

## Eine Profilmessrichtung zum Bestimmen des Bodenaufbruchs beim Einsatz von Werkzeugen zur Bodenlockerung

Dozent Dr.-Ing. K. Plötner, KDT\*

### 1. Problemstellung

Werkzeuge zur Bodenlockerung, wie z. B. Grubberwerkzeuge, übertragen auf den Boden Kräfte, die nach Überwinden des Bodenwiderstands den Boden in den Bruchzustand überführen. Der Bruchzustand ist allgemein gekennzeichnet durch den Bodenaufbruch und die Bruchkörper /1/.

Der Bodenaufbruch ist der Teil des Bodens in räumlicher Ausdehnung, dessen Inhalt infolge der Kraftwirkung der Werkzeuge in den Bruchzustand überführt wurde. Er ist begrenzt durch die entstehende Schnittfläche an der Furchensohle, die entsprechenden seitlichen Scher- oder Gleitflächen, die von der Furchensohle zur Bodenoberfläche verlaufen, und die Bodenoberfläche. Er kann durch die Querschnittsfläche senkrecht zur Bewegungsrichtung der Werkzeuge eindeutig gekennzeichnet werden. Der Inhalt des Bodenaufbruchs wird durch die Bruchkörper gebildet. Die Bruchkörper sind selbständige Bodenaggregate bestimmter Formen, Abmessungen und Verteilungen.

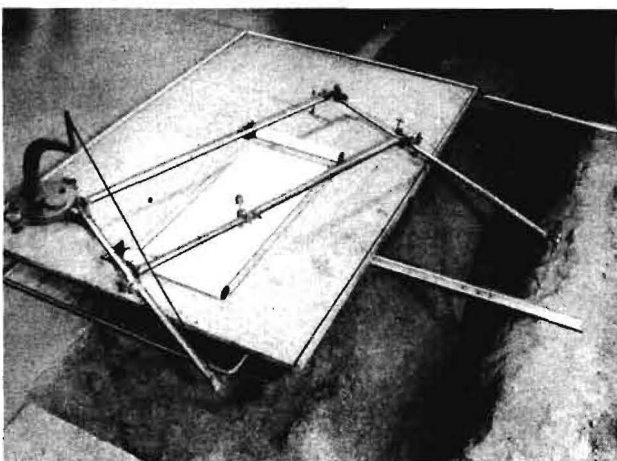
Aus Untersuchungen verschiedener Werkzeugvarianten für die Bodenbearbeitung geht hervor, daß die Beziehungen zwischen Bodenwiderstand und Bodenaufbruch einen Bewertungsmaßstab für den Arbeitserfolg von Bodenbearbeitungswerkzeugen darstellen /1/.

Danach ergibt sich die Aufgabe, den Bodenaufbruch in der definierten Form experimentell zu bestimmen, wozu eine Profilmessrichtung entwickelt wurde.

### 2. Aufbau und Wirkungsweise der Profilmessrichtung

Die Profilmessrichtung (Bilder 1 und 2) arbeitet nach dem Funktionsprinzip eines Pantographen. Sie wird vor der Aufnahme des Bodenaufbruchs mit ihrem Grundrahmen über Maßstäbe parallel zur Mittellinie des Bodenaufbruchs und über zueinander senkrecht angeordnete Röhrenlibellen parallel zur Bodenoberfläche ausgerichtet. Der Bodenaufbruch kann von seiner rechten oder linken Seite aus (in Bewegungsrichtung der Werkzeuge gesehen) aufgenommen werden.

\* Universität Rostock, Sektion Landtechnik  
(Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. Chr. Eichler)



Vor der Messung wird der Bodenaufbruch durch Entfernen der Bruchkörper sorgfältig freigelegt.

