

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE KRÄFTE AN NORMPFLUGKÖRPERN

Von Günter Getzlaff

In einer früheren Arbeit [1] wurde über die Kräfte und Momente an einem Pflugkörper auf einem Boden berichtet und die Gesetzmässigkeiten der bei der Arbeit auf dem Acker an einem Pflugkörper wirkenden Längs-, Seiten- und Vertikalkräfte sowie der Momente aufgezeigt. In der darauffolgenden Arbeit [2] wurden an drei verschiedenen Pflugkörperformen auf verschiedenen Böden vergleichende Untersuchungen durchgeführt. Die Pflugkörper waren dem Programm einer Firma entnommen und weichen in ihrer Form von der in den DIN Normen 11119 bis 11125 festgelegten Form ab. Den vergleichenden Betrachtungen wurden die mittleren an den Pflugkörpern angreifenden Kräfte zugrundegelegt. In einer dritten Arbeit wurden die maximalen Kräfte, die auf steinigem Acker an den Pflugkörpern angreifen und die bei der Bemessung der Pflugteile von Interesse sind, gemessen und darüber an anderer Stelle dieses Heftes [3] berichtet.

In der vorliegenden Arbeit wurden nun die mittleren Kräfte und Momente an Normpflugkörpern untersucht. Im ersten Abschnitt dieses Berichtes wird ein Vergleich von vier Normpflugkörpern verschiedener Form (steil, mittelsteil, liegend, wendelig) aber gleicher Nenngrösse durchgeführt. Dieser Vergleich wird in einem weiteren Abschnitt für die mittelsteile Körperform auf drei verschiedene Nenngrössen (M 16, M 20, M 25) ausgedehnt. Verglichen wurde der Einfluss des Bodenwiderstandes und der Körperform (S 20, M 20, L 20, W 18) auf die Längs-, Seiten- und Vertikalkräfte am Körper, auf den spez. Zugwiderstand, auf die resultierenden Kräfte ihrer Grösse und Richtung nach sowie auf die Drehmomente am Rumpf. Schliesslich werden die Gesetzmässigkeiten der Streuung sowie einige sich in den Messungen andeutende grundsätzliche Zusammenhänge mitgeteilt.

Zur Problematik von Vergleichsmessungen an Pflügen

Bevor auf die Messungen im einzelnen eingegangen wird, sei daran erinnert, dass jede Pflugkörperform nur für bestimmte, begrenzte Bodenarten entwickelt wurde. Das geschah bisher weitgehend intuitiv auf Grund subjektiver Beobachtung des äusseren Bildes der Furche, des Strömungsablaufs während der Arbeit (Vermeiden von Kleben oder Stauungen usw.), wobei (meist am Schwingpflug) die Führung des Pflugkörpers an den Sterzen gefühlsmässig beobachtet, die Lastigkeit gewissermassen „erfühlt“

und durch entsprechendes Ändern der Körperform das Optimum erarbeitet wurde. Optimum hiess hierbei: sauberes, möglichst gleichmässiges Furchenbild und stabile Lage des Pflugkörpers im homogenen Boden (Selbstführung). Dabei geschah die Beurteilung der Lockerung, Mischung und Wendearbeit (Sammelbegriff: landwirtschaftlicher Arbeitserfolg) subjektiv auf Grund des Augenscheins. Diese Entwicklungsarbeiten erfordern einen umfassenden Erfahrungsschatz, gepaart mit der Fähigkeit durch ausdauerndes Erproben allmählich zur Bestform zu gelangen. Intuitives Erfassen und Deuten gewisser Beobachtungen und zufälliges Finden mögen am Entstehen der Endform in wechselnden Anteilen beigetragen haben. Schliesslich erreicht man aber mit diesen empirischen Methoden eine Grenze, die nur durch exakte Messungen – der Güte der Bodenbearbeitung sowohl, wie des Kraftaufwandes – überwunden werden kann. Solange die unter dem Sammelbegriff „landwirtschaftlicher Arbeitserfolg“ verstandenen Kriterien nicht reproduzierbar zu messen und ihr Einfluss auf den Ertrag nicht bekannt sind, fehlt ein wesentliches Glied in der einwandfreien Beurteilung von Pflugkörperformen. Das muss auch beim Studium dieser Arbeit beachtet werden. Die vorliegenden Messungen können daher nur vergleichende Auskunft über die Kräfte an den einzelnen Formen geben, ausgedrückt durch die Fragestellungen:

- a) In welchem Bereich pflüge ich mit dem geringsten Bedarf an Zugkraft, wenn die Furchenbreite b , die Furchentiefe t , der Furchenquerschnitt Q oder das Seitenverhältnis b/t vorgegeben sind?
- b) In welchem Bereich erhalte ich möglichst grosse positive Vertikalkräfte (Einziehen des Pfluges in harte Böden) bzw. eine möglichst stabile Pfluglage?
- c) Wie verändern sich die Seitenkräfte?
- d) Wie beeinflussen die Streichblechformen und ihre Winkel an der Austrittskante den Kräfteverlauf?
- e) In welchem Bereich streuen die resultierenden Kräfte im Hinblick auf den Anbau der Geräte an den Schlepper?

Eine weitere Schwierigkeit, einwandfreie Vergleiche zu erhalten, wird durch die sich bei allen Messungen auf dem Acker ergebende Streuung der Messgrössen hervorgerufen. Ihre Erfassung gehörte mit zur Aufgabenstellung; die gefundenen Gesetzmässigkeiten werden in einem besonderen Abschnitt erörtert werden. Zu allen Messergebnissen ist die

Streuung angegeben worden. Wurde die Streuung in manchen Schaubildern zur Ermöglichung des Vergleichs herausgelassen, so muss naturgemäss ihr Vorhandensein und ihr Ausmass bei jeder Folgerung sorgfältig beachtet werden.

Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden auf 3 Böden¹⁾ vorgenommen, deren Korngrössenverteilung in Bild 1 und 2 angegeben ist. Ihre Benennung erfolgt in der Rang-

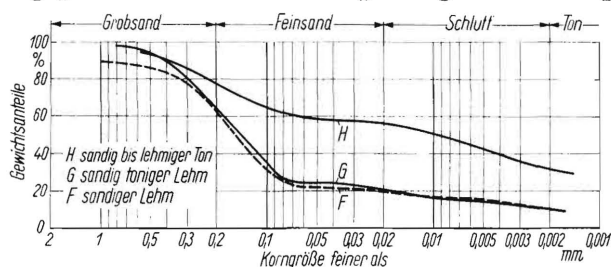


Bild 1. Korngrössenverteilung der Versuchsböden.

folge steigenden Bearbeitungswiderstandes mit dem Buchstaben F, G und H; ihre Porenanteile und Wassergehalte sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Zahlentafel 1. Die Versuchsböden

Kenn- zeichen	Bodenart	Wassergehalt		Porenanteil	
		Gew. %	in einer Tiefe von cm	%	in einer Tiefe von cm
F	sandiger Lehm	11 14	12 22	43	18–22
G	sandig toniger Lehm	9	10–20	42–38	10–20
H	sandiger bis lehmiger Ton	13 18	10 18	43–34	8–18

Die beiden Böden F und G sind ihrem Aufbau nach weitgehend sandige Böden, was aus der Korngrössenverteilung deutlich ersichtlich ist, obwohl ein braunes Aussehen von Boden F (Typ brauner Waldboden) stärkeren Lehmgehalt vortäuschte. Boden G hatte bei durchaus ähnlicher Korngrössenverteilung ein fahlgräues bis schwarzes Aussehen (podsolierter, gebleichter brauner Waldboden), doch lag der Bearbeitungswiderstand merklich höher, wozu vielleicht die stärkere Austrocknung bis in die tieferen Schichten beigetragen haben mag. Auf diesem Boden zeigte sich bei Kontroll- und Ergänzungsmessungen, dass eine geringe Befeuchtung (5mm Regen zwei Tage vor einer Versuchsreihe) eine merkliche Verringerung des Bearbeitungswiderstandes zur Folge hatte. Boden H mit teilweise mehr als 30% Ton war an der Oberfläche im Verhältnis zu der darunterliegenden Bearbeitungszone stärker als die anderen Böden ausge-

trocknet. Die gepflügte Furche zeigte rötlichbraun gefärbte, fest zusammengebackte Schollen. Die Versuche erfolgten nach einer längeren Trockenperiode. Auch während der verschiedenen Messungen blieb der Feuchtigkeitszustand der Böden konstant. In allen drei Fällen handelt es sich um Weizenstoppeläcker.

Die Versuchseinrichtung und -durchführung sind früher ausführlich beschrieben worden [1]. Der jeweilige Messpflugkörper war, fest verbunden mit dem Sechskomponenten-Messgerät, als letzter Pflugkörper in einem dreischarigen Rahmen-Anhängepflug eingebaut. Mit dem vorherlaufenden mittleren Pflugkörper der gleichen Type wurde die Arbeitsbreite des Messkörpers eingestellt. Für je vier verschiedene Furchenbreiten $b = 12, 15, 20$ und 26 cm wurden Gruppen von Messfurchen unterschiedlicher, aber jeweils konstant bleibender Tiefe gepflügt. Alle Messungen wurden ohne Sech, ohne Anlage bzw. Sohle und bei der Geschwindigkeit $v = 1$ m/s durchgeführt. Bei der Beurteilung der spez. Zugwiderstände des gesamten Pfluges ist daher zu beachten, dass für Sohle- und Anlagenreibung sowie Rollreibung der Pflugräder Zuschläge (etwa 30–35%) gemacht werden müssen. Für die folgenden Ergebnisse wurden etwa 2600 Teilmessstrecken von je 2,5 m Länge ausgewertet. Ein jeder der in den späteren Diagrammen (z.B. in Bild 6 bis 21) gezeigten Messpunkte entspricht dem Mittelwert einer solchen Teilmessstrecke.

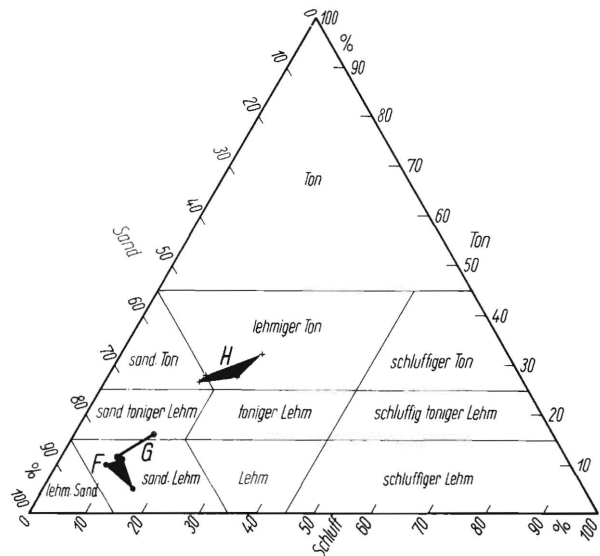


Bild 2. Dreieckdiagramm zum Vergleich der Textur der Versuchsböden anhand der Korngrössenfraktionen [4].

A. Vergleich von vier Normkörperformen gleicher Nenngrösse

Die erste Gruppe von Messungen wurde mit den vier Normkörperformen S 20, M 20, L 20, W 18 (die Ziffer bedeutet normgemäss die Nenntiefe der Körper in cm) durchgeführt. Es handelt sich also um eine Reihe gleichgrosser Körper, deren unterschiedliche Form die Skala von der steilen Form bis zur Wendelform umfasst. Die Hauptabmessungen der Pflugkörper, von

¹⁾ Herr Administrator Eberhardt, Domäne Mariental bei Hilmstedt, stellte freundlicherweise die Ackerflächen zur Verfügung, wofür auch an dieser Stelle gedankt sei.

deren Ausführung Bild 3 und 4 einen Eindruck vermitteln, sind in Zahlentafel 2 zusammengestellt. Eine Gegenüberstellung ihrer Formlinien sowie der Winkel φ_1 und γ ist in Bild 5 vorgenommen worden.

Zahlentafel 2
Die Daten der untersuchten Normpflugkörper

Normbezeichnung		Körperform			
		steil S 20	mittel- steil M 20	liegend L 20	wendel W 18
Arbeitstiefe t_n	cm	20	20	20	18
Arbeitsbreite b_n	cm	26	26	26	26
Scharschneidenwinkel φ_1		42,5°	42°	44°	46°
Schnittwinkel δ_1	*)	22,5°	22,5°	20,5°	20°
Horizontaler Anstellwinkel γ des Streichblechs in 200 mm Höhe		52°	48°	47,5°	51–45°
Austrittswinkel ψ am Streichblechende (Schnitt C)		105°	105°	97°	108°
Streichschiene		ohne	mit	mit	mit
geeignet für		leichte, sandige Böden	mittelschwere Böden	mittelschwere bis schwere Böden	schwere oder verwachsene Böden

*) Alle Schar sind gewölbt. Schnittwinkel der Scharsehne δ_1' ist um 2 bis 3° größer.

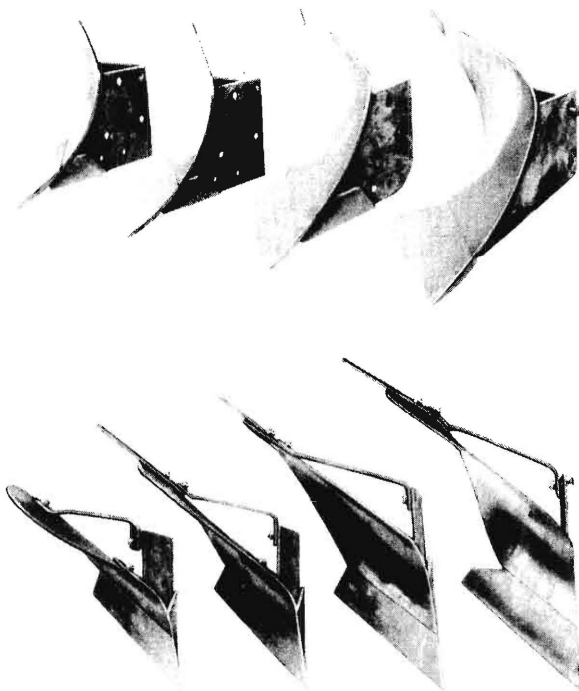


Bild 3 und 4. Die vier untersuchten Normpflugkörper in Ansicht und Draufsicht.

Von links nach rechts: S 20 (steile Form), M 20 (mittelsteile Form), L 20 (liegende Form) und W 18 (Wendelform).

