorgehen. Dort sind auch zum Vergleich die Werte der entsprechenden Normkörper nach DIN 11119 angegeben.

Zahlentafel 1

Schnitt- und Scharschneidenwinkel der Versuchskörper

Körperform	S (steil)	L (liegend)	W (wendel)
Schnittwinkel $\delta_1$	30° (31–32°)	22° (26–27,5°)	18° (26–27,5°)*
Scharschneidenwinkel $\varphi_1$	43° (42,5°)	45° (43,5°)	49° (43,5°)**
Arbeitstiefe $t_n$	220 mm	240 mm	200 mm
Arbeitsbreite $b_n$	220 mm	270 mm	250 mm

\*) für Normkörper nach B. Boxler, Bodenbearbeitungswerkzeuge. In: Die Maschine in der Landwirtschaft, Heft D1, S. 14. Stuttgart 1949.

\*\*) nach DIN 11119.

Bild 3. Korngrößenverteilung der bei der Kraftmessung benutzten Böden.

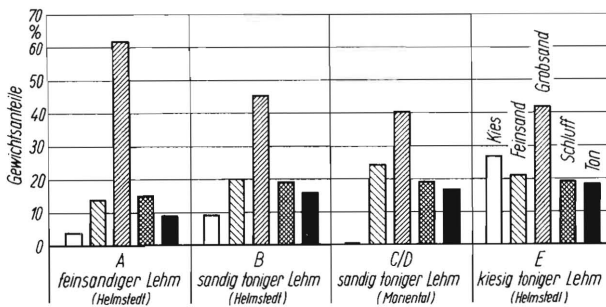
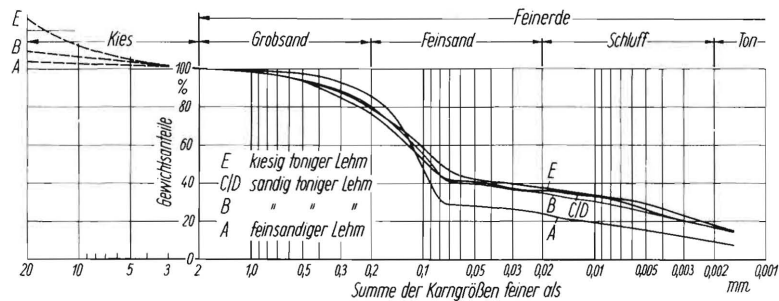


Bild 4. Die Kornfraktionen der untersuchten Böden (nach Bild 3).

Einen Überblick über die Korngrößenverteilung der untersuchten Böden A bis E gibt Bild 3. Die Korngrößenverteilung der untersuchten Böden B, C, D und E sind wenig unterschiedlich; man kann sie als sandig tonige Lehme einordnen. Boden E ist mit einem Gehalt von etwa 27% Kies als kiesig toniger Lehm zu bezeichnen. Eine wesentlich andere Zusammensetzung hat der Boden A, der als feinsandiger Lehm anzusprechen ist. Die aus Bild 3 entnommenen Kornfraktionen Kies, Grobsand, Feinsand, Schluff und Ton sind in Zahlentafel 2 zusammengefasst und in Bild 4 dargestellt.

Zahlentafel 2

Die Kornfraktionen der untersuchten Böden (auf die „Feinerde“ mit Teilchendurchmesser < 2 mm bezogen)

Boden	Kies %	Grobsand %	Feinsand %	Schluff %	Ton %	Bodenbezeichnung
A	4	14	62	15	9	feinsandiger Lehm
B	9	20	45	19	16	sandig toniger Lehm
B'	–	22	43	20	15	„ „ „
C/D	–	24	40	19	17	„ „ „
E	27	21	42	19	18	kiesig toniger Lehm

Ordnet man die Böden nach dem Ton + Schluffgehalt, d.h. nach den Bestandteilen, die den grössten Einfluss auf die Reibungs- und Grenzflächenkräfte haben, und trägt nach Bild 5 über den Ton + Schluffgehalt den bei den Versuchen gemessenen spezifischen Zugwiderstand auf, so zeigt sich deutlich eine Abhängigkeit des Zugwiderstandes vom Ton + Schluffgehalt. Nicht ganz eindeutig ist der Unterschied im Zugwiderstand der nach der Zusammensetzung gleichen Böden C und D und das Verhalten des kiesig tonigen Lehmes E. Da der Wassergehalt sämtlicher

Böden annähernd gleich gross war (etwa 14 Gew.%), so wird der Unterschied vornehmlich in der Struktur dieser Böden gesucht werden müssen. Boden E war z.B. ein harter Lehm mit stark ausgetrockneter Oberfläche. Er war auch dichter als die anderen Böden gelagert, was an dem Porenanteil zu erkennen ist;

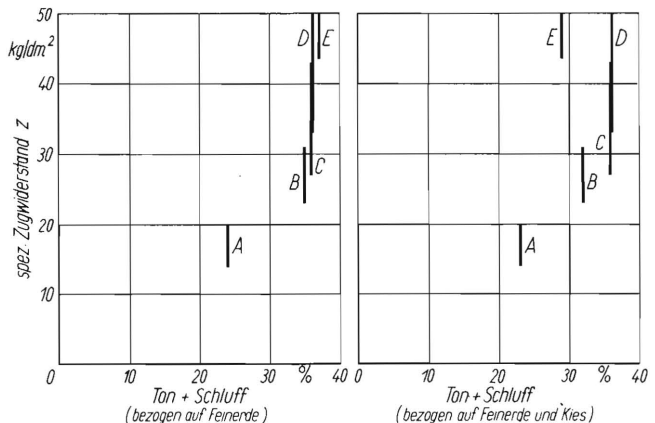


Bild 5. Abhängigkeit des spez. Zugwiderstandes vom Ton + Schluffgehalt der untersuchten Böden. Das Streugebiet des Zugwiderstandes gilt für die drei untersuchten Körperformen auf dem jeweiligen Boden für die Furchenbreite  $b = 20$  cm und Furchentiefe  $t = 14$  cm.

so bewege sich der Porenanteil bei den anderen Böden in den Grenzen zwischen 42 und 48% (in 18 cm Tiefe), während der Boden E in 6 cm Tiefe einen Porenanteil von 38% aufwies. Auch betrug die normale Bearbeitungstiefe dieses Bodens nur etwa 16 cm (gegenüber 22 bis 24 cm bei den anderen Böden), bei grösseren Tiefen wurden teilweise ortsteinhaltige Schichten angeschnitten.

Die Messungen wurden nach einer längeren Trockenperiode und bei etwa gleichbleibender trockener Witterung vorgenommen. Über den landwirtschaftlichen Arbeitserfolg (Krümelung und Wendung) kann, da zurzeit eine praktisch brauchbare Messmethode noch nicht vorliegt, nichts ausgesagt werden; soweit augenfällige Unterschiede bemerkt wurden, sind sie angegeben worden.

**Versuchsdurchführung und Auswertung**

Auf der jeweils 20 m langen Versuchsstrecke wurden bei konstant gehaltener Furchenbreite und -tiefe mit dem Sechs-Komponentengerät sechs Kraftschriebe aufgenommen und bei der Auswertung in Teilstrecken entsprechend einer Weglänge von 2,5 m unterteilt, Bild 6. Die durch ein schreibendes Integriergerät

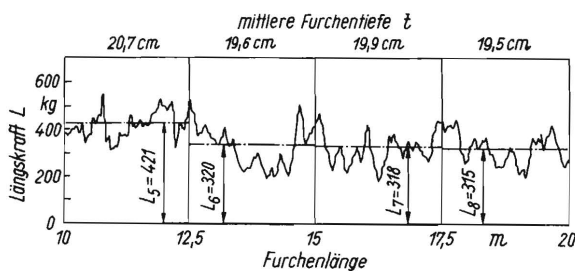


Bild 6. Ausschnitt aus einem Kraftschrieb. Für die Mittelwertbildung wird die Furchenlänge in 2,5 m lange Teilstrecken unterteilt.

festgestellten Mittelwerte dieser Teilstrecken wurden den für diese Teilstrecken ermittelten mittleren Furchentiefen zugeordnet. Durch Wiederholung dieses Versuches mit abgestufter Furchentiefe bei konstanter Furchenbreite wurden dann weitere Messwerte gewonnen.

