

Arbeitsflächen benutzt werden. Aussagen über die Qualität der Pflugarbeit läßt das Modell nicht zu.

### 5. Zusammenfassung

Auf der Grundlage der aus der Literatur bekannten Verfahren zum Bestimmen des spezifischen Bodenwiderstands an Pflugkörpern wurden experimentell-theoretische Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde das Ziel verfolgt, einen funktionellen Zusammenhang zwischen dem spezifischen Bodenwiderstand des Pflugkörpers, der Schubfestigkeit des Bodens und der Fahrgeschwindigkeit zu ermitteln. Gleichzeitig konnten Formparameter für die Pflugkörper festgelegt werden, die den spezifischen Bodenwiderstand beeinflussen und die als Konstante mit der Konstruktion der Arbeitsfläche festgelegt werden.

Aus den Versuchsergebnissen wurden allgemeingültige Gleichungen abgeleitet, die zur Entwicklung der Arbeitsfläche und zur Ermittlung der Zugkraft von Pflugkörpern anwendbar sind.

### Literatur

- [1] Bernhardt, K.: Eine Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit des Bodens aus der Sicht der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 23 (1974) H. 2, S. 395—399.
- [2] TGL 33328 Schubfestigkeit des Bodens. Ausg. Februar 1977.

- [3] Bernhardt, G.; Richter, R.: Meßgerät zum Bestimmen der Schubfestigkeit. agrartechnik 28 (1978) H. 9, S. 390—393.
- [4] Krutikow, N. P.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen, Band I. Berlin: VEB Verlag Technik 1955.
- [5] 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 Anhängerpfluges. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1974.
- [6] Ganzuch, U.: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Schubfestigkeit des Bodens und spezifischem Widerstand unterschiedlicher Pflugkörper unter Beachtung der Einsatzbedingungen in der Mongolischen Volksrepublik. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1978. A 2067

# Meßgerät zum Bestimmen der Schubfestigkeit

Dr.-Ing. G. Bernhardt, KDT/Dipl.-Ing. R. Richter

### 1. Problemstellung

Die Schubfestigkeit ist eine wichtige Werkstoffeigenschaft des Bodens [1]. Sie bestimmt neben Trägheits- und Reibkräften maßgeblich den Widerstand, den der Boden einem auf ihn einwirkenden Werkzeug entgegensetzt, und die auf dem Boden abstützbaren Kräfte (z. B. bei Rädern). Ihre Kenntnis ist für die wissenschaftliche Entwicklung und Untersuchung von Werkzeugen für die Bodenbearbeitung und von Landmaschinenfahrwerken erforderlich.

Zur Bestimmung der Schubfestigkeit des Bodens wurde von Bernhardt [2] [3] eine Meßmethode vorgeschlagen, die weitgehend die Bedingungen der Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft berücksichtigt. Nach TGL 33328 [4] müssen bei der Bestimmung der Schubfestigkeit folgende Charakteristika der Meßmethode erfüllt sein:

— In dem zu untersuchenden Boden ist eine senkrecht zur Bodenoberfläche stehende ebene Bodenwand abzustechen.

- Ein Meßwerkzeug, dessen ebene, rechteckige Arbeitsfläche parallel zur Bodenwand ausgerichtet wird, ist mit einer konstanten Bewegungsgeschwindigkeit  $v = 2 \text{ mm/s}$ , deren Vektor senkrecht zur Bodenwand steht, in Richtung der Bodenwand bis zum Entstehen eines Bodenbruchkörpers zu bewegen.
- Das Meßwerkzeug ist in seiner Breite in drei gleichbreite Teilwerkzeuge zu unterteilen, die gemeinsam vertikal verschiebbar sind.
- Das Verhältnis  $K$  zwischen Meßtiefe  $t$  und Breite  $b_g$  des Meßwerkzeugs beträgt  $K = t/b_g = 0,45$ .
- Der Horizontalkraft am mittleren Teilwerkzeug zum Zeitpunkt des Bruches im Boden ist die vor dem mittleren Teilwerkzeug liegende Teilbruchfläche zuzuordnen.
- Nach abgeleiteten Berechnungsgleichungen sind die Schubfestigkeit  $\tau$ , die Normalspannung  $\sigma$ , der innere Reibungswinkel  $\varrho_i$  und die Kohäsion  $c$  zu ermitteln.

