

für das Ermitteln des Dichtehomogenitätsgrades eines gegebenen Bodengesamtvolumens.

Um in jedem Fall die für die anzubauende Kulturpflanze optimalen Keimungs- und Wachstumsbedingungen schaffen zu können, muß sich ein vorgegebener Bodenanzustand mit geeigneten Werkzeugen wahlweise in unterschiedliche Bodenendzustände überführen lassen. Das bedeutet, daß man den Bearbeitungseffekt von Werkzeugen (= Differenz zwischen Bodenanzustand- und -endzustand) durch Variation einzelner Werkzeugparameter so breit und feinstufig variieren können muß, daß die optimalen Bodenzustände mit Sicherheit einbezogen sind. Die Entwicklung solcher Werkzeuge ist möglich trotz der Tatsache, daß gegenwärtig keine exakten Zahlenwerte für das Optimum der verschiedenen Bodenzustandsgrößen bekannt sind. Außerdem kommen solche Werkzeuge auch der Förderung nach regelbarem Bearbeitungseffekt in künftigen Bodenbearbeitungsaggregaten entgegen.

Der Einsatz von Werkzeugen mit regelbarem Bearbeitungseffekt setzt voraus, daß quantitative Aussagen über die Abhängigkeit der keimungs- und wachstumsentscheidenden physikalischen Bodenzustandsgrößen von Werkzeug-, Betriebs- und Bodenparametern existieren. Dazu müssen — ebenso wie für Aussagen über den Energieaufwand — systematische Untersuchungen unter natürlichen Bodenverhältnissen durchgeführt werden, um mathematische Modelle in Form von Mehrfachregressionsgleichungen

$$Z_2 = F(Z_1, x_1, x_2, \dots) \quad (4)$$

für alle Zustandsgrößen Z zu erzielen. Dazu zählen die verschiedenen, ackerbaulich bedeutsamen Porengrößen-, Aggregatgrößen- und Dichteklassen.

Z_2 kennzeichnet jeweils den End- und Z_1 den Anfangszustand. Welche Zustandsgrößen als weitere Bodenparameter zum Zweck möglichst restloser Erfassung der Bodeneinflüsse auf das Bearbeitungsergebnis in Betracht kommen (G_A , S , V o. a.) läßt sich anhand von Untersuchungsergebnissen klären.

Quantitative Aussagen gemäß Gl. (4) gestatten auch, unter sonst gleichen Versuchsbedingungen (Betriebs- und Bodenparameter einschließlich Z_1) unterschiedliche Werkzeuge bzw. systematisch abgestufte Varianten einzelner Werkzeugelemente hinsichtlich ihres Bearbeitungseffekts ΔZ zu vergleichen:

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 \quad (5)$$

5. Zusammenfassung

Eine weitere Erhöhung der Effektivität der Bodenbearbeitung erfordert auch besser geeignete Werkzeuge. Wichtige Kriterien der Eignung sind der Energieaufwand und das Bearbeitungsergebnis. Darum muß ein Anliegen experimentell-theoretischer Werkzeugentwicklung sein, quantitative Aussagen über die Abhängigkeit dieser beiden Kriterien von Werkzeug-, Betriebs- und Bodenparametern zu erhalten. Im Interesse praktisch nützlicher Aussagen sollten systematische Untersuchungen von Werkzeugelementen unter natürlichen Bodenverhältnissen erfolgen. Zur möglichst restlosen Erfassung der Bodeneinflüsse auf den Energieaufwand werden der abschlämmbare Anteil, der Sättigungsgrad und der Verdichtungsgrad als zweckmäßige physikalische Zustandsgrößen angesehen. Für die Beschreibung des Bearbeitungsergebnisses bietet sich ein Komplex von pflanzenbaulich bedeutsamen Zustandsgrößen, u. a. verschiedene Porengrößenklassen, an.