Der Kraftverlauf, wie ihn Bild 6 für die Längskraft L zeigt, ist bei der Seitenkraft S und der Vertikalkraft V ähnlich: tritt eine Spitze bei der Längskraft L auf, dann erfolgt – in den kleinsten Details nachweisbar – auch eine gleichsinnige Änderung der Kraftkomponenten S und V.

In Bild 7 sind die nach den Hauptebenen<sup>1)</sup> des Pflugkörpers ausgerichteten Kraftkomponenten des resultierenden Bodenwiderstandes R als Längskraft L, Vertikalkraft V und Seitenkraft S über der jeweiligen Furchentiefe (bei konstanter Furchenbreite) dargestellt. Die Charakteristik der einzelnen bandförmig verlaufenden Punkthaufen lässt sich durch eine (strichpunktierte) Mittellinie und eine obere, sowie eine untere Grenzlinie erfassen. Die Grenzlinien schliessen nicht die gesamte Streuung der Kräfte ein, sondern nur die Streuung der Mittelwerte. Die Spitzenwerte des stark schwankenden Kraftverlaufes (Bild 6) treten bei dieser Art der Auswertung nur in einer anteilmässigen Erhöhung der Mittelwerte in Erscheinung. Die Werte  $L_m$ ,  $S_m$  und  $V_m$  der (strichpunktierten) Mittellinien stellen nach Bild 7 die mittleren Teilstrecken-Mittelwerte der Kräfte über der Furchentiefe dar. Im folgenden werden in der Regel die Grössen  $L_m$ ,  $S_m$  und  $V_m$  unter Vernachlässigung der Streuung des Kraftverlaufes und der Streuung der Mittelwerte zur Ermittlung von Gesetzmässigkeiten und zu Vergleichen verwendet.

In dieser Arbeit wurden mehr als 4000 Messpunkte, d.s. Mittelwerte der 2,5 m Messstrecken, verwertet (Bild 7), sodass anzunehmen ist, dass die in den nachfolgenden Bildern wiedergegebenen Gesetzmässigkeiten genügend gesichert sind.

Man muss sich darüber klar sein, dass diese Art der Auswertung nur für eine Reihe von bestimmten

1) siehe DIN 11118.

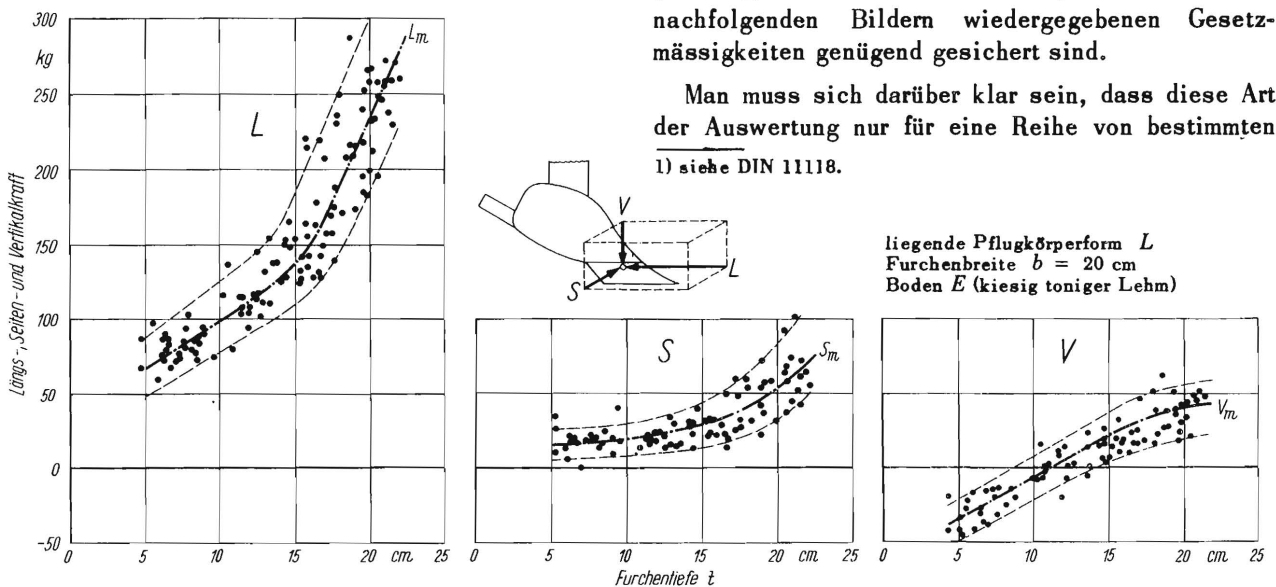


Bild 7. Beispiel für die Streuung der Mittelwerte der 2,5 m Messstrecken bei den drei Kraftkomponenten L, S und V. Auf den strichpunktierten Mittellinien der bandförmigen Streugebiete liegen die mittleren Messstreckenmittelwerte.

Aufgaben (z.B. Einfluss der Kräfte auf die Tiefenhaltung, Beurteilung der Körperformen) nützlich sein kann. Bei Festigkeitsberechnungen, wie sie der Konstrukteur zur Bemessung der Einzelteile durchführt, genügen die (mittleren) Mittelwerte nicht. Hier würde eine Auswertung nach der Grösse und Häufigkeit der Spitzenwerte zweckmässiger sein. Den nachfolgenden Darstellungen wurden jedoch ausschliesslich die Mittelwerte und deren Streuung zugrundegelegt. Bis zum Vorliegen genügender Erfahrungen kann bei Festigkeitsberechnungen als maximaler Spitzenwert etwa der zweifache maximale Mittelwert angenommen werden.

### Einfluss des Bodenwiderstandes

Der Einfluss der Furchentiefe und Furchenbreite auf die Kraftkomponenten an einem steilen Pflugkörper ist eingehend schon in der früheren Arbeit [1] besprochen worden. Wie verändern sich nun die Kräfte bei ein- und derselben Körperform auf Böden mit stark unterschiedlichem Bearbeitungswiderstand? Hierzu muss vorausgeschickt werden, dass jede Pflugkörperform für bestimmte Bodenarten optimal entwickelt und gestaltet wurde. Die S-Form soll auf leichten Böden, die L-Form vorwiegend auf mittelschweren bis schweren, die W-Form auf schweren oder verwachsenen Böden eingesetzt werden. Die Krümelung und das Mischen ist nach heutigen Anschauungen [2, 3] bei den steilen Formen besser, während bei den liegenden und gewundenen Formen das Wenden auf Kosten der anderen Komponenten bevorzugt wird. Praktisch soll mit so steilen Körper-

formen gepflügt werden, als es die Berücksichtigung der anderen Interessen zulässt.

In Bild 8–10 sind für die liegende Körperform *L* und drei verschiedene Böden, und zwar den feinsandigen Lehm *A*, den sandig tonigen Lehm *B* und den kiesig tonigen Lehm *E*, die Kraftkomponenten *L*, *S* und *V* über der Furchentiefe dargestellt. Die Längs- und Seitenkraft steigt mit zunehmendem Bodenwiderstand stark an. Boden *E* benötigt gegenüber Boden *A* das 2,5- bis 3-fache an Zugkraft.

Der Anstieg der Seitenkraft verläuft ähnlich dem der Längskraft, jedoch ist die Zunahme mit der Furchentiefe nicht ganz so gross. Für mittlere Furchentiefen steigt die Seitenkraft von Boden *A* zu Boden *E* auf etwa das 2,2-fache.