Ein Neuererkollektiv der TU Dresden, Sektion

Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, entwickelte ein Schubfestigkeitsmeßgerät, dessen Aufbau und Anwendung nachfolgend erläutert werden soll.

### 2. Aufbau des Meßgeräts

Das Meßgerät (Bilder 1, 2 und 3) besteht aus folgenden Hauptbaugruppen:

- Rahmen, einschließlich Räder, Antriebs-einrichtung und Abstützelemente
- Meßwagen mit Werkzeugträger, Meßwerkzeugen, Kraftmeßgeber und Abstecheinrichtung
- elektronisches Kraftmeßgerät.

Die wesentlichen technischen Daten des Meßgeräts sind aus Tafel 1 zu entnehmen.

#### 2.1. Rahmen

Der Rahmen enthält in seinen beiden seitlichen Trägern Führungsbahnen für den Meßwagen. Die beiden Räder lassen sich durch Lösen einer Arretierung von Transport- in Arbeitsstellung

Bild 1. Schubfestigkeitsmeßgerät in Transportstellung

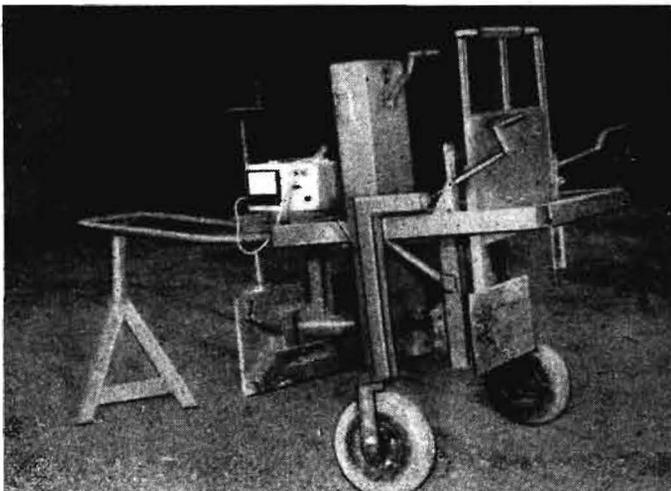
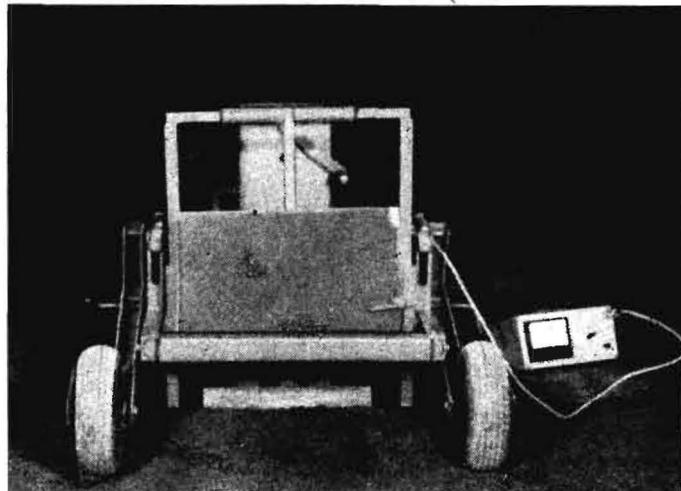


Bild 2. Einsatz des Schubfestigkeitsmeßgeräts in der Bodenrinne



(und umgekehrt) bringen. In Arbeitsstellung kann mit Hilfe von Gewindespindeln die Höhe des Rahmens zur Bodenoberfläche für jedes Rad getrennt eingestellt werden. Eine dritte vertikale Abstützung erfolgt über eine durch Gewindespindel verstellbare Stütze. Eine dem Meßwerkzeug gegenüberliegende Platte dient zum Abstützen der beim Meßvorgang auftretenden Horizontalkraft am Boden. Der Antrieb des Meßwagens erfolgt von Hand über Handkurbel, Kettenantrieb und Gewindespindel mit einem Normal- oder Schnellvorschub. Die Pendellagerung verhindert durch den Ausgleich von Spiel und Verformung ein Verklemmen der Spindel.

