

Das zu den energieaufwendigsten Arbeiten in der Landwirtschaft zählende Pflügen steht hinsichtlich des Arbeitsumfangs mit 20 Prozent weitaus an der Spitze aller Feldarbeiten, die mit Traktoren durchgeführt werden. Daher wird schon seit langem daran gearbeitet, den Energieaufwand bzw. Kräfteaufwand sowie die Beanspruchung der Pflüge während der Arbeit meßtechnisch zu erfassen und größenmäßig zu bestimmen. Die gewonnenen Werte dienen nicht nur dem Pflugkonstrukteur als Unterlage zur Dimensionierung der Pflüge, sondern geben auch dem Landwirt Aufschluß und Anhaltswerte darüber, wie er die Pflugarbeit am zweckmäßigsten und wirtschaftlichsten organisieren kann. Dazu gehören Kenntnisse über die Größe des spezifischen Zugwiderstandes bzw. spezifischen Bodenwiderstandes sowie Kenntnisse über wichtige Faktoren des Bodens, wie Wassergehalt, Textur, Struktur usw., die den Widerstand beeinflussen, ferner Kenntnisse über die Größe des Koeffizienten ε der zum Einsatz gelangenden Pflugkörper.

Bisherige Untersuchungen

Die ab Mitte des 19. Jahrhunderts einsetzende Entwicklung der Landmaschinenindustrie sowie das einige Zeit später entstandene Prüfungswesen für landwirtschaftliche Geräte und Maschinen erforderten wissenschaftliche Grundlagen mit physikalischen Maßstäben, die einen objektiven Vergleich von Geräten verschiedener Herstellerbetriebe ermöglichten. In bezug auf die Pflugarbeit war es daher notwendig, exakte Maßstäbe für den Bodenwiderstand zu schaffen.

In Ermangelung spezieller Meßgeräte für die Vorausbemessung des Zugwiderstandes schlug MARTINY /1/ /2/ deshalb vor, ein Vergleichsgerät (Standardpflug) unmittelbar dort unter den gleichen Bedingungen einzusetzen, wo die zu prüfenden Pflüge arbeiten sollen, und den Zugkraftbedarf dieses Standardpfluges zu messen, wobei eine Arbeitsgeschwindigkeit von 1 m/s einzuhalten ist. Diese Zugkraft auf 1 dm² bearbeiteten Bodenquerschnitt bezogen, ergibt den spezifischen Zugwiderstand in kp/dm². Anhand zahlreicher derartiger Messungen konnten den verschiedenen Bodenarten gewisse Widerstandsbereiche zugeordnet werden, die man ganz allgemein als spezifische Bodenwiderstände bezeichnet und die einen festen Bestandteil der landtechnischen Literatur bilden.

Bereits MARTINY /1/ /2/ machte darauf aufmerksam, daß der Zugwiderstand auch durch die Arbeitsgeschwindigkeit des Pfluges beeinflusst wird. Insbesondere die Beschleunigungsarbeit des Pfluges ist mit dem Quadrat der Geschwindigkeit gekoppelt. Er formuliert die Gleichung für den Zugwiderstand wie folgt:

$$P = a + b \cdot v^2 \quad [\text{kp}]$$

und bemerkt, daß a und b Zahlen sind, die man durch Versuche bestimmen muß.

GORJATSCHKIN /3/ erweitert aufgrund seiner Versuche die Zugkraftformel, indem er nicht nur den Einfluß der Pfluggeschwindigkeit, sondern auch den Einfluß der Pflugkörperform sowie das Pfluggewicht berücksichtigt.

$$P = G \cdot f + b \cdot t \cdot k + b \cdot t \cdot \varepsilon \cdot v^2 \quad [\text{kp}]$$

Seine „rationale Formel“ setzt sich aus 3 Komponenten zusammen:

1. Der Rollwiderstand des Pfluges in der Furche ($G \cdot f$)
2. Der statische Anteil zum Abtrennen und Deformieren des Erdbalkens, dessen Größe unabhängig von der Pfluggeschwindigkeit ist ($b \cdot t \cdot k$)

3. Der dynamische Anteil, der zum Beschleunigen des Erdbalkens nach seitwärts-aufwärts benötigt und durch die Pfluggeschwindigkeit beeinflusst wird ($b \cdot t \cdot \varepsilon \cdot v^2$)

Darin bedeuten:

G Gewicht des Pfluges in kp b Arbeitsbreite in dm

f Rollwiderstandsbeiwert t Arbeitstiefe in dm

k stat. Zugwiderstand (spezif. Bodenwiderstand bei $v = 0$ in kp/dm²)

ε Koeffizient in kps²/dm²m²

v Pfluggeschwindigkeit in m/s

Da der Anteil des Rollwiderstands des Pfluges gewöhnlich 3 bis 4 Prozent des Zugkraftaufwands nicht übersteigt, wird er meistens vernachlässigt, zumal in zunehmenden Maße Anbau- oder Aufsattelpflüge verwendet werden. Der Koeffizient k im statischen Teil der Formel, der den statischen Zugkraftbedarf beinhaltet und ausschließlich vom Boden abhängt, ist größenmäßig nicht ganz identisch mit dem von MARTINY eingeführten und in der landtechnischen Literatur bekannten spezifischen Bodenwiderstand. Dieser ist, wie oben angeführt, bei 1 m/s Pfluggeschwindigkeit definiert, während der k -Wert von GORJATSCHKIN den statischen spezifischen Bodenwiderstand darstellt, der bei Pfluggeschwindigkeit $v = 0$ errechnet wird. Die Größe des Koeffizienten ε hängt außer vom Boden auch von der konstruktiven Gestaltung des Pflugkörpers, insbesondere von der Auslegung des Streichbleches ab. Er muß von Boden zu Boden für den jeweilig eingesetzten Pflugkörper ermittelt werden /4/.