Im Gegensatz dazu ist die Vertikalkraft im Bereich zwischen 15 und 20 cm Furchentiefe bei den beiden Böden etwa gleich gross und hat bei kleinerer bzw. grösserer Furchentiefe die Tendenz abzunehmen. Bei kleinen Tiefen wechselt die Vertikalkraft bei Boden *E* das Vorzeichen, d.h. sie wirkt in umgekehrter Richtung (von unten nach oben). Dieser Vorgang erklärt sich daraus, dass die gemessene Vertikalkraft die Resultierende zweier entgegengesetzt gerichteter Kräfte ist: die nach unten gerichtete Vertikalkomponente des Bodenbalkens (erzeugt durch das Heben des Bodens auf dem Streichblech) und der nach oben gerichtete Widerstand des Bodens gegen das Eindringen der Scharschneide (Scharschneidenwiderstand). Bei kleinen Furchentiefen und verhärtete-

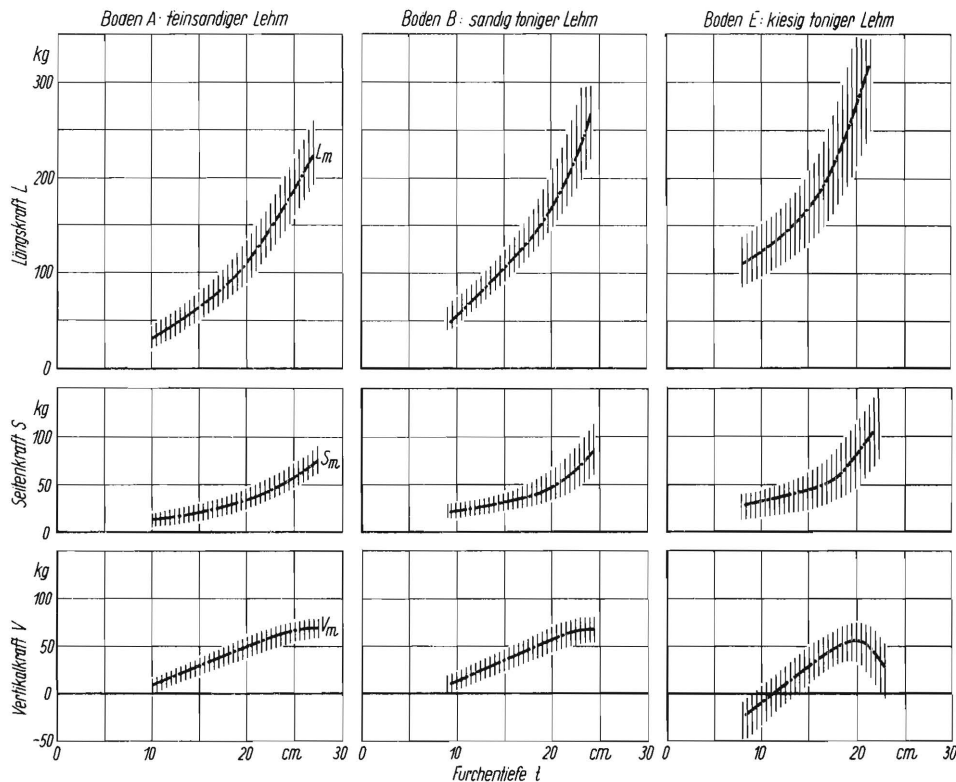


Bild 8–10. Einfluss verschiedener Böden auf die Kraftkomponenten *L*, *S* und *V*.  
liegende Pflugkörperform (*L*) Furchenbreite *b* = 25 cm

tem Boden *E* kann, wie das Bild zeigt, der letztere Anteil überwiegen. Im praktischen Betrieb wird sich das erst dann sichtbar auswirken, wenn die nach oben gerichtete Vertikalkraft infolge des Scharschneidenwiderstandes grösser ist, als der auf dem Pflugkörper lastende Gewichtsanteil des Gesamtfluges. Auch bei grossen Furchentiefen und -breiten kann auf ungünstigem Boden (harter Ortstein) die Vertikalkraft nach oben gerichtet sein. In weichen Böden kann die Streichschiene und die Aussenkante des Streichblechs auf dem Bodenwall der Vorfurche zur Auflage kommen und eine aufwärts gerichtete Vertikalkomponente erzeugen.

Einfluss der Körperform

Beschränkten sich die bisherigen Betrachtungen auf die liegende Körperform *L*, so zeigt Bild 20 für einen bestimmten Furchenquerschnitt, dass der Bodenwiderstand bei der *S*- und *W*-Form etwa gleich gross ist. Es zeigt sich in diesem Bild und in Bild 21 deutlich, dass die liegende Körperform *L* auf allen untersuchten Böden die geringste Zugkraft (Längskraft *L*) benötigt. Ein anderer interessanter Unterschied wird deutlich, wenn der Verlauf des spezifischen Zugwiderstandes in Abhängigkeit von der Furchentiefe für die verschiedenen Körperformen ver-

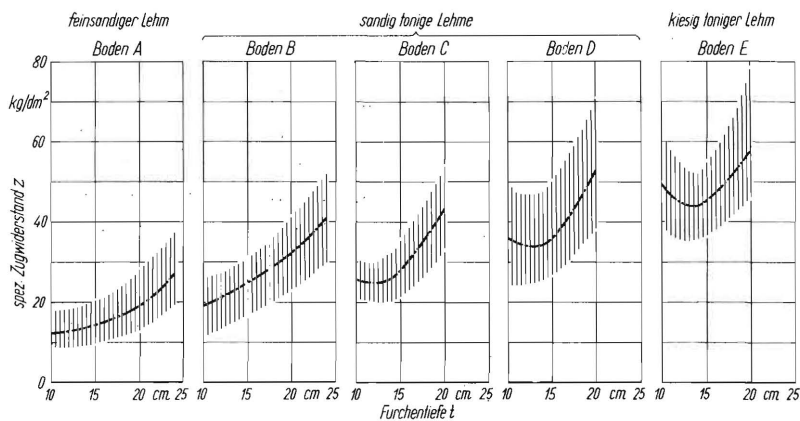
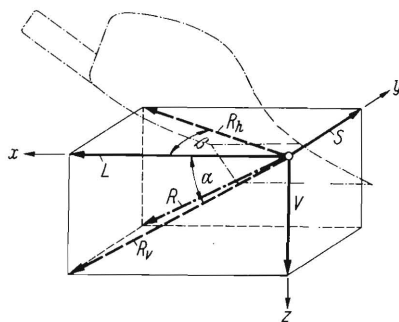


Bild 11–15. Einfluss verschiedener Böden auf den spezifischen Zugwiderstand *z*.  
liegende Pflugkörperform (*L*)  
Furchenbreite *b* = 20 cm.



Für dieselbe Körperform *L* ist in Bild 11–15 für fünf verschiedene Böden der spezifische Zugwiderstand in Abhängigkeit von der Furchentiefe vergleichsweise dargestellt. Die Oberflächenverhärtung bei Boden *E* kommt hier durch das Minimum des Zugwiderstandes bei *t* ≈ 14 cm deutlich zum Ausdruck. Die Absolutwerte erscheinen niedrig; wie bereits erwähnt, muss jedoch bei der Wertung beachtet werden, dass die Sohlen- und Anlagenreibung sowie der Rollwiderstand der Räder (beim Anhängerpflug) die gemessenen *z*-Werte um etwa 30 bis 35% erhöhen würden. Man erhält dann spez. Zugwiderstände, wie sie aus Zugkraftmessungen vollständiger Geräte auf diesen Böden bekannt sind.

Bild 16. Die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes *R*.