### 2.2. Meßwagen

Der Meßwagen läuft auf vier Kugellagern in den seitlichen Trägern des Rahmens. In seiner vertikalen Führungsbahn läuft ebenfalls auf vier Kugellagern der Werkzeugträger, dessen Eigenmasse von zwei Zugfedern aufgenommen wird. Dadurch wird erreicht, daß die am Meßwerkzeug wirkende Vertikalkraft sehr klein gegenüber der Horizontalkraft ist.

Die drei Teilwerkzeuge sind an der vorderen Seite des Werkzeugträgers angeschraubt, wobei sich das mittlere Teilwerkzeug über einen Kraftmeßgeber am Werkzeugträger abstützt. Der zur Kraftmessung verwendete Oktagonalringmeßgeber [5] ermöglicht, daß die Horizontalkraft unabhängig von ihrem Angriffspunkt und mit geringem Fehler gemessen wird. Seine relativ große Steifigkeit gewährleistet, daß sich die Lage des mittleren Teilwerkzeugs unter Krafteinwirkung gegenüber den seitlichen Teilwerkzeugen nur unwesentlich verändert.

Die Abstecheinrichtung besteht aus einer Platte, die am Meßwagen in zwei Führungen vertikal verschiebbar angeordnet ist. Nach Lösen einer Arretierung kann sie zum Erzeugen einer senkrecht zur Bodenoberfläche stehenden ebenen Bodenwand in einer zuvor ausgehobenen Grube von Hand in den Boden gedrückt werden.

### 2.3. Elektronisches Kraftmeßgerät

Der Meßwert für die Horizontalkraft wird am Oktagonalringmeßgeber mit Hilfe von Halbleiterdehnmeßstreifen in Vollbrückenschaltung gewonnen und entsprechend Bild 4 verarbeitet. Durch die Sample-and-hold-Schaltung kann das Maximum des Meßwerts (entspricht der Horizontalkraft am mittleren Teilwerkzeug zum Zeitpunkt des Bruches im Boden) über einen Zeitraum von rd. 30 s unverfälscht am Meßinstrument abgelesen werden.

Die Bedienungsfunktionen für das Kraftmeßgerät sind: Wahl des Meßbereichs, Abgleich der Meßbrücke, Löschen des angezeigten Meßwerts.

Aus dem angezeigten Meßwert wird über ein Kalibrierdiagramm die Horizontalkraft bestimmt.

### 3. Versuchsdurchführung

Vor jeder Messung ist eine Grube mit der Tiefe  $t' > t$  und der Breite  $b > b_g$  auszuheben (Bild 5). Die Fläche, an der das Meßwerkzeug anliegt, muß eben sein, senkrecht zur Bodenoberfläche und parallel zur Werkzeugfläche verlaufen. Diese Forderungen werden erfüllt, wenn die Rahmenträger parallel zur Bodenoberfläche ausgerichtet werden und anschließend mit der Abstecheinrichtung die Anlagefläche für das Meßwerkzeug abgestochen wird. Das Meßwerkzeug wird über die Handkurbel, den Kettenantrieb und die Spindel mit geringer Geschwindigkeit in Richtung des Vektors  $v$