POLLITZ /5/ untersuchte diese Formel auf ihre Anwendbarkeit unter unseren Verhältnissen und fand bestätigt, daß der Kurvenverlauf des Zugkraftbedarfs bei anwachsender Pfluggeschwindigkeit die Form einer Parabel hat, deren Exponent die Werte zwischen 1,8 und 2,2 einschließt, und der Koeffizient ε für die untersuchten Pflugkörper ungefähr $1/10$ des spezifischen Bodenwiderstandes k beträgt.

Da in der einschlägigen Literatur keine Angaben über Größe und Zuordnung der Koeffizienten k und ε zu finden sind, schlägt SCHILLING /6/ eine empirische Formel für den spezifischen Zugwiderstand vor, die den spezifischen Bodenwiderstand bei 1 m/s beinhaltet und die Pfluggeschwindigkeit größer als 1 m/s durch einen Koeffizienten K berücksichtigt.

$$W = W_1 \cdot K \quad (\text{kp/dm}^2)$$

W_1 spezif. Bodenwiderstand bei 1 m/s in kp/dm²

$K = \sqrt{v/v_1}$, wobei v_1 die Pfluggeschwindigkeit in m/s ist

Diese Formel ist für überschlägige Berechnungen und Planungen durchaus brauchbar, aber zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Formparameter der Pflugkörper und unterschiedlicher Pfluggeschwindigkeit auf den Zugkraftbedarf nicht geeignet. Für derartige Untersuchungen und für künftige exakte Planungen ist daher die Anwendung der rationalen Formel von GORJATSCHKIN /3/ notwendig. Hieraus ergibt sich die Aufgabe, brauchbare Unterlagen über den spezifischen Bodenwiderstand bei $v = 0$ und insbesondere Werte und Zusammenhänge über den Koeffizienten ε zu erarbeiten.

Versuchsdurchführung und -auswertung

Innerhalb einiger Jahre wurden Zugkraftmessungen bei der Pflugarbeit mit Pflugkörpern unterschiedlicher Formparameter in verschiedenen Geschwindigkeitsstufen durchgeführt. Zur Verfügung standen im wesentlichen 5 Pflugkörper, die mit Ausnahme des Standardpflugkörpers 30 Z nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip /7/ entworfen und ge-

* VEB Weimar-Kombinat, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig (Direktor: Dr.-Ing. H. BEICHEL.)

baut wurden. Die wichtigsten Formparameter sind in Tafel 1 und Bild 1 angegeben.

Tafel 2 enthält die charakteristischen Parameter der Böden. Die Benennung der Böden erfolgte nach den Richtlinien der internationalen Klassifikation der Böden /8/. Die bei den Versuchen gewonnenen Meßschriebe der Zugkraft wurden ausplanimetriert und die Trendfunktionen des Zugkraftaufwands in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit berechnet. Auf diese Weise ergaben sich die Werte für die Koeffizienten k (spezif. Zugwiderstand) und ε . (In Tafel 2 sind die Durchschnittswerte des spezifischen Zugwiderstands von 5 Pflugkörpern angegeben).

Spezifischer Zugwiderstand

Die Textur der Böden erscheint, ähnlich wie bei der Bezeichnung der Böden nach den Korngrößenfraktionen, auch geeignet für das Aufstellen einer allgemeingültigen Beziehung für den spezifischen Bodenwiderstand. Aus diesem Grund wurden die spezifischen Zugwiderstände eines jeden Pflugkörpers den abschlämmbaren Teilen der Böden zugeordnet und statistisch verrechnet. Die Ergebnisse zeigen, daß eine hoch signifikante Korrelation zwischen den abschlämmbaren Teilen und den spezifischen Zugwiderständen der eingesetzten Pflugkörper vorliegt. Die einzelnen Regressionsgeraden stimmen in ihrer Richtung und Lage fast überein und liegen zumeist innerhalb ihrer Abweichungen.

Bei einem statistischen Vergleich der Einzelwerte für jeden Pflugkörper wurden keine gesicherten Unterschiede festgestellt. Sie gehören somit einer Grundgesamtheit an. Das läßt den Schluß zu, daß der spezifische Zugwiderstand bei der Geschwindigkeit $v = 0$ nicht von der Pflugkörperform beeinflusst, sondern seine Größe durch die Beschaffenheit des Bodens verursacht wird. Daher sind die spezifischen Zugwiderstände der 5 Pflugkörper für jeden Versuchsboden zu einem Durchschnitt verrechnet (Tafel 2) und erneut einer statistischen Berechnung unterzogen worden (Bild 2). Die Regressionsgerade ist wie folgt definiert:

$$Y = 4,57 + 1,175 x$$

Die Abweichung von der Regressionsgeraden beträgt $\pm 11,1 \text{ kp/dm}^2$. Der Korrelationskoeffizient r ist mit 0,886 sehr gut, so daß die Prüfung auf Signifikanz eine Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1 Prozent ergibt. Eine noch bessere Anpassung an die Meßpunkte ergibt eine Funktion 2. Grades

$$Y = 47 - 0,813 x + 0,02 x^2$$

Durch diese Funktion werden die spezifischen Zugwiderstände bis 30 Prozent abschlämmbare Teile besser berücksichtigt, als es die Gerade vermag, die in diesem Bereich etwas zu kleine Werte ausweist. Das liegt z. T. darin begründet, daß der Garezustand dieser vorwiegend sandigen Böden