Die Richtungen der Teilresultierenden in der Vertikalebene *R<sub>v</sub>* und Horizontalebene *R<sub>h</sub>* sind gegeben durch die vektorielle Zusammensetzung von *V* und *L* bzw. *S* und *L*. Es gilt:  $V_m/L_m = \text{tg } \alpha$  und  $S_m/L_m = \text{tg } \beta$  (Bild 16). Wie sich der unterschiedliche Bodenwiderstand auf den Verlauf der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  auswirkt, zeigen Bild 17 bis 19 für dieselben Verhältnisse wie Bild 8 bis 10 (*L*-Form, *b* = 25 cm). Winkel  $\alpha$  wird mit zunehmendem Bodenwiderstand kleiner; sein Streubereich wächst mit abnehmender Furchentiefe. Im gezeigten Beispiel verringert sich Winkel  $\alpha$  bei Boden *E* gegenüber *A* um etwa 18°. Auch der Winkel  $\beta$  wird mit zunehmendem Bodenwiderstand kleiner. Die Verringerung beträgt jedoch für die gleichen Verhältnisse nur 4 bis 5°.

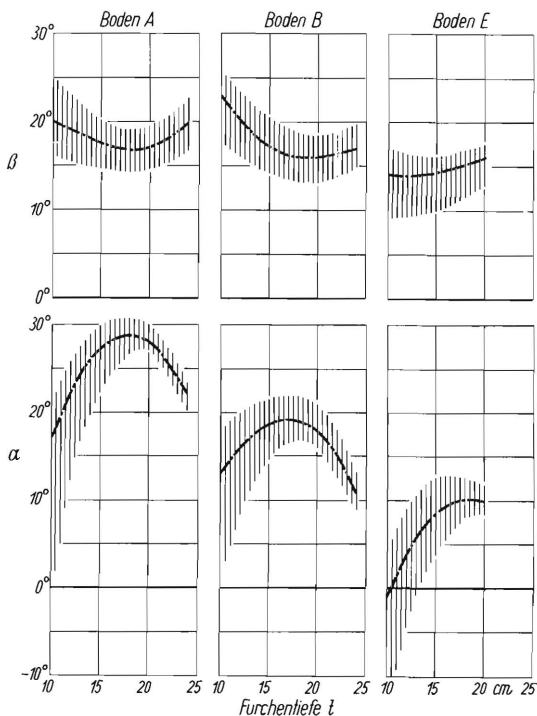


Bild 17–19. Einfluss verschiedener Böden auf die Richtungswinkel  $\alpha$  und  $\beta$  des resultierenden Bodenwiderstandes *R*.  
liegende Pflugkörperform (*L*)  
Furchenbreite *b* = 25 cm

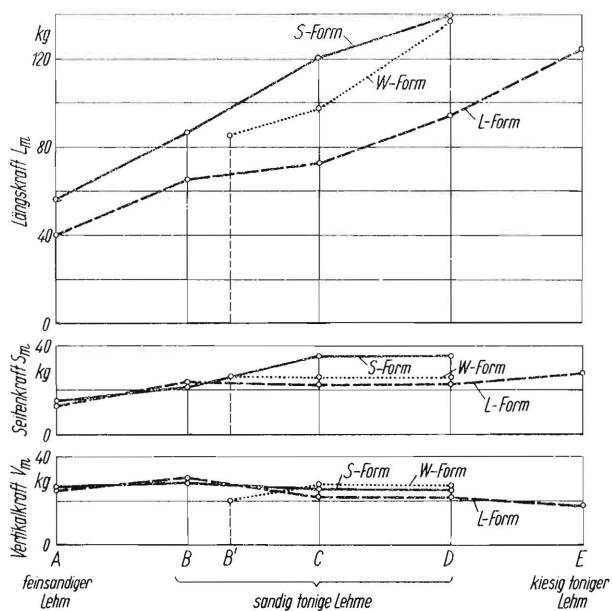


Bild 20. Einfluss der Körperform auf die Kraftkomponenten L, S und V.

Furchenbreite  $b = 20$  cm  
Furchentiefe  $t = 14$  cm

glichen wird, Bild 22. Die Kurve für die Körperform S verläuft im Gegensatz zu den Kurven der Form W und L sehr flach, fast horizontal. Bei Tiefen zwischen 10 und 22 cm ist der Zugkraftbedarf fast unverändert. Bei den Pflugkörperformen W und L steigt mit zunehmender Tiefe der spezifische Zugwiderstand progressiv an. Der Zuwachs ist für die L-Form so gross, dass sich bei  $t = 20$  cm grössere Widerstandswerte als bei der S-Form ergeben, obwohl die Werte der L-Form bei kleinen Tiefen um 30% unter denen der S-Form liegen. Vielleicht deutet sich in der verschiedenartigen Tendenz der Kurven ein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem steilstehenden Körper und dem liegenden Körper mit kleinem Schnittwinkel  $\delta_1$  und weit vordringender Scharschneide an. Die Schneide dringt bei dem letzteren in Bodengebiete ein, die noch nicht seitlich abgeschnitten bzw. abgedrängt sind.

Die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes R ist bei der steilen Körperform S weniger ge-

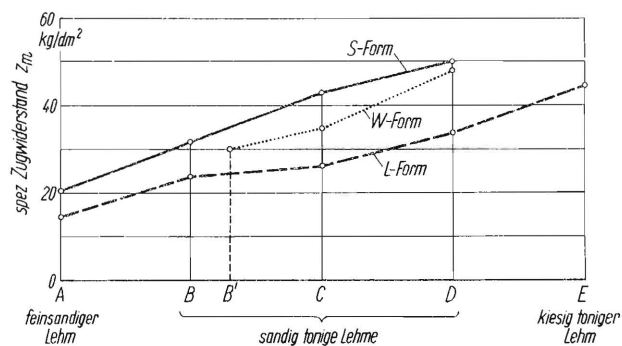


Bild 21. Einfluss der Körperform auf den spezifischen zugwiderstand  $z_m$  bei verschiedenen Böden.

Furchenbreite  $b = 20$  cm  
Furchentiefe  $t = 14$  cm

neigt (siehe Bild 23, Winkel  $\alpha$ ) als bei der liegenden Form L, während die Neigung in der horizontalen Ebene annähernd gleich gross ist (Winkel  $\beta$ ). Hinsichtlich des technologischen Arbeitserfolges liess sich auf Grund des äusseren Eindrucks kein Unterschied zwischen der Arbeit der S- und der L-Form feststellen.

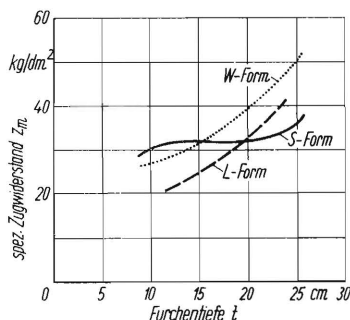


Bild 22. Einfluss der Körperform auf den spezifischen Zugwiderstand  $z_m$  in Abhängigkeit von der Furchentiefe.  
Furchenbreite:  $b = 20$  cm  
Boden B (sandig toniger Lehm)

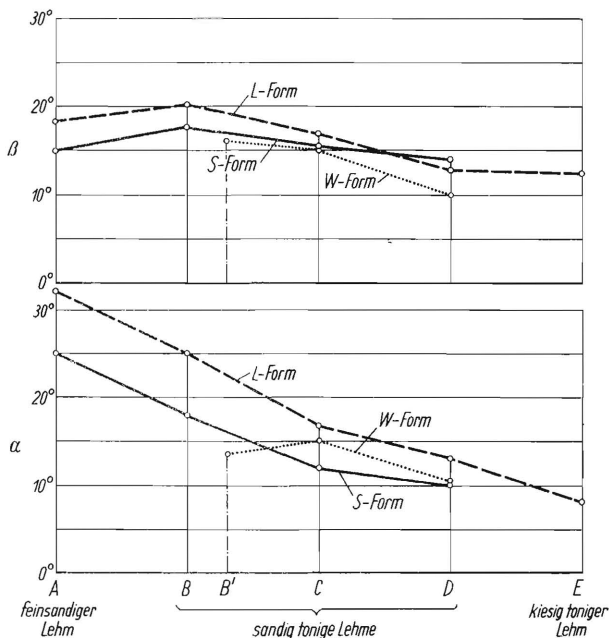


Bild 23. Einfluss der Körperform auf die Richtungswinkel  $\alpha$  und  $\beta$  des resultierenden Bodenwiderstandes R.  
Furchenbreite  $b = 20$  cm  
Furchentiefe  $t = 14$  cm

### Einfluss des Furchenquerschnittes

Die Kräfte  $L_m$ ,  $S_m$  und  $V_m$  lassen sich in einem sogenannten  $b/t$ -Kennfeld sehr übersichtlich und umfassend darstellen, indem man sie über dem Seitenverhältnis  $b/t$  des Furchenquerschnittes mit der Furchentiefe bzw. der Furchenbreite als Parameter aufträgt. In Bild 24 bis 26 sind für die Körperform L und drei verschiedene Böden die  $b/t$ -Kennfelder der drei Kraftkomponenten dargestellt. In diesen Schaubildern gelten die ausgezogenen Linien für konstante Furchenbreite und die gestrichelten Linien für konstante Furchentiefe.