Literatur

- [1] Soucek, R.: Zu einigen Fragen des technischen Standes der Bodenbearbeitungsgeräte in der DDR und deren Weiterentwicklung. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 23—25.
- [2] Lucius, J.: Methodik der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 11, S. 515—517.
- [3] Soucek, R. u. a.: Die Bedeutung des Bodens als Werkstoff für das Entwickeln von Bodenbearbeitungswerkzeugen. agrartechnik 24 (1974) H. 9, S. 444—446.
- [4] Sommerburg, H.: Versuch der Nutzung vorhandener Meßergebnisse für Untersuchungen über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit und einiger Parameter der Pflugkörperform und des Bodens auf den spezifischen Zugwiderstand eines dreifurchigen Anhängelbeetpfluges. TU Dresden, Dissertation 1975.
- [5] Kullmann, A. u. a.: Untersuchungsmethoden des Bodenstrukturzustandes. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1968.
- [6] Roemer, T.: Scheffer, F.: Lehrbuch des Ackerbaus. Berlin: Verlag Paul Parey 1949.
- [7] Autorenkollektiv: Normative für die Bodenbearbeitung. agra-Broschüre 1973.
- [8] Kunze, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität — eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung und Stabilisierung der Erträge. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 20—22. A 1079

Ein mathematisches Modell der Einflüsse auf den Zugwiderstand beim Pflügen

Dr.-Ing. H. Sommerburg, KDT, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig des VEB Weimar-Kombinat

1. Problemstellung

Als Beitrag zur höheren Effektivität der Produktion der sozialistischen Landwirtschaft ist auch die Pflugarbeit effektiver zu gestalten. In den kommenden Jahren wird die Landwirtschaft der DDR leistungstärkere Traktoren aus sowjetischer Produktion erhalten, die gemäß den Entwicklungstendenzen im Traktorenbau der UdSSR noch höhere Arbeitsgeschwindigkeiten als bisher bei der Pflugarbeit zulassen [1]. Darum ist es wichtig zu wissen, bei welchen konstruktiven Merkmalen der spezifische Zugwiderstand auch bei einer höheren Arbeitsgeschwindigkeit einen zulässigen Betrag nicht überschreitet und in welchem Maß dieser Zusammenhang von den Bodenverhältnissen beeinflusst wird.

Deshalb kommt einer quantitativen Aussage über die Einflüsse der Arbeitsgeschwindigkeit, der Pflugkörperform und des Bodens auf den spezifischen Zugwiderstand besondere Bedeutung zu. Ein mathematisches Modell dieser Einflüsse würde gestatten, für einen vorgegebenen Boden und eine vorgegebene Geschwindigkeitsstufe die entsprechende Pflugkörperform auszuwählen, bzw. sie zu konstruieren, ohne sie mit großem Aufwand empirisch

entwickeln zu müssen. Außerdem könnten dann fertigungstechnisch oder pflugtechnisch begründete Grenzen der durch Formveränderungen am Pflugkörper möglichen Zugwiderstandsenkung eingeschätzt und notfalls Aufgaben zur Entwicklung prinzipiell neuer Werkzeugarten abgeleitet werden.

2. Stand bisheriger Untersuchungen

In [2] wird zum Ausdruck gebracht, daß der gegenwärtige Stand der landtechnischen Forschung zwar noch keine quantitative Aussage in Form eines mathematischen Modells der Einflüsse liefert, daß aber neben der Arbeitsgeschwindigkeit vor allem Parameter der Pflugkörperform und des Bodenzustands als entscheidende Einflußgrößen in Betracht kommen. Davon ausgehend werden in [2] Meßergebnisse aus Feldversuchen statistisch ausgewertet, was zu folgender Regressionsgleichung führt:

$$\hat{z} = 139,019 + 2,481 \Omega - 4,256 \Delta_1 + 903,899 G_A + 10,27 v^2 \quad (1)$$

bei $s_R = 116,70 \text{ N/dm}^2$ und $v = 21,8\%$.