Nach Bild 2 wird der über eine bestimmte Meßstrecke entstandene Bodenaufbruch (e-Koordinatensystem  $sbh$ ) mit dem in Richtung der Koordinatenachse  $h$  stufenlos verstellbarem Taststift  $b$  bei verschiedenen, konstant eingestellten Aufbruchtiefen  $h_a = h_0 \dots h_7$  mit  $h_7 = h$ , abgetastet. Die sich dabei ergebenden Flächen  $S_{SE} = s_a \cdot b_a(s)$  für  $h_a = \text{konst}$  (mit  $a = 0 \dots 7$ ) werden vom Taststift  $b$  über den Pantographen  $a$  und den Registrierstift  $c$  auf den Meßschrieb  $d$  übertragen und als Höhenlinien  $0 \dots 7$  aufgezeichnet. Der Maßstab für die durch Höhenlinien begrenzten Flächen ist über den Pantographen stufenlos einstellbar.

Die Profilmessrichtung gestattet je nach maximaler Aufbruchbreite  $b_a$  bei  $h_a = 0$  das Abtasten und Aufzeichnen eines Bodenaufbruchs von  $s_a \approx 1,00$  m Länge auf einem Meßschrieb. Um diese Länge einhalten zu können, wird bei großen Aufbruchbreiten der Bodenaufbruch von beiden Seiten bis zur Mittellinie getrennt aufgenommen.

Für die Auswertung liefert die Profilmessrichtung auf den Meßschrieben Scharen von Höhenlinien, die den Bodenaufbruch in Richtung der Koordinatenachsen  $s$  und  $b$  stufenlos und in Richtung der Koordinatenachse  $h$  in den gewählten Stufen beinhalten.

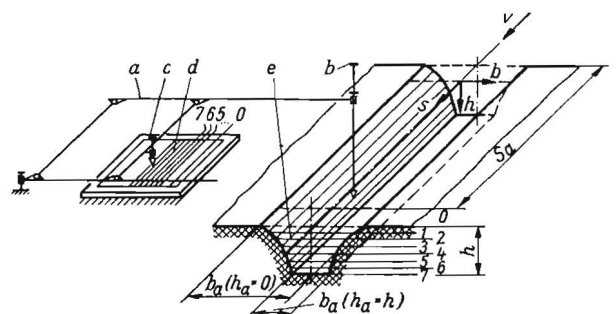
### 3. Gewinnen und Aufbereiten der Kennwerte zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs aus dem Profilmessschrieb

Bild 3 zeigt einen bei Untersuchungen /1/ aufgenommenen Profilmessschrieb für den Bodenaufbruch und das Ergebnis der Aufbereitung des Meßschriebs. Der Bodenaufbruch wird nach Tafel 1 durch die Aufbruchbreite  $b_a$  bei  $h_a = 0$ , die Aufbruchfläche  $S_A$ , den Aufbruchfaktor  $K_A$  und den Aufbruchwinkel  $\vartheta$  gekennzeichnet.

Durch Ausplanimetrieren der durch Höhenlinien begrenzten Flächen  $S_{SE}$  in Schichtebenen von  $h_a = 0$  bis  $h_a = h = 220$  mm mit dem Linearplanimeter ergeben sich die mittleren Aufbruch- oder Arbeitsbreiten der Lockerungswerkzeuge in den jeweiligen Aufbruchtiefen. Sie stellen im linearen Koordinatensystem die Funktion  $b_a = f(h_a)$  dar, die den Bodenaufbruch seitlich begrenzt.

