

parameter der Drescheinrichtung, d.h. der Trommel-Korb-Kombination, auf deren Bewertungsgrößen untersucht. Variiert wurden dabei z. B. der Dreschtrommeldurchmesser und die Gestaltung des Dreschkorbs. Außerdem bearbeiteten wir Probleme der Zuführung des Druschgutes zur Drescheinrichtung.

Gegenwärtig laufen Untersuchungen an einem Mehrtrommeldreschwerk, zur Intensivierung der Abscheideprozesse in der Reinigungseinrichtung sowie zur Ausnutzung von Leittrömmeln im Dreschwerk zur Korn-Stroh-Sortierung. Über einige dieser Arbeiten sind in der „agrar-technik“ entsprechende Veröffentlichungen erschienen.

Ständige Aufgaben, die nicht unerwähnt bleiben sollen, sind die Rationalisierung der gesamten Versuchsmethodik und der Versuchseinrichtung, die Konstruktion von Baugruppen für die Versuchsanlage sowie die durchgängige Anwendung der EDV bei der Auswertung der Untersuchungen.

Dipl.-Ing. Spittel: Von Anfang an beteiligt sich das Kollektiv erfolgreich an der MMM-Bewegung und konnte für seine Exponate verschiedene Anerkennungen erringen. Auf der Leistungsschau der TU im vergangenen Jahr wurden wir als „Hervorragendes Jugendkollektiv“ ausgezeichnet. Das war für uns eine große

Freude, zugleich aber auch Ansporn für die weitere Arbeit.

**Redaktion: Wir wünschen Ihrem Kollektiv weitere interessante Aufgaben innerhalb des Jugendobjekts.**

(Das Gespräch führte Dipl.-Ing. N. Hamke)

A 2064

# Experimentell-theoretische Methode zum Bestimmen des spezifischen Bodenwiderstands von Pflugkörpern bei beliebigem Bodenzustand

Dipl.-Ing. U. Ganzuch/Prof. Dr.-Ing. R. Soucek, KDT/Dr.-Ing. G. Bernhardt, KDT

## 1. Einleitung

Das mechanische Bearbeiten des Bodens als eine Voraussetzung für stabile und steigende Erträge in der Pflanzenproduktion hat für die Landwirtschaft der DDR auch in Zukunft große Bedeutung. Im Verlauf der geschichtlichen Entwicklung wurde eine Vielzahl von Bodenbearbeitungsmaschinen und -geräten zur mechanischen Bearbeitung des Bodens konstruiert. Aufgrund des Erkenntnisstandes in der landtechnischen Forschung erfolgte die Entwicklung dieser Maschinen und Geräte bis in die jüngste Zeit vorwiegend empirisch. In den letzten Jahrzehnten hat das Bemühen um eine wissenschaftliche Entwicklung von Bodenbearbeitungswerkzeugen zugenommen. Bisher wurden einige Theorien entwickelt, die zum Berechnen von Bodenbearbeitungswerkzeugen, vornehmlich der auf sie einwirkenden Belastungen und des erforderlichen Energieaufwands, verwendet werden können. Dabei zeigen sich in Abhängigkeit vom Zusammenwirken aller Bodeneigenschaften und Konstruktionsmerkmale der Werkzeuge große Abweichungen von den realen Werten. Die Gründe dafür sind in der unzureichenden Genauigkeit der Modelle zu suchen. Hinzu kommt, daß in den Berechnungsgleichungen oft Kenngrößen vorhanden sind, die den Boden sowie die geometrischen und kinematischen Beziehungen unzureichend charakterisieren.

Ausgehend davon wurde in Forschungsarbeiten an der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, ein Verfahren zur Bestimmung der Schubfestigkeit entwickelt und in der DDR standardisiert [1] [2] [3]. Unter Verwendung dieses Verfahrens wurde experimentell-theoretisch eine Methode zum Bestimmen des spezifischen Bodenwiderstands der Pflugkörper bei beliebigem Bodenzustand und vorgegebenen Konstruktionsparametern entwickelt. Weiterhin kann diese Methode zum Berechnen der Formparameter des Pflugkör-

pers benutzt werden. Dazu ist die Schubfestigkeit experimentell zu bestimmen.