\hat{z} Regression des spezifischen Zugwiderstands in N/dm^2

Ω Seitenrichtung der Arbeitsfläche in mm

Δ_3 Scharanstellwinkel in $^\circ$

G_A abschlämmbarer Anteil

v Arbeitsgeschwindigkeit in m/s

s_R Standardabweichung der Regressionsschätzung in N/dm^2

ν Variationskoeffizient der Regressionsschätzung in %

Die Seitenrichtung der Arbeitsfläche Ω ist die mittlere Länge der aus der Pflugkörper-Draufsicht in die Vorderansicht projizierten Abschnitte ($\Omega_{1,1}, \Omega_{1,2}, \dots, \Omega_{17,1}, \Omega_{17,2}, \dots$), die sich auf horizontalen Formlinien (1,2, ..., 17, ...) zwischen gleichmäßig (ΔL) voneinander entfernt und senkrecht zur Arbeitsrichtung liegenden Vertikalschnitten (a, b, ...) befinden (Bild 1). Die Seitenrichtung der Arbeitsfläche läßt sich um so genauer ermitteln, je mehr horizontale Formlinien und je kleinere Abstände ΔL der Vertikalschnitte benutzt werden. Dazu ist die auf die Pflugkörper-Vorderansicht projizierte Gesamtlänge aller horizontalen Formlinien zu bestimmen und durch die Anzahl der zwischen den Vertikalschnitten liegenden Formlinienabschnitte ($\Omega_{1,1}, \Omega_{1,2}, \dots, \Omega_{17,1}, \Omega_{17,2}, \dots$) zu dividieren.

Der Scharanstellwinkel Δ_3 ist in Arbeitsrichtung des Pflugkörpers zu messen (nicht senkrecht zur Scharsschneide, wie in [2] fälschlich angegeben), und zwar als Richtungswinkel der im Punkt P (Bild 2) an die Schnittkurve der Schararbeitsfläche gelegten Tangente. An diesem Punkt endet die Schnittkurve bei von oben angeschliffener Scharsschneide. Bei verwundenen Scharen berechnet sich der Scharanstellwinkel nach

$$\Delta_3 = \frac{\Delta_{3A} + \Delta_{3E}}{\rho} \quad (2)$$

d. h. aus dem Scharanstellwinkel am Scharanfang (Δ_{3A}) und Scharende (Δ_{3E}).

G_A kennzeichnet den Anteil der Schluff- und Tonfraktion an der Gesamtmasse der mineralischen Bodenbestandteile.

3. Ziel weiterer Untersuchungen

Bei späteren Pflugkörper-Untersuchungen entstehen wiederum zahlreiche Meßergebnisse des spezifischen Zugwiderstands unterschiedlicher Pflugkörperformen bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen und Arbeitsgeschwindigkeiten [3]. Dadurch ergibt sich die Chance, mit einer gemeinsamen Regressionsanalyse der insgesamt anfallenden Meßergebnisse ein mathematisches Modell zu erhalten, mit dem eine noch größere Zuverlässigkeit erreichbar ist als bei Benutzung der Gl. (1).

Kennzeichnend für alle Pflugkörper-Untersuchungen ist der generelle Einsatz eines dreifurchigen Anhängereetpfluges (Pflugarbeitsbreite 1,05 m, Pflugkörperarbeitsbreite 35 cm) und die Messung der Zugkraft am Zughaken. Sie enthält darum außer dem Zugwiderstand der Pflugkörper u. a. auch den Rollwiderstand der Pflugräder. Die berechneten spezifischen Zugwiderstände sind folglich nicht die der Pflugkörperformen, sondern die des Pfluges unter den verschiedenen Einsatzbedingungen. Somit heißt das durch Regressionsanalyse aller verfügbaren Meßergebnisse erreichbare Ziel, Aufstellen eines mathematischen Modells des Einflusses der Arbeitsgeschwindigkeit und einiger Form- und Bodenparameter auf den spezifischen Zugwiderstand eines dreifurchigen Anhängereetpfluges [3].