◀ Bild 1. Profilmessrichtung zum Ausmessen des Bodenaufbruchs

Bild 2. Funktionsprinzip der Profilmessrichtung; a Pantograph, b Taststift, c Registrierstift, d Meßschrieb, e Bodenaufbruch



Tafel 1. Gewinnen und Aufbereiten der Kennwerte zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs mit Hilfe der Profilmessrichtung

Kennwerte zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs	Meßgrößen	Form der Meßwerte	Methode für das Aufbereiten der Meßwerte	Berechnungsgleichungen für das Aufbereiten der Meßwerte
Aufbruchbreite $b_a$ in cm bei $h_a = 0$	Flächen $S_{SE}$ in $cm^2$ für den Bodenaufbruch in Schichtebenen parallel zur Bodenoberfläche in gewählten Stufen von $h_a = 0$ bis $h_a = h$ , die durch die Höhenlinien begrenzt sind	Analoge Aufzeichnung der Funktion $b_a = f(S_a)$ in den gewählten Stufen für $h_a = 0$ bis $h_a = h$ auf Meßschiebe	Ausplanimetrieren der Flächen $S_{SE}$ mit dem Linearplanimeter	mit: $b_a = m_1 b_{aM}$ $b_{aM} = \frac{S_{SE}}{S_a}$
Aufbruchfläche $S_A$ in $cm^2$			Ausplanimetrieren der Flächen $S_{AD}$ mit dem Linearplanimeter	für $h_a = 0$ $m_1$ Längenmaßstab $S_{AD}$ folgt aus der Darstellung der Funktion $b_a = f(h_a)$ mit $h_a = 0$ bis $h_a = h$ $m_F$ Flächenmaßstab
Aufbruchfaktor $K_A$			Berechnung von $K_A$ mit den ermittelten Werten für $b_a$ und $h$	$K_A = \frac{b_a(h_a=0) - b_a(h_a=h)}{2h} = \frac{b_s}{h}$ mit: $b_a(h_a=h) \approx b_s$
Aufbruchwinkel $\phi$ in $^\circ$			Ausmessen des Winkels $\phi$ im Diagramm mit der Funktion $b_a = f(h_a)$	$\phi$ Meßgröße

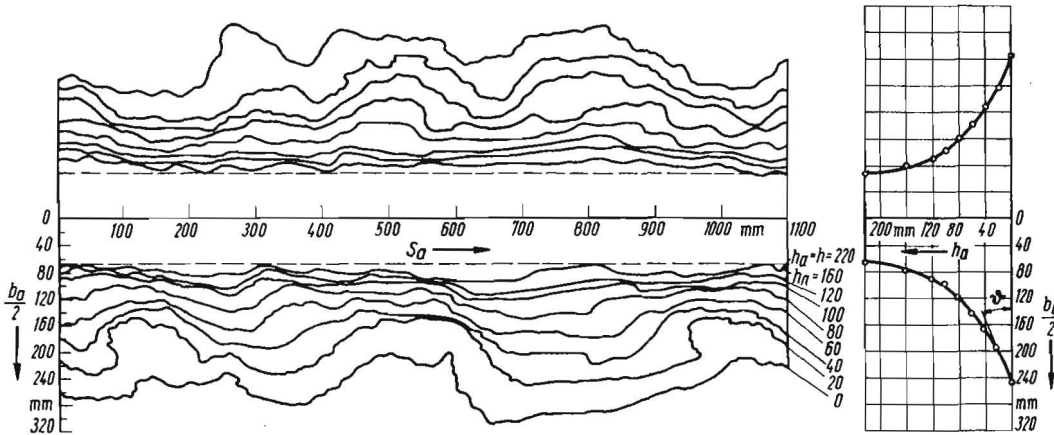


Bild 3 Meßschiebe für den Bodenaufbruch mit den aufbereiteten Kennwerten zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs /1/

Die Aufbruchfläche  $S_A$ , die durch die Funktion  $b_a = f(h_a)$  und die Höhenlinien bei  $h_a = 0$  und  $h_a = h = 220$  mm gebildet wird, gewinnt man ebenfalls durch Ausplanimetrieren. Der definierte Aufbruchfaktor resultiert aus theoretischen Überlegungen /1/ und gibt das Verhältnis der maximalen seitlichen Aufbruchbreite ( $b_s$  bei  $h_a = 0$ ) zur Arbeitstiefe an. Er ist ein Maß für den seitlichen Bodenaufbruch. Wenn  $K_A$  groß ist, liegt ein günstiger seitlicher Bodenaufbruch vor. Als weiteres Kriterium für den seitlichen Bodenaufbruch wird nach der Darstellung der Funktion  $b_a = f(h_a)$  der Aufbruchwinkel  $\phi$  gemessen.

