

- [ 12 ] *Foster, G.H.*: Minimum air flow requirements for drying grain with unheated air. Agr. Engng. Vol. 34 (1953) Nr. 10, S. 681/84.
- [ 13 ] *Shove, G.C.*: Low temperature drying of shelled corn. ASAE-Paper Nr. 70-830 (1970).
- [ 14 ] *Converse, H.H. et al.*: Aeration of high moisture corn. Trans. ASAE Vol. 17 (1974) Nr. 4, S. 696/99.
- [ 15 ] *Bartsch, J.A. u. M.F. Finner*: A low temperature grain drying experiment in an artificially reproduced environment. Trans. ASAE Vol. 19 (1976) Nr. 3, S. 378/81.
- [ 16 ] *Steele, J.L. et al.*: Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. Trans. ASAE Vol. 12 (1969) Nr. 5, S. 685/89.
- [ 17 ] *Saul, R.A.*: Deterioration rate of moist shelled corn at low temperatures. ASAE-Paper Nr. 70-302 (1970).
- [ 18 ] *Tuite, J., G.H. Foster u. R.A. Thompson*: Moisture limits for storage of corn aerated with natural and refrigerated air. ASAE-Paper Nr. 70-306 (1970).
- [ 19 ] *Flood, C.A. et al.*: Simulation of a natural-air corn drying system. Trans. ASAE Vol. 15 (1972) Nr. 1, S. 156/62.
- [ 20 ] *Rodriguez-Arias, J.H. et al.*: Heat of vaporisation for shelled corn. Cereal Chem. Bd. 40 (1963) S. 676/83.
- [ 21 ] *Moreau, C.*: Moisissures toxiques dans l'alimentation. Paris: Edition P. Lechevalier 1968.
- [ 22 ] *Spicher, G.*: Die Mikrobiologie des Getreides und der Getreideprodukte. Bodenkultur Bd. 24 (1973) Nr. 4, S. 371/89.
- [ 23 ] *Gross, F. u. K. Riebe*: Gärfutter. Stuttgart: Verlag Ulmer 1974.
- [ 24 ] *Mühlbauer, W.*: Untersuchungen über die Trocknung von Körnermais unter besonderer Berücksichtigung des Gleichstromverfahrens. Fortschr.-Ber. des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft; Selbstverlag des Verfassers, Lehrstuhl für Landtechnik, Universität Hohenheim 1974.
- [ 25 ] *Scherer, R.*: Atmungsverluste bei der Trocknung von Körnermais. Unveröffentl. Forschungsbericht, Universität Hohenheim 1977.
- [ 26 ] *Müller, H.-M. et al.*: Propionsäure als Konservierungsmittel für Feuchtmals. Landw. Forschung Bd. 32 (1976) S. 118/25.
- [ 27 ] *Raper, K.B. u. Ch. Thom*: A manual of the penicillia. New York, London: Hafner Publ. Comp. 1968.
- [ 28 ] *Schmidt, H.L.*: Über Vorkommen und Häufigkeit von hohen Pilzkeimgehalten sowie einzelner Pilzarten in Futtermitteln. Landw. Forschung Bd. 28 (1975) S. 224/34.
- [ 29 ] Dt. Wetterdienst: Agrarmeteorologischer Monatsbericht für den Raum Stuttgart. Agrarmeteorol. Beratungsstelle Hohenheim Bd. 26 (1975) Nr. 10/12.
- [ 30 ] *Strehler, A.*: Was kostet das Trocknen von Körnermais? Lohnunternehmen (1970) Nr. 8, S. 250/54.
- [ 31 ] *Müller, H.-M. et al.*: Verteilungsgüte und Konservierungserfolg bei der kontinuierlichen Aufbringung von Propionsäure auf Feuchtmals. Wirtschaftseig. Futter Bd. 22 (1976) S. 136/41.
- [ 32 ] *Burmeister, H.R. et al.*: Microbiology of ensiled high-moisture corn. Appl. Microbiol. Bd. 15 (1967) S. 49/54.
- [ 33 ] *McMahon, M.E., P.A. Hartmann, R.A. Saul u. L.H. Tiffany*: Deterioration of high moisture corn. Appl. Microbiol. Bd. 30 (1975) S. 103/109.