4. Ergebnisse

Die Regressionsanalyse erfolgte auf einem Kleinrechner KRS 4200 im IfM Potsdam-Bornim. Für den gewählten Gleichungstyp $\hat{z} = a_0 + a_1 \cdot \Omega + a_2 \cdot \Delta_3 + a_3 \cdot G_A + a_4 \cdot v^2$ (3) ergaben sich folgende Zahlenwerte des Achsabstandes und der Regressionskoeffizienten:

$$\begin{aligned} a_0 &= -379,478 \text{ N/dm}^2 \\ a_1 &= 4,609 \text{ N/dm}^2 \text{ mm} \\ a_2 &= 16,544 \text{ N/}^\circ \text{ dm}^2 \\ a_3 &= 1166,365 \text{ N/dm}^2 \\ a_4 &= 18,015 \text{ N s}^2/\text{dm}^2 \text{ m}^2 \\ s_R &= 113,169 \text{ N/dm}^2 \\ \nu &= 16,7 \% \end{aligned}$$

Die statistische Sicherheit aller geschätzten Regressionskoeffizienten beträgt 99,99%. Das mathematische Modell besitzt damit in bezug auf die Aussage, daß die Größen Ω , Δ_3 , G_A und v den

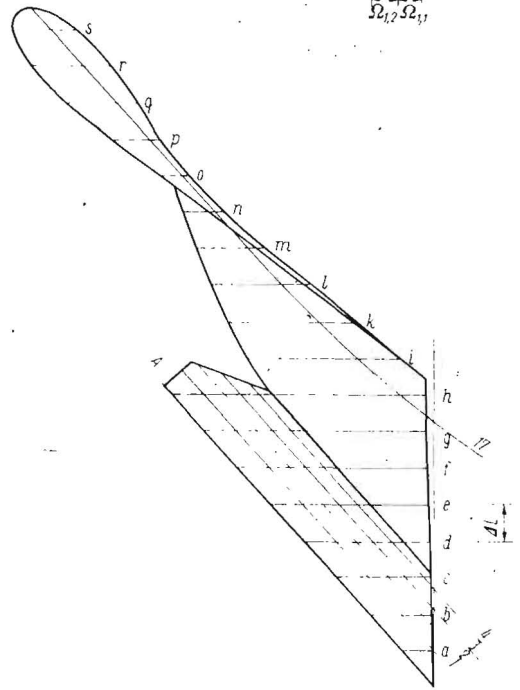
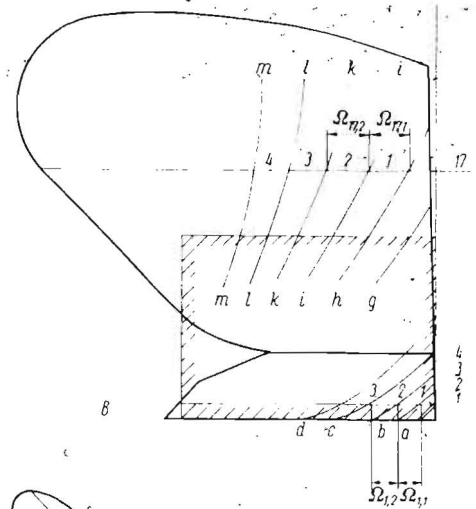


Bild 1. Arbeitsfläche des Pflugkörpers in Vorderansicht und Draufsicht: A Bezugsebene 1, B Bezugsebene 2

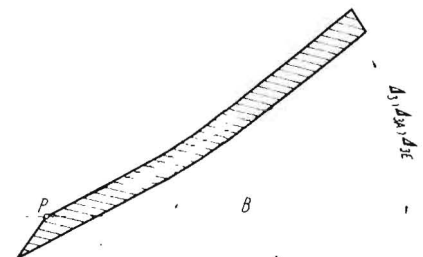


Bild 2. Scharanstellwinkel: A Bezugsebene 1, B Bezugsebene 2

spezifischen Zugwiderstand entscheidend beeinflussen, eine für praktische Zwecke ausreichend große Zuverlässigkeit. In bezug auf die Aussage, welcher tatsächliche, vom berechneten Regreßwert \hat{z} abweichende spezifische Zugwiderstand im Einzelfall (bei vorgegebenen Zahlenwerten der Einflußgrößen) mit 95% Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann, besitzt das mathematische Modell ebenfalls eine große Zuverlässigkeit. Sie

drückt sich außer im geringen Vertrauensbereich des Regreßwertes auch im hohen Bestimmtheitsmaß der Regression aus.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $B = 75\%$, d.h. nur 25% der Variation der ermittelten spezifischen Zugwiderstände sind aus der Variation der einbezogenen vier Einflußgrößen nicht erklärbar.