Bleiben bei nebeneinanderarbeitenden Werkzeugen unbearbeitete Bodenstreifen zwischen den Werkzeugen stehen, so werden diese beim Bestimmen der Aufbruchflächen berücksichtigt.

#### 4. Erfahrungen bei der Anwendung der Profilmessrichtung

Bei den Untersuchungen /1/ wurden mit der beschriebenen Profilmessrichtung die Bodenaufbrüche beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen ausgemessen. Der einfache Aufbau der Profilmessrichtung garantiert eine unkomplizierte Bedienung und zügige Versuchsdurchführung unter Labor- und Praxisbedingungen. Der besondere Vorteil der Profilmessrichtung besteht darin, daß der Bodenaufbruch nach Form und Abmessungen über eine Meßstrecke von  $s_a \approx 1,00$  m ohne Umsetzung der Meßrichtung auf Meßschiebe aufgezeichnet wird. Die Auswertung der Profilmessschiebe mit Hilfe des Linearplanimeters ist ebenfalls einfach und schnell möglich.

Feuerlein /2/ verwendet zum Bestimmen des Furchenaufwurfs beim Pflügen einen Profilschreiber nach dem Funktionsprinzip eines Pantographen. Im Unterschied zu der vom

Verfasser entwickelten Profilmessrichtung wird der Bodenaufbruch mit dem Profilschreiber in Schnittebenen parallel der  $bh$ -Ebene (Bild 2) aufgenommen. Demzufolge muß der Profilschreiber bei jeder Messung versetzt und zur Bodenaufbruchmittellinie neu eingerichtet werden. Nimmt man an, daß der Bodenaufbruch kontinuierlich in Abständen von 10 cm ausgemessen wird, so ist dieser Vorgang auf 1 m Länge 11mal zu wiederholen. Als Ergebnis der Messungen erhält Feuerlein Meßschiebe, die den Bodenaufbruch in Richtung der Koordinatenachsen  $b$  und  $h$  nach Bild 2 stufenlos und in Richtung der Koordinatenachse  $s$  in den gewählten Stufen kennzeichnen. Im Vergleich zu der Methode von Feuerlein ergibt sich z. B. die Funktion  $b_a = f(h_a)$  nach der beschriebenen Auswertungsmethode der Profilmessschiebe (Mittelwertbildung durch Planimetrieren) durch eine Vielzahl von Schnitten parallel der  $bh$ -Ebene, was bedeutet, daß mit dem Profilschreiber von Feuerlein für das Bestimmen dieser Funktion eine Vielzahl von Wiederholungen erforderlich wären.

Bei der Anwendung der Profilmessrichtung entstehen für die definierten Kennwerte des Bodenaufbruchs Fehler durch das Abtasten des Bodenaufbruchs und das Auswerten der Meßschiebe. Sie liegen in jedem Fall im Streubereich der Kennwerte für den Bodenaufbruch, was die statistischen Maßzahlen (arithmetischer Mittelwert  $\bar{x}$ , Standardabweichung  $s$  und Vertrauensbereich  $x_v$ ) der Flächen  $S_A$  und  $S_{SE}$  bestätigen /1/:

- Abtastfehler der Profilmessrichtung (z. B. beim Bestimmen von  $S_A$  mit  $\bar{x} = 334,8 \text{ cm}^2$ ,  $s = \pm 12,02 \text{ cm}^2$ ,  $x_v = \pm 14,90 \text{ cm}^2$ )
- Fehler beim Auswerten der Meßschiebe (z. B. beim Bestimmen der Fläche  $S_{SE}$  bei  $h_a = 0$  mit  $\bar{x} = 552,4 \text{ cm}^2$ ,  $s = \pm 0,549 \text{ cm}^2$ ,  $x_v = \pm 0,395 \text{ cm}^2$ )

Diese Abweichungen können aufgrund ihrer Größenordnung vernachlässigt werden, wodurch bestätigt wird, daß die Profilmessung die Anforderungen beim Bestimmen der Kennwerte des Bodenaufbruchs erfüllt.