## Bodenwiderstand und Arbeitseffekt eines Grubberwerkzeugs

Von Reinhard Reich, Stuttgart-Hohenheim\*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.316:631.51

Die Kenntnis der Betriebseigenschaften von Bodenbearbeitungswerkzeugen bildet die Voraussetzung für den optimalen Einsatz dieser Werkzeuge. Dies gilt sowohl für den Arbeitseffekt, d.h. für die Wirkung des Werkzeugs auf den Boden, als auch für das Zusammenwirken von Werkzeug bzw. Gerät und Schlepper, das durch die bei der Arbeit auftretenden Kräfte bestimmt wird.

In diesem Aufsatz wird über Untersuchungen an Grubberwerkzeugen berichtet.

### 1. Einleitung

In der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung werden zum Aufbrechen des Bodens und Zerkleinern der Schollen Geräte in erstaunlicher Vielfalt eingesetzt. Obwohl die an den verschiedenen Geräten verwendeten Werkzeuge in ihrer Gestalt und Anordnung voneinander abweichen, lassen sie sich im allgemeinen auf einen durch den Boden bewegten Keil oder eine Platte zurückführen. Die Erfassung und Deutung der Vorgänge beim Bodenaufbruch ist

seit Jahrzehnten ein Schwerpunkt landtechnischer Forschung, wobei das Problem von verschiedenen Seiten angegangen wurde.

*Möller* [1] untersuchte in Feldversuchen den Zugkraftbedarf und den Arbeitseffekt von Grubbern mit verschiedenen Werkzeugen. *Plötner* [2], *Willat u. Willis* [3] verwendeten Einzelwerkzeuge bei ihren Feldversuchen.

Da bei Feldversuchen durch die Inhomogenität des Bodens starke Streuungen der Meßwerte auftreten, wurden viele Versuche, teilweise mit Modellwerkzeugen, in der Bodenrinne durchgeführt. *Vornkahl* [4], *Payne u. Tanner* [5] untersuchten einfache Modellwerkzeuge, bei denen verschiedene Parameter systematisch variiert werden konnten.

Während sich die vorstehend genannten Arbeiten überwiegend mit den sichtbaren Wirkungen eines Werkzeugs befassen, wurde in anderen Arbeiten versucht, Beziehungen zwischen den durch das Werkzeug im Boden erzeugten Spannungen und dem daraus resultierenden Bodenbruch herzustellen.

Ausgehend von dem experimentell ermittelten Bruchvorgang konnte *Söhne* [6] den Bodenwiderstand einer geneigten Platte näherungsweise berechnen. *O'Callaghan* [7] übertrug Gleichungen aus dem Erdbau auf die Bodenbearbeitung mittels ebener Platten. Gerechnete und gemessene Widerstände zeigen gute Übereinstimmung.

*Hettiaratchi u. Reece* [8] geben Gleichungen für den dreidimensional betrachteten Bodenaufbruch vor einer ebenen Platte an.

\*) *Dipl.-Ing. Reinhard Reich* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet: Verfahrenstechnik der Pflanzenproduktion) der Universität Hohenheim.

Mit Hilfe von Faktoren und dimensionslosen Ausdrücken zur Charakterisierung von Boden und Werkzeug werden Gleichungen für die Kraft am Werkzeug aufgestellt.

Parallel zur Untersuchung von Werkzeugen wurden physikalische Stoffeigenschaften von Böden ermittelt. *Söhne* [9] bestimmte Werte für Reibung und Kohäsion von drei typischen Böden bei verschiedenen Feuchtegehalten.

*Panwar u. Siemens* [10] ermittelten an Bodenproben das Spannungs-Dehnungs-Verhalten bei unterschiedlichem Feuchtegehalt und bestimmten den Energiebedarf pro Einheit erzeugter Bruchfläche.

Obwohl eine Fülle von Erkenntnissen vorliegt, kommt *Lucius* [11] zu dem Schluß, daß eine exakte Berechnung von Bodenbearbeitungswerkzeugen in naher Zukunft nicht möglich sein wird, da sich viele Versuchsergebnisse und abstrahierte Modelle nur unvollkommen in die Praxis übertragen lassen. *Lucius* hält daher die systematische Untersuchung von Werkzeugen für den zur Zeit gangbarsten Weg. In diese Richtung geht auch die im folgenden beschriebene Arbeit.