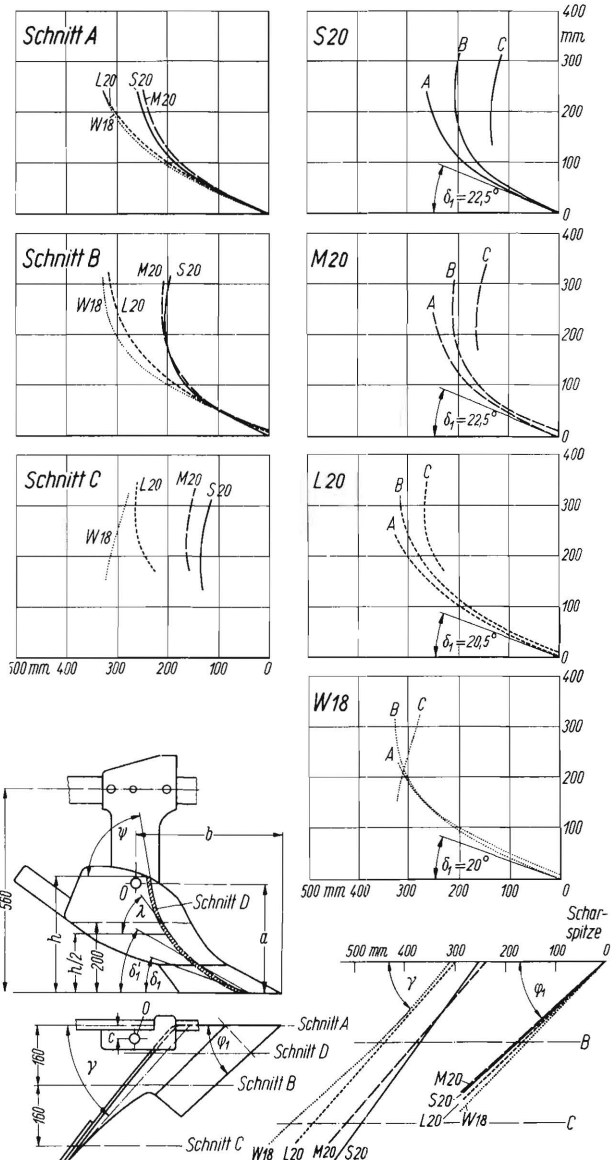


Bild 5. Die senkrechten Formlinien und die Winkel φ_1 und γ der vier untersuchten Normpflugkörper gleicher Nenngröße. Die Schneidpunkte der Formlinien sind bei den Darstellungen im Nullpunkt übereinandergelegt.

γ Anstellwinkel der (strichpunktierten) horizontalen Formlinie des Streichbleches in 200 mm Höhe

δ_1 Schnittwinkel in der Schnittebene D

δ_1' Schnittwinkel mit der Sehne der Scharwölbung als Schenkel in der Schnittebene D

φ_1 Scharschneidenwinkel

ψ Austrittswinkel am oberen Streichblechende (mit Index der jeweiligen Schnittebene)

λ Wölbungswinkel in halber Streichblechhöhe

0 Bezugspunkt für die gemessenen Drehmomente. (Bezüglich der Umrechnung auf andere Bezugspunkte vergl. [1] Abschnitt G und H)

Lage des Bezugspunktes 0 für die gemessenen Drehmomente

Pflugkörper	a mm	b mm	c mm
S 20	310	366	15
M 20	310	376	15
L 20	310	459	15
W 18	310	471	15
M 16	310	396	15
M 20	310	376	15
M 25	310	406	15

Für die Beurteilung der folgenden Messergebnisse sind bei Betrachtung der Formlinien und Zahlentafel 2 folgende Punkte bemerkenswert:

- Der Schnittwinkel δ_1 ist bei allen vier Formen wenig unterschiedlich.
- Auch der Austrittswinkel ψ_C am Streichbleche unterscheidet sich bei allen vier Formen verhältnismässig wenig.
- Die Formlinien der beiden steilen Formen S 20 und M 20 verlaufen sehr ähnlich (Bild 5); ihre Winkel δ_1 und ψ_C sind gleich gross.
- Die beiden steilen Formen S 20 und M 20 weisen im mittleren Teil des Streichblechs eine starke Wölbung mit kleinen Krümmungsradien auf (Schnitt B, Bild 5).
- Schon in Schnitt B sind bei Form S 20 und M 20 die Streichbleche am Austritt (Winkel ψ_B) so stark gekrümmt, dass die Umlenkung des Bodens mehr als 90° beträgt.
- Die Formlinien der beiden liegenden Formen L 20 und W 18 verlaufen in Schnitt A und B ebenfalls sehr ähnlich.

Der Einfluss des Bodenwiderstandes

Zunächst soll der Einfluss des Bodenwiderstandes auf die Kräfte und Momente bei den einzelnen Normkörperformen anhand der drei Böden F, G und H untersucht werden. Anschliessend wird in einem besonderen Abschnitt der Einfluss der Pflugkörperform auf die Kräfte und Momente unter sonst gleichen Versuchsbedingungen dargelegt.

Die Kraftkomponenten

In Bild 6 bis 21 sind für die Versuchsböden F, G und H die einzelnen Versuchsmittelwerte der drei Kraftkomponenten Längskraft L , Seitenkraft S und Vertikalkraft V in Abhängigkeit von der Furchentiefe für jede der vier Körperformen dargestellt. Neben den nach Bodenart getrennten Einzeldarstellungen des Streubereichs der Komponenten L , S und V sind zum Vergleich nur die Mittellinien L_m , S_m und V_m für die drei Böden – getrennt nach Körperform – übereinandergezeichnet (Bild 9, 13, 17, 21), weil die sich zum Teil überdeckenden Streubereiche einen Vergleich sehr erschweren würden. Für die Körperformen S 20, L 20 und W 18 sind die Vergleichsmessungen mit der Furchenbreite $b = 20$ cm durchgeführt und dargestellt worden; für die Körperform M 20 dagegen sind vergleichbare Messungen nur mit der Furchenbreite $b = 26$ cm durchgeführt worden (Bild 10 bis 13). Die Grösse der Kräfte dieses Körpers ist daher mit den entsprechenden der anderen drei Körper nicht ohne weiteres vergleichbar. Lediglich auf dem Boden F wurde auch beim Körper M 20 mit der Furchenbreite $b = 20$ cm gearbeitet (Bild 10a).

Die Längskraft steigt bei allen vier Körperformen mit zunehmendem Bodenwiderstand an, wobei die progressive Tendenz der Längskraft L auf dem san-

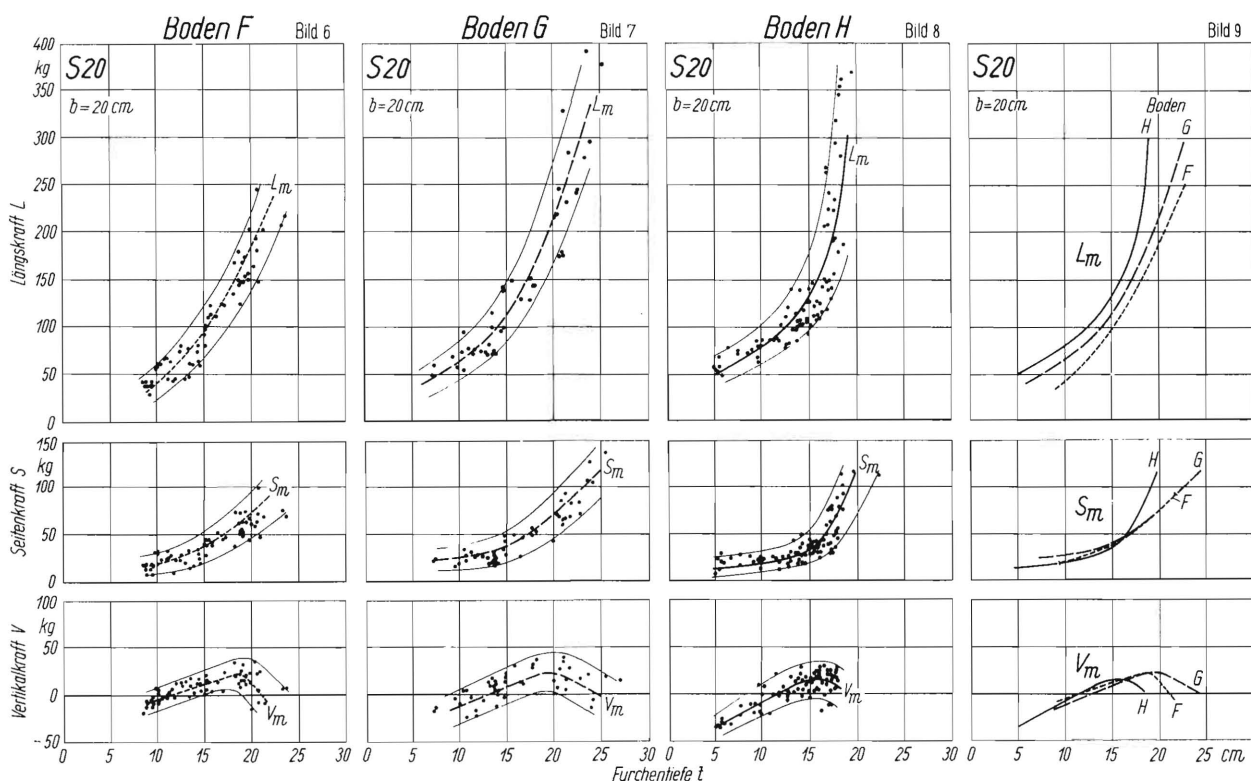
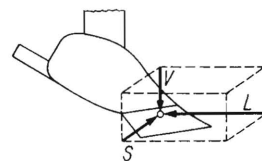


Bild 6 bis 9. Einfluss der Bodenart und der Furchentiefe auf die Kraftkomponenten L , S und V , bei der steilen Körperform S 20, $b = 20$ cm.

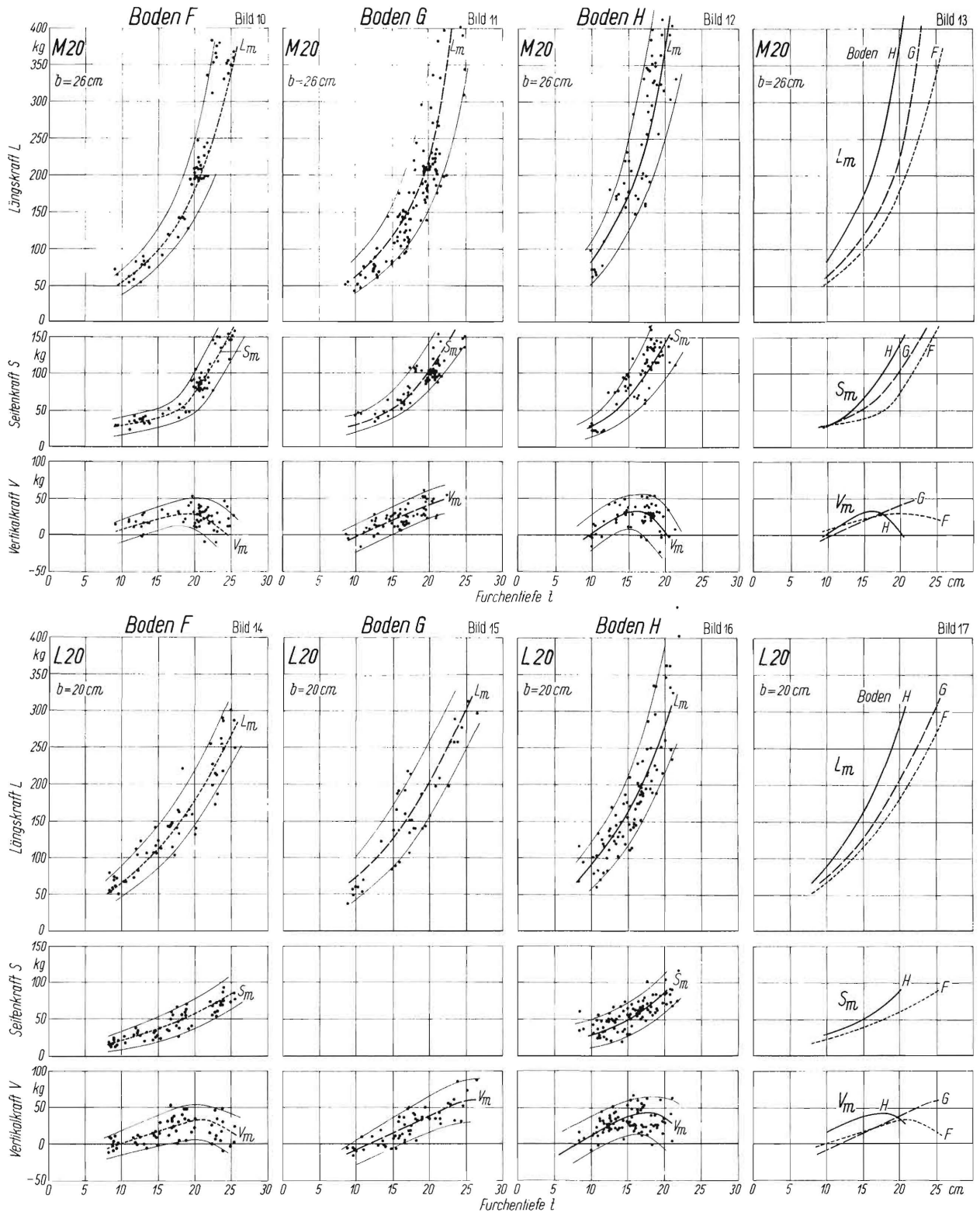


Bild 10 bis 17. Einfluss der Bodenart und der Furchentiefe auf die Kraftkomponenten L , S und V ,
bei der mittelsteilen Körperform M 20, $b = 26$ cm (Bild 10 bis 13),
bei der liegenden Körperform L 20, $b = 20$ cm (Bild 14 bis 17).

digen bis lehmigen Ton H bei den Formen S 20 und W 18 besonders hervorzuheben ist. Die Seitenkraft wächst bis zu mittleren Tiefen nur wenig an. Erst bei Tiefen über 12 bis 15 cm erfolgt, besonders bei den Formen S 20, M 20 und W 18, ein sehr steiler Anstieg. Bei der Form L 20 ergeben sich auch auf Boden H

(Bild 16) bemerkenswert flache Seitenkraftkurven gegenüber den anderen Körpern (S in Bild 8, 12 und 20).