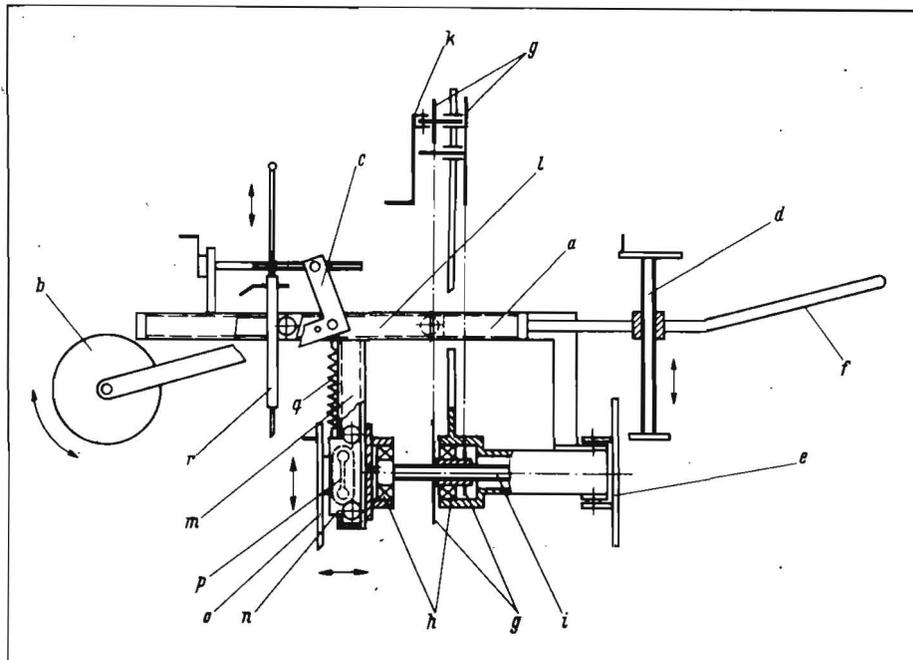


Bild 3. Konstruktionsschema des Schubfestigkeitsmeßgeräts; a Rahmenträger, Führungsbahn für Meßwagen, b Räder, c Verstellmechanismus für die Räder, d Stütze, e Abstützplatte, f Handgriff, g Kettenräder, h Pendellager, i Spindel, k Handkurbel, l Meßwagen, m Führungsbahn für Werkzeugträger, n Werkzeugträger, o Meßwerkzeug, p Kraftmeßgeber, q Entlastungsfedern, r Abstecheinrichtung

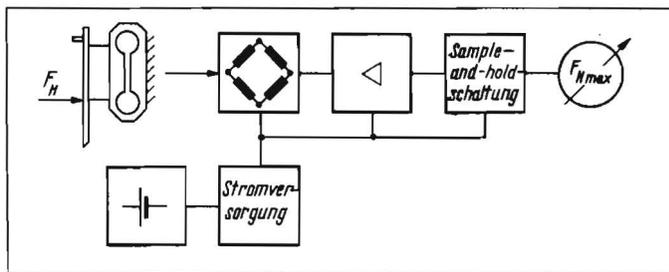


Bild 4 Schematische Darstellung der Meßwertverarbeitung im Kraftmeßgerät

Tafel 1. Technische Daten des Schubfestigkeitsmeßgeräts

Länge in Transportstellung	1470 mm
Länge in Arbeitsstellung	1600 mm
Breite	850 mm
Höhe in Transportstellung	1030 mm
Höhe in Arbeitsstellung	800 mm
Gesamtmasse	≈ 105 kg
Meßtiefe	80/120/160/200 mm
Breite des Meßwerkzeugs	178/268/355/445 mm
zulässige Maximalkraft am Meßwerkzeug	15 000 N
Meßbereiche des Kraftmeßgeräts	150/500/1 500/5 000 N
Stromversorgung des Kraftmeßgeräts	10 Monozellen R 20
Übersetzung des Antriebs	1 Kurbelumdrehung $\triangleq$ 1,4/11,5 mm Vorschub des Meßwerkzeugs
max. Horizontalbewegung des Meßwerkzeugs	240 mm
max. Vertikalbewegung des Meßwerkzeugs	45 mm

bewegt, bis der Bodenaufbruch entsteht. Es sind die Aufbruchlänge  $f$  und die Arbeitstiefe  $t$  zu messen. Der Wert für die Bruchkraft ist am Meßgerät abzulesen. Die Dichte  $\rho$  wird vor dem Versuch mit Hilfe einer radiometrischen Sonde ermittelt.

### 4. Versuchsauswertung unter Verwendung von Nomogrammen

Für das Bestimmen der Schubfestigkeit  $\tau$ , der Normalspannung  $\sigma$  sowie der Schubparameter innerer Reibungswinkel  $\varphi_i$  und Kohäsion  $c$

werden die Gleichungen aus TGL 33328 [4] und die Ableitung dieser Gleichungen aus [3] entnommen:

$$\tau = \frac{f}{b_T(r^2 + f^2)} \left[ F_{Hmax} - \frac{1}{2} t^2 b_T g \rho \right] \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{t}{b_T(r^2 + f^2)} \left[ F_{Hmax} + \frac{1}{2} f^2 b_T g \rho \right] \quad (2)$$