## 2. Aufgabenstellung

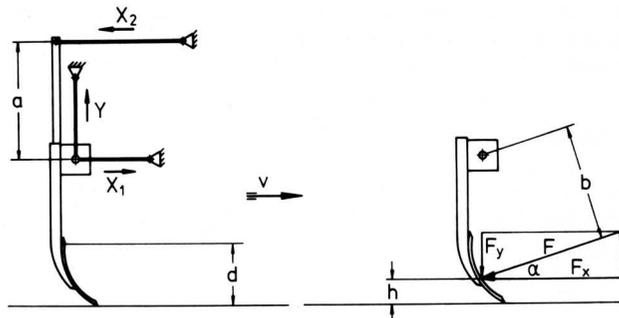
In Feldversuchen sollen die an Grubberwerkzeugen wirkenden Kräfte gemessen und das dynamische Verhalten der Werkzeuge untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Versuche können ein Beitrag zu einer beanspruchungsgerechten Konstruktion von Grubern sein. Sie können außerdem dazu dienen, das System Schlepper/Grubber hinsichtlich seiner Funktion zu optimieren, wobei insbesondere an den Regelkraftheber gedacht ist.

Parallel zu den Kraftmessungen ist der Arbeitseffekt von Grubberwerkzeugen zu ermitteln und durch geeignete Kenngrößen auszudrücken, um eine bestmögliche Zuordnung von Boden, gewünschtem Arbeitseffekt und Werkzeug zu ermöglichen.

## 3. Versuchsaufbau

### 3.1 Kraftmessungen

Zur Messung der am Werkzeug angreifenden Bodenwiderstandskraft wurde ein 3-Komponenten-Kraftmeßrahmen erstellt, der am Schlepper angebaut wird. Auf der linken Seite von **Bild 1** ist die eigentliche Meßeinrichtung in Seitenansicht schematisch dargestellt. Das Grubberwerkzeug ist an einem Vierkantrohr als Werkzeugträger befestigt, welches um seine Längsachse drehbar ist. Der Werkzeugträger ist über Lenker und Kraftaufnehmer mit dem Grundrahmen verbunden. Mit dieser Anordnung werden die Kräfte  $X_1$ ,  $X_2$  und  $Y$  gemessen, welche durch die in der senkrechten Längsebene liegende Bodenwiderstandskraft hervorgerufen werden. Eventuell auftretende Seitenkräfte werden nicht gemessen, sondern am Grundrahmen abgestützt.



**Bild 1.** Schematische Darstellung der Kraftmeßeinrichtung.

**Bild 2** zeigt den kompletten 3-Komponenten-Kraftmeßrahmen. Am hinteren Ende sind die hydraulisch betätigten Stützräder zu erkennen, mit denen die Arbeitstiefe des Werkzeugs stufenlos in einem Bereich von 40 cm verstellt werden kann. Durch Verlegen des schlepperseitigen Oberlenkeranschlusses wurde die Drei-

punktaufhängung in eine Parallelogrammführung abgeändert. Dadurch bleibt der Meßrahmen bei Änderung der Arbeitstiefe stets parallel zur Bodenoberfläche. Die Arbeitstiefe des Werkzeugs wird indirekt über den Abstand des Rahmens zur Aufstandsfläche der Stützräder gemessen. Dieses Meßverfahren hat den Nachteil, daß bei welliger Feldoberfläche die effektive Arbeitstiefe der Werkzeuge um einen mittleren eingestellten Wert schwankt.

Im vorderen Bereich des Rahmens ist ein weiterer Werkzeugträger ohne Kraftaufnehmer angebracht. Es kann so das Zusammenwirken mehrerer Werkzeuge untersucht werden, worauf aber hier nicht weiter eingegangen wird.

Zum Messen der Fahrgeschwindigkeit wird ein Digitaltachometer benutzt. Das Gerät bekommt Impulse von einem induktiven Aufnehmer, an dem ein an der Felge des rechten Stützrades montierter Dauermagnet vorbeistreicht. Mittels einer Rechenschaltung bildet das Gerät aus der Impulsrate (Zahl der Impulse pro Zeiteinheit) und dem über Dekadenschalter eingegebenen wirksamen Radumfang die Geschwindigkeit und zeigt diese in km/h an. Zum Anschluß eines Registriergeräts ist ein Analogausgang vorhanden.