Die Vertikalkraft zeigt die schon früher [1, 2] ermittelte Tendenz, bei grösseren Furchentiefen nach Durchschreiten eines Maximums wieder abzunehmen. Zunehmender Bodenwiderstand (von Boden F über

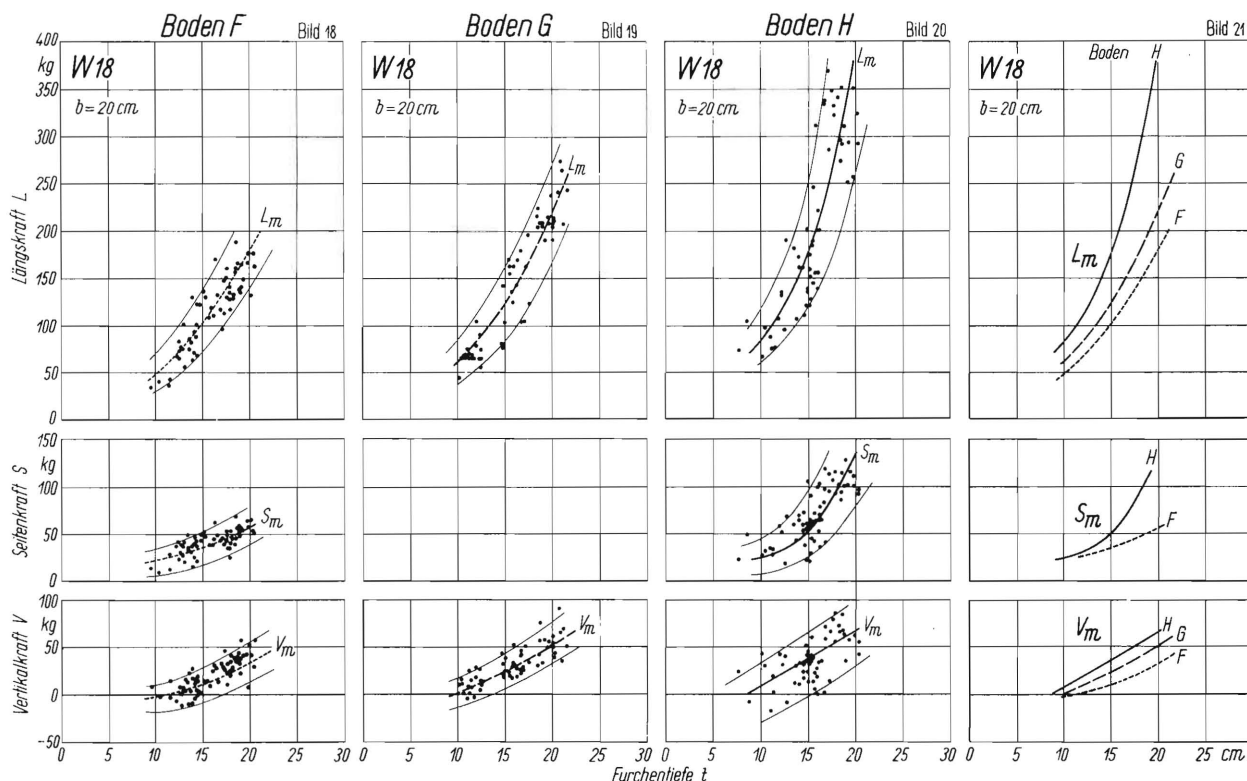


Bild 18 bis 21. Einfluss der Bodenart und der Furchentiefe auf die Kraftkomponenten L , S und V , bei der Wendelform W 18, $b = 20$ cm.

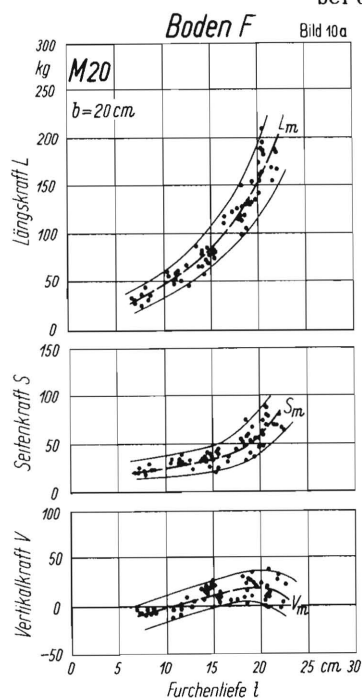


Bild 10a. Ergänzung zu Bild 10, Furchenbreite $b = 20$ cm.

G nach H) bewirkt, dass dieser Höchstwert bei kleineren Furchentiefen liegt. Wegen der wachsenden Streuung bei grossen Furchentiefen ist das Maximum manchmal schwerer erkennbar. Bei der Körperform S 20 fällt auf, dass die Vertikalkräfte bei allen Böden bemerkenswert niedrig liegen. Bei Furchentiefen unter etwa 12 cm werden die Vertikalkräfte negativ, d.h. die Krafttrichtung wechselt. Die Vertikalkräfte der Körperform W 18 (Bild 18 bis 21) zeigen als einzige

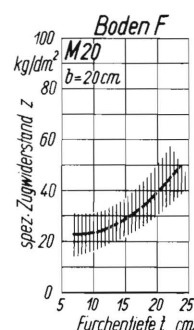
Ausnahme aller bisherigen Messungen eine andersartige Tendenz insofern, als sie bei grösseren Furchentiefen nicht durch ein Maximum gehen, sondern bei allen drei Böden bis zu den grössten gemessenen Tiefen etwa linear zunehmen.

Der spezifische Zugwiderstand.

Aus der Längskraft und dem zugehörigen Furchenquerschnitt wurde der spezifische Zugwiderstand z über der Furchentiefe für die vier Körperformen und die Böden F, G und H errechnet und in Bild 22 bis 25 dargestellt. Der mittlere Zugwiderstand z_m ohne den Streubereich ist für jede Form und die drei Böden in je einem Bild zum Vergleich übereinandergezeichnet.

Der spezifische Zugwiderstand wächst entsprechend der Längskraft bei den Körperformen S 20 und W 18 auf Boden H (sandiger bis lehmiger Ton) mit der Furchentiefe progressiv an. Auch bei der Form M 20 (Bild 23 bzw. Bild 23a) wurden auf den drei Böden recht steile Kurven ermittelt; demgegenüber verlaufen die Kurven der Form L 20 für alle drei Böden (Bild 24)

Bild 23a. Ergänzung zu Bild 23, Furchenbreite $b = 20$ cm.



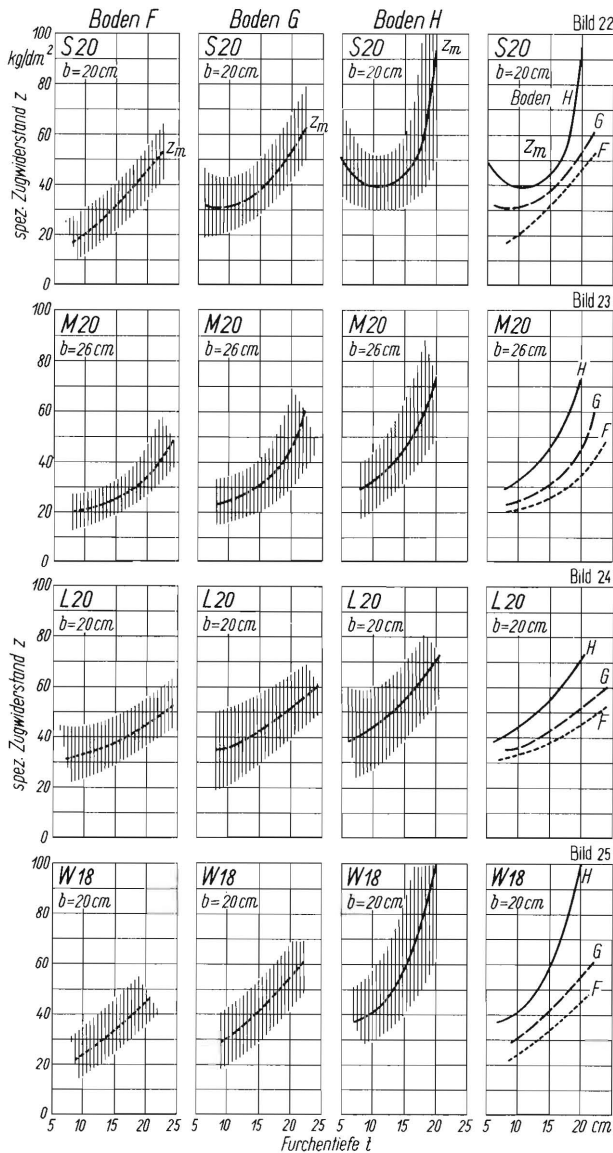


Bild 22 bis 25. Einfluss der Bodenart und der Furchentiefe auf den spezifischen Zugwiderstand z bei den vier Normpflugkörpern.

relativ flach. Der Anstieg des spezifischen Zugwiderstandes mit kleiner werdender Furchentiefe z.B. bei der Form S 20 (in Bild 22) wird durch die Oberflächenverhärtung der Böden infolge stärkerer Austrocknung verursacht (vgl. auch Wassergehalt in Zahlen-tafel 1).

Bei der Wertung des spezifischen Zugwiderstandes darf jedoch nicht übersehen werden, dass die Form S 20 für das Arbeiten auf leichten Böden (z.B. Boden F), die Form L 20 für schwere Böden (z.B. Boden H) entwickelt worden sind.

Die resultierenden Kräfte und ihre Richtung

Die Richtungen der Teilresultierenden R_v und R_h in der Vertikal- und in der Horizontalebene sind gegeben durch die vektorielle Zusammensetzung von V und L bzw. S und L (Bild 26). Es ist $V/L = \tan \alpha$ und $S/L = \tan \beta$. Die Einzelmessungen verteilen sich bei vektorieller Auftragung, wie Bild 27 als Beispiel für die Form S 20 zeigt, innerhalb des Streubereichs ziemlich gleichmässig. Die Mittellinie (strichpunktiert) verbindet die Schwerpunkte der Punkthaufen. Die Begrenzung des Streubereichs (dünne Linien) erfolgte visuell durch stetig verlaufende Linien. Für die mittlere Längskraft L_m sind in Bild 27 die entsprechenden Furchentiefen eingetragen. Für die den verschiedenen Furchentiefen (Bild 27) zugeordneten Grenz-

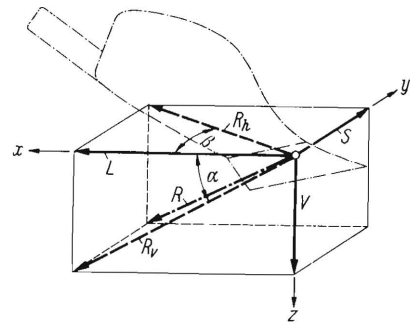
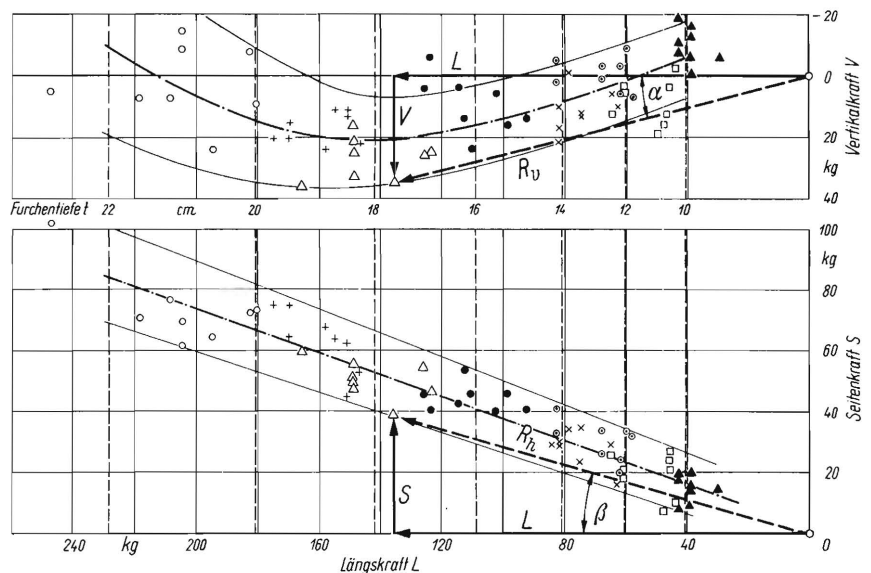


Bild 26. Schema für die Richtung des resultierenden Bodewiderstandes R und der Teilresultierenden R_v und R_h .

Bild 27. Vektordiagramm der Teilresultierenden R_v und R_h .
Boden: sandiger Lehm F
Normalpflugkörper S 20
Furchenbreite $b = 20$ cm

Jeder Punkt entspricht dem Mittelwert einer 2,5 m langen Teilmessstrecke. 8 gleichartige beieinander liegende Punkte gehören zu einer Messstrecke von 20 m Länge.



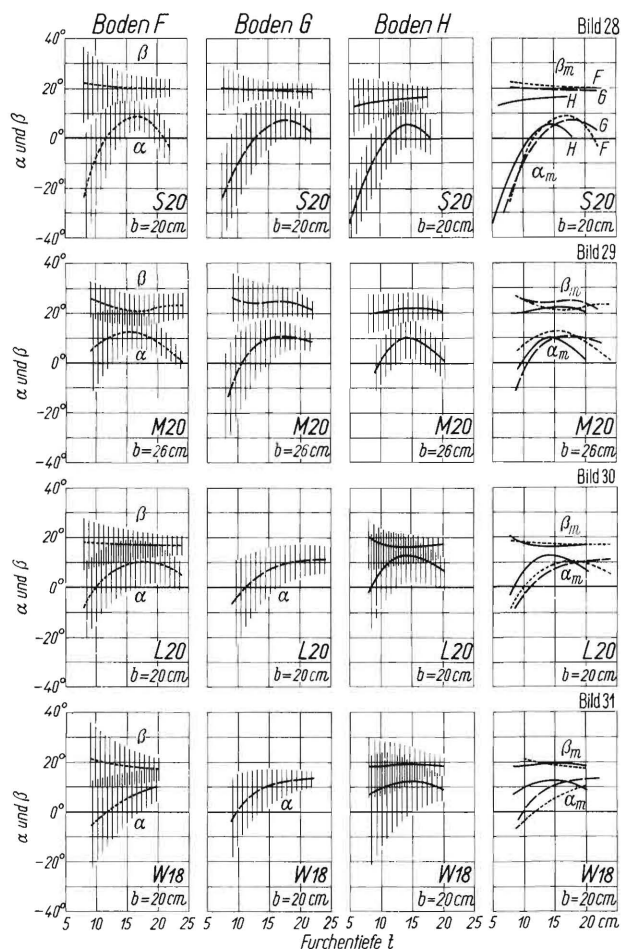


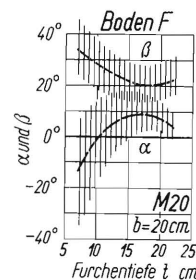
Bild 28 bis 31. Einfluss der Bodenart und der Furchentiefe auf die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes R bei den vier Normkörperformen.

werte wurden für die Vektoren R_v und R_h die Winkel α und β ermittelt. Mit diesen Grenzwerten α und β wurden für die drei Böden F , G und H und die vier Körperformen die Streugebiete dieser Winkel in Bild 28 bis 31 entwickelt. Aus diesen Bildern ist über die Schräglage der resultierenden Kraft folgendes zu entnehmen:

Der Winkel α ist in allen Fällen stark tiefenabhängig. Die Grösstwerte (5° bis 12°) liegen allgemein bei mittleren Furchentiefen (15 bis 20 cm). Die Änderung von α mit dem Bodenwiderstand (Boden F über G nach H) ist klein und geringer, als bei anderen Körperformen festgestellt wurde[2] (Bild 17/19). Bei kleinen Furchentiefen (12 cm und darunter) ist α in der Regel negativ.