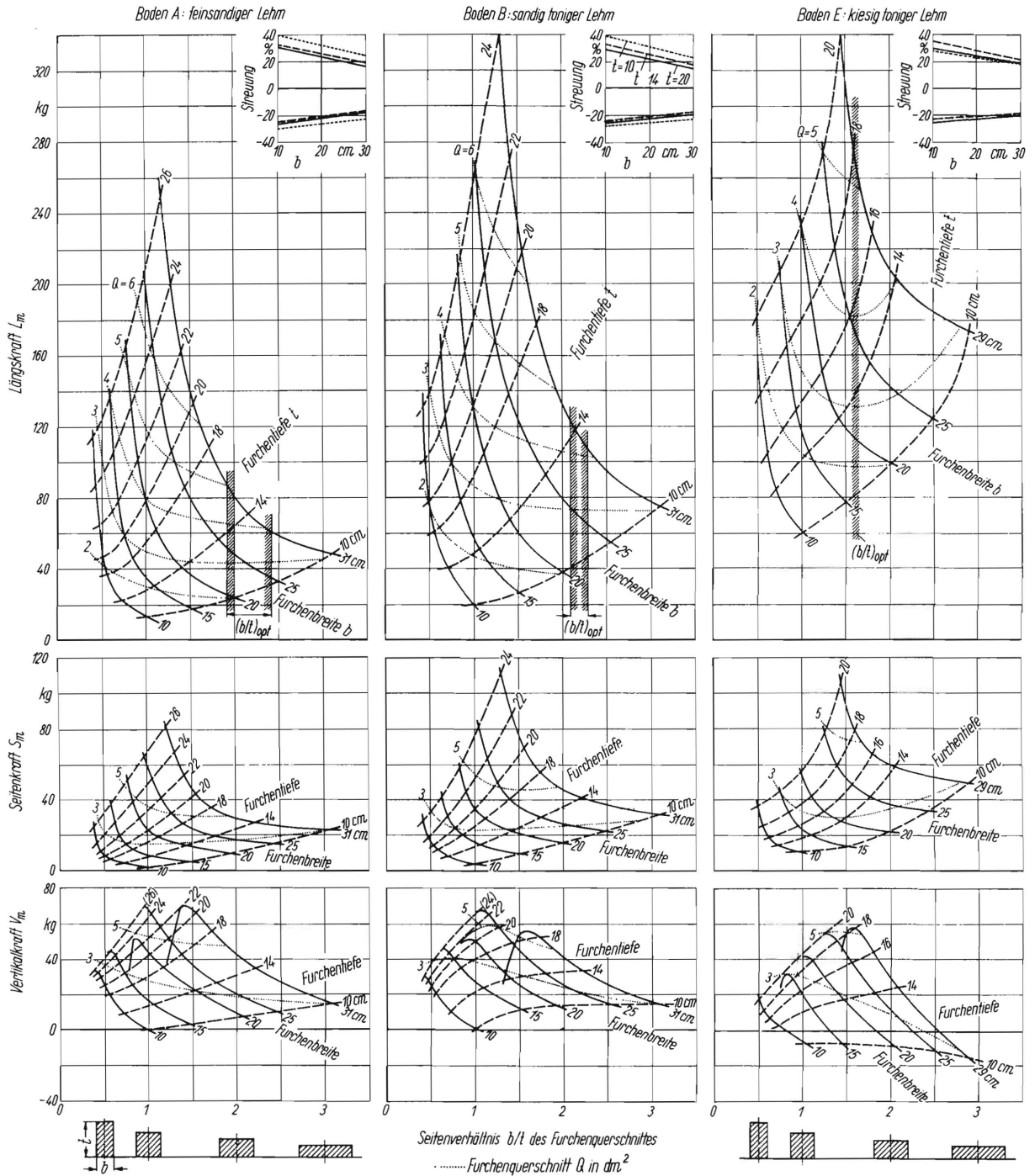
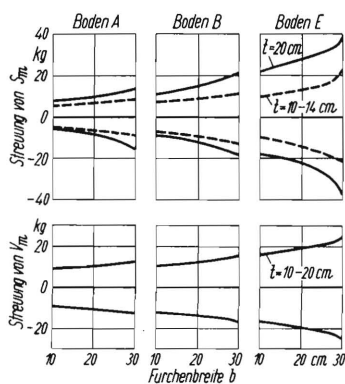


Bild 24–26.  $b/t$ -Kennfelder für Längs-, Seiten- und Vertikalkraft auf drei verschiedenen Böden.

Die Streuung der Längskräfte ist in den jeweiligen Kennfeldern (oben rechts) mit angegeben. Für die Seiten- und Vertikalkräfte kann die Streuung aus den nebenstehenden Darstellungen entnommen werden.  
liegende Pflugkörperform (L)



Man erkennt anhand der Kurven die Gesetzmässigkeiten, nach denen die Kraftkomponenten  $L$ ,  $S$  und  $V$  mit der Furchentiefe (bei  $b = \text{const}$ ) und mit der Furchenbreite (bei  $t = \text{const}$ ) stetig anwachsen. Lediglich in den  $b/t$ -Kennfeldern der Vertikalkraft haben die Linien konstanter Furchenbreite bei grösserer Furchentiefe die Tendenz, nicht mehr anzusteigen, sondern nach dem Durchgang durch ein Maximum ab-

zunehmen. Auf die möglichen Ursachen dieses Verlaufs wurde oben bei Bild 8–10 bereits hingewiesen. (Streichschiene bzw. Streichblechkante liegt bei grossen Tiefen und Breiten auf dem gepflügten Boden der Vorfurche auf; harter Untergrund.)

Aus dem Verlauf der (punktierten) Kurven konstanten Furchenquerschnittes  $Q$  können Rückschlüsse auf den Einfluss des Seitenverhältnisses  $b/t$  des Furchenquerschnittes gezogen werden. Bei zunehmendem Verhältnis  $b/t$ , also in Richtung vom schmal zum breitschneidenden Körper, nimmt die Längskraft  $L_m$  ab, um nach Durchschreiten eines Minimums wieder zuzunehmen. Das optimale Seitenverhältnis  $b/t$ , bei dem die Längskraft am kleinsten ist, ist auf einem bestimmten Boden für sämtliche Querschnitte etwa gleich gross und liegt für die untersuchte Körperform auf Boden  $A$  und  $B$  bei etwa 2 bis 2,5 und bei Boden  $E$  bei etwa 1,6. Auch bei der Seitenkraft (weniger jedoch bei der Vertikalkraft) sind solche Optima zu beobachten.

Wie unterschiedlich die notwendigen Längskräfte sind, kann anhand der Linien konstanten Furchenquerschnittes sofort abgelesen werden. So kann man z.B. auf Boden  $E$  einen Querschnitt  $Q = 4 \text{ dm}^2$  mit den in Zahlentafel 3 angegebenen Längskräften pflügen:

Zahlentafel 3

Einfluss der Form des Furchenquerschnittes auf die Längskraft

$Q$ dm <sup>2</sup>	$b$ cm	$t$ cm	$b/t$	$L_m$ kg	$z_m$ kg/dm <sup>2</sup>
	20	20	1,0	233	58
4	25	16	1,6	182	45
	29	14	2,1	203	51

Praktisch wäre aus diesem Schaubild die Folgerung zu ziehen, dass breitschneidende Pflugkörper energetisch besser arbeiten als schmalschneidende.