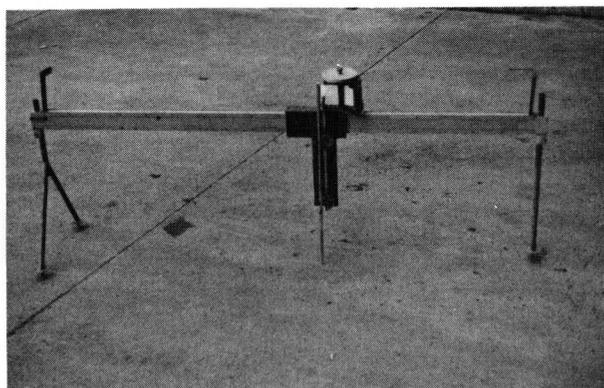
Das Gerät hat den Nachteil, daß es infolge einer Speicherwirkung eine Geschwindigkeitsänderung, insbesondere eine negative, nicht unmittelbar anzeigt. Außerdem steigt auch bei langsamem Anfahren der angezeigte Wert nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft an.



**Bild 2.** 3-Komponenten-Kraftmeßrahmen.

### 3.2 Aufnahme des Furchenprofils

Zum Aufnehmen des Furchenprofils wird ein Bodenprofilsschreiber<sup>1)</sup> **Bild 3** benutzt.



**Bild 3.** Bodenprofilsschreiber.

<sup>1)</sup> Das Gerät wurde freundlicherweise von der FAL Braunschweig-Völkenrode zur Verfügung gestellt.

Das Gerät besteht aus einem 2,4 m langen Balken, der auf Stützen quer zur Furchenrichtung und parallel zur Bodenoberfläche aufgestellt wird. Auf dem Balken läuft ein Wagen, der die Schreibeinrichtung und einen vertikal beweglichen Taster trägt. Die Taster Spitze wird von Hand über das Furchenprofil geführt. Die Bewegung des Tasters in horizontaler und vertikaler Richtung wird im Maßstab 1 : 5 auf einen Papierstreifen übertragen.

#### 4. Versuchsdurchführung und Auswertung

##### 4.1 Bodenwiderstand als Funktion der Arbeitstiefe

Vor Beginn der Meßfahrt wird der Meßrahmen hydraulisch so weit abgesenkt, bis die Werkzeugspitze den Boden berührt. Das Signal der Tiefenmeßeinrichtung wird mittels eines Potentiometers auf Null abgeglichen, wobei das Aussteuerinstrument des Magnetbandgerätes zur Anzeige benutzt wird.

Nachdem der Schlepper die gewünschte Fahrgeschwindigkeit erreicht hat, wird durch Öffnen einer Drossel in der Zuleitung zu den Verstellzylindern der Meßrahmen langsam weiter gesenkt und somit die Arbeitstiefe vergrößert.

##### 4.2 Bodenwiderstand als Funktion der Fahrgeschwindigkeit

Vor Beginn der Meßfahrt wird, wie vorstehend beschrieben, das Werkzeug auf die gewünschte Arbeitstiefe gebracht. Die Tiefe wird auf einem Digitalvoltmeter angezeigt. Der Schlepper fährt zunächst mit Leerlaufdrehzahl an, danach wird die Drehzahl kontinuierlich gesteigert. Indem zwei verschiedene Gänge benutzt werden, kann mit dem vorhandenen Schlepper ein Bereich bis ca. 12 km/h stufenlos durchfahren werden.

##### 4.3 Auswertung der Kraftmessungen

Für die Messung des Bodenwiderstands als Funktion der Arbeitstiefe wird im folgenden die Auswertung erläutert: Es stehen die Meßgrößen  $X_1$ ,  $X_2$  und  $Y$  sowie das Signal der Arbeitstiefe  $d$  auf Magnetband gespeichert zur Verfügung. Die resultierende Bodenwiderstandskraft (Bild 1 rechts) ergibt sich nach Betrag, Lage und Richtung aus den Meßgrößen nach den Gleichungen:

$$F_x = X_1 - X_2 \quad (1)$$

$$F_y = Y \quad (2)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3)$$

$$b = a \cdot X_2 / F \quad (4)$$

$$a = \arctan (F_y / F_x) \quad (5)$$

Der vorstehend beschriebenen Versuchsdurchführung liegt die Absicht zugrunde, die Horizontal- und Vertikalkomponente der Bodenwiderstandskraft ohne Rechnung und manuelle Zeichenarbeit vom x, y-Schreiber über der Arbeitstiefe auftragen zu lassen. Dazu gibt man auf die x-Achse jeweils die Arbeitstiefe  $d$  als unabhängige Variable und auf die y-Achse nacheinander die Größen  $(X_1 - X_2)$ ,  $X_2$  und  $Y$ , wobei das Differenzsignal mittels Analogrechner gebildet wird. Unter der Voraussetzung, daß die am Grubberwerkzeug wirkende Kraft bei konstanter Fahrgeschwindigkeit nur von der Arbeitstiefe abhängt, erhält man glatte Kurven für  $F_x$ ,  $F_y$  und  $X_2$ , aus denen man die weiteren Größen  $F$ ,  $b$  und  $a$  punktweise für verschiedene Tiefen berechnen kann.