Bei Winkel β ist der Einfluss der Furchentiefe sehr gering; β_m liegt zwischen 15° und 25° . Die Winkel α und β streuen bei kleinen Furchentiefen stärker als bei grossen. Der Bodenwiderstand ist jedoch von geringem Einfluss auf die Grösse der Streuung.

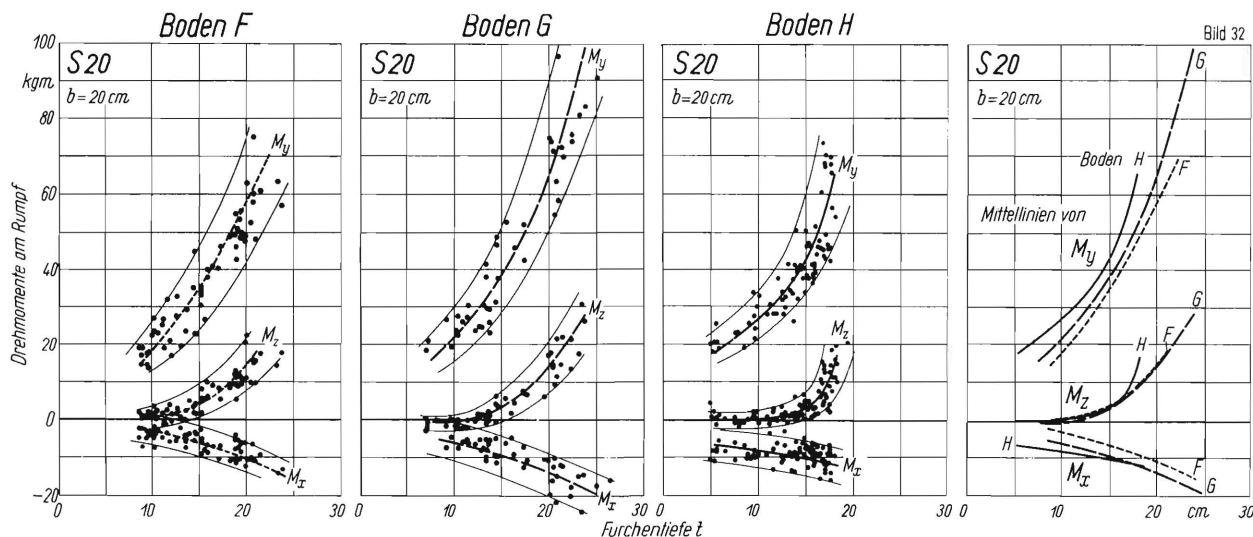
Bild 29a. Ergänzung zu Bild 29, Furchenbreite $b = 20$ cm.



Die Drehmomente am Rumpf

Mit den sechs Kraftkomponenten des Messgerätes können auch die an den Pflugkörpern wirkenden Drehmomente, deren Grösse u.a. von der Wahl des Bezugspunktes abhängen, ermittelt werden. Der Bezugspunkt 0 der Momente wird wieder einheitlich wie bei den früheren Arbeiten [2 und 3] im Rumpfschnitt etwa in Höhe der Streichblechoberkante gelegt (Bild 5). Grösse und Verlauf der Momente sind also unmittelbar vergleichbar. Für evtl. Umrechnungen sind die Angaben in der Unterschrift zu Bild 5 zu beachten.

In Bild 32 bis 35 (sowie in Bild 33a) sind für die räumlichen Achsen die Drehmomente M_x , M_y und M_z abhängig von der Furchentiefe für die drei Böden F , G und H und die vier Körperformen zusammengestellt. Das Moment M_y um die Querachse, als Biegemoment



(Bildunterschrift siehe nächste Seite)

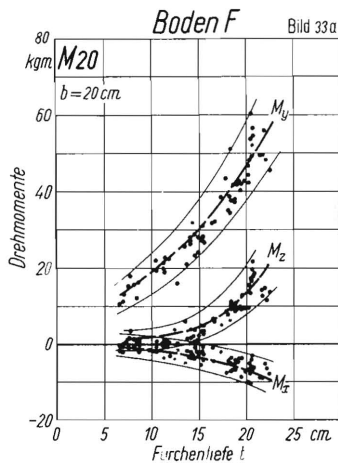


Bild 33a. Ergänzung zu Bild 33, Furchenbreite $b = 20$ cm.

am Rumpf wirkend, ist zahlenmässig im Vergleich zu M_x und M_z weitaus am grössten. Zunehmender Bodenwiderstand vergrössert bei den einzelnen Körperformen das Moment M_y in einem kleineren Verhältnis als die Längskräfte L in Bild 9, 13, 17 und 21. Bei der steilen Form S 20 ist die Wirkung des Bodenwiderstandes auf M_y geringer als bei den übrigen Formen. Das erklärt sich durch die langgezogenen Streichbleche der liegenden Formen, an denen die Kräfte mit grossen Hebelarmen angreifen. Bei den Momenten M_x (Drehung um die Längsachse) und M_z (Drehung um die Hochachse) ist der Einfluss des Bodenwiderstandes sehr viel geringer. Jedoch ist in dem steilen Anstieg von M_z bei den Formen S 20 und W 18 auf Boden H der Einfluss der steil ansteigenden Längskraft deutlich wiederzuerkennen.

Einfluss der Pflugkörperform

Für die Darlegung des Einflusses der Körperform auf Grösse und Verlauf der wirkenden Kräfte und Momente werden die vorstehenden Messergebnisse für die Furchenbreite $b = 20$ cm durch eine Vergleichsreihe mit der Furchenbreite $b = 26$ cm auf Boden F (sandiger Lehm) ergänzt. Soweit die Streubereiche bereits im vorigen Abschnitt mitgeteilt wurden, sind nachfolgend lediglich die Mittellinien miteinander verglichen. Die Grösse der Streuung ist im übrigen bei den einzelnen Körperformen so wenig voneinander verschieden, dass die Mittellinien des Streubereichs die jeweiligen Kurventendenzen genügend sicher ausdrücken.

Die Kraftkomponenten

In Bild 36 bis 39 sind die Versuchsmittelwerte (der einzelnen 2,5 m langen Teilmessstrecken) der Kraftkomponenten L , S und V für die vier Normpflugkörperformen, die Furchenbreite $b = 26$ cm und den Boden F dargestellt. An Hand der Punkthaufen wurden wieder die Grenzlinien der Streubereiche, sowie die Mittellinien L_m , S_m und V_m eingezeichnet.

Die Mittellinien dieser Kräfte sind in Bild 41 (Boden F, $b = 26$ cm) übereinandergezeichnet. Die entsprechenden Kurven bei kleinerer Arbeitsbreite (Boden F, $b = 20$ cm) sind in Bild 40 und für den Boden H in Bild 42 zum Vergleich nebeneinandergestellt.

In Bild 40 liegen die Kurvenscharen der Kräfte für die vier Körperformen dicht beieinander. Im Hinblick auf die Grösse des Streubereiches kann man sagen,

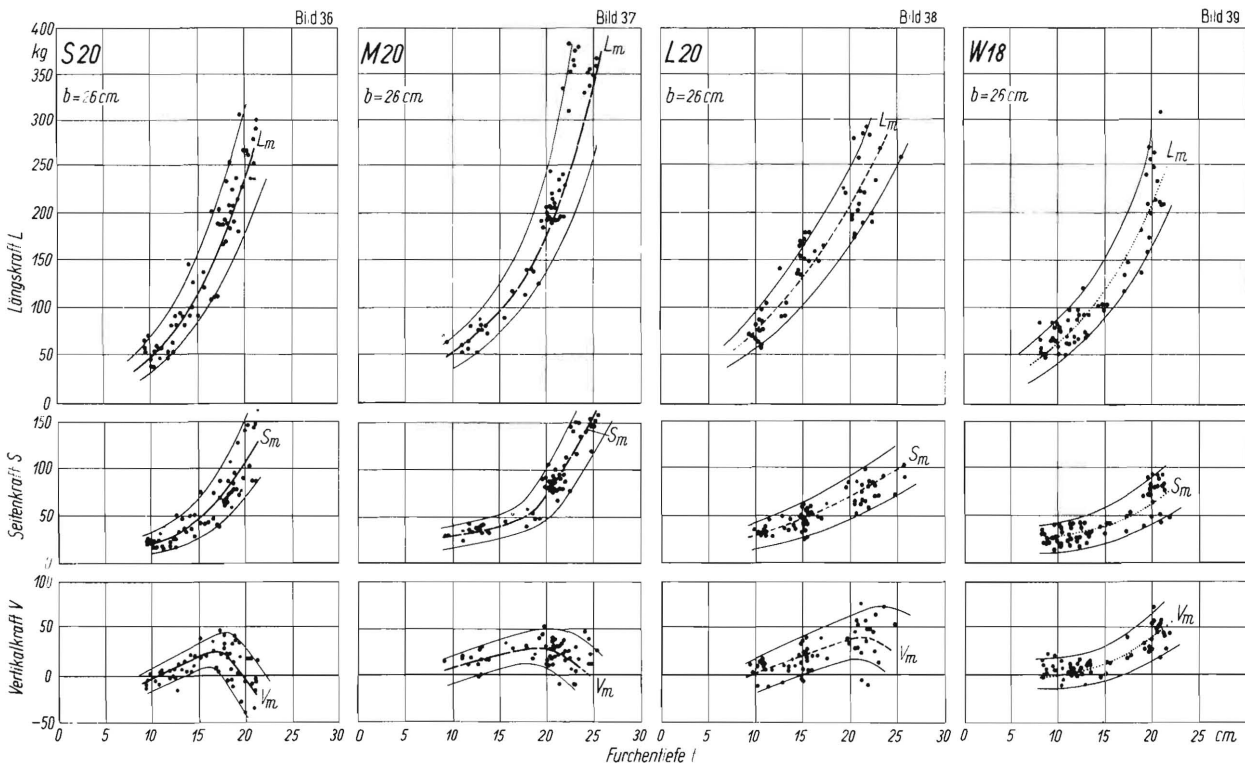


Bild 36 bis 39. Einfluss der Körperform und der Furchentiefe auf die Kraftkomponenten L , S und V .
Boden: lehmiger Sand F

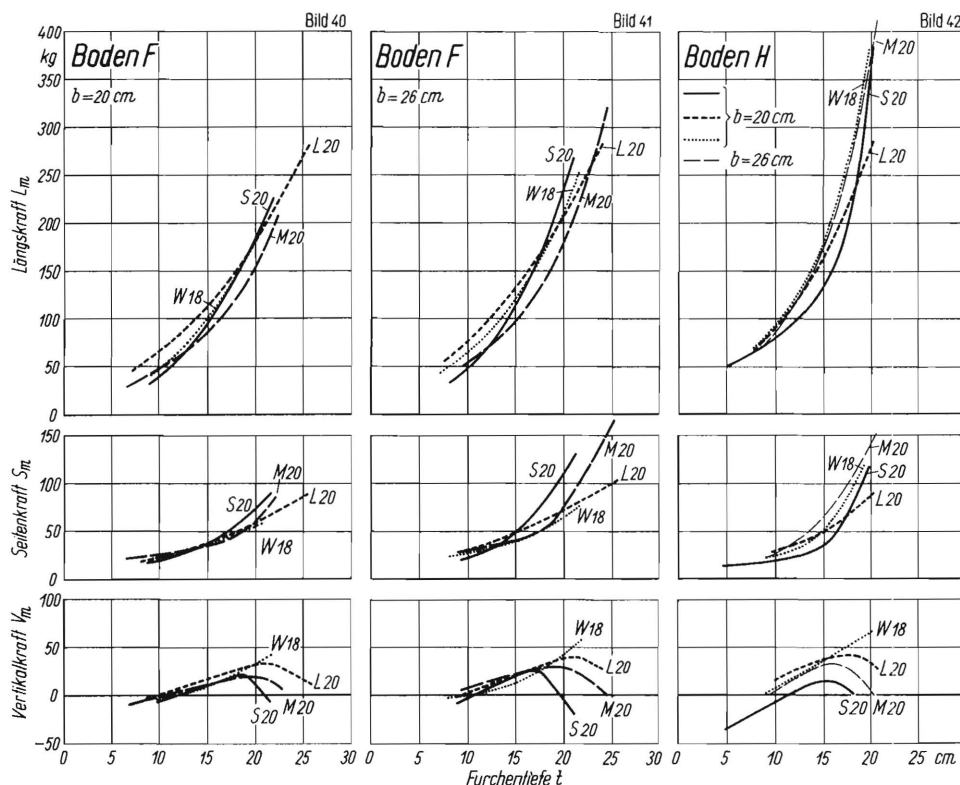


Bild 40 bis 42. Vergleich der Komponenten L , S und V bei vier verschiedenen Körperformen in Abhängigkeit von der Furchentiefe (Mittelwertscurven ohne Streugebiet).

Boden F : sandiger Lehm, Boden H : sandiger bis lehmiger Ton

dass die Kräfte bei allen vier Formen im unteren und mittleren Furchenbereich weitgehend gleich gross sind. Bei Furchentiefen über 16 cm deuten sich Abweichungen an, die bei der Furchentiefe $b = 26$ cm (Bild 41) ausgeprägter in Erscheinung treten.

Bild 40 und 41 ist folgendes zu entnehmen. Die Längskraft wächst bei der steilen und mittelsteilen Form $S\ 20$ und $M\ 20$ progressiv an; die Progression ist bei der liegenden Form $L\ 20$ geringer, dagegen sind die Längskräfte bei kleinen Tiefen grösser. Die Seitenkraft nimmt bei der steilen und mittelsteilen Form über 16 cm Furchentiefe stark progressiv zu; dagegen ist die Progression bei der liegenden und der Wendelform geringer. Die Vertikalkraft nimmt bei allen Körperformen (mit Ausnahme von $W\ 18$) nach Durchschreiten eines Höchstwertes mit zunehmender Furchentiefe wieder ab. Die Vertikalkraft nimmt bei der Wendelform (auch bei grösseren Tiefen) leicht progressiv zu.