## 2. Stand der Forschung

Eine der bekanntesten und der am häufigsten angewendeten Gleichungen zur Bestimmung der Zugkraft von Pflügen ist die „rationale Formel“ nach Gorjatschkin [4]:

$$F = f \cdot m \cdot g + k \cdot t \cdot b + \epsilon \cdot t \cdot b \cdot v^2; \quad (1)$$

- F Zugkraft
- m Masse des Pfluges
- g Erdbeschleunigung
- f Widerstandskoeffizient (Roll- und Gleitreibung)
- k spezifischer Bodenwiderstand
- t Arbeitstiefe
- b Arbeitsbreite
- $\epsilon$  Formfaktor (Gestalt der Arbeitsfläche des Streichbleches)
- v Fahrgeschwindigkeit.

Der erste Summand in Gl. (1) soll alle Reib- und Rollwiderstände erfassen. Es zeigt sich, daß das Produkt aus f, m und g nur eine grobe Näherung sein kann, da z. B. die Reibkräfte der Anlagen an der Furchenwand nicht von der Masse des Pfluges abhängig sind. Weitere Fehler kommen aufgrund der unterschiedlichen Pflugkonstruktionen hinzu. Bei Aufsattel- und Anbaupflügen wird ein Teil der Masse auf dem Traktor abgestützt.

Der zweite Summand  $k \cdot t \cdot b$  ist von der Fahrgeschwindigkeit unabhängig und stellt somit die

Widerstandskomponente des Bodens in Fahrtrichtung bei statischer Belastung durch den Pflugkörper dar. Dabei wird in der Literatur keine Aussage getroffen, bei welcher Geschwindigkeit die k-Werte bestimmt wurden. Weitaus bedeutender ist, daß der spezifische Bodenwiderstand k vom unmittelbaren Bodenzustand abhängt (z. B. Wassergehalt, Dichte). Demzufolge werden in der Literatur bezogen auf die Bodenart große Bereiche angegeben (Tafel 1) [4].

Der Einfluß der Pflugkörperform auf k wird nicht ausgewiesen. Das hat fälschlicherweise in breiten Kreisen der Praxis zu der Vorstellung geführt, k sei ein werkzeugunabhängiger Bodenkennwert.

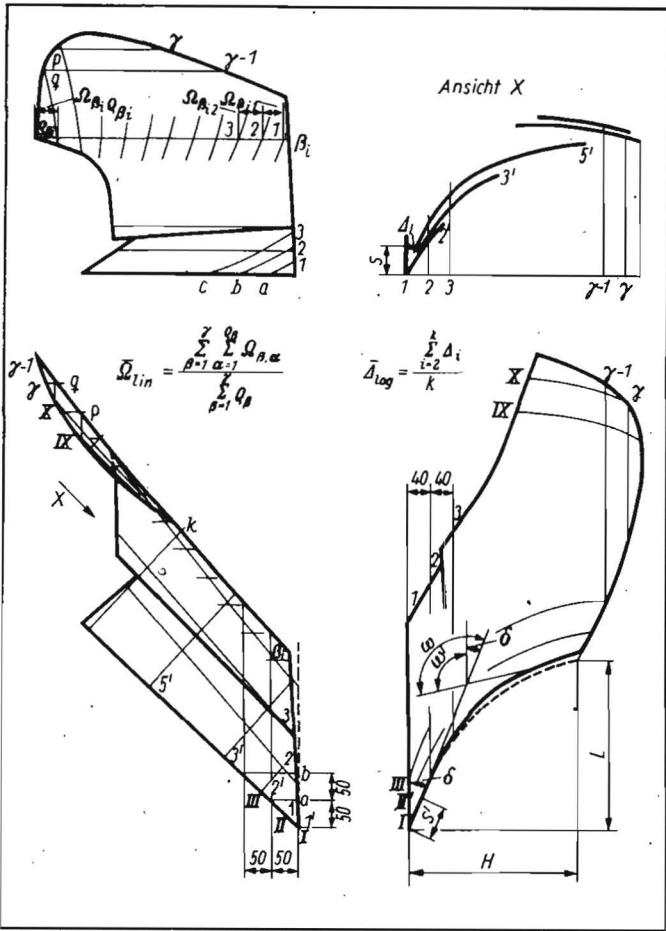
Der Summand  $\epsilon \cdot t \cdot b \cdot v^2$  berücksichtigt den Teil der Zugkraft, der zum Beschleunigen notwendig ist, wobei  $\epsilon$  von der Gestalt der Arbeitsfläche des Pflugkörpers und von der Bodenart abhängt.