$$\rho = 90^\circ - 2 \arctan \frac{t}{f} \quad (3)$$

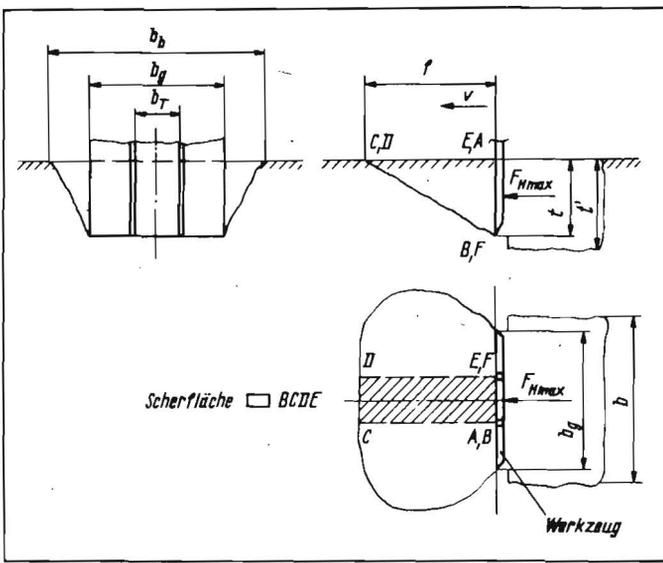


Bild 5  
Bodenaufbruch und De-  
finition von Rechengrö-  
ßen

Setzt man die eingeführten Funktionen in die  
Gln. (1) und (2) ein, erhält man:

$$\tau = A (F_{H \max} - B) \quad (14)$$

$$\sigma = D (F_{H \max} + E) \quad (15)$$

Die in den Gln. (14) und (15) vorhandenen  
Funktionen A, B, D und E sind in Form von  
Nomogrammen an der TU Dresden, Sektion  
Kraftfahrzeuge-, Land- und Fördertechnik,  
vorhanden und können angefordert werden.  
Damit wird der Aufwand zur Ermittlung von  
Schubfestigkeit und Normalspannung wesent-  
lich geringer.

Durch Einsetzen der Gln. (1) bis (3) in Gl. (4) und  
nach Umformen ergibt sich für die Kohäsion:

$$c = \frac{1}{2f b_T} F_{H \max} - \frac{1}{4} f \rho g. \quad (16)$$

Eliminiert man in Gl. (16) noch die Größe  $b_T$   
durch das Verwenden von Gl. (9), berechnet  
sich die Kohäsion wie folgt:

$$c = \frac{0,675}{f t} F_{H \max} - 0,25 f g \rho. \quad (17)$$

Aus dieser Gleichung werden neue Funktionen  
definiert:

$$G = \frac{0,675}{f t} \quad (18)$$

$$H = 0,25 f g \rho \quad (19)$$

$$c = G F_{H \max} - H. \quad (20)$$

Diese Funktionen G und H sind in den Bildern  
6 und 7 grafisch dargestellt.  
Der innere Reibungswinkel  $\varrho_i$  kann aus Gl. (3)  
errechnet werden (Bild 8).

### 5. Beispiel für die Versuchsauswertung Gegeben:

(13) Der Versuch wurde entsprechend der Darstel-

$$c = \tau - \sigma \tan \varrho_i. \quad (4)$$

Zur Reduzierung des Rechenaufwands für die  
Ermittlung der o.g. Größen werden Nom-  
ogramme aufgestellt.

Dazu werden die Gln. (1) bis (4) in folgende  
Funktionen aufgelöst [6]:

$$A(f, t) = \frac{f}{b_T (t^2 + f^2)} \quad (5)$$

$$B(\rho, t) = \frac{1}{2} t^2 b_T g \rho \quad (6)$$

$$D(f, t) = \frac{t}{b_T (t^2 + f^2)} \quad (7)$$

$$E(f, \rho, t) = \frac{1}{2} f^2 g b_T \rho. \quad (8)$$

Weiterhin gilt

$$b_T = \frac{t}{1,35} \quad (9)$$

Durch Einsetzen von Gl. (9) in die Gln. (5) bis  
(8) ergibt sich:

$$A(f, t) = \frac{1,35 f}{t^2 + f^2} \quad (10)$$

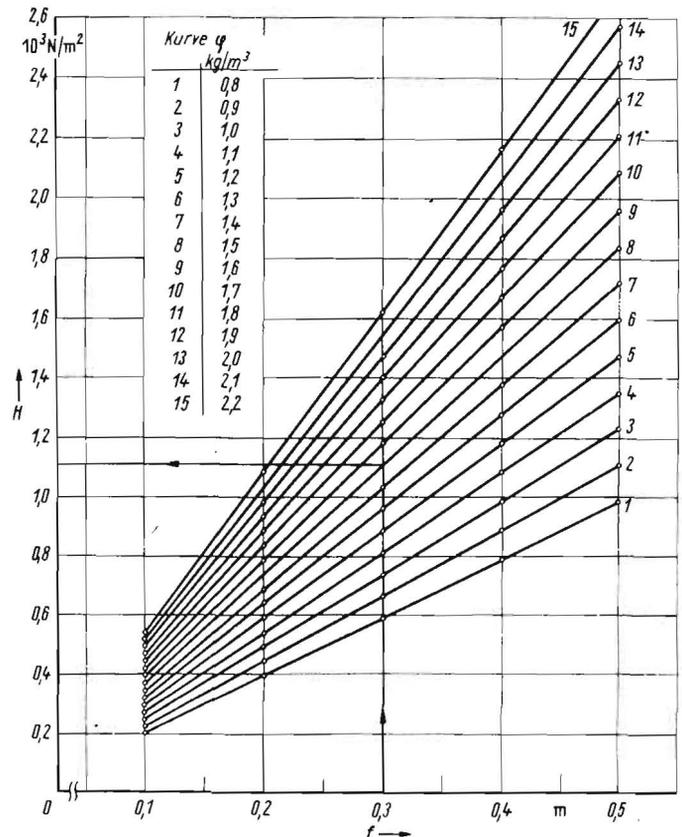
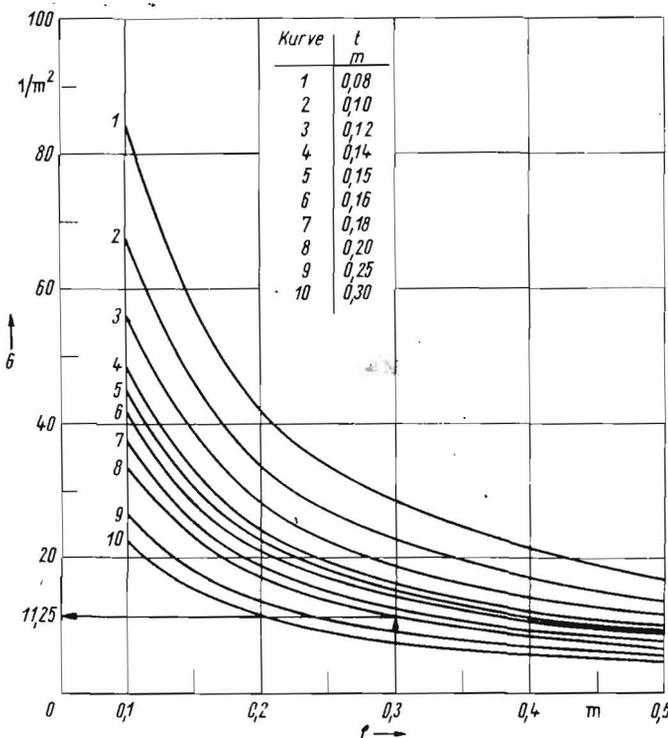
$$B(\rho, t) = 0,37 t^3 g \rho \quad (11)$$

$$D(f, t) = \frac{1,35}{t^2 + f^2} \quad (12)$$

$$E(f, \rho, t) = 0,37 f^2 t g \rho. \quad (13)$$

Bild 7. Diagramm der Funktion  $H = 0,25 f g \rho$

Bild 6. Diagramm der Funktion  $G = \frac{0,675}{f t}$



lung im Abschnitt 3 durchgeführt, wobei folgende Werte gemessen werden konnten:

- Bruchkraft  $F_{H\max} = 5145 \text{ N}$
- Aufbruchlänge  $f = 0,30 \text{ m}$
- Arbeitstiefe  $t = 0,20 \text{ m}$
- Dichte  $\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3$

**Gesucht:**  
 Schubfestigkeit  $\tau$   
 Normalspannung  $\sigma$   
 Kohäsion  $c$   
 innerer Reibungswinkel  $\rho_i$ .