Bei dem angeführten Beispiel käme man für den normalen Tiefpflugbereich ( $t = 20 \text{ cm}$ ) zu Arbeitsbreiten von  $b = 32 \text{ cm}$ , d.h. zu Grössenordnungen, wie sie bei amerikanischen Pflugkörpern häufiger als bei deutschen anzutreffen sind.

Der Ermittlung der Streuung der in Bild 24–26 dargestellten Mittelwerte  $L_m$ ,  $S_m$  und  $V_m$  wurde besonderes Augenmerk zugewendet. Es ergaben sich Gesetzmässigkeiten, die für die Längskraft in der rechten oberen Ecke der Kennfelder (Bild 24–26), für die Seiten- und Vertikalkraft gesondert dargestellt sind. Die Streuung für  $L_m$  ist bei allen drei Böden prozentual annähernd gleich gross und bewegt sich für mittlere Verhältnisse ( $b = 20, t = 14 \text{ cm}$ ) zwischen  $\pm 30\%$ . Die prozentuale Höhe der Streuung nimmt mit kleiner werdender Furchenbreite zu. Der Einfluss der Furchentiefe ist bei allen drei Böden gering. Die Absolutwerte der Streuung für  $S_m$  und  $V_m$  wachsen mit zunehmendem Bodenwiderstand und zunehmender Furchenbreite. Allgemein betrachtet zeigen diese Darstellungen, dass die Streuungen der Mittelwerte gesetzmässig verlaufen, was zu der Annahme berechtigt, dass sie durch die Auswertung auch wirklich erfasst worden sind.

Man kann nunmehr für beliebige Mittelwerte aus den Kennfeldern deren Streuung ermitteln. Entnimmt man z.B. aus Bild 25 (Boden  $B$ ) für  $b = 20$  und  $t = 20 \text{ cm}$  eine Längskraft  $L_m$  von 130 kg, dann ist der obere Grenzwert:  $130 + 0,22 \times 130 \approx 160 \text{ kg}$ , der untere Grenzwert:  $130 - 0,22 \times 130 \approx 100 \text{ kg}$ .  $L_m$  schwankt also in den Grenzen zwischen 100 und 160 kg. Als grössten Spitzenwert wird man – wie oben ausgeführt –  $2 \times 160 = 320 \text{ kg}$  zu erwarten haben.

### Optimale Betriebsverhältnisse

Ergänzt wird das  $b/t$ -Kennfeld der Längskraft  $L_m$  durch die Darstellung des spezifischen Zugwiderstandes  $z_m$  über dem Seitenverhältnis  $b/t$  (Bild 27–29). Auch diese Schaubilder gelten für die lie-

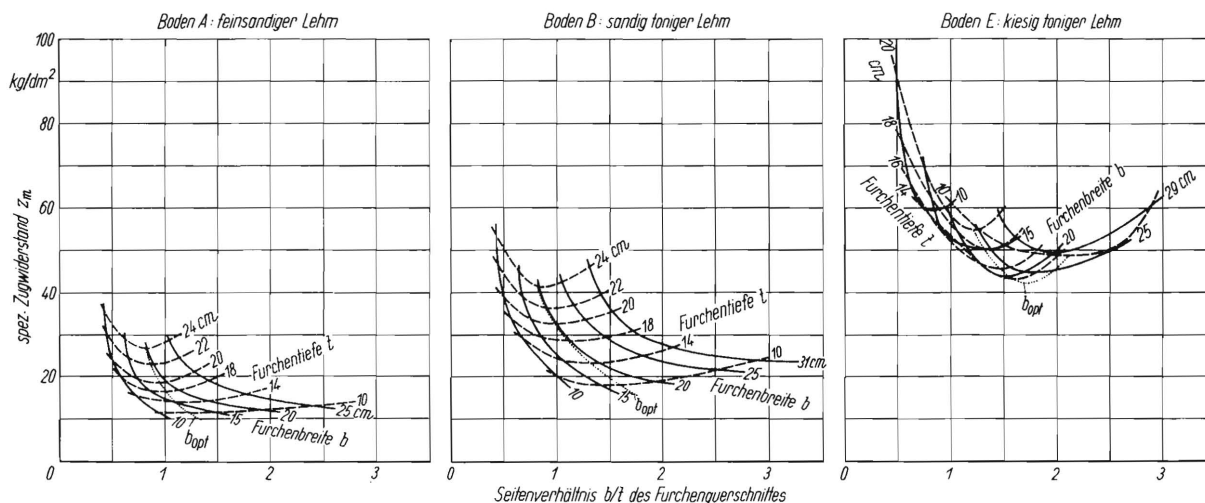


Bild 27–29.  $b/t$ -Kennfelder des spezifischen Zugwiderstandes auf drei verschiedenen Böden. liegende Pflugkörperform ( $L$ )



gende Körperform  $L$  und die drei Böden  $A$ ,  $B$  und  $E$ . Hier interessieren besonders die (gestrichelt gezeichneten) Linien konstanter Furchentiefe. Sie durchlaufen mit grösser werdendem  $b/t$  ein Minimum des spezifischen Zugwiderstandes, für das jeweils eine optimale Furchenbreite bzw. ein optimales Seitenverhältnis  $b/t$  dem Kennfeld entnommen werden kann. Die (punktierten) Linien verbinden die optimalen Furchenbreiten in den drei Kennfeldern; diese Linien sind in Bild 30 vergleichsweise dargestellt. In Zahlentafel 4 sind die den Schaubildern entnommenen Werte für  $b_{opt}$  und  $(b/t)_{opt}$  zusammengestellt.

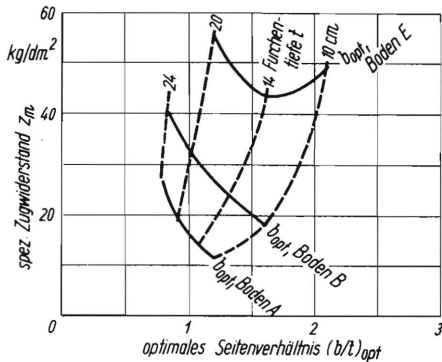


Bild 30. Optimales Seitenverhältnis  $b/t$  und spezifischer Zugwiderstand für drei verschiedene Böden. liegende Körperform ( $L$ )

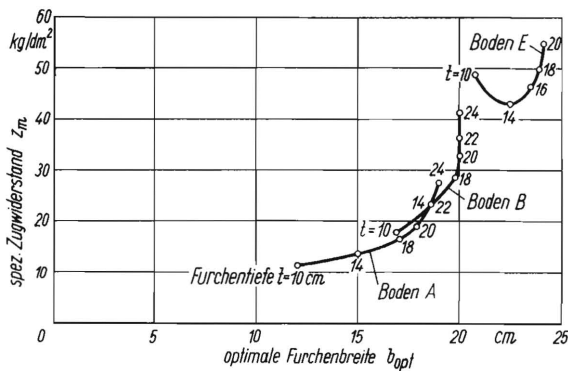


Bild 31. Optimale Furchenbreite und spezifischer Zugwiderstand für drei verschiedene Böden. liegende Körperform ( $L$ )

Zahlentafel 4

Zugeordnete optimale Werte für  $b$  und  $b/t$  (Körperform  $L$ )

Boden	$t$ cm	$b_{opt}$ cm	$(b/t)_{opt}$	$z_m$ kg/dm <sup>2</sup>
A	10–24	12–19	1,2–0,8	11–28
B	10–24	17–20	1,6–0,8	18–24
E	10–20	21–24	2,1–1,2	43–55

Trägt man noch in Bild 31 über der optimalen Furchenbreite den spezifischen Zugwiderstand und in Bild 32 die Furchentiefe auf, so kann man für die untersuchte Körperform  $L$  folgendes aussagen:

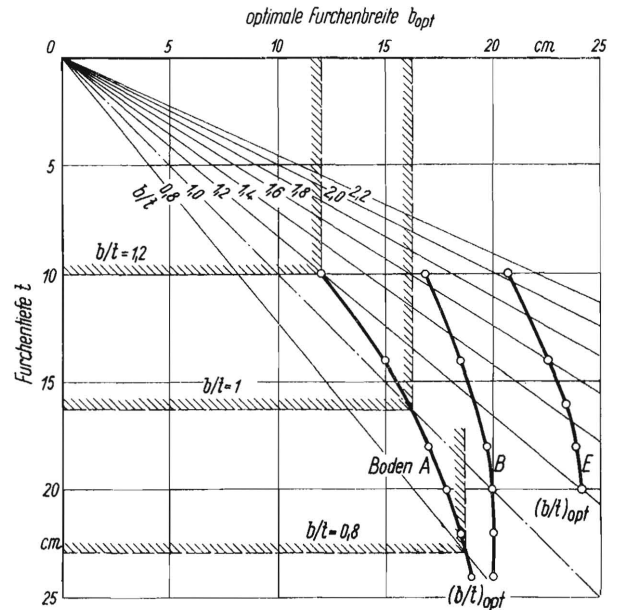


Bild 32. Optimale Betriebsverhältnisse für die liegende Körperform  $L$  und drei verschiedene Böden.

1. Je grösser der spezifische Zugwiderstand dieses Pflugkörpers unter verschiedenen Betriebsverhältnissen (Boden, Arbeitsquerschnitt) ist, umso grösser ist die optimale Arbeitsbreite des Pflugkörpers (Bild 31).
2. Je grösser der spezifische Zugwiderstand eines Bodens ist, umso günstiger ist der breitschneidende Pflugkörper gegenüber dem schmalerschneidenden (Zahlentafel 4 und Bild 30).
3. Je grösser die Furchentiefe bei demselben Boden wird, umso grösser ist der spezifische Zugwiderstand (Bild 27 bis 30). Eine Ausnahme macht nur der an der Oberfläche verkrustete Boden  $E$  in geringen Tiefen (Bild 30).
4. Je grösser die Furchentiefe bei demselben Boden wird, umso grösser ist die optimale Arbeitsbreite (Bild 31 und 32).
5. Je grösser die Furchentiefe bei demselben Boden wird, umso günstiger ist der schmalerschneidende Pflugkörper gegenüber dem breitschneidenden (Zahlentafel 4 und Bild 32).
6. Bei Tiefen bis zu 20 cm beträgt das optimale Seitenverhältnis  $b/t$  etwa 1,0 bis 2,0 (Bild 32). Nur bei grossen Tiefen (über 20 cm) liegen die Werte für  $(b/t)_{opt}$  im Schmalschnittgebiet.

Das letztere Ergebnis steht nicht im Widerspruch zu den Feststellungen zu Bild 24 bis 26, nach denen sich für das optimale Seitenverhältnis andere Werte ergaben. Dort handelte es sich um ein optimales  $b/t$  für einen vorgegebenen Furchenquerschnitt  $Q$  (ohne Rücksicht auf die sich dabei ergebenden Werte für  $b$  und  $t$ ), während im vorstehenden die optimale Furchenbreite  $b$  bzw. das optimale  $b/t$  für eine vorgegebene Furchentiefe  $t$  zu finden war.

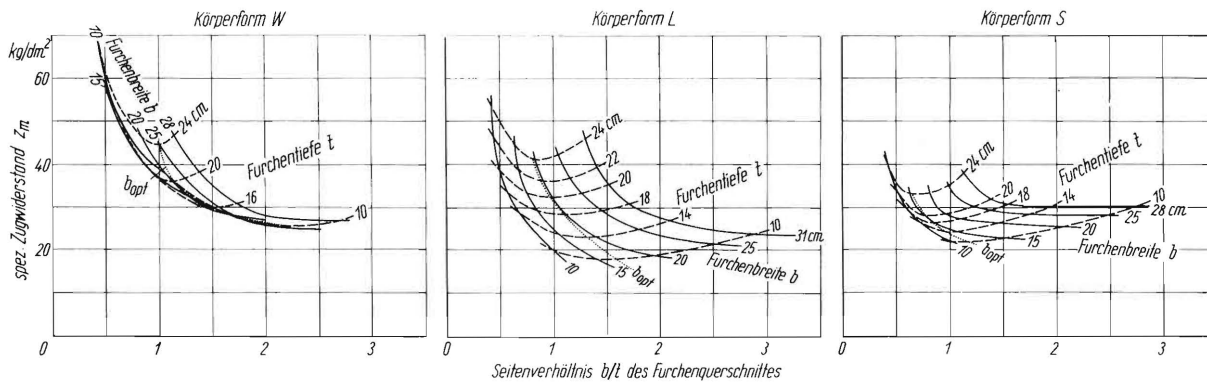


Bild 33–35.  $b/t$ -Kennfelder des spezifischen Zugwiderstandes für drei verschiedene Körperformen. Boden B (sandig toniger Lehm)

Wie sich die drei Körperformen auf einem Boden verhalten, ist in Bild 33–35 für Boden B zusammengestellt. Deutlich unterschiedlich sind die  $b/t$ -Kennfelder für  $z_m$  für die einzelnen Pflugkörperformen. Bei der S-Form ist bei konstanter Furchenbreite der Einfluss der Furchentiefe auf  $z_m$  verhältnismässig gering, während  $z_m$  bei den anderen Formen mit kleinerem Schnittwinkel  $\delta_1$  mit der Tiefe progressiv ansteigen (vgl. auch Bild 22 für einen Querschnitt). Bei der W-Form rücken die Linien konstanter Furchenbreite sehr eng zusammen. Alle Linien konstanter Furchentiefe der drei Kennfelder durchlaufen ein Minimum für  $z_m$ , dem jeweils eine optimale Furchenbreite  $b_{opt}$  entspricht. Die (punktierten) Linien verbinden die  $b_{opt}$ -Werte für verschiedene Furchentiefen und sind in Bild 36 vergleichsweise vereinigt. Hieraus lässt sich für optimale Betriebsverhältnisse auf einem Boden folgendes entnehmen:

1. Die optimalen Breiten liegen bei der S-Form überwiegend im Schmalschnittbereich (Bild 36).
2. Je steiler die Pflugkörperform ist, umso kleiner ist bei gleicher Furchentiefe das optimale Seitenverhältnis  $b/t$  (Bild 36).
3. Je steiler die Pflugkörperform ist, umso kleiner ist für gleiche Furchentiefe der spezifische Zugwiderstand (Bild 36).
4. Je grösser die Furchentiefe bei den drei Körperformen wird, umso grösser wird der spezifische Zugwiderstand (Bild 33 bis 36).

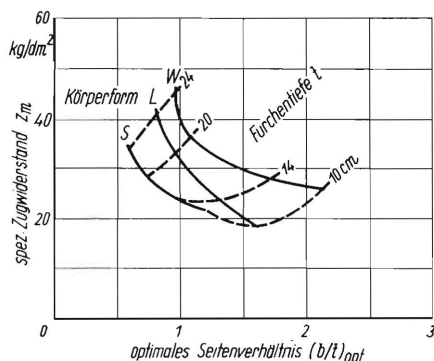


Bild 36. Optimales Seitenverhältnis  $b/t$  und spezifischer Zugwiderstand für drei verschiedene Körperformen. Boden B (sandig toniger Lehm)

5. Der spezifische Zugwiderstand ist für alle drei Körperformen bei kleinen konstanten Furchentiefen und veränderlicher Furchenbreite nur wenig unterschiedlich; er wächst bei grossen konstanten Furchentiefen mit schmalerschneidendem Körper, besonders bei der Wendelform W, erheblich an.