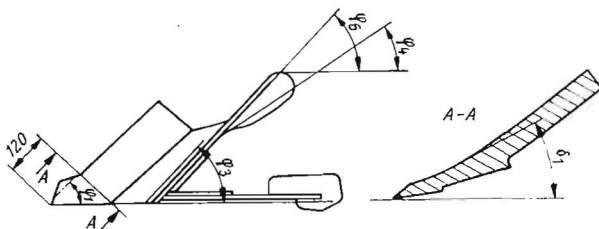


Bild 1. Meßschemata der verwendeten Pflugkörper (Meßwerte Tafel 1)

Tafel 1. Technische Angabe über die verwendeten Pflugkörper (Bild 1)

Pflugkörper		30 Z	P ₃	P ₁₀	P ₁₇	P ₁₈	25 H 8
Schnittwinkel	ϕ_1	29	21	31	27	23,5	38
Scherschneidenwinkel	ϕ_1	42	42	36	42	45	40
Seitenrichtungswinkel (Landseite)	ϕ_3	47	37,5	36	42	31	33
Seitenrichtungswinkel (Streichblechende)	ϕ_4	37	28,5	25	26	19,5	27
Opt. Arb.-Tiefe	cm	30	25	25	25	25	25
Arbeits-Breite	cm	35	35	35	35	35	35

nicht so gut ist wie derjenige der Lehm- und Lößböden, die einen höheren Anteil an organischer Substanz haben und dadurch weniger Energieaufwand verursachen.

Aus Bild 2 geht aber auch hervor, daß der Kurvenverlauf der Funktion 2. Grades zwischen 20 und 80 Prozent abschlämmbaren Teilen innerhalb des Abweichungsbereichs der linearen Regression liegt. Es ist ein Bereich, der 68,3 Prozent aller gemessenen Werte beinhaltet. Damit dürfte die Regressionsgerade den Ansprüchen der Genauigkeit durchaus genügen.

Zur besseren Handhabung des Diagramms sind die Bezeichnungen der Böden nach der internationalen Klassifikation /8/ unterhalb der Abszisse angetragen, um den Boden besser fixieren zu können.

ADAMS /9/ hat vor einigen Jahren einen ähnlichen Gedankengang entwickelt und ebenfalls den spezifischen Pflugwiderstand über den abschlämmbaren Teilen der Böden aufgetragen. Jedoch fehlen Angaben über die verwendeten Pflugkörper sowie Angaben über die Geschwindigkeit, bei der die angeführten spezifischen Pflugwiderstände Geltung haben, so daß die Anwendung der rationalen Formel von GORJATSCHKIN /3/ ausgeschlossen bleibt.

Koeffizient ε

Angaben über die Größe des Koeffizienten ε sind in der einschlägigen Literatur kaum anzutreffen. KRUTIKOW /10/ gibt lediglich einen Größenbereich an, der zwischen 300 und 1000 kps^2/m^4 liegt und bemerkt, daß die Größe des Koeffizienten ε von der Gestalt der Arbeitsoberfläche des Streichbleches und der Bodenart abhängt. Welcher Anteil durch die Streichblechform und welcher durch die Bodenart verursacht wird, ist nicht näher erläutert, obwohl er den Koeffizienten ε aufgliedert in

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \frac{\gamma}{g}$$

wobei γ die Dichte des Bodens und g die Erdbeschleunigung ist. POLLITZ /5/ kommt durch seine Versuche zu dem Ergebnis, daß der Koeffizient ε seiner Pflugkörper eine Größe annimmt, die ungefähr 1/10 des spezif. Pflugwiderstands bei $v = 0$ beträgt.

SÖHNE /11/ ermittelt für seine untersuchten Pflugkörper Werte für den Koeffizienten ε , die zwischen 1,0 und 3,0 $\text{kps}^2/\text{dm}^2\text{m}^2$ liegen. Er vertritt die Auffassung, daß die Größe des Koeffizienten ε insbesondere von dem Seitenrichtungswinkel ϕ_4 am Streichblechende in Höhe der konstruktiven Arbeitstiefe beeinflusst wird. Je kleiner dieser Seitenrichtungswinkel ist, um so kleiner ist im allgemeinen der Anstieg des Zugwiderstands mit wachsender Fahrgeschwindigkeit, also der dynamische Teil (3. Teil) der rationalen Formel von GORJATSCHKIN, der den Koeffizienten ε beinhaltet. Diese Auffassung wird von BERNATZKI /12/ geteilt.

SÖHNE /11/ hat eine Beziehung entwickelt, die die Abhängigkeit des Koeffizienten ε vom Seitenrichtungswinkel ϕ_4 am Streichblechende zum Inhalt hat:

$$\varepsilon = c \cdot (1 - \cos \phi_4)$$

Darin ist c eine Konstante, deren Größe man für jeden Boden gesondert bestimmen muß.