**Lösungen:**

**Schubfestigkeit**

$\tau = A (F_{H\max} - B)$   
 Funktionswerte für A und B aus Nomogrammen (s. Abschnitt 4):  
 $A = 15,6 \text{ l/m}^2$ ;  $B = 43,5 \text{ N}$   
 $\tau = 15,6 (5145 - 43,5) \text{ N/m}^2$   
 $\tau = 7,95 \text{ N/cm}^2$

**Normalspannung**

$\sigma = D (F_{H\max} + E)$   
 Funktionswerte für D und E aus Nomogrammen (s. Abschnitt 4):  
 $D = 10,38 \text{ l/m}^2$   
 $E = 98 \text{ N}$   
 $\sigma = 10,35 (5145 + 98) \text{ N/m}^2$   
 $\sigma = 5,43 \text{ N/cm}^2$

**Kohäsion**

$c = G F_{H\max} - H$   
 Funktionswert für G aus Bild 6:  $G = 11,25 \text{ l/m}^2$   
 Funktionswert für H aus Bild 7:  
 $H = 1110 \text{ N/m}^2$   
 $c = 11,25 \cdot 5145 \text{ N/m}^2 - 1110 \text{ N/m}^2$   
 $c = 5,68 \text{ N/cm}^2$

**Innerer Reibungswinkel**

Aus Bild 8 ergibt sich  
 $\rho_i = 22,6^\circ$ .

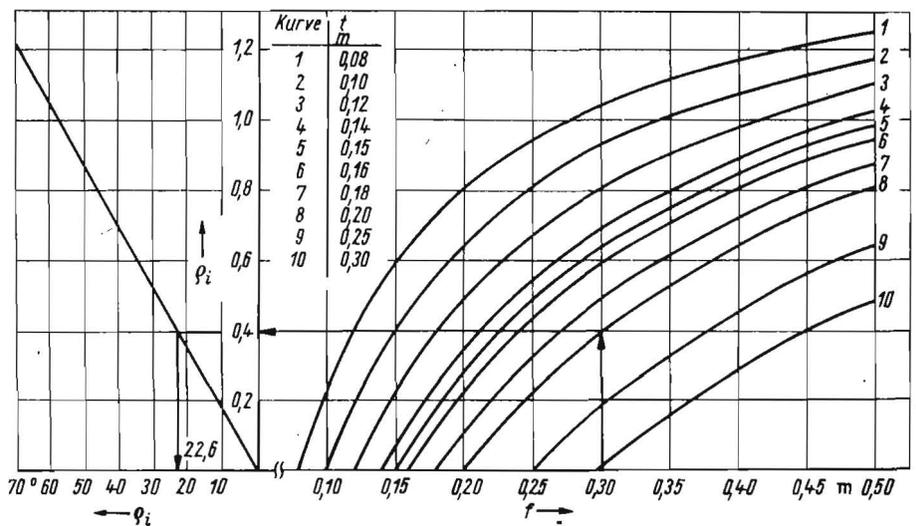


Bild 8. Nomogramm der Funktion  $\rho_i = 90^\circ - 2 \arctan t/f$

**6. Zusammenfassung**

Die Bestimmung von Bodenkenngrößen ist für die wissenschaftliche Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen dringend notwendig. Davon ausgehend wird ein Meßgerät zur Bestimmung der Schubfestigkeit, der Normalspannung, des inneren Reibungswinkels und der Kohäsion vorgestellt sowie der Einsatz des Geräts, die Versuchsdurchführung und -auswertung erläutert. Die entwickelten Nomogramme ermöglichen das schnelle Bestimmen der Kennwerte.

**Literatur**

[1] Bernhardt, K.: Zum Problem der Festigkeitsmessung im Boden. *agrartechnik* 25 (1975) H.7, S.357—359.