Die Drehmomente am Rumpf

Der Bezugspunkt O im Bild 2 für die an den Pflugkörpern wirkenden Drehmomente wurde (abweichend von der früheren Arbeit [1]) in den Rumpfquerschnitt etwa in der Höhe der Streichblechoberkante verlegt, um die Beanspruchungsverhältnisse des Rumpfquerschnittes besser übersehen zu können (Bild 37). Die Grösse der Momente ist daher mit den früheren Angaben nicht unmittelbar vergleichbar. Die Scharspitze erscheint wegen der je nach Körperform wechselnden Lage zum Rumpf wenig geeignet für Vergleiche von Momenten.

Den Drehmomentenverlauf um die drei Achsen, abhängig von der Furchentiefe, zeigt als Beispiel Bild 38 bis 40 für die liegende Körperform L bei einer Furchenbreite von  $b = 25$  cm für drei verschiedene Böden. Am grössten ist in allen Fällen das um die Querachse wirksame Moment  $M_y$ , das den Rumpf am Einspannquerschnitt auf Biegung beansprucht. Es steigt mit zunehmender Furchentiefe bis auf 80 kgm an. Bemerkenswert ist die geringe Änderung der Momente mit zunehmendem Bodenwiderstand (vergl. Bild 27–29), was seine Ursache darin hat, dass jeweils zwei Momente um eine Achse gegeneinanderarbeiten.

Bei den anderen Körpern verhalten sich die Drehmomente durchaus ähnlich; auch sind die Absolut-

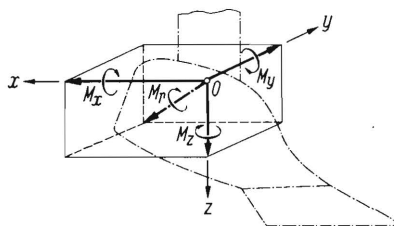


Bild 37. Die Komponenten des resultierenden Drehmomentes im Bezugspunkt O (Bild 2) des Körperpumpfes.

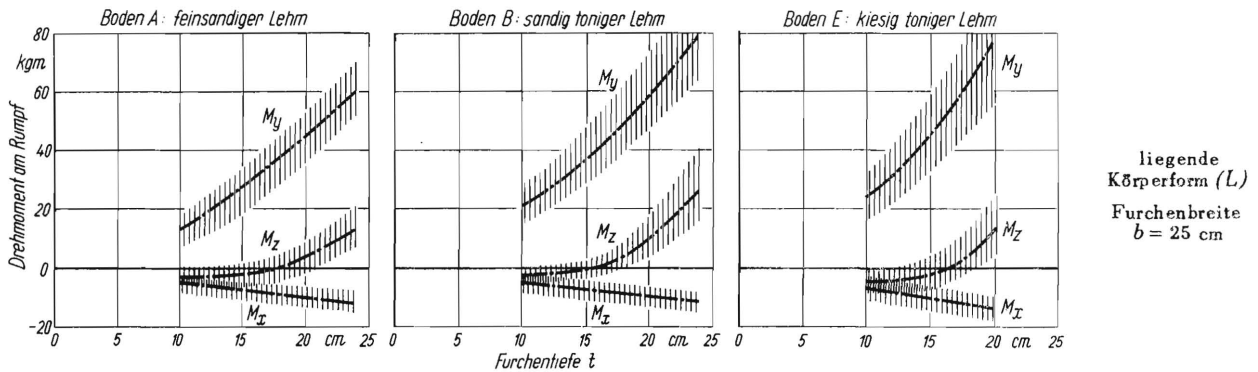


Bild 38–40. Drehmomente am Rumpf bei drei verschiedenen Böden.

werte wenig unterschiedlich. Für einen Furchenquerschnitt und einen Boden geben Bild 41 und 42 für die drei untersuchten Körperformen einen vergleichweisen Überblick über die Längs-, Seiten- und Vertikalkräfte sowie das Moment  $M_y$  um die Querachse.

### Zusammenfassung

An drei verschiedenen Pflugkörperformen wurden bei Feldversuchen auf Böden mit stark unterschiedlichem Bearbeitungswiderstand die Kräfte und Momente gemessen. Die Messungen wurden auf trockenen Böden bei einer Geschwindigkeit  $v = 3,6$  km/h mit Pflugkörpern ohne Anlage und ohne Sech durchgeführt. Mitgeteilt werden Mittelwerte der einzelnen Feldmessungen und deren Streuung.

Beim Vergleich der Kräfte an einer Form auf fünf verschiedenen Böden wachsen die Längs- und Seitenkräfte entsprechend dem Bodenwiderstand, während die Vertikalkraft infolge des stärkeren Schar schneidenwiderstandes abnimmt, im Sonderfall (kleine Tiefen, harte Oberfläche) sogar nach oben gerichtet ist. Die Lage der resultierenden Kraft ist dementsprechend flacher. Dieses Verhalten wurde bei der S- und L-Form ermittelt. Von allen drei Körpern hat die L-Form bei allen Böden deutlich die geringsten spezifischen Zugwiderstände, wobei die subjektive Beurteilung des technologischen Arbeitserfolges keine Unterschiede erkennen liess.

Ein Vergleich der optimalen Betriebsverhältnisse einer Form (L-Form) zeigte:

Je schwerer bearbeitbar der Boden, umso grösser die optimale Breite und umso grösser das optimale Seitenverhältnis  $b/t$  des Furchenquerschnittes.

Das optimale Seitenverhältnis liegt zwischen 1,0 und 2,0. Nur bei grossen Tiefen ist es  $< 1,0$  (Schmalchnitt).

Auf einem Boden ergibt sich für das Verhalten der drei Körperformen:

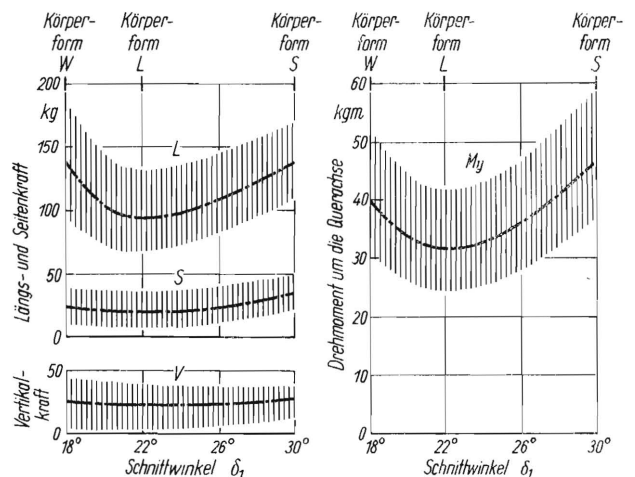


Bild 41 und 42. Kräfte und Momente um die Querachse für drei verschiedene Körperformen.

$b = 20$  cm  $t = 14$  cm Boden D (sandig toniger Lehm)

Das optimale Seitenverhältnis des Furchenquerschnittes liegt bei der S-Form weitgehend im Schmalchnittbereich und wächst mit abnehmendem Schnittwinkel  $\delta_1$ . Die spezifischen Zugwiderstände der S-Form steigen, im Gegensatz zu den anderen Formen, mit der Tiefe nur wenig an.

Die Drehmomente wurden auf einen Rumpfquerschnitt, etwa in Höhe der Streichblechoberkante, bezogen. In allen Fällen ist das Moment  $M_y$  um die Querachse (Biegebeanspruchung des Rumpfes am Einspannquerschnitt) am grössten. Es erreicht Werte bis zu 80 kgm und steigt, ähnlich wie die Momente um die anderen Achsen, mit zunehmendem Zugwiderstand nur wenig an.

### Schrifttum

- [1] Getzlaff, G.: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. In: Grundlagen der Landtechn. 1951, Heft 1, S. 16–22.
- [2] Tornau, O.: Landwirtschaftliche Bodenbearbeitung. In: Hdb. der Bodenlehre Bd. 9, Berlin 1931.
- [3] Frese, H.: Bodenbearbeitung und ihre technische Lösung. Landtechnik 7 (1952) S. 115–119.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. Ing. W. Kloth

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