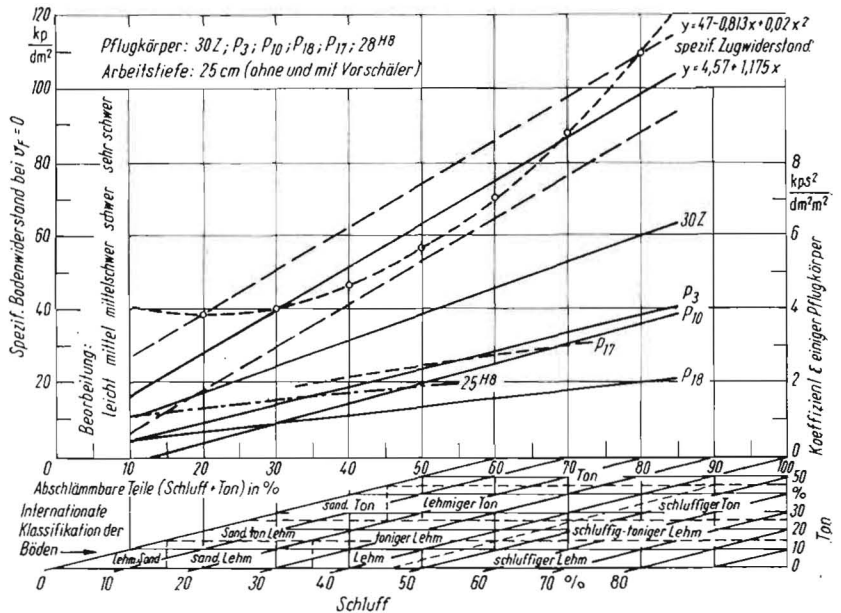
Die ε -Werte der Versuche wurden ebenfalls über den abschlämmbaren Teilen der Versuchsböden aufgetragen. Die Berechnung und auch die Einzeichnung der Regressionsgeraden brachten den Nachweis, daß für jeden Pflugkörper eine gesonderte Regressionsgerade gerechtfertigt ist (Bild 2). Sie schneiden die Ordinate mit geringen Abweichungen fast im Nullpunkt und haben eine unterschiedliche Steigung, die durch den Regressionskoeffizienten b bedingt ist. Der Korrelationskoeffizient r für die Geraden ist z. T. hoch signifikant, so daß nach dem T-Test (STUDENT) für die Pflugkörper 30 Z und P₃ eine Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1 Prozent vorliegt. Für den Pflugkörper P₁₀ beträgt die Irrtumswahrscheinlichkeit weniger als 1 Prozent und für die Pflugkörper P₁₈; P₁₇ und 25H8 weniger

Tafel 2. Angaben über Versuchsböden und Versuchsergebnisse

Dat.	Versuchs-ort	Boden-art	Vor-frucht	Textur				Wasser-gehalt	Dichte	stat. (spezif.) Zugwider-stand \bar{x} von 5 Körpern	ϵ -Werte der Pflugkörper in kps ² /dm ² m ²					
				Grob-sand	Fein-sand	Schluff	Ton				30 Z	P ₃	P ₁₀	P ₁₇	P ₁₈	25 H 8
				%	%	%	%	%	g/ml	kp/dm ²						
8. 67	Noitzsch	Sand	Roggen-stoppel	58,8	24,3	11,4	5,5	9,5	—	30,71	1 668	1 743	0,983	—	—	1 259
9. 67	Knautnaun-dorf	sandiger Lehm	Roggen-stoppel	27,6	38,3	24,6	9,4	10,6	—	37,97	1 974	—	0,720	—	—	1 149
9. 67	Knautnaun-dorf	sandiger Lehm	S.-Gersten-stoppel	32,1	38,3	21,3	8,3	13,2	—	34,22	3 251	1 039	1,271	—	—	1 336
5. 68	Zübiger	Lehm	F.-Roggen-stoppel	19,5	35,6	29,5	5,4	13,2	1,73	34,83	2 880	1 497	0,786	—	—	2 042
9. 68	Knautnaun-dorf	sandiger Lehm	Weizen-stoppel	28,4	35,4	24,1	11,5	12,3	1,74	34,03	2 327	1 384	1,216	1 800	0,889	1 806
9. 68	Bad Lauch-städt	Löss-	Luze-rne-stoppel	2,0	46,2	37,9	14,3	14,1	1,80	50,88	3 172	1 402	0,518	2 730	—	1 908
10. 68	Göschlitz	Schwarzerde st. sandiger Lehm	Weizen-stoppel	65,0	15,7	13,0	7,4	11,0	1,73	39,81	2 037	1 294	1,039	—	0,767	1 368
9. 69	Miltitz	Lehm	W.-Gersten-stoppel	26,0	38,8	28,2	7,0	13,9	1,86	43,46	2 802	1 906	1,488	2,488	0,966	—
9. 69	Miltitz (m. Vorschäler)	Lehm	W.-Gersten-stoppel	26,0	38,8	28,2	7,0	13,9	1,86	50,49	2 788	1 850	1,344	—	0,774	—
9. 69	Räpnitz	Lehm	Weizen-stoppel	25,0	32,7	36,3	6,0	12,9	1,81	58,84	3 839	1 489	1,147	1,937	0,630	—
9. 69	Golzow	schluffig t. Lehm	Weizen-stoppel	11,7	11,7	63,0	14,4	19,8	1,59	102,20	5 019	3 697	3,720	—	2,023	—
9. 69	Golzow (m. Vorschäler)	schluffig t. Lehm	Weizen-stoppel	11,7	11,7	63,0	14,4	19,8	1,59	107,76	8 073	4 647	—	—	—	—
10. 69	Kyhna	sandiger Lehm	Zucker-rüben	17,6	48,0	25,7	8,7	10,6	1,75	48,47	4 243	1 660	0,446	1,836	1,316	—
10. 69	Kyhna (m. Vorschäler)	sandiger Lehm	Zucker-rüben	17,6	48,0	25,7	8,7	10,6	1,75	52,59	2 664	0,994	0,708	1,955	1,047	—
10. 69	Görzig (m. Vorschäler)	Lehm	Ackerweide	31,7	25,5	32,9	9,9	11,1	1,65	70,36	3 021	1 553	1,716	2,444	1,832	—
6. 70	Adelwitz (m. Vorschäler)	schluff. Lehm	Landsberg-Gemenge	17,2	19,2	54,7	8,8	18,4	—	71,24	3 678	3 849	4,600	2,873	—	—