Tafel 1 zeigt den für drei ausgewählte Einzelfälle nach dem Verfahren von Working und Hotelling [4] berechneten genauen Vertrauensbereich. Er ist für praktische Zwecke verhältnismäßig unbedeutend.

Um Aussagen über die relative Einflußstärke der vier Größen zu erhalten, wurden partielle Elastizitätskoeffizienten [5] berechnet, die die Unterschiede in den Maßeinheiten aufheben:

$$E_{\Omega} = 0,264\%; \quad E_{\Delta_3} = 0,506\% \\ E_{G_A} = 0,631\%; \quad E_{v^2} = 0,165\%$$

Der Elastizitätskoeffizient sagt aus, um wieviel % sich der Wert von \hat{z} verändert (bezogen auf den Mittelwert aller Meßergebnisse des spezifischen Zugwiderstands), wenn bei fixiertem Niveau der anderen Einflußgrößen sich die betreffende Einflußgröße um 1% verändert (bezogen auf das Mittel ihrer Meßwerte).

5. Praktische Bedeutung der Ergebnisse

Die berechneten Regressionskoeffizienten des mathematischen Modells nach Gl. (3) gestatten folgende Feststellung:

— Der spezifische Zugwiderstand ist um so größer, je höher die Arbeitsgeschwindigkeit v ist, je größer der Scharanstellwinkel Δ_3 und die Seitenrichtung der Arbeitsfläche Ω sind und je mehr Abschlämmbares G_A der Boden enthält.

Aus den berechneten Elastizitätskoeffizienten ergeben sich folgende Aussagen:

— Den stärksten Einfluß auf den spezifischen Zugwiderstand übt der abschlämmbare Anteil G_A aus, den schwächsten Einfluß hat das Geschwindigkeitsquadrat v^2 .

— Der Scharanstellwinkel Δ_3 übt auf den spezifischen Zugwiderstand einen fast doppelt so starken Einfluß aus wie die Seitenrichtung der Arbeitsfläche Ω .

Jedoch ist die Einflußmöglichkeit von Δ_3 sehr gering, da sich beispielsweise mit kleiner werdenden Winkelwerten die Funktion des Pfluges zunehmend verschlechtert, indem zu große Einzugsstrecken am Feldanfang entstehen und der Pflug bei wechselnden Bodenverhältnissen nicht gleichmäßig tief arbeitet. Eine größere Einflußmöglichkeit dagegen hat Ω . Insofern ist es wichtig zu wissen, in welchem Maß einer höheren Arbeitsgeschwindigkeit durch Veränderungen von Ω entsprochen werden kann.

Davon ausgehend, daß gegenwärtig in der Landwirtschaft der DDR am häufigsten noch die Pflugkörperform 30 Z bei etwa 8 km/h zum Einsatz gelangt, läßt der Elastizitätskoeffizient E_{Ω} folgende Schlußfolgerung zu:

— Der durch Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit von etwa 8 km/h auf etwa 11 km/h zu erwartende Anstieg des spezifischen Zugwiderstands läßt sich durch Pflugkör-

performen mit kleineren Zahlenwerten für Ω bei noch vertretbarer Baulänge voll ausgleichen. Für Geschwindigkeiten über 11 km/h ist entweder ein zunehmend höherer spezifischer Zugwiderstand in Kauf zu nehmen oder sind prinzipiell neue werkzeugtechnische Lösungen zu suchen.