Auf dem sandigen bis lehmigen Ton H (Bild 42) zeigen sich diese Unterschiede noch ausgeprägter. Bei der steilen Form $S\ 20$ nimmt die Progression der Längskraft besonders nach dem Überschreiten mittlerer Furchentiefen stark zu. Die Seitenkraft der Wendelform $W\ 18$ steigt (im Gegensatz zu Bild 40 und 41) bei dem Boden H ebenfalls steil an. Bei der Vertikalkraft sind die Tendenzen der Kurven auf dem Boden H noch ausgeprägter als auf Boden F (siehe oben). Die Maxima der Vertikalkraft liegen bei umso grösseren Tiefen, je flacher die Körperform ist.

Der spezifische Zugwiderstand

Bild 43 bis 46 zeigen das Streugebiet des spezifischen Zugwiderstandes z in Abhängigkeit von der Furchentiefe t für den lehmigen Sand F bei einer Furchenbreite $b = 26$ cm. Die Mittellinien des Zugwiderstandes z_m sind in Bild 48 (Boden F , $b = 26$ cm) übereinandergezeichnet und den entsprechenden Werten von z_m bei einer kleineren Arbeitsbreite in Bild 47 (Boden F , $b = 20$ cm), sowie denen auf den beiden anderen Böden G und H (Bild 49 und 50) vergleichsweise gegenübergestellt.

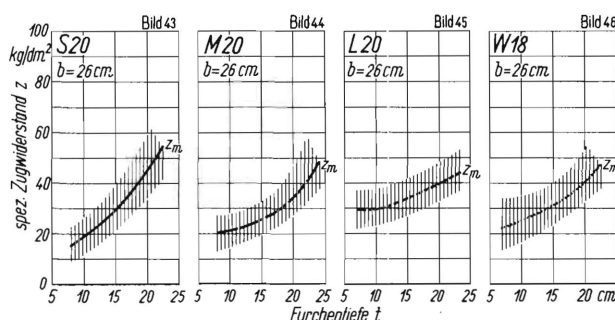


Bild 43 bis 46. Einfluss der Körperform und der Furchentiefe auf den spezifischen Zugwiderstand.

Boden F : sandiger Lehm

Der spezifische Zugwiderstand wächst bei allen Körperformen und Böden mit zunehmender Tiefe leicht progressiv an. Nur bei der Form $S\ 20$ durchschreitet z auf den oberflächenverhärteten Böden G und H ein Minimum bei $t \sim 12$ cm. Der spezifische Zugwiderstand

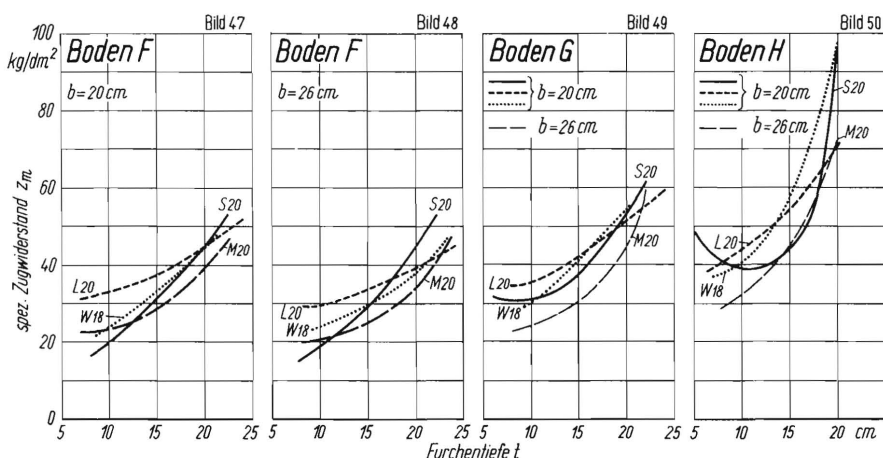


Bild 47 bis 50. Vergleich des spezifischen Zugwiderstandes bei vier Pflugkörperformen auf verschiedenen Böden.

scheint bei der steilen Form S 20 bei kleinen Tiefen auf sämtlichen Böden sehr niedrig zu sein. In allen Fällen hat die steile Form S 20 den steilsten Anstieg von z mit zunehmender Tiefe. Dagegen zeigt die liegende Form L 20 in allen Fällen die geringste Zunahme von z mit grösser werdender Tiefe. Bemerkenswert ist die progressive Zunahme von z bei der Wendelform auf dem schweren Boden H.

α -Werte der Wendelform W 18 liegen in allen Fällen im positiven Bereich. Die steile Form S 20 hat auf schwerem Boden den kleinsten positiven Winkel α .

Der Einfluss der Körperform auf Grösse und Verlauf von Winkel β ist relativ gering. Der seitliche Richtungswinkel β ist ohne Ausnahme wesentlich grösser als der Winkel α in der vertikalen Ebene.

Die resultierenden Kräfte und ihre Richtung

Durch vektorielle Zusammensetzung von V und L sowie S und L nach Bild 26 und 27 erhält man die Richtungswinkel α und β der vertikalen und horizontalen Komponenten des resultierenden Bodenwiderstandes R . Bild 51 bis 54 zeigen den Streubereich der Winkel α und β des resultierenden Bodenwiderstandes für dieselben Verhältnisse wie für die Kräfte L , S und V in Bild 36 bis 39.

Den Vergleich der Mittelwertskurven für α_m und β_m der vier Körperformen zeigen Bild 55 bis 58 für drei Böden und die Arbeitsbreiten $b = 20$ und 26 cm. Dabei zeigt sich, dass der Kurvencharakter von α bei allen vier Formen und allen drei Böden ähnlich ist mit Ausnahme der Körperform W 18, bei der der Kurvencharakter auf leichten Böden ein anderer zu sein scheint. Ferner erkennt man, dass je flacher die Körperform, umso flacher auch die Kurvenkrümmung von α ist. Die

Die Drehmomente am Rumpf

Ergänzend zu den Bildern 32 bis 35 zeigen Bild 59 bis 62 die einzelnen Messwerte der Drehmomente M_x , M_y und M_z der vier Körperformen in Abhängigkeit von der Furchentiefe für einen Boden (sandiger Lehm F) und eine Furchenbreite ($b = 26$ cm). In Bild 63 sind die Mittellinien dieser Messreihe zum Vergleich zu-

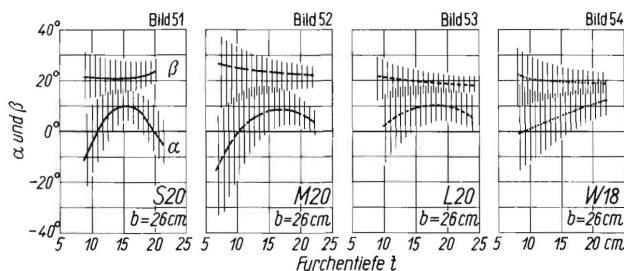


Bild 51 bis 54. Einfluss der Furchentiefe auf die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes R bei den vier Körperformen.

Boden F: sandiger Lehm

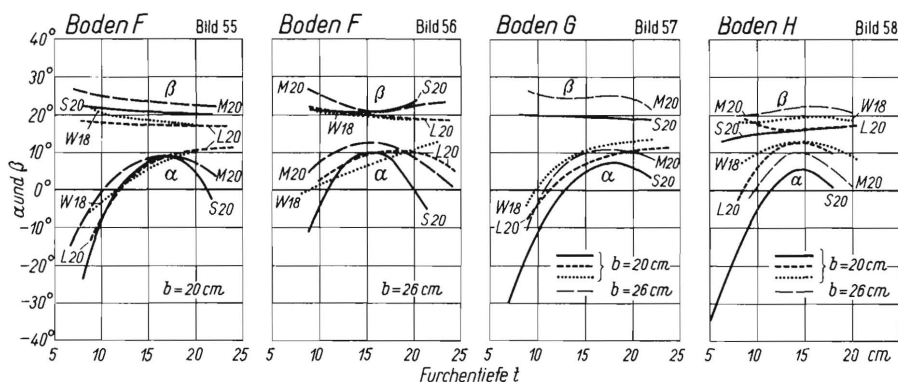


Bild 55 bis 58. Einfluss der Körperform und der Furchentiefe auf die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes R bei den drei Böden F, G und H (Vergl. auch Bild 26 und 27).

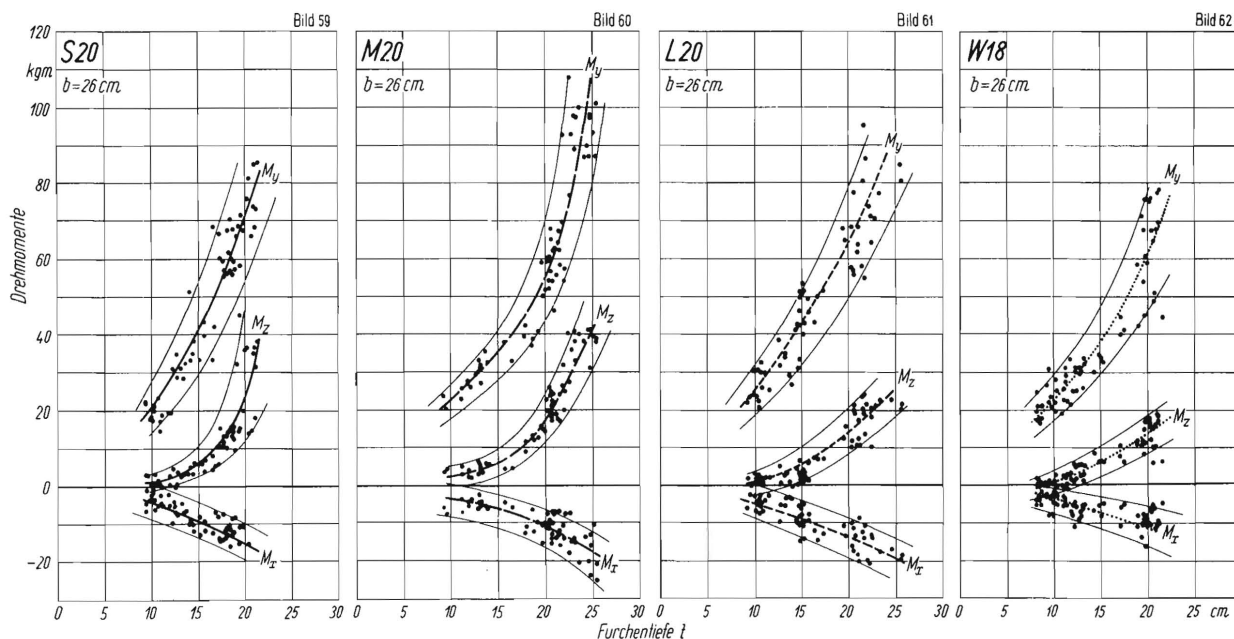


Bild 59 bis 62. Einfluss der Furchentiefe auf die Drehmomente bei den vier Normpflugkörperformen.

Boden: sandiger Lehm F

Furchenbreite: $b = 26$ cm

Bezugspunkt 0 für die Drehmomente: vergl. Bild 5

sammengestellt und zwei auf dem Boden H aufgenommene Kurven hinzugefügt.

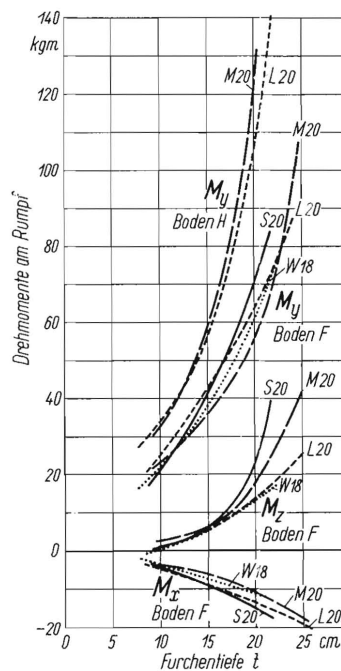
Die jeweiligen Kurven für M_y und für M_x liegen beim leichten Boden F, erstere auch beim schweren Boden H, dicht beieinander und zeigen wertmässig keine nennenswerten Abweichungen. Beim Moment M_z zeigen die steilen Körper S 20 und M 20 den schon bekannten steilen Anstieg mit grösser werdender Furchentiefe (M_z wird von L und S beeinflusst). In schwacher Andeutung ist dieser steilere Anstieg auch bei M_y dieser Körper vorhanden.

Der Einfluss des Furchenquerschnittes

Der spezifische Zugwiderstand lässt sich in einem sogenannten b/t -Kennfeld sehr übersichtlich und umfassend darstellen, indem man ihn über dem Seitenverhältnis b/t des Furchenquerschnittes mit der Furchentiefe bzw. der Furchenbreite als Parameter ($t = \text{const}$ bzw. $b = \text{const}$) aufträgt.

In Bild 64 bis 67 sind die für die vier Normkörper S 20, M 20, L 20 und W 18 auf dem sandigen Lehm F ermittelten b/t -Kennfelder dargestellt. Die ausgezogenen Linien geben den Verlauf des spezifischen Zugwiderstandes bei konstanter Furchenbreite und die gestrichelten bei konstanter Furchentiefe an. Hier interessieren besonders die gestrichelt gezeichneten Linien konstanter Furchentiefe.

Man könnte versucht sein, bei einer rein kurvenmässigen Betrachtung ein Minimum des spez. Zugwiderstandes (b_{opt} in Bild 67 und $(b/t)_{\text{opt}}$ in Bild 68 bis 71) abzulesen und daraus konstruktive Schlüsse zu ziehen. Im Hinblick auf den flachen Verlauf der Kurven (s. insbesondere die teilweise extrapolierten Kurven in Bild 68) und die Streuung der Messwerte sei dies jedoch unterlassen.