### Zusammenfassung

Beim Einsatz von Werkzeugen zur Bodenlockerung wird der Boden in den Bruchzustand überführt. Der Bruchzustand ist durch den entstehenden Bodenaufbruch und die sich bildenden Bruchkörper gekennzeichnet.

Zur experimentellen Bestimmung des Bodenaufbruchs wurde eine Profilmessung entwickelt. Der Aufbau und die

Wirkungsweise der Profilmessung sowie das Gewinnen und Aufbereiten der Kennwerte zum Charakterisieren des Bodenaufbruchs aus dem Profilmessschrieb werden beschrieben. Abschließend werden die Erfahrungen bei der Anwendung der Profilmessung bei den Untersuchungen unter Labor- und Praxisbedingungen /1/ dargelegt.

### Literatur

- /1/ Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodenwiderstand und den Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Dissertation TU Dresden, 1970 (vertrauliche Dienstsache)  
 /2/ Feuerlein, W.: Die Pflugarbeit und ihre Beurteilung. Grundlagen der Landtechnik (1960) H. 12, S. 44–50 A 8790

## Über den Einfluß der Pflugkörperform auf den Zugwiderstand

Dipl.-Ing. H. Sommerburg, KDT\*

Ein Beitrag zur höheren Effektivität der landwirtschaftlichen Produktion ist die rationelle Pflugarbeit. Die Pflugarbeit erfolgt stets unter technischen, technologischen, arbeitsorganisatorischen, ökonomischen und bodenseitigen Bedingungen — im folgenden Einsatzparameter genannt. Man unterscheidet die beeinflussbaren Einsatzparameter, wie Pflugkörperform, Motormenleistung, jährliche Einsatzstunden u. a., von den unbeeinflussbaren (Bodenart, Stundenlohn, Kraftstoffpreis), deren Werte entsprechend den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis festliegen. Ein Verändern der Werte der beeinflussbaren Einsatzparameter — beispielsweise eine veränderte Pflugkörperform — ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch eine höhere Effektivität erzielt wird. Wichtige Effektivitätskriterien der Pflugarbeit sind z. B. die Arbeitsproduktivität in ha/AKh, die Verfahrenskosten in M/ha, die Arbeitsqualität und die Arbeitsbedingungen.

Eine höhere Effektivität der Pflugarbeit ist dann erreicht, wenn die Werte der beeinflussbaren Einsatzparameter innerhalb der vom Stand der Wissenschaft und Technik gesetzten Grenzen so gewählt worden sind, daß eine höhere Arbeitsproduktivität erreicht wird, ohne daß die Verfahrenskosten, die Arbeitsqualität und die Arbeitsbedingungen vorgegebene Grenzen überschreiten. Um diese optimalen Werte finden zu können, muß bekannt sein, welche Einsatzparameter auf welches Effektivitätskriterium Einfluß ausüben und welchen Charakter und Grad diese Einflüsse besitzen, d. h. durch welches mathematisches Modell sie ausgedrückt werden können.