Des weiteren ergeben sich aus dem Charakter des mathematischen Modells [Gl. (2)] noch folgende Feststellungen:

— Das mathematische Modell enthält keine kausalerklärende Aussage für die theoretische Entwicklung von Pflugkörperformen; es erlaubt aber, den Vorgang des mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit ansteigenden spezifischen Zugwiderstands durch Bereitstellung entsprechender Pflugkörperformen technisch zu beeinflussen.

— Das mathematische Modell berücksichtigt durch den Vertrauensbereich des Regreßwertes auch die bei der praktischen Pflugarbeit auf den spezifischen Zugwiderstand einwirkenden zufälligen Einflüsse des Bodens.

— Der im mathematische Modell als einziger Bodenparameter einbezogene abschlämmbare Anteil G_A ist zeitunabhängig und gestattet deshalb, nach einmaliger Ermittlung der Zahlenwerte einer vorgegebenen Ackerfläche jederzeit den Einfluß dieses Bodens auf den spezifischen Zugwiderstand zu berücksichtigen.

— Das mathematische Modell ist auf Anhängel- und Aufsattelbeetpflüge auch bei Pflugarbeitsbreiten $> 1,05$ m und Pflugkörperarbeitsbreiten > 35 cm anwendbar, wobei ein etwas größerer als der sich nach dem Modell ergebende spezifische Zugwiderstand erwartet werden muß.

Beim Anwenden der Gleichung (3), beispielsweise zum Vorausberechnen der vom Traktor aufzubringenden Zugkraft, müssen die Zahlenwerte der Formparameter Ω und Δ_3 des betreffenden Pflugkörpers bekannt sein. Tafel 2 enthält die Zahlenwerte einiger Pflugkörpertypen. Nachfolgendes Beispiel zeigt die Berechnung der Zugkraft Z für den Pflugkörper 30 Z.

Gegeben: $\Omega = 48,3$ mm
 $\Delta_3 = 20,0^\circ$
 $G_A = 0,400$ (Lehm)
 $v = 2,778$ m/s (= 10 km/h)
 Pflugarbeitsbreite $b = 2,8$ m (8furchig)
 Arbeitstiefe $t = 20$ cm (Saatfurche)

Gesucht: Spezifischer Zugwiderstand \hat{z}
 Zugkraft Z

$$\text{Lösung: } \hat{z} = (-379,478 + 4,609 \cdot 48,3 + 16,544 \cdot 20,0 \\ - 1166,365 \cdot 0,400 + 18,015 \cdot 7,716) \text{ N/dm}^2 \\ \hat{z} = 779,566 \text{ N/dm}^2 \\ Z = \hat{z} \cdot b \cdot t = 43\,655,70 \text{ N}$$

6. Zusammenfassung

Die weitere zielstrebige Erhöhung der Effektivität der Pflugarbeit erfordert u.a. eine quantitative Aussage über die Einflüsse der Arbeitsgeschwindigkeit, der Pflugkörperform und des Bodens auf den spezifischen Zugwiderstand. Unter Nutzung zahlreicher

Einzelfall	Zahlenwert d. Einflußgröße				Regreßwert \hat{z} N/dm ²	Vertrauensbereich mit 95% Wahrscheinlichkeit
	Ω mm	Δ_3 °	G_A —	v m/s		
1 alle Einflußgrößen nehmen den mittleren Zahlenwert der Versuche an	38,8	20,5	0,367	2,49	686,5	minimaler Vertrauensbereich $\hat{z}_{\min} = \hat{z} \pm 6,87 \text{ N/dm}^2$
2 alle Einflußgrößen nehmen den oberen Grenzwert ihres praktisch bedeutsamen Bereichs an	58,4	23,4	0,850	3,90	1543,57	oberer maximaler Vertrauensbereich $\hat{z}_{\max(\Omega)} = \hat{z} \pm 46,11 \text{ N/dm}^2$
3 alle Einflußgrößen nehmen den unteren Grenzwert ihres praktisch bedeutsamen Bereichs an	28,5	18,0	0,100	1,70	217,71	unterer maximaler Vertrauensbereich $\hat{z}_{\max(v)} = \hat{z} \pm 26,49 \text{ N/dm}^2$