Bild 63. Einfluss der Körperform auf die Drehmomente M_x , M_y und M_z auf sandigem Lehm F und sandigem bis lehmigem Ton H (Mittelwertskurven ohne Streugebiet).Furchenbreite: $b = 26$ cm

Bezugspunkt 0 für die Drehmomente: vergl. Bild 5

Zusammenfassend kann zu den Ergebnissen dieser Vergleichsmessungen gesagt werden, dass der Einfluss der unterschiedlichen Form auf die Grösse der Kräfte und Momente und auf den Kurvenverlauf über der Furchentiefe bemerkenswert gering ist. Dieses Verhalten stimmt überein mit den relativ kleinen Unterschieden der Schnittwinkel δ_1 und Streichblechaustrittswinkel ψ_C . Es sei daran erinnert, dass in dieser Untersuchung über die landwirtschaftliche Güte der

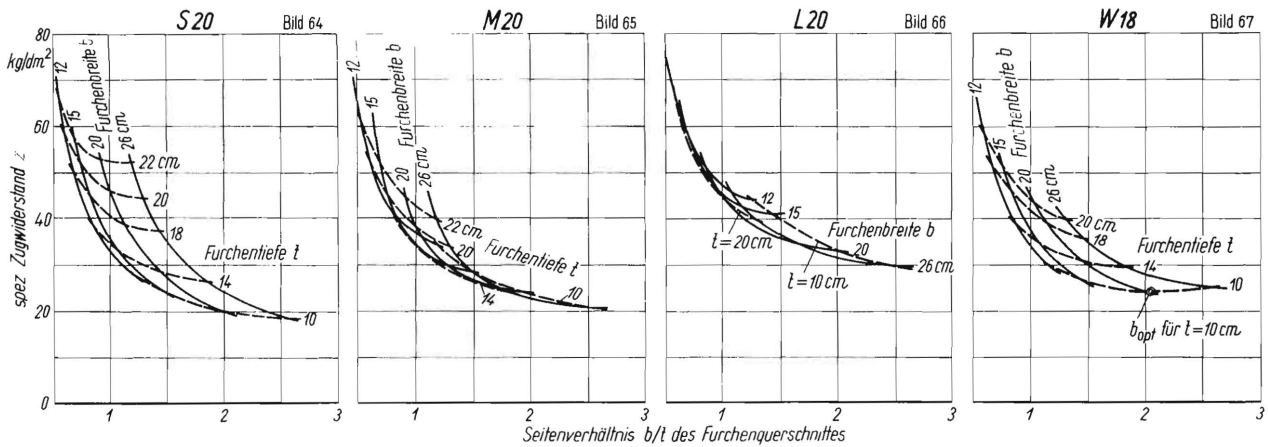


Bild 64 bis 67. b/t – Kennfelder des spezifischen Zugwiderstandes auf sandigem Lehm F für die vier Normpflugkörper.

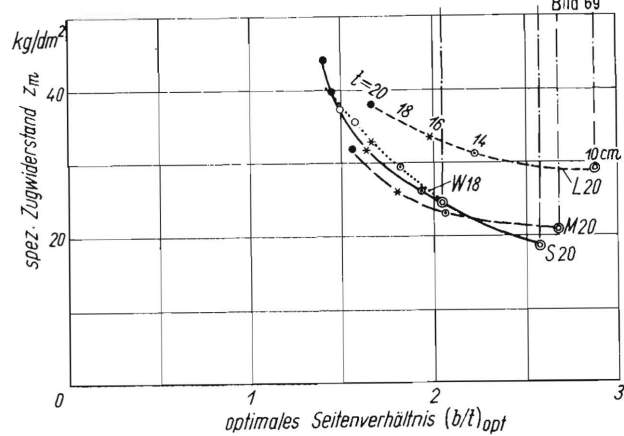
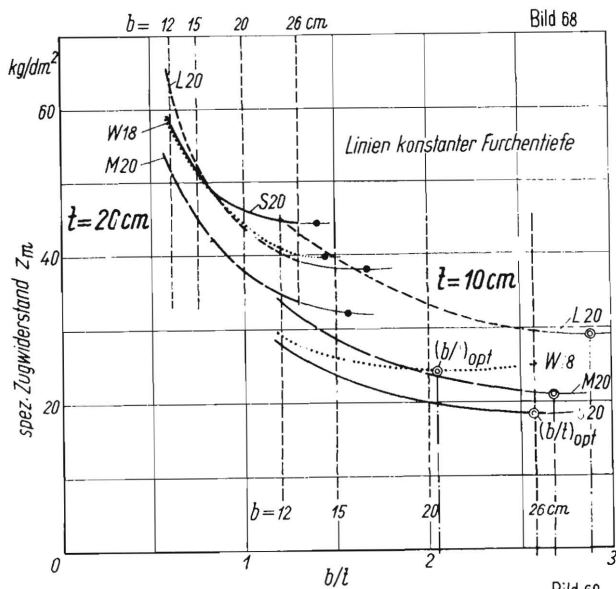


Bild 68. Einfluss des Seitenverhältnisses b/t im Schäl- und Tiefpflugbereich auf den spezifischen Zugwiderstand z_m bei konstanter Furchentiefe ($t = 10$ und 20 cm).

Bild 69. Spezifischer Zugwiderstand in Abhängigkeit vom optimalen Seitenverhältnis für die vier Normkörperformen bei verschiedenen Furchentiefen.

Boden: sandiger Lehm F

Pflugarbeit nichts festgestellt wurde. Hierin sind also noch grössere Unterschiede möglich.

Bei grösseren Furchentiefen ($t > 14$ cm) zeichnen sich grössere Unterschiede in dem Sinne ab, dass die Formen S 20 und W 18 die vergleichsweise steileren

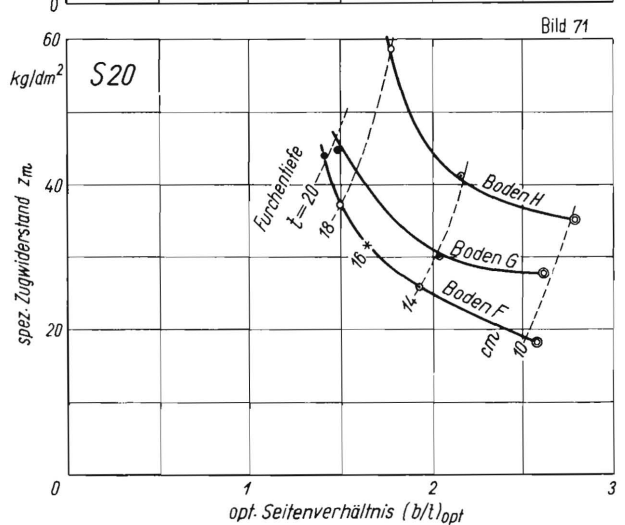
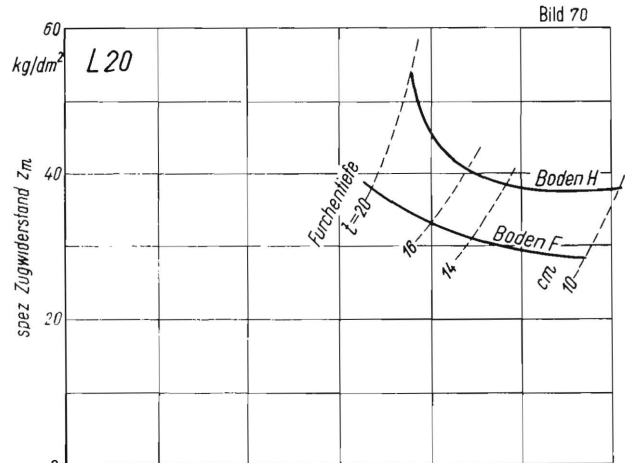


Bild 70 und 71. Spezifischer Zugwiderstand unter optimalen Betriebsverhältnissen auf verschiedenen Böden bei der Körperform S 20 und L 20.

Kurvenanstiege aufweisen. Gewisse Beobachtungen deuten darauf hin, dass dies im Zusammenhang stehen könnte mit einer kleinen Streichblechwölbung der Form S 20 bzw. dem grossen Austrittswinkel ψ_C der Form W 18.

Die Kurvencharakteristiken der vier Formen waren auf allen drei Versuchsböden ähnlich; steigender Bodenwiderstand bewirkte eine stärkere Progression der Kurvenanstiege.

B. Vergleich von drei verschiedenen grossen Normkörpern der gleichen Form

Für diese Versuchsreihe, die den Einfluss der Grösse der Pflugkörper bei gleicher geometrischer Form klarlegen sollte, wurden drei mittelsteile Normkörperformen M 16, M 20 und M 25 (Nenntiefe $t = 16, 20, 25$ cm) auf Boden F (sandiger Lehm) verwendet. Die Versuchsbedingungen waren die gleichen wie bei dem ersten Vergleich. Allerdings musste aus betrieblichen Gründen ein benachbarter Ackerstreifen des gleichen Feldplanes (etwa 80 m diagonal versetzt gelegen) benutzt werden. Dadurch ergab sich eine gewisse Änderung des Bodenwiderstandes.

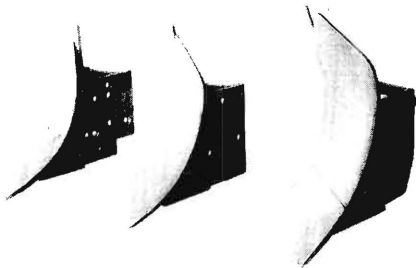


Bild 72. Drei verschiedene Grössen der mittelsteilen Normpflugkörper: M 16, M 20 und M 25.

Eine Ansicht der Formen vermittelt Bild 72. Naturgemäss zeigen die senkrechten Formlinien (Bild 73 und 74) weitgehende Ähnlichkeit. Auch die in Zahlentafel 3 zusammengestellten Winkel unterscheiden sich wenig (Winkel ψ_C muss infolge der grösseren Ausdehnung des Streichblechs bei gleicher Wölbung der Formen M 20 und M 25 grösser sein als bei M 16).

Zahlentafel 3
Die Daten der untersuchten Normpflugkörper

Normbezeichnung		M 16	M 20	M 25
Nenntiefe	cm	16	20	25
Arbeitsbreite	cm	24	26	28
Scharschneidenwinkel φ_1		42,5°	42°	41°
Schnittwinkel δ_1		21,5°	22,5°	22,5°
Horizontaler Anstellwinkel γ des Streichblechs in 200 mm Höhe		48°	48°	47°
Austrittswinkel ψ am Streichblechende (Schnitt C)		104°	105°	107°
Streichschiene		mit	mit	mit

Die Kraftkomponenten

Den Verlauf der drei Kräfte L , S und V über der Furchentiefe für die Furchenbreite $b = 20$ cm auf Boden F (sandiger Lehm) zeigen die Bilder 75 bis 78. Die Streubereiche aller drei Kräfte und ihr Verlauf über der Furchentiefe decken sich. Auch die Tendenz

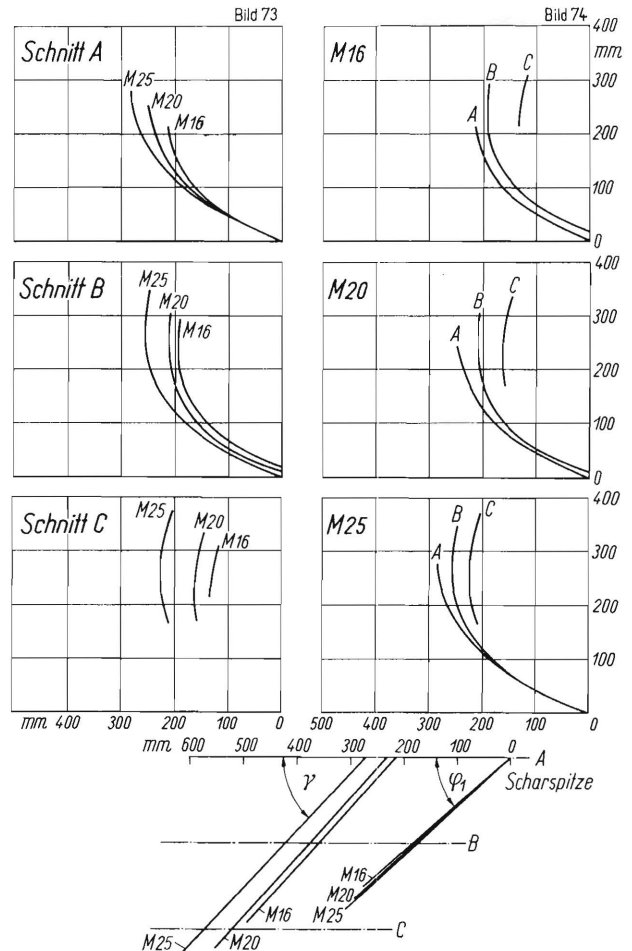


Bild 73 und 74. Die senkrechten Formlinien und Winkel φ_1 und γ der drei verschiedenen grossen Normpflugkörper M 16, M 20 und M 25 (siehe auch Bild 5).

der Kurven ist annähernd gleich. Die Vertikalkraft der Form M 20 verläuft etwas niedriger, als bei den anderen Formen. Auch der Streubereich der Längskraft ist bei dieser Form grösser.

Der spezifische Zugwiderstand

Die geringen Unterschiede an beiden Enden des Längskraftverlaufes zeigen sich deutlicher im Verlauf der spez. Zugwiderstände, die in den Bildern 79 bis 82 für die gleichen Betriebsverhältnisse (Boden F , $b = 20$ cm) wiedergegeben sind. Bei Furchentiefen über 18 cm ist die Kurventendenz der kleinsten Körperform (M 16) etwas steiler, was vermutlich mit der beginnenden Überlastung zusammenhängt. Der Bodenbalken konnte bei grossen Tiefen nicht mehr vollständig gewendet werden. Ein Teil des Bodens fiel über die Streichblechoberkante in die eben geschaffene Furche zurück. Bei den grossen Furchentiefen waren dies erhebliche Mengen, welche die Furchensohle bis zu 6 cm hoch bedeckten. Durch die Überlastung war auch die Wendewirkung schlecht. Die damit verbundenen Stauungen drücken sich trotzdem in einer nur geringen Erhöhung des spezifischen Zugwiderstandes aus. Bei kleinen Furchentiefen ist der spez. Zugwiderstand dieser Form deutlich geringer.