Die Bestimmung des spezifischen Bodenwiderstands k und des Formfaktors  $\epsilon$  muß über das Experiment mit dem Pflugkörper erfolgen. Dazu sind umfangreiche Angaben in der Literatur [4] enthalten.

Bei der Anwendung der „rationalen Formel“ nach Gorjatschkin sind dem Konstrukteur beim Entwurf von Arbeitsflächen und dem Betreiber bei der Auswahl der Antriebsquelle Grenzen gesetzt. Betrachtet man den spezifischen Bodenwiderstand k (Tafel 1) und den Formfaktor  $\epsilon$ , so sind diese sowohl von der Pflugkörperform als auch von Bodenart und -zustand abhängig. Zum Entwurf neuer, bezüglich ihres Energiebedarfs günstigerer Pflugkörperformen und zur Vorausbestimmung des Bodenwiderstands bestimmter Pflugkörper werden exaktere Abhängigkeiten zwischen den Kenngrößen des Bodens und des Pflugkörpers benötigt. Unter dieser Zielstellung wurden experimentell-theoretische Untersuchungen unter Beachtung der von Sommerburg [5] ermittelten Ergebnisse durchgeführt.

Tafel 1. Spezifischer Bodenwiderstand für verschiedene Bodenarten nach Krutikow [4]

Bodenart	spez. Bodenwiderstand k N/cm <sup>2</sup>
leichte Böden	2...3
mittlere Böden	4...5
schwere Böden	6...8
sehr schwere Böden	9...15



**Bild 1.** Definition der Formparameter eines Pflugkörpers in Anlehnung an Sommerburg [5]

**Bild 2.** Spezifischer Bodenwiderstand  $k_n$  in Abhängigkeit von der Schubfestigkeit  $\tau$  und der Fahrgeschwindigkeit  $v$  für den Pflugkörper 30 Z

**Bild 3.** Spezifischer Bodenwiderstand  $k_n$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  für die Pflugkörper 30 Z, 25 H und PTK 0 1000 auf einem bestimmten Boden

**3. Grundlagen zur Versuchsdurchführung**  
 In der Literatur wird eindeutig nachgewiesen, daß der Boden beim Bearbeiten vorwiegend durch Überwinden der Schubfestigkeit zerstört wird. Davon ausgehend erfolgte die Entwicklung einer Methode zum Bestimmen der Schubfestigkeit im abgesetzten Boden [1] [2]. Das dafür notwendige Meßgerät ermöglicht das Bestimmen der Schubfestigkeit unter Labor- und Feldbedingungen [3]. Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen der Schubfestigkeit des Bodens und der Pflugkörperform wurden drei verschiedene Pflugkörper bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten untersucht. Die Arbeitsfläche der Pflugkörper konnte durch drei Kenngrößen ( $\bar{\Omega}_{lin}$ ,  $\bar{\Delta}_{log}$ ,  $\omega'$ ) eindeutig gekennzeichnet werden (Bild 1). Die Pflugkörper 30 Z, 25 H und PTK 0 1000, die nebeneinander in einem Pflug B 201 angeordnet waren und keine Anlage hatten, sind auf verschiedenen Standorten bei vier unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten untersucht worden. Dabei wurden die Schubfestigkeit  $\tau$  vor dem Pflügen (20 Werte je Bodenart), die Zugkraft (Meßstrecke 100 m) der einzelnen Pflugkörper, die Fahrgeschwindigkeit, die Arbeitstiefe und Arbeitsbreite während des Pflügens gemessen.