Bild 2
Relation zwischen abschlämbaren Teilen (Schluff + Ton) und spezifischem Zugwiderstand (spezifischer Bodenwiderstand) sowie dem Koeffizienten ϵ verschiedener Pflugkörper

Abweichung von der Regressionsger. $\pm 11,1$ kp/dm²
 Korrelationskoeffizient r 0,886
 Signifikanz von r ***
 Koeffizient ϵ der Pflugkörper in kps²/dm² m²
 30 Z P₃ P₁₀ P₁₇ P₁₈ 25 H 8
 $\pm 0,94 \pm 0,615 \pm 0,844 \pm 0,36 \pm 0,28 \pm 0,788$
 $0,806 \quad 0,838 \quad 0,718 \quad 0,727 \quad 0,802 \quad 0,773$



als 5 Prozent. Die Werte des Koeffizienten ϵ sind außerdem einer statistischen Prüfung auf Signifikanz der Unterschiede zwischen den Pflugkörpern unterworfen worden.

Aus dem Verlauf der Regressionsgeraden und dem statistischen Vergleich der Pflugkörper untereinander wird bestätigt, daß sowohl der Boden als auch die Pflugkörperform die Größe des Koeffizienten ϵ bestimmen.

Die weitere Auswertung ergab, daß der Seitenrichtungswinkel φ_4 am stärksten die Größe des Koeffizienten ϵ beeinflusst. Zieht man nämlich die Regressionskoeffizienten b der Geraden für den ϵ -Wert der einzelnen Pflugkörper für diese Untersuchung heran, so kann eine zu 95 Prozent gesicherte Abhängigkeit für den Seitenrichtungswinkel φ_4 am Streichblechende festgestellt werden (Bild 3). Die Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation beträgt 5 Prozent.

Die von SÜHNE /17/ angegebene Beziehung für den Koeffizienten ϵ läßt sich folglich erweitern, indem man die

Konstante c , die den Einfluß des Bodens charakterisiert, näher definiert. Hierzu werden, wie in Bild 2 dargestellt, die abschlämbaren Teile (Schluff und Ton) der Böden in Prozent herangezogen und ein konstanter Faktor mit der Größe 2,5 eingeführt.

$$c = \frac{x}{2,5} \quad x \text{ abschlämbare Teile in Prozent}$$

2,5 konstanter Faktor

Die Beziehung für den Koeffizienten ϵ erhält folgende Form

$$\epsilon = \frac{x}{2,5} \cdot (1 - \cos \varphi_4) \quad [\text{kps}^2/\text{dm}^2 \text{ m}^2]$$

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die getroffenen Feststellungen und somit auch die Beziehungen für den spezifischen Zugwiderstand (spezifischen Bodenwider-

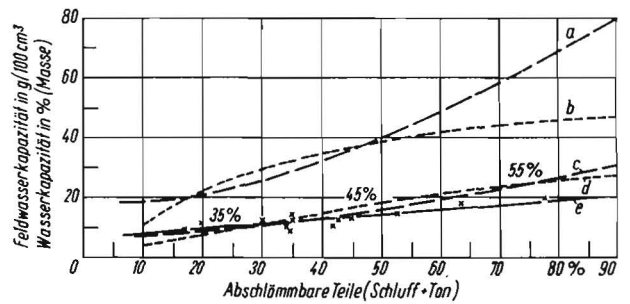
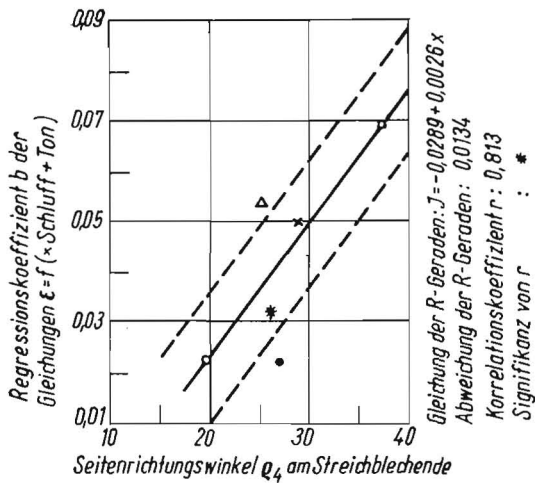


Bild 4. Kennzeichnung und Feuchtigkeit der Versuchsböden. a Wasserkapazität, b Feldwasserkapazität, c Optimum der Pflügbareit: 40 % der Wasserkapazität (nach ROEMER), d ... 35 bis 55 % der Feldwasserkapazität (nach RÜBENSAM), e Feuchtigkeitsgehalt der Versuchsböden $J = 6,37 + 0,165 x$.