Wie Bild 4 zeigt, weisen die so erhaltenen Kurven keineswegs einen glatten Verlauf auf. Dies hat zwei Ursachen. Der Bodenaufbruch durch ein Werkzeug ist ein diskontinuierlicher Vorgang [6]. Demzufolge ist die am Werkzeug wirkende Kraft nicht zeitlich konstant, sondern schwankt um einen mittleren Wert. Ein weiterer Störeinfluß ist durch die Festigkeit des Bodens gegeben, die mit Sicherheit längs der Versuchsstrecke nicht gleich ist.

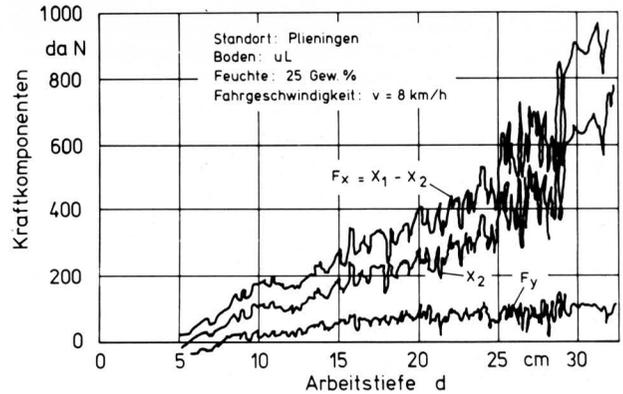


Bild 4. Kraftkomponenten  $F_x$ ,  $F_y$  und  $X_2$  über der Arbeitstiefe aufgezeichnet mittels x, y-Schreiber.

Für manche Zwecke wären die vom x, y-Schreiber erstellten Kurven sicher ausreichend, zeigen sie doch optisch recht gut den Verlauf der dargestellten Größen.

In der hier dargestellten Arbeit sollen jedoch funktionale Zusammenhänge zwischen den Komponenten der Bodenwiderstandskraft und der Arbeitstiefe ermittelt werden. Hierbei wird folgendermaßen verfahren:

Die vom x, y-Schreiber erzeugte Kurve wird in x-Richtung in Abschnitte geteilt. Durch Planimetrieren wird abschnittsweise der Ordinatenmittelwert gebildet und dieser der Mitte des Intervalls zugeordnet. Die so erhaltenen y-Werte aus drei Messungen werden für eine Ausgleichsrechnung benutzt, die den gewünschten funktionalen Zusammenhang z.B.  $F = f(d)$  liefert.

Diese Ausführungen mögen zeigen, daß die Auswertung durch die gewählte Art der Versuchsdurchführung nicht vereinfacht wird. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, daß die eigentliche Messung schnell vonstatten geht und daß der Verlauf der zu messenden Größen durch den x, y-Schreiber ohne Rechenaufwand sichtbar gemacht werden kann.

##### 4.4 Ermittlung des Arbeitseffekts

Zur Ermittlung des Arbeitseffekts werden die Größen "gelockerter Bodenquerschnitt" und "Aggregatgrößenverteilung" benutzt. Damit werden zwei Aufgaben des Grubberwerkzeugs erfaßt, nämlich Lockern und Zerkleinern.

Mit Hilfe eines Bodenprofilschreibers wird das freigelegte Furchenprofil im Maßstab 1 : 5 aufgezeichnet und durch Planimetrieren der gelockerte Querschnitt bestimmt.

Die Aggregatgrößenverteilung wird in bekannter Weise an dem aus der Furche entnommenen gelockerten Boden durch Sieben ermittelt. Es werden die Sieblochdurchmesser 80, 40 und 20 mm verwendet.