Tafel 1. Vertrauensbereiche von Regreßwerten des spezifischen Zugwiderstands

Tafel 2. Zahlenwerte der Formparameter Ω und Δ_3

Pflugkörpertyp	Ω in mm	Δ_3 in °
30 Z	48,3	20,0
25 H	32,4	23,4
30 Z/S	58,4	20,5

Meßergebnisse aus Feldversuchen wird durch statistische Analyse ein mathematisches Modell der Einflüsse als Mehrfachregressionsgleichung mit ausreichend großer Zuverlässigkeit seiner Aussage gewonnen. Es enthält als Einflußgrößen die Arbeitsgeschwindigkeit, zwei Parameter der Pflugkörperform und einen Bodenparameter. Anhand der berechneten Regressions- und Elastizitätskoeffizienten und aus dem Charakter des Modells ergeben sich Schlußfolgerungen für die Anwendung des mathematischen Modells bei der Pflugkörper-Entwicklung und beim Pflugkörper-Einsatz.

Literatur

[1] Krupp, G.: Über Einsatzkennwerte der neuen sowjetischen

Traktoren K-701, T-150 und T-150 K. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 6—9.

- [2] Sommerburg, H.: Über den Einfluß der Pflugkörperform auf den Zugwiderstand. agrartechnik 23 (1973) H. 1, S. 42—46.
- [3] Sommerburg, H.: Versuch der Nutzung vorhandener Meßergebnisse für Untersuchungen über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit und einiger Parameter der Pflugkörperform und des Bodens auf den spezifischen Zugwiderstand eines dreifurchigen Anhängereetpfluges. TU Dresden, Dissertation 1975.
- [4] Förster, E.; Egermayer, F.: Korrelations- und Regressionsanalyse. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1966.
- [5] Frenkel, A.: Mathematische Analyse der Arbeitsproduktivität. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1970. A 1080

Röntgenografische Ergebnisse zur Bedeutung von Aggregatgrößen- und Dichteverteilung im Boden

Dr.-Ing. H. Sommerburg, KDT/Dipl.-Ing. J. Zscherper, KDT, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig des VEB Weimar-Kombinat

Agrotechnische Forderungen (ATF) und in der Fachliteratur enthaltene Aussagen aus ackerbaulich-bodenphysikalischen Untersuchungen weisen darauf hin, daß die Keimungs- und Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen unter anderem von der Porengrößen-, Dichte- und Aggregatgrößenverteilung im Boden abhängen. Das dadurch gekennzeichnete Bodengefüge ist ausschlaggebend für den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt. Um aber die Verteilungen erfassen und beurteilen zu können, braucht man außer einer Einteilung in pflanzenbaulich begründete Porengrößen-, Dichte- und Aggregatgrößenklassen auch geeignete Meßverfahren.

1. Problemstellung

Agrotechnische Forderungen an die Aggregatgrößenverteilung beziehen sich beispielsweise auf folgende Aggregatgrößenklassen: < 10 mm, 10 bis 40 mm, 40 bis 60 mm [1][2]. Unter Umständen ist zur differenzierten Beurteilung beim Entwickeln neuer Bodenbearbeitungswerkzeuge eine feinere Klasseneinteilung nötig. Jedoch ist z. Z. kein Verfahren bekannt, das gestattet, Größe und Lage der Aggregate sowie eingearbeiteter organischer Rückstände in beliebigen Schichten (bis unter die Bearbeitungsgrenze) beschädigungsfrei und möglichst berührungslos sichtbar zu machen bzw. quantitativ zu erfassen.