Abweichung von der Regressionsgeraden $\pm 1,56$
 Korrelationskoeffizient r 0,869
 Signifikanz von r ...

Bild 3. Relation zwischen dem Seitenrichtungswinkel φ_4 am Streichbleche verschiedener Pflugkörper und den Regressionskoeffizienten b der Gleichungen $\varepsilon = f(x \text{ Schluff} + \text{Ton})$ der Böden

stand) und für den Koeffizienten ε nur für die nach der Methode LUTSCHINSKI [7] entworfenen Versuchspflugkörper und für eine Arbeitstiefe von 24 bis 28 cm Gültigkeit besitzen. Für eine Verallgemeinerung bedarf es weiterer Untersuchungen mit anderen Pflugkörpern und Arbeitstiefen. Vielleicht bestätigt sich hierbei die Annahme, daß die Größe des konstanten Faktors mit der Arbeitstiefe konform geht.

Einfluß der Bodenfeuchtigkeit

Aus der einschlägigen Literatur [9] [13] [14] [15] ergibt sich, daß unter anderem die Bodenfeuchtigkeit bzw. der Wassergehalt der Böden einen beträchtlichen Einfluß auf die Größe des spezifischen Zugwiderstands haben. Bekanntlich erfordern trockene Böden einen höheren Energieaufwand als feuchte. Deshalb versuchte man, den Einfluß des Wassergehalts der Böden auf den spezifischen Bodenwiderstand zu erfassen. In einem räumlichen Diagramm wurde der spezifische Zugwiderstand sowohl über den abschlämmbaren Teilen als auch über dem Wassergehalt der Böden aufgetragen. Dabei ergab die Berechnung der Regressionsgerade folgende Beziehung:

$$Y = 8,34 + 1,273 x - 0,59 Z$$

Darin bedeuten

- Y Spezifischer Zugwiderstand in kp/dm^2
- x abschlämmbare Teile in Prozent
- Z Wassergehalt des Bodens in Prozent

Die Abweichung um die Regressionsebene beträgt $\pm 7,2 \text{ kp}/\text{dm}^2$. Diese relativ geringe Abweichung wird durch die guten Korrelationskoeffizienten r der beiden Regressionsgeraden von Y nach x und von Z nach x bedingt, die

bei $r = 0,886$ und $r = 0,916$ liegen und nach dem T-Test eine Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0.1 Prozent aufweisen.

Die Gleichung sagt durch das dritte Glied aus, daß bei zunehmender Bodenfeuchtigkeit der spezifische Zugwiderstand bzw. spezifische Bodenwiderstand abnimmt. Diese Tendenz stimmt nur zum Teil. Wie aus zahlreichen Veröffentlichungen [9] [13] [16] [17] [18] hervorgeht, existiert in Hinsicht auf die Größe des spezifischen Bodenwiderstands eine optimale Bodenfeuchtigkeit, die von Bodenart zu Bodenart verschiedene Werte annimmt. Wird der Boden zu trocken, dann nimmt der Bodenwiderstand zu, wird er zu naß, dann nimmt er ebenfalls zu, weil die Adhäsion des Bodens — das Kleben am Werkzeug — ebenfalls zunimmt und damit den Zugkraftbedarf erhöht. Außerdem sinkt die Bereitschaft des Bodens, zu krümeln. Die optimale Bodenfeuchtigkeit liegt nach ADAMS [9] und SEGLER [18] zwischen 13 und 17 Prozent. ROEMER [16] gibt an, daß die optimale Bodenfeuchtigkeit für das Pflügen bei etwa 40 Prozent der Wasserkapazität der Böden liegt. RÜBENSAM [17] vertritt die Meinung, daß der optimale Wassergehalt der Böden für das Pflügen ungefähr 35 Prozent der Feldwasserkapazität für leichte und 55 Prozent für schwere Böden betragen soll.

Anschauungshalber sind beide Lehrmeinungen in einem Diagramm (Bild 4) über den abschlämmbaren Teilen aufgetragen. Es zeigt sich, daß beide Angaben im wesentlichen übereinstimmen. Die eingetragene Regressionsgerade der Bodenfeuchtigkeit der Versuchsböden zeigt, daß auf fast allen Versuchsböden bei einem günstigen Wassergehalt gepflügt wurde. Nur die schweren Böden mit einem Anteil an abschlämmbaren Teilen über 60 Prozent weisen einen zu geringen Wassergehalt auf, so daß in qualitativer und energetischer Hinsicht das Optimum erfaßt wurde.

Die Anwendung der Beziehung $Y = 8,34 + 1,273x - 0,59Z$ hat daher nur einen Gültigkeitsbereich, der innerhalb der Bodenfeuchtigkeit von 10 bis 20 Prozent liegt. Aus diesem Grunde genügt die einfache lineare Beziehung $Y = 4,65 + 1,175x$ zur Berechnung des spezifischen Bodenwiderstandes, wenn darauf geachtet wird, daß das Pflügen bei einem Feuchtigkeitszustand erfolgt, der ungefähr dem optimalen entspricht.