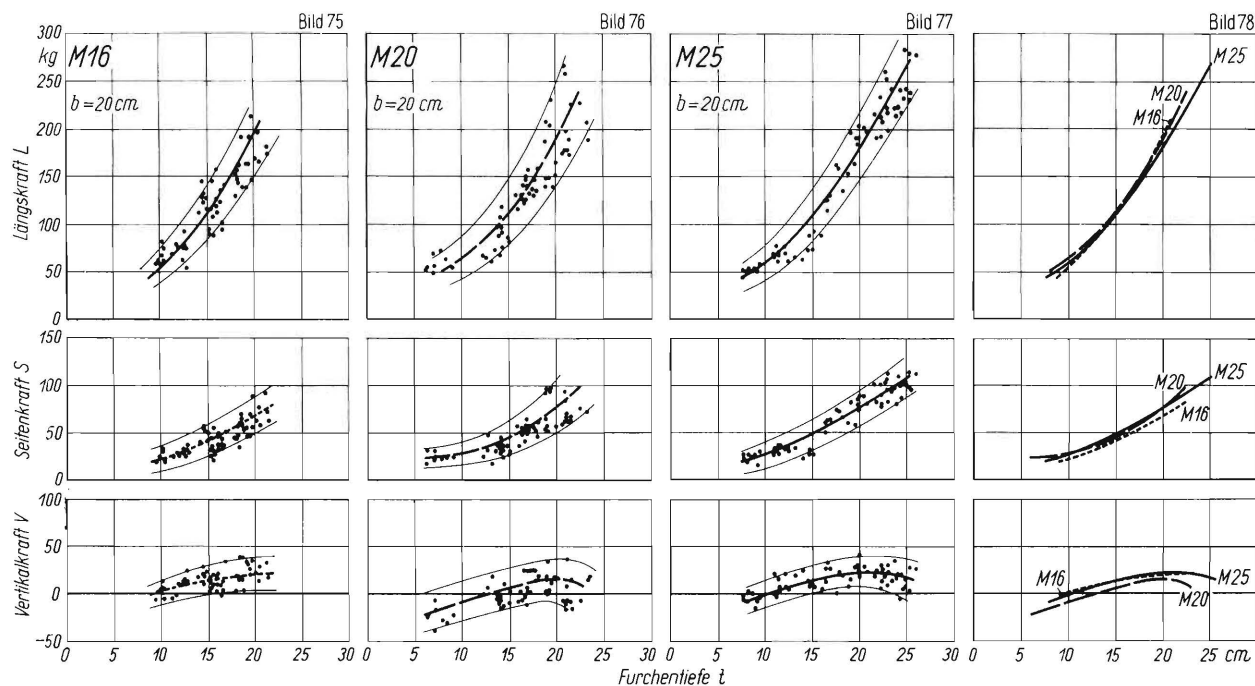


Bild 75 bis 78. Einfluss der Pflugkörpergrösse und der Furchentiefe auf die Kraftkomponenten L, S und V auf Boden F.

Die Längs- und Seitenkräfte der Form M 20 in Bild 76 sind um 20 bis 30% grösser als die entsprechenden Kräfte, die bei den Versuchen des vorigen Abschnittes auf demselben Boden gemessen wurden (Bild 10a); die Vertikalkraft lag dagegen niedriger. Der Bodenwiderstand war also auf den beiden verschieden gelegenen Messstrecken desselben Versuchsackers verschieden gross.

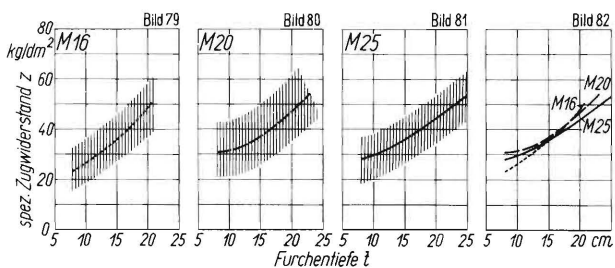


Bild 79 bis 82. Einfluss der Pflugkörpergrösse und der Furchentiefe auf den spezifischen Zugwiderstand auf Boden F.

Mit der Furchenbreite $b = 20$ cm wurden alle drei Formen untersucht, während mit den Furchenbreiten $b = 12, 15$ und 26 cm nur die Körper M 16 und M 25 gemessen wurden. Für den Körper M 20 wurde auf Grund des erhöhten Bodenwiderstandes auf dieser Versuchsstrecke die fehlenden Messwerte durch Verschieben der entsprechenden Mittelwertskurve im vorigen Abschnitt um 7 kg/dm^2 nach oben ermittelt, um die nachher gezeigten b/t -Kennfelder aufstellen zu können.

Die resultierenden Kräfte und ihre Richtung

Wie bei den Krätemessungen ergaben sich im Verlauf der Winkel α und β über der Furchentiefe (Bild 83 bis 86) für die drei Formen keine wesentlichen Abweichungen voneinander.

Der Einfluss des Furchenquerschnittes

Die Frage, wie und in welchem Masse sich Änderungen in der optimalen Furchenbreite bei diesen drei verschiedenen Körpergrössen ergeben, wäre natürlich besonders interessant. Eine Zusammenstellung der aus den b/t -Kennfeldern (Bild 87 und 88) gewonnenen Werten $(b/t)_{\text{opt}}$ zeigt Bild 89. Aus dieser Darstellung konnte man bei rein kurvenmässiger Betrachtung den Schluss ziehen, dass die optimalen Furchenbreiten aller drei Formen im ganzen Furchentiefenbereich praktisch zusammenfallen. Überraschend ist, dass auch bei der kleinsten Form im ganzen Furchentiefenbereich die grösste Breite dem Optimum am nächsten kommt. Dies ist auch ganz eindeutig aus dem Verlauf der Linien $t = \text{const}$ in Bild 90 zu sehen. Ebenso erfasst bei den anderen beiden Formen die Furchenbreite $b = 26$ cm praktisch die optimal zu erwartenden Betriebszustände. Über die Zulässigkeit einer solchen Deutung gilt das über den Einfluss des Furchenquerschnittes im vorhergehenden Vergleich Gesagte.

Mit dieser Einschränkung kann man für diesen Teil der Versuche feststellen, dass auch bei einer Ver-

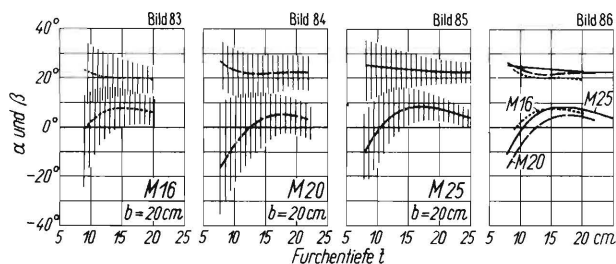


Bild 83 bis 86. Einfluss der Pflugkörpergrösse und der Furchentiefe auf die Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes auf Boden F.

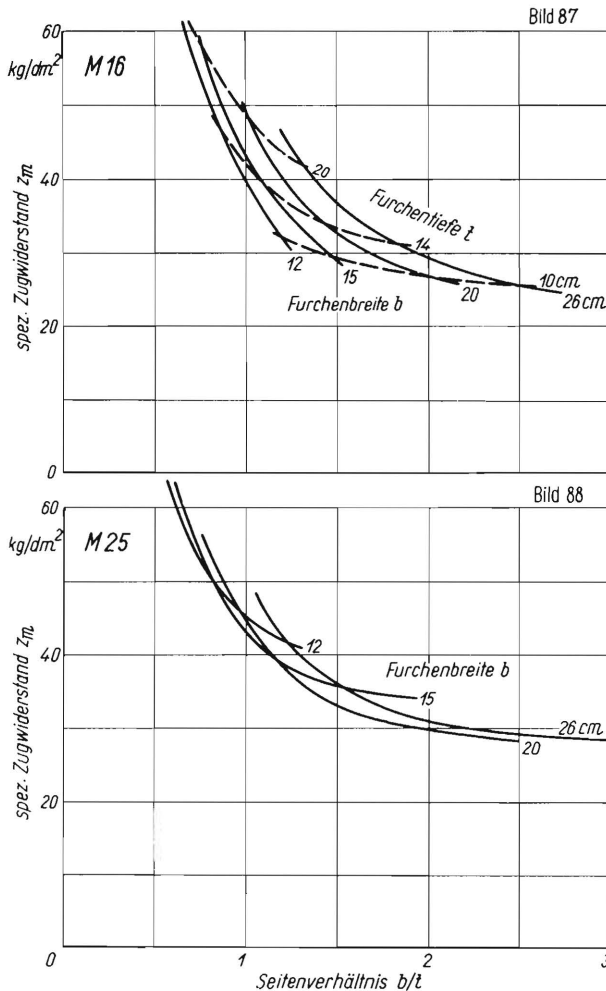


Bild 87 und 88. b/t -Kennfelder des spezifischen Zugwiderstandes der Körper M 16 und M 25 auf Boden F.

änderung der Körpergrösse bei Gleichhaltung der Formwinkel und des Formlinienverlaufs die Grösse der Kräfte und ihre Richtung keinen wesentlichen Änderungen unterworfen sind.

C. Gesetzmässigkeiten der Streuung

Alle landtechnischen Messungen sind mit einer grossen Streuung behaftet, deren Grösse erfasst und in die Ausdeutung der Messergebnisse einbezogen werden muss. Die Güte eines Gerätes hängt in hohem Masse davon ab, inwieweit die Auswirkungen einer grossen Streuung bei der fertigen Konstruktion berücksichtigt worden sind.

An Hand der zahlreichen Messwerte wurde deshalb versucht, eine Gesetzmässigkeit, nach der diese Werte streuen, zu finden. Für die Längskraft L und das Moment M_x sind in Bild 91 und 92 die prozentualen Abweichungen der oberen und unteren Grenzwerte vom Mittelwert (z.B. nach Bild 6 bis 21) über der Furchentiefe aufgetragen. Die Abweichungen für die 6 Körperformen und 24 Arbeitsbreiten ($b = 12$ bis 26 cm) liegen innerhalb eines relativ engen, in den Bildern schraffierten Bereichs, der also als „Streubereich der Streuung der mittleren Mittelwerte“ angesprochen werden kann. Beispielsweise schwankte

nach Bild 91 bei einer Furchentiefe $t = 16$ cm die mittlere Längskraft L_m bei den untersuchten Pflugkörperformen und Furchenbreiten zwischen + (24 bis 42 %) und – (20 bis 33 %).

Für die gleichen Verhältnisse zeigen Bild 93 bis 96 den Streubereich der absoluten Streuung der Seitenkraft S , der Vertikalkraft V , der Winkel α und β abhängig von der Furchentiefe.

Einige besonders grosse, aus dem Bereich herausfallende Abweichungen wurden besonders gekennzeichnet. Sie sind im übrigen an den Körperformen aufgetreten, die auch durch extreme Gestaltungsmerkmale auffielen (S 20, M 20, W 18). Im normalen Betriebsbereich zeigt die Streuung folgende Gesetzmässigkeiten:

Bei allen Kräften und Kraftrichtungen sowie Drehmomenten ist die Grösse des Bodenwiderstandes auf die Grösse der Streuung von geringem Einfluss; ebenso die Grösse der Furchenbreite. Die „Sreuung der Streuung“ (schraffierter Bereich in allen Bildern) ändert sich nur wenig mit der Furchentiefe.

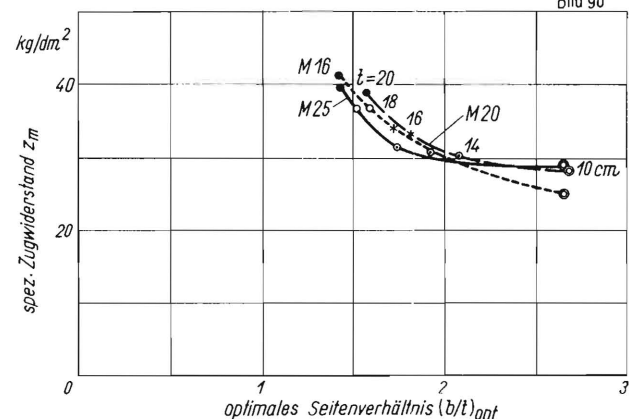
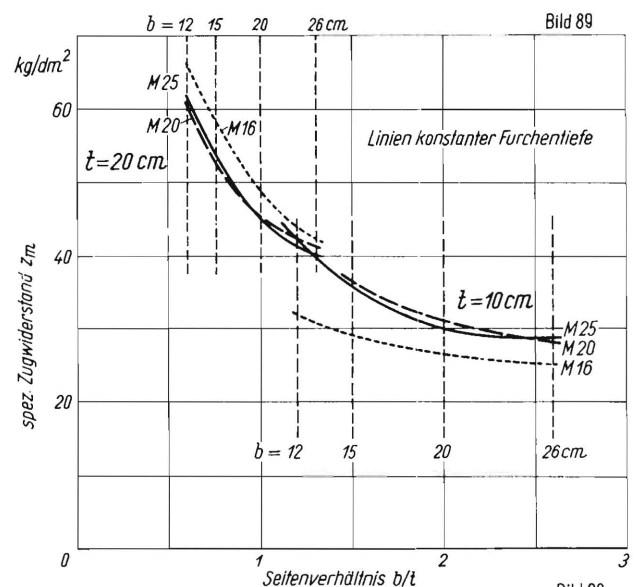


Bild 89. Einfluss der Furchenbreite im Schäl- und Tiefpflügebereich auf den spezifischen Zugwiderstand bei den drei Körpern M 16, M 20 und M 25.

Bild 90. Spezifischer Zugwiderstand und optimales Seitenverhältnis bei den drei Körpergrössen M 16, M 20 und M 25 auf Boden F.

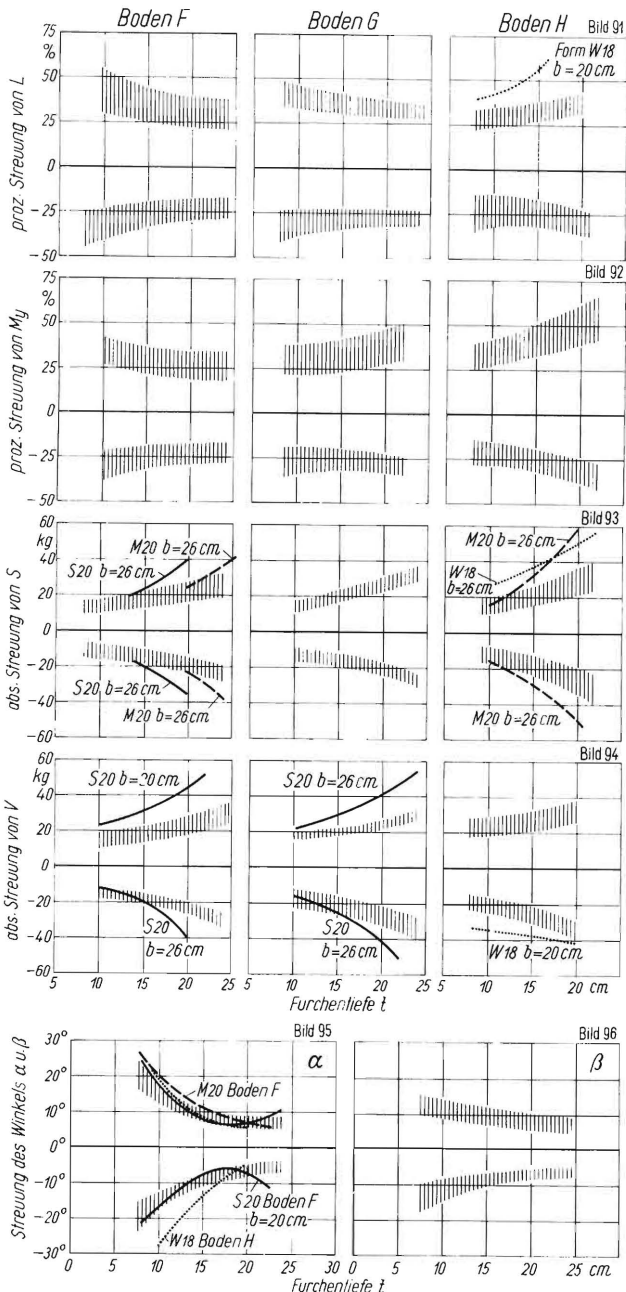


Bild 91 bis 96. Abweichung der Grenzwerte der Kräfte L , S und V , des Drehmomentes M_y und der Winkel α und β von den jeweiligen Mittelwerten über der Furchentiefe.