2. Stand der Technik

Bekanntes Verfahren (Siebanalyse, Freigraben zum Abbilden oder zum subjektiven Beurteilen, Bohrstöcke, Strömungs- und Diffusionsmeßverfahren) erfüllen die o. g. Bedingung nicht. Berührungsloses Erfassen des Bodengefüges ist aber beispielsweise mit Hilfe von Röntgenstrahlen möglich, da sie der unterschiedlichen Dichte entsprechend geschwächt werden. Allerdings liefert das Röntgenverfahren in der Abbildung die Summe aller durchstrahlten Bodenbestandteile, und eine Zuordnung von Aggregaten zu einzelnen interessierenden Bodenschichten ist darum nicht möglich. Das ist nur bei Stereoröntgen erreichbar; jedoch sind keine technischen Lösungen für die quantitative Auswertung eines Raumbildes solcher Vielfalt bekannt, wie es das Gefüge von Ackerboden darstellt. Das menschliche Auge muß bei Stereobetrachtung schnell und extrem fern-nah akkommodieren, was sehr anstrengend ist; es kann sich nur auf kleinere Volumeneinheiten konzentrieren, das vorgegebene Bodenvolumen aber nicht in seiner Gesamtheit erfassen.

Literaturstudium und Konsultationen führten aber zu Informationen über das in der Medizin gebräuchliche Röntgenschnittbild. Hierbei handelt es sich um das Prinzip der bevorzugten

Darstellung einer bestimmten Körperschicht unter Ausschaltung aller außerhalb dieser Schicht liegenden Details. Daraus ergab sich die Aufgabe, die Anwendbarkeit dieses Prinzips für Ackerboden zu prüfen.

3. Ziel der Untersuchungen

Das Ziel der Untersuchungen war, auf einem Röntgenbild eine hinreichende Information über die in einer ideellen vertikalen Schnittebene im Inneren eines gegebenen Bodens vorhandenen Aggregatgrößen und organischen Rückstände (Stroh u. a.) zu erhalten. Dazu sollten Helligkeit, Kontrast und Konturenschärfe optimal kombiniert und hierfür alle röntgentechnischen Möglichkeiten (Filmtypen, Folientypen u. a.) maximal ausgenutzt werden. Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Röntgenabteilung der Zentralklinik Bad Berka.

4. Röntgeneinrichtung

Das Prinzip der Schichtdarstellung besteht darin, daß während der Belichtung des Films zwei Teile des aus Brennfleck, Objekt und Film bestehenden Aufnahmesystems (Bild 1) koordiniert derart bewegt werden, daß dabei das Verhältnis der Abstände vom Brennfleck ($R_1, R_2 \dots$) zur darzustellenden Objektschicht (S) einerseits sowie vom Brennfleck zum Film ($F_1, F_2 \dots$) andererseits konstant bleibt, so daß allgemein gilt

$$\frac{R_1 D}{R_1 D_1} = \frac{R_x D}{R_x D_x}$$

Alle Röntgenstrahlen, die durch Punkte einer Schicht S gehen, für die diese Bedingung erfüllt ist (z. B. P, D), treffen dann in jeder Phase des Bewegungsablaufs gleiche Punkte ($P_1, D_1, P_2, D_2; \dots$) des Films. Die betreffende Schicht wird deshalb scharf abgebildet. Für alle Punkte außerhalb von ihr (Q) ändert sich dagegen das Abstandsverhältnis während der Bewegung; sie werden deswegen laufend auf verschiedene Stellen des Films projiziert (Q_1, Q_2, \dots), dadurch verwischt und außerdem unterbelichtet [3].

Für die Untersuchungen stand eine Einrichtung vom Typ „Polytome H“ aus der BRD zur Verfügung. Röntgenröhre und Film dieser Einrichtung können folgende Kurven (in der Projektion auf die abzubildende Schicht) durchlaufen:

- Geraden mit einem Pendelwinkel $\alpha = 10^\circ \dots 50^\circ$
- Kreise mit $\alpha = 0^\circ \dots 20^\circ$ (Zonografie) sowie mit $\alpha = 29^\circ \dots 36^\circ$
- Ellipsen mit in beiden Hauptrichtungen jeweils $\alpha = 40^\circ$ auf der großen Achse
- Hypozykloide mit $\alpha = 48^\circ$.

Dabei beträgt der Brennfleck-Film-Abstand 1400 mm bei einem Vergrößerungsfaktor von $R_x D_x / R_x D = 1,3$.