Zusammenfassung

Anhand langjähriger Untersuchungen mit Pflugkörpern unterschiedlicher Form in verschiedenen Geschwindigkeitsstufen auf Böden mit unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung konnte eine Beziehung zwischen den ab-

Tafel 3. Pflugkörpervergleich für den Koeffizienten ε
 Statistische Sicherheit nach dem t-Test

Vergleich zwischen	t-Wert nach STUDENT	t-Wert errechnet	Signifikanz	
30 Z	25 H 8	3,50	5,22	..
30 Z	P ₃	4,78	6,25	...
30 Z	P ₁₀	4,44	4,62	...
30 Z	P ₁₇	3,36	4,64	..
30 Z	P ₁₈	6,86	6,98	...
25 H 8	P ₁₀	2,45	3,12	.
25 H 8	P ₃	2,57	2,58	.
P ₃	P ₁₈	4,03	4,41	..
P ₃	P ₁₀	2,46	2,33	.
P ₁₀	P ₁₇	2,12	2,54	.
P ₁₀	P ₁₈	—	—	—

schlammfähigen Bodenteilen Schluff und Ton und der Größe des spezifischen Zug- bzw. Bodenwiderstands bei $v = 0$ gefunden werden. Ebenso konnte eine lineare Beziehung zwischen den abschlammfähigen Bodenteilen und der Größe des Koeffizienten ϵ für jeden der eingesetzten Pflugkörper aufgestellt werden. Ferner gelang es, den Koeffizienten ϵ in seiner Abhängigkeit sowohl vom Boden als auch von der Pflugkörperform darzustellen und größtmäßig durch eine Beziehung zu bestimmen. Alle Beziehungen gelten nur für eine Bearbeitungstiefe von 24 bis 28 cm, einen Wassergehalt der Böden zwischen 10 und 20 Prozent und für die untersuchten Pflugkörper, die nach einem einheitlichen Konstruktionsprinzip entwickelt wurden.

Literatur

- /1/ MARTINY, B.: Zugkraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten. Mitteilungen des Verbandes L.-M.-Prüfanstalten 1911
- /2/ MARTINY, B.: Kraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten. Dissertation Gießen 1910
- /3/ GORJATSCHKIN, W.: Rationale Formel der Zugkraft. Zitat in: KRUTIKOW, N. /10/
- /4/ MARKS, K.: Bisherige Untersuchungen über den spezifischen Bodenbearbeitungswiderstand und ein neues Gerät zu seiner Messung. Die Technik in der Landwirtschaft (1926) S. 232
- /5/ POLLITZ, B.: Untersuchungen über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Zugkraftbedarf bei Bodenbearbeitungsgeräten, insbesondere beim Pflug. Dissertation Berlin 1930

- /6/ SCHILLING, E.: Landmaschinen 2. Band: Maschinen und Geräte für die Bodenbearbeitung. Köln: Luthe-Druck 1953
- /7/ LUTSCHINSKI: Zitiert in KRUTIKOW, N.
- /8/ STROPPEL, TH.: Die Kennzeichnung der Ackerböden. Grundlagen der Landtechnik (1952) H. 3
- /9/ ADAMS, R.: Zugkraft und Drehmomentmessungen an Schlepperanhangemaschinen. Archiv für Landtechnik, 3. Band (1961/62) H. 3
- /10/ KRUTIKOW, N.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1955
- /11/ SÖHNE, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhten Fahrgeschwindigkeiten. Grundlagen der Landtechnik (1959) H. 11
- /12/ BERNATZKI, G.: Einfluß der Form des Streichbleches auf die Erhöhung der Geschwindigkeit beim Pflügen. Vortrag, gehalten auf der intern. wiss.-methodischen Beratung vom 16. bis 19. Mai 1961 in Moskau
- /13/ BACHTIN, P. U. / A. F. WADJUNINA: Die physikalisch-mechanischen Bodeneigenschaften als bestimmender Faktor für die Arbeit landwirtschaftlicher Maschinen. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1960
- /14/ LEHOCZKY: Technische und ökonomische Probleme des Schnellpflügens. Europäische Wirtschaftskommission, Arbeitsunterlage AGRI/WP 2/117 vom 6. März 1969
- /15/ SCHLICHTING, M.: Messung der Schlepperausnutzung und der Zugarbeit beim Pflügen. Wiss. Abhandlungen der DAL, Bd. 8, Berlin 1954
- /16/ ROEMER, TH. / G. SCHEFFER: Lehrbuch des Ackerbaues. Berlin: Verlag Parey 1949
- /17/ RUBENSAM, E. / K. RAUHE: Ackerbau. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag 1964
- /18/ SEGLER, G.: Maschinen in der Landwirtschaft. Hamburg: Verlag Parey 1956 A 8315