### 1. Zugwiderstand und Einsatzparameter

Der Zugwiderstand des Pflugs ist eine für die Effektivität der Pflugarbeit entscheidende Komponente. Die Effektivität erhöht sich, wenn es gelingt, ihn im Interesse einer größeren Arbeitsproduktivität zu senken und dabei innerhalb der durch die anderen Effektivitätskriterien gesetzten Grenzen zu bleiben. Um eine technische Lösung z. B. in Gestalt einer geeigneten Pflugkörperform finden zu können, werden quantitative Aussagen über die anteiligen Einflüsse der entscheidenden Parameter der Pflugkörperform, des Bodens und anderer Einsatzparameter auf den Zugwiderstand benötigt. Mit Hilfe solcher Aussagen lassen sich die Grenzen der durch Formänderung erreichbaren Zugwiderstandssenkung einschätzen, wenn dabei die vom Stand der Fertigungstechnik abhängigen Grenzen der realisierbaren Formen des Streichblech-Pflugkörpers beachtet werden, und lassen sich notfalls

Aufgaben zur weiteren Zugwiderstandssenkung durch andere Werkzeugmaterialien, Wirkprinzipien o. a. begründen.

Die Ergebnisse bisher durchgeführter Untersuchungen ermöglichen noch keine quantitative Beschreibung der anteiligen Einflüsse. So sagt Gorjatschkin /1/ nur aus, daß die Koeffizienten  $f$ ,  $k$  und  $\varepsilon$  der von ihm entwickelten „rationalen Formel der Zugkraft“

$$Z = f \cdot G + k \cdot B \cdot T + \varepsilon \cdot B \cdot T \cdot v^2$$

von der Bodenart, der Bodenfeuchtigkeit und der Bauart des Pflugs abhängen und  $\varepsilon$  außerdem von der Pflugkörperform, dem Werkstoff der Arbeitsorgane und den Abmessungen des Erdbalkens bestimmt wird. Für die Koeffizienten gibt er Wertebereiche an.

Kirjuchin /2/ schreibt: „Da  $B$ ,  $T$  und  $v$  nur die Betriebsbedingungen bestimmen, muß der Wert des Koeffizienten  $\varepsilon$  die Bodeneigenschaften und die wichtigsten Parameter des Pflugkörpers berücksichtigen.“ Er berechnet den Koeffizienten  $\varepsilon$  anhand experimentell gewonnener Bewegungsbahnen des Erdbalkens auf einer Pflugkörper-Arbeitsfläche mit geraden, horizontalen Mantellinien.

Mehrere Autoren /3/ /4/ /5/ /6/ nennen Gleichungen für die Abhängigkeit des Koeffizienten  $\varepsilon$  von einer vereinfacht als zweiflächiger Keil angenommenen Werkzeugform.

Nikiforow /7/ berichtet über die Ergebnisse mehrjähriger Untersuchungen, wonach für Schnelppflugkörper ein kleinerer Winkel des Streichblechs zur Arbeitsrichtung und des Scharns zur Furchensohle und somit eine langgezogenere Form charakteristisch sind.

Nach Söhne /8/ /9/ /10/ ist der Seitenrichtungswinkel  $\varphi$  am furchenseitigen Ende der in 160 bis 200 mm Höhe gelegenen horizontalen Streichblechformlinien (bei 25 cm Arbeitstiefe) für die Größe des dynamischen Zugwiderstandes

$$\varepsilon \cdot B \cdot T \cdot v^2$$

maßgebend.

Er gibt dafür die Beziehung

$$\varepsilon = c (1 - \cos \varphi)$$

an, nennt aber keine quantitative Abhängigkeit des Koeffizienten  $c$  von Bodenparametern. Bezüglich des statischen Zugwiderstandes

$$f \cdot G + k \cdot B \cdot T$$

sagt er aus, daß Abhängigkeiten von Formparametern des Pflugkörpers nicht gefunden werden konnten.

Werschinin /11/ berichtet über Versuche auf lehmhaltigen, podsoligen Böden, bei denen ein Zusammenhang zwischen Zugwiderstand und Bodenfeuchtigkeit festgestellt wurde.

\* Institut für Landmaschinentechnik Leipzig im VEB Weimar-Kombinat Landmaschinen (amt. Direktor: Dipl.-Ing. J. Gieske)