[2] Bernhardt, K.: Eine Methode zur Bestimmung der Schubfestigkeit des Bodens unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1974 (unveröffentlicht).  
 [3] Bernhardt, K.: Theoretische Untersuchungen einer Methode zur Bestimmung der Schubfestigkeit des Bodens. *agrartechnik* 26 (1976) H.7, S.338—340.  
 [4] TGL 33328 Schubfestigkeit des Bodens. Ausg. Februar 1977.  
 [5] Troppens, D.: Grundlagen der Meßtechnik bei Landmaschinenuntersuchungen (Teil III). *Dt. Agrartechnik* 20 (1970) H.7, S.338—341.  
 [6] Scholz, A.: Theoretische Untersuchungen zu einer Methode für die Ermittlung der Schubfestigkeit des Bodens. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1974 (unveröffentlicht). A 2065

# Kornabscheidung mit Hilfe einer Leittrömmel im Dreschwerk

Dr.-Ing. W. Thümer, KDT

**Verwendete Formelzeichen**

Im Formelverzeichnis sind nur die aus Bild 1 nicht ableitbaren Formelzeichen erläutert:

AKL	%	Kornabscheidegrad der Leittrömmel, bezogen auf die der Leittrömmel angebotene Kornmasse
BKL	%	Kornbeschädigungsgrad durch die Leit- und Dreschtrömmel, bezogen auf die der Leittrömmel angebotene Kornmasse
d <sub>T</sub>	m	Dreschtrömmeldurchmesser
i <sub>SL</sub>		Schlagleistenzahl
k		Stoßfaktor
P <sub>LO</sub>	kW/m	Gesamttrommelleistung je 1 m Arbeitsbreite
q̇	kg/s · m	Gesamtdurchsatz des Dreschwerks je 1 m Arbeitsbreite
s <sub>A</sub>	mm	Ausgangsspalt der Drescheinrichtung
v <sub>L</sub>	m/s	Leittrömmelumfangsgeschwindigkeit
v <sub>LO</sub>	m/s	Leerlaufumfangsgeschwindigkeit der Leittrömmel
v <sub>z</sub>	m/s	Zuführungsgeschwindigkeit
z		Schaufelanzahl
φ <sub>z</sub>	°	Zuführwinkel

ω <sub>L</sub>	1/s	Leittrömmelwinkelgeschwindigkeit
ω <sub>K</sub>	1/s	Kornwinkelgeschwindigkeit vor dem Stoß
r <sub>a</sub>	m	Leittrömmelaußenradius
v <sub>A</sub>	m/s	Auftreffgeschwindigkeit auf der Leittrömmelschaukel
v̄ <sub>K</sub>	m/s	Korngeschwindigkeit nach dem Stoß
x <sub>D</sub>	m	Horizontalkoordinate des Durchstoßpunktes der Kornrichtung durch die Rechenebene der Auf-fangeinrichtung
y <sub>L</sub>	m	Vertikalkoordinate der Leittrömmel
β <sub>K</sub>	°	Kornabwurfwinkel
γ <sub>R</sub>	°	Rechenanstellwinkel
σ <sub>A</sub>	°	Schaufelanstellwinkel

**1. Problemstellung**

In der Mähdrescherentwicklung konzentrieren sich gegenwärtig die Maßnahmen zur Intensivierung der Kornabscheidung auf die am häufigsten eingesetzte Schlagleistendreschein-

richtung und auf Arbeitselemente für die Restkornabscheidung. Die Ausnutzung von Leiteinrichtungen zur Kornabscheidung [1] ist eine wesentliche Arbeitsrichtung.

Als Leiteinrichtungen im Sinne der vorliegenden Ausführungen werden Arbeitselemente verstanden, die Drescheinrichtungen mit tangentialem Gutdurchfluß nachgeordnet sind und folgende Funktionen erfüllen:

- Förderung des Korn-Stroh-Spreu-Gemisches zum Arbeitselement für die Restkornabscheidung
- Abnahme des Korn-Stroh-Spreu-Gemisches von der Dreschtrömmel zur Verhinderung von Wickelerscheinungen des Halmgutes an der Dreschtrömmel
- Schaffung günstiger Kornabscheidebedingungen für das nachgeordnete Arbeitselement und die Kornabscheidung durch die Leiteinrichtung selbst.

Die letzten beiden Funktionen sind keine Bedingungen. Ihre Erfüllung ist von den agrotechnischen Forderungen an das jeweilige