Ing. E. KLOTING*

Einsatzmöglichkeiten des Kopplungsbalkens „Zwochau“ für den K-700

Der Kopplungsbalken „Zwochau“¹ wurde vom Neuererkollektiv der LPG „Glück auf“ Zwochau im Winter 1969/70 entwickelt und zur Frühjahrsbestellung 1970 mit hydromechanischer Zusammenklappvorrichtung fertiggestellt. Zur „agra 1970“ und zur Ostseemesse 1970 wurden 2 weitere Geräte mit hydraulischer Zusammenklappvorrichtung ausgestellt. Der Kopplungsbalken besitzt kein Fahrwerk, er wird also mit dem bekannten Anhängedreieck vom Pflug an den Traktor angebaut. Er besteht im wesentlichen aus drei Rahmenteilern. Auf dem Mittelteil des Balkens befindet sich der Zusammenklappmechanismus, mit je 1 Arbeitszylinder für jedes Seitenteil, die am Gestell aufgehängt sind, sowie einem Hebelausgleichsgetriebe, damit sich beide Seitenteile gleichzeitig bewegen. Dieses Mittelteil ist 2,6 m breit, an seiner Vorderseite sitzt das bekannte Anhängedreieck vom Pflug B 500. An den etwa 1,5 m langen Seitenteilen werden die Arbeitsgeräte mit Koppellaschen beweglich angebaut. Einzusetzen ist der Kopplungsbalken am günstigsten mit zwei je 5 m breiten Feingrubbern B 231 mit Drahtwalze oder Strich-eggen. Die Kombination besitzt dann 10 m AB und erreicht je nach geforderter Saatbettiefe Leistungen von 5 bis 10 ha/h. Die Umrüstung von Arbeits- in Transportstellung (3 m breit, 3,50 m hoch) dauert etwa 1 min und wird ohne jeden manuellen Aufwand mit Hilfe der Traktorhydraulik durchgeführt. Dabei werden zunächst die Seitenteile der beiden Feingrubber in eine vertikale Lage eingeschwenkt. Diese Transportstellung wird dann von Hand gesichert. Bei Benutzung von öffentlichen Straßen sind zur Erhöhung der Sicherheit Schutzgitter ohne irgendwelche Änderungen an den nunmehr senkrechtstehenden Mittelteilen der Feingrubber anzubringen. Das Zurückkrüsten in Arbeitsstellung geht in umgekehrter Reihenfolge vor sich und dauert ebenfalls nur etwa 1 bis 2 min. Bei einfachem Schlagwechsel innerhalb einer Flur braucht der Traktorist praktisch nicht abzusteigen. Er hebt die Kombination an, klappt die Seitenteile der Grubber ein und betätigt dann den Hydraulikhebel zum Einklappen der beiden Seitenteile des Kopplungsbalkens.

Zu den Arbeitsergebnissen mit dieser Kombination läßt sich nach 1600 ha Leistung im Jahr 1970 feststellen, daß relativ weniger Zinkenbrüche am Feingrubber auftraten als beim Einsatz mit dem D4K-B.

Weiterhin konnte infolge der großen Leistungsfähigkeit bei

den extremen Witterungsbedingungen 1970 in oft wenigen Schönwetterstunden das Saatbett für zwei Drillkomplexe bereitet werden. Bei der Saatbettbereitung zu Zuckerrüben zeigte sich, daß der Effekt der Federzinken bei der Krümelung des Bodens bei über 10 km/h erst richtig zur Wirkung kommt. Diese Geschwindigkeit läßt sich jedoch mit schwächeren Traktoren als dem K-700 kaum erreichen. Zum Problem der Fahrspuren ergab sich, daß bei normal feuchtem Boden und bei auf 1,1 at Überdruck abgesehenem Reifeninnendruck Spurenschäden nicht entstanden. Bei extrem feuchten Bedingungen waren Fahrspuren etwa in gleichem Maße wie beim Einsatz anderer Traktoren zu erkennen. Ein großer Vorteil der angebauten Gerätekombination besteht vor allem bei überfeuchten Stellen (sogenannten Wasserlöchern) darin, daß der K-700 spielend die gesamte Kombination anheben und derartige Hindernisse meist überwinden kann. Bei Anhängerkombinationen ist dies nicht so ohne weiteres möglich, sondern meist ein Abhängen unumgänglich. Muß vor einem Hindernis zurückgefahren werden, läßt sich mit Anhängerkombination meist nur schwer ausfahren, während bei Anbaugeräten das Gerät ausgehoben wird und eine ausgezeichnete Manövrierfähigkeit besteht.

Als weitere Geräte kann man statt der Feingrubber zwei Anbaugrubber B 245 mit ebenfalls 10 m AB anbauen. Auch diese Grubber können nach dem gleichen Prinzip in Transportstellung gebracht werden. Dazu sind die Seitenteile der Grubber zunächst mechanisch mit Hilfe der Kraftheberanlage in der bekannten Weise einzuklappen. Dann werden die Mittelteile der beiden Grubber ebenfalls mit einklappbaren Seitenteilen des Kopplungsbalkens in Vertikalstellung gebracht.

Außerdem können an den Kopplungsbalken alle anderen Geräte der Bodenbearbeitung, wie 3 Scheibeneggen B 355 (7,5 m AB) oder Eggen, Schleppen usw. mit Gesamtarbeitsbreiten von 7,5 bis 10 m angehängt werden. Dabei läßt sich dann allerdings eine Transportstellung in der idealen Weise wie mit den Anbaugeräten nicht erreichen. Vor allem mit drei Scheibeneggen B 355 erzielten wir erhebliche Schichtleistungen bei guter Arbeitsqualität.

(Anmerkung der Redaktion:

In einem vorläufigen Gutachten erhebt die Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim Bedenken gegen die Belastung der Hinterradreifen des Traktors durch den Anbaukopplungsbalken, diese Frage sollte noch endgültig geklärt werden).

A 8329