Für Boden F (sandiger Lehm) festgestellt bei 24 Versuchen an den 6 Normformen und je 4 Furchenbreiten $b = 12-26$ cm
Für Boden G (sandiger, toniger Lehm) festgestellt bei 5 Versuchen an 4 Normformen und Furchenbreiten $b = 12-26$ cm
Für Boden H (sandiger bis lehmiger Ton) festgestellt bei 7 Versuchen an 4 Normformen und Furchenbreiten $b = 12-26$ cm
Dis auf die als Kurven eingezeichneten Ausnahmen liegen die oberen und unteren Abweichungen der Mittelwerte bei allen Körperformen und allen Furchenbreiten innerhalb des schraffierten Bereichs (Streugebiet der Streuung).

Bei der Längskraft wächst bei geringem und mittlerem Bodenwiderstand die prozentuale Streuung mit abnehmender Furchentiefe (Bild 91, Boden F , G). Bei grossem Bodenwiderstand (Boden H) ist der Verlauf umgekehrt. Abweichungen vom Mittelwert, die grösser als $\pm 50\%$ und kleiner als ± 15 bis 20% sind, gehören zu den Ausnahmen. Die Ausnahmen können verursacht

werden sowohl durch anormale Bodenverhältnisse als auch anormale Formgebung.

Bei der Seitenkraft und Vertikalkraft nimmt die absolute Grösse der Streuung mit zunehmender Furchentiefe zu und ist praktisch unabhängig vom Bodenwiderstand. Ausnahmen traten stärker in Erscheinung als bei der Längskraft.

Beim Drehmoment M_y wächst ähnlich wie bei der Längskraft die prozentuale Streuung bei kleinem Bodenwiderstand mit abnehmender Furchentiefe etwas an. Bei mittlerem und grossem Bodenwiderstand wächst die Streuung mit wachsender Furchentiefe. Auf schwerem Boden ergeben sich grössere prozentuale Werte als bei der Längskraft (-45% bis $+65\%$).

Bei den Winkeln α und β , die die Richtung der resultierenden Kräfte angeben, nimmt die Streuung mit abnehmender Furchentiefe in allen Fällen stark zu.

Damit dürfte ein einigermassen abgerundetes Bild über das Ausmass der bei Pflugmessungen zu erwartenden Streuung der Mittelwerte umrissen sein, was für die Beurteilung künftiger Messungen, besonders von kurzzeitigen, von Bedeutung sein kann.

D. Einige Gesetzmässigkeiten der Kräfte und Momente

Als Ergänzung seien noch einige Darstellungen gezeigt, die zwar keine neuen vergleichenden Gesichtspunkte bringen, aber Gesetzmässigkeiten anzudeuten scheinen, die bei Vorliegen weiteren Materials für eine spätere rechnerische oder theoretische Erfassung von Belang sein können.

In Bild 97 sind die b/t -Kennfelder der Kräfte L_m , S_m und V_m auf Grund von Messungen mit der Form $S20$ auf Boden F (sandiger Lehm) dargestellt, wie sie für eine andere Form und anderen Boden bereits gezeigt wurden [2]. Aufgetragen sind die Mittelwertskurven für L , S und V über dem Seitenverhältnis b/t , einmal bei konstant bleibender Furchenbreite (dick ausgezogene Linien $b = \text{const}$), ferner bei konstant bleibender Furchentiefe (dick gestrichelte Linien $t = \text{const}$). Ausserdem enthalten die Kennfelder die Linien $Q = \text{const}$ (punktirt), und im Kennfeld der Längskraft sind (dünn strichpunktirt) die Linien des spez. Zugwiderstandes $z = \text{const}$ eingezeichnet. Die Mittelwerte aus den Messungen sind durch Kreise gekennzeichnet. Bemerkenswert ist nun, dass die Linien $t = \text{const}$ geradlinig verlaufen und sich annähernd in einem Punkt schneiden. Am Beispiel der Form $S20$ sind in Bild 97 bei allen drei Kräften diese Verlängerungen bis zum Schnittpunkt vorgenommen worden.

Die Linearität der Linien $t = \text{const}$, die auf einen hyperbolischen Charakter der Linien $b = \text{const}$ hinweist, ergab sich auf dem Boden F (sandiger Lehm) zwanglos für alle sechs untersuchten Normkörperformen. Die Streukreise der Schnittpunkte sind in Bild 97 eingetragen. Abweichungen von der Linearität zu stei-

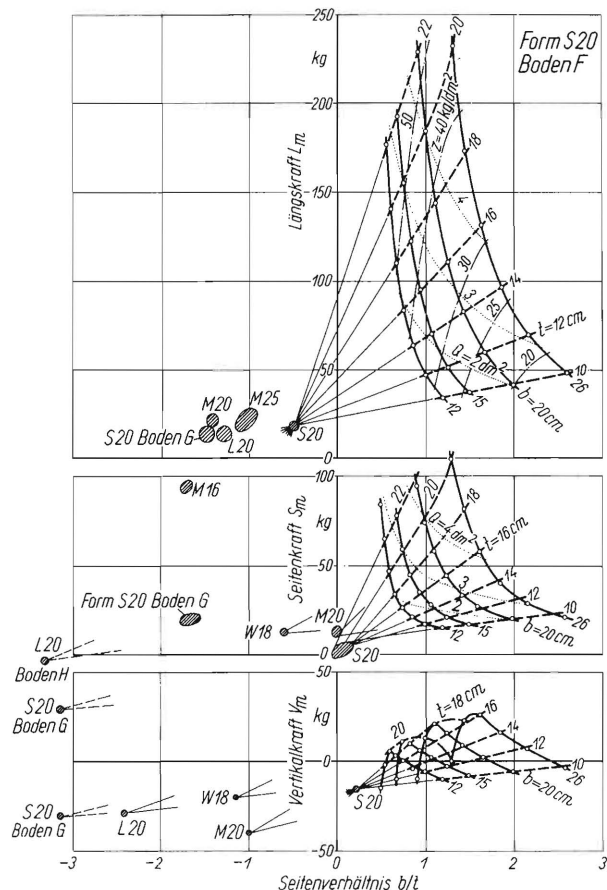


Bild 97. b/t -Kennfelder für die mittlere Längs-, Seiten- und Vertikalkraft der Normkörperform S 20 auf Boden F (sandiger Lehm) und Schnittpunkte der Geraden $t = \text{const}$ für die weiteren untersuchten 5 Normkörperformen.

leren Anstiegen hin ergaben sich nur bei den grössten gemessenen Querschnitten (deutlicher sichtbar in Bild 98), was auf den Beginn anormaler Verhältnisse im Strömungsablauf der betreffenden Form schliessen lässt. Dass teilweise anstelle eines exakten Schnittpunktes ein Streukreis auftritt, ist angesichts der grossen Streuung nicht verwunderlich. Doch sind die Lagenänderungen der Geraden zur Erreichung eines Schnittpunktes nicht gross. Bei der Vertikalkraft ist bei grossen Arbeitstiefen keine Linearität vorhanden ($t = 18$ und 20 cm). Die Schnittpunkte liegen in der Nähe der Abszissenachse bei Seitenverhältnissen zwischen $b/t = -2,0$ und $+0,5$. Erhöht sich der Bodenwiderstand, dann rücken sie, teilweise beträchtlich, weiter nach links bis zu Werten von $b/t = -3,0$ und darüber.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich bei den b/t -Kennfeldern der drei Momente M_x , M_y , M_z , wie Bild 98 für das Beispiel von Bild 97 (Normform S 20, Boden F) darlegt. Die Schnittpunkte der Geraden $t = \text{const}$ sind bei dem Momentenverlauf meistens eindeutiger erzielbar. Ähnlich wie bei der Längskraft treten bei den grössten Furchenquerschnitten steile Anstiege der Grössen auf. Für drei weitere Normformen sind die Schnittpunkte eingetragen. Sie liegen ebenfalls in der Nähe der Abszissenachse bei Seitenverhältnissen $b/t = 0$ bis $1,0$ bzw. als Ausnahmen bis $b/t = -3,0$.

Zusammenfassung

Es wird über die Ergebnisse vergleichender Untersuchungen der Kräfte an zwei Gruppen von Normpflugkörpern bei vier Furchenbreiten ($b = 12$ bis 26 cm) auf drei verschiedenen Böden (Helmstedt) berichtet.

Die erste Gruppe umfasste vier Normpflugkörper unterschiedlicher Form bei gleicher Nenngrösse (steil, mittelsteil, liegend, wendelig).

Infolge der fast gleichen Ein- und Austrittswinkel der vier Körperformen unterscheiden sich die Kräfte und Momente auf allen drei Böden bis zu Furchentiefen $t < 14$ cm nur wenig, während bei $t > 14$ cm sich die Kräfte und Kurventendenzen je nach Wölbungsradius und Austrittswinkel ψ ändern. Die Körper mit extremer Formgebung (Form S 20 und W 18), kleiner Wölbung bzw. grosse Winkel ψ fielen durch besonders steile Kurven auf.

Der optimale Betriebsbereich aller vier Formen war wenig unterschiedlich voneinander. Er wurde im ganzen Furchentiefenbereich durch die Furchenbreite $b = 26$ cm praktisch erfasst. Die Werte der Seitenverhältnisse b/t liegen weit im Breitschnittbereich ($(b/t)_{\text{opt}} \sim 2,7$ für $t = 10$ cm, $(b/t)_{\text{opt}} \sim 1,5$ für $t = 20$ cm) und sind grösser, als früher an anderen Formen festgestellt wurde. Eine Vergrösserung der Furchenbreite würde energetisch keine Nachteile bringen. Mit zunehmendem Bodenwiderstand erhöhen sich die Werte $(b/t)_{\text{opt}}$, wie auch früher festgestellt wurde.

Die Messungen an der zweiten Gruppe Normpflugkörper umfassten drei unterschiedliche Nenngrössen der mittelsteilen Form. Auf sandigem Lehm zeigte sich, dass die Veränderung der Pflugkörpergrösse bei gleichgrossen Winkeln und unter weitgehender Beibe-

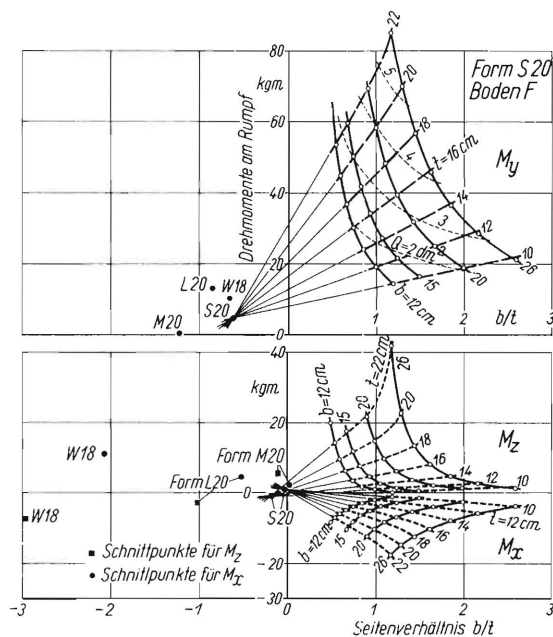


Bild 98. b/t -Kennfelder für die mittleren Momente M_x , M_y und M_z am Rumpf der Normkörperform S 20 auf Boden F (sandiger Lehm) und Schnittpunkte der Geraden $t = \text{const}$ für die übrigen untersuchten 3 Normkörperformen gleicher Grösse.

haltung der geometrischen Form keine wesentlichen Änderungen in der absoluten Grösse sowohl der Kräfte und Winkel, als auch bei den Kurventendenzen mit sich bringt. Auch der kleinste Körper (Nenntiefe 16 cm) arbeitete bei grosser Furchenbreite ($b = 26$ cm) am günstigsten, wobei der spezifische Zugwiderstand bei kleinen Furchentiefen etwas niedriger zu liegen scheint, als die der grösseren Körper. Dieses Gesamtergebnis war wahrscheinlich, so dass die gute Übereinstimmung der Messungen als Kriterium für ihre Reproduzierbarkeit und die Sicherheit der Aussagen angesehen werden kann.

Eine systematische Untersuchung der Streuung aller Messungen zeigte, dass diese bemerkenswert unabhängig von der Furchenbreite und z.T. auch vom Bodenwiderstand ist. Die Streuung ändert sich mehr oder weniger mit der Furchentiefe, wobei ihre Tendenz und Grösse mit bisherigen Feststellungen übereinstimmt. Sie unterstreicht die Folgerungen aus den eigentlichen Messungen (extreme Gestaltung ergab auch extreme Streuung) und bildet eine Unterlage für die Beurteilung weiterer Messungen.

Bei allen untersuchten Normkörperformen ergab sich bei konstantbleibender Furchentiefe ein linearer

Verlauf der Kräfte und Momente über dem Seitenverhältnis b/t , was an den b/t -Kennfeldern der Kräfte und Momente der Normkörperformen S 20 gezeigt wird. Zugeordnete Linien $t = \text{const}$ schnitten sich in einem Punkt in der Nähe der Abszisse.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die vorstehenden Untersuchungen sich nur auf energetische Probleme beziehen. Die Güte der Pflugarbeit in landwirtschaftlicher Hinsicht musste mangels geeigneter Mess- und Beurteilungsmethoden leider noch ausser Acht gelassen werden.

Schrifttum

- [1] Getzlaff, G.: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. In: Grdlg. d. Landtechn. Heft 1. Düsseldorf 1951. S. 16/24.
- [2] Getzlaff, G.: Über die Bodenkräfte beim Pflügen bei verschiedener Körperform und Bodenart. In: Grdlg. d. Landtechn. Heft 3. Düsseldorf 1952. S. 60/70.
- [3] Getzlaff, G.: Kräfte beim Pflügen von steinigem Acker. In diesem Heft.
- [4] Stoppel, Th.: Die Kennzeichnung der Ackerböden nach der Textur. In: Grdlg. d. Landtechn. Heft 3. Düsseldorf 1952. S. 101/108.
- [5] Getzlaff, G.: Änderung der Kräfte bei Drehung der Pflugkörper aus der Normallage. In: Grdlg. d. Landtechn. Heft 3. Düsseldorf 1952. S. 71/74.

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

Anschrift des Verfassers: Ing. Günter Getzlaff, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50