**4. Versuchsergebnisse und Auswertung**  
 Aus den Meßergebnissen ergaben sich statistisch gesicherte Aussagen über die Abhängigkeiten zwischen spezifischem Bodenwiderstand  $k_n$ , Schubfestigkeit  $\tau$  und Fahrgeschwindigkeit  $v$  für die einzelnen Pflugkörper (Bilder 2 und 3 als Beispiel). Die Regressionsanalyse ergab für die untersuchten Pflugkörper folgende Gleichungen:

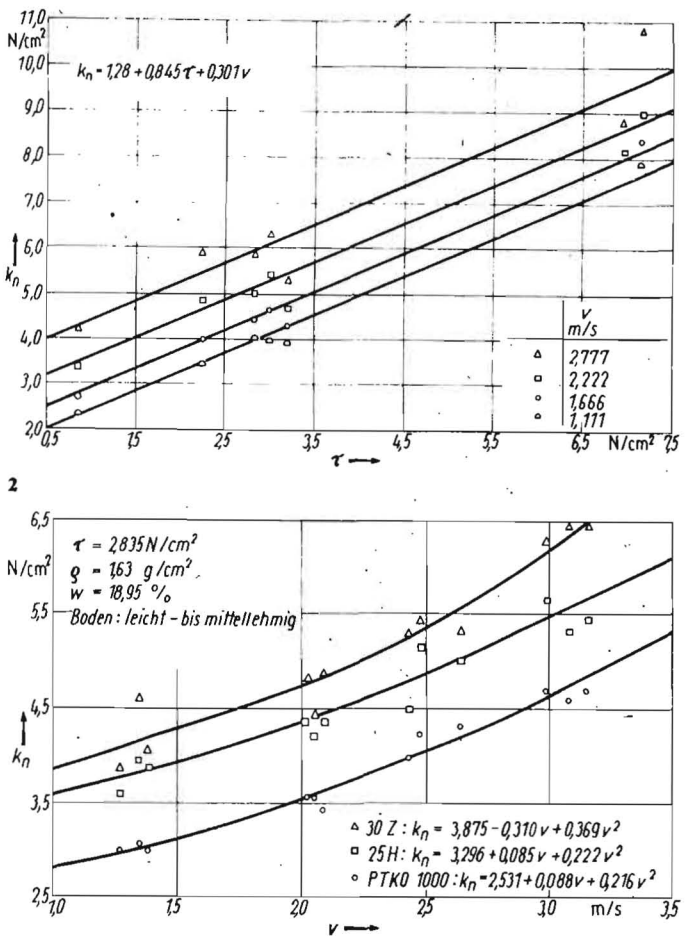
**Pflugkörper 30 Z**  
 $k_n = 1,28 + 0,845 \tau + 0,301 v^2$  (2)

**Pflugkörper 25 H**  
 $k_n = 1,60 + 0,770 \tau + 0,207 v^2$  (3)

**Pflugkörper PTK 0 1000**  
 $k_n = 1,00 + 0,605 \tau + 0,213 v^2$ ; (4)

$k_n$  spezifischer Bodenwiderstand in  $N/cm^2$   
 $\tau$  Schubfestigkeit in  $N/cm^2$   
 $v$  Fahrgeschwindigkeit in  $m/s$ .

Damit erfolgte der Nachweis des linearen Zusammenhangs zwischen dem spezifischen Bodenwiderstand und der Schubfestigkeit, die als einziger Kennwert Bodenart und -zustand umfassend kennzeichnet. Ausgehend von der allgemeingültigen Funktion  $k_n = a_0 + a_1 \tau + a_2 v^2$  (5) sind die Größen  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  Funktionen bestimmter Formparameter der Arbeitsflächen. Die Festlegung dieser Formparameter erfolgte auf der Grundlage umfangreicher Untersuchungen [5] [6], auf die im Rahmen dieses Beitrags nicht näher eingegangen werden kann. Aus den oben angeführten Meßergebnissen wurden für die Funktionen  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  zwei Varianten entwickelt:



**Variante I:**  
 $a_0 = 0,208 e^{3,115 \bar{\Delta}_{log}}$  (6)  
 $a_1 = 1,161 \bar{\Delta}_{log} + 0,695 \bar{\Omega}_{lin} - 0,234 \omega'$  (7)  
 $a_2 = 0,149 \bar{\Delta}_{log} + 0,449 \bar{\Omega}_{lin} - 0,086 \omega'$  (8)

**Variante II:**  
 $a_0 = 1,250 + 4,326 \bar{\Delta}_{log}$  (9)  
 $a_1 = 1,161 \bar{\Delta}_{log} + 0,695 \bar{\Omega}_{lin} - 0,234 \omega'$  (10)  
 $a_2 = 0,0938 + 0,484 \bar{\Omega}_{lin}$  (11)

$\bar{\Delta}_{log}$  mittlerer Scharstellwinkel (ermittelt aus logarithmisch verteilten Schnitten)  
 $\bar{\Omega}_{lin}$  mittlerer Seitenrichtungswinkel (ermittelt aus linear verteilten Schnitten)  
 $\omega'$  Tangentenwinkel.

Ein Vergleich zeigt, daß die Gleichungen der Variante I komplizierter als die der Variante II sind. Um zu entscheiden, welche Gleichungen zu benutzen sind, wurden die Bestimmtheitsmaße  $B_I = 0,955$  und  $B_{II} = 0,937$  ermittelt. Damit ist nachgewiesen, daß in den meisten Fällen die Gleichungen der Variante II ausreichend genau sind. Die Gleichungen (6) bis (11) sind, da sie nur aus den Versuchsergebnissen von drei unterschiedlichen Pflugkörpern entwickelt wurden, nicht statistisch gesichert. Hier sind vor allem noch extrem kurze steile und lange liegende Körperformen in die Untersuchungen einzubeziehen.

Das vorgeschlagene Modell für den spezifischen Bodenwiderstand nach Gl. (5) hat den Vorteil, daß beim Einsatz von Pflugkörpern nur ein Bodenkennwert (Schubfestigkeit  $\tau$ ) und die Fahrgeschwindigkeit  $v$  zu berücksichtigen sind. Die von den Formparametern abhängigen Konstanten  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  entsprechend den Gln. (6) bis (11) können für einen bestimmten Pflugkörper als Festwert berechnet [Gln. (2) bis (4)] oder für den Entwurf energetisch günstiger

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 entgegengesetzt, 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

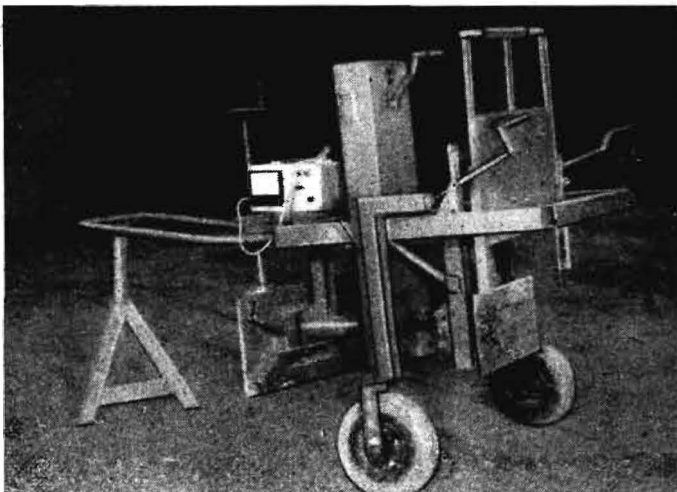


Bild 2. Einsatz des Schubfestigkeitsmeßgeräts in der Bodenrinne