#### 5. Versuchsergebnisse

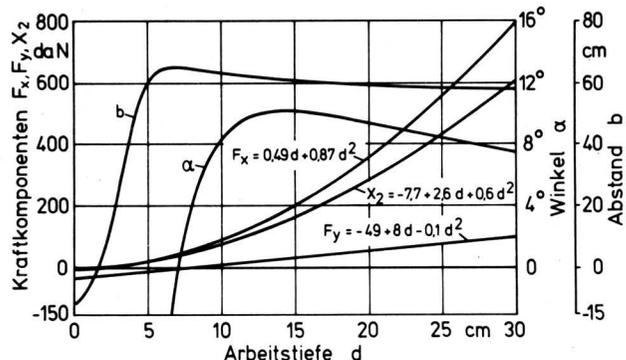
##### 5.1 Kräfte am Werkzeug

Aus der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Zinken- und Scharformen wurde für die Versuche der starre Zinken mit 12,5 cm breitem Doppelherzschar ausgewählt, weil diese Ausführung in der Praxis derzeit am weitesten verbreitet ist.

Dieses Werkzeug wurde bei den Versuchen auf verschiedenen Böden eingesetzt, wobei die Arbeitstiefe und die Fahrgeschwindigkeit variiert wurden.

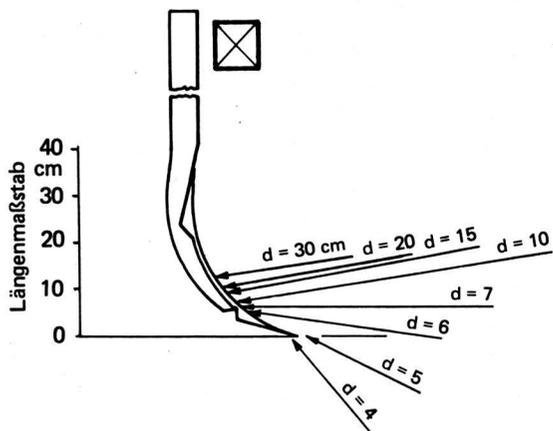
Für Weizenstoppel auf einem schluffigen Lehm mit ca. 25 % Feuchtegehalt wurde bei einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h aus drei Messungen der in Bild 5 dargestellte Verlauf der Komponenten des Bodenwiderstands in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe

fe ermittelt. Die Kurven für die Horizontalkraft  $F_x$ , die Vertikalkraft  $F_y$  und die Meßgröße  $X_2$  sind das Ergebnis einer Ausgleichsrechnung. Hieraus werden mit Gln. (3), (4) und (5) der Abstand  $b$  und der Neigungswinkel  $\alpha$  berechnet. Sämtliche Kurven in Bild 5 wurden von einem Plotter in Verbindung mit einem Digitalrechner erstellt. Bemerkenswert ist, daß die Vertikalkraft  $F_y$  für sehr kleine Arbeitstiefen negative Werte annimmt und somit dem Eindringen des Werkzeugs entgegenwirkt. Dies bedeutet für die Praxis, daß das Werkzeug bzw. Gerät ein ausreichendes Gewicht aufweisen muß.



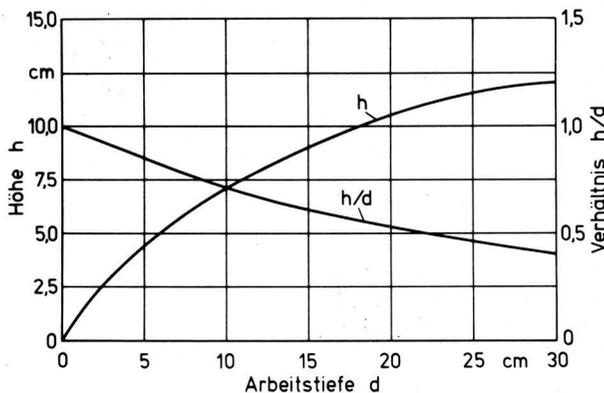
**Bild 5.** Größen zur Beschreibung des Bodenwiderstandes eines Grubberwerkzeugs als Funktion der Arbeitstiefe.

Der Kraftangriffspunkt am Schar wird ermittelt, indem man die Kraftwirkungslinie in einem maßstäblichen Seitenriß von Werkzeug und Werkzeugträger einzeichnet. Bild 6 zeigt, wo und in welcher Richtung die Bodenwiderstandskraft für verschiedene Arbeitstiefen am Schar angreift. Mit zunehmender Arbeitstiefe wandert der Kraftangriffspunkt am Schar nach oben und liegt bei 30 cm Arbeitstiefe etwa bei einem Drittel der Scharhöhe, von der Furchensohle aus gemessen. In Bild 7 ist die Höhe des Kraftangriffspunktes sowohl durch den Absolutwert  $h$  als auch durch den auf die Arbeitstiefe bezogenen Wert  $h/d$  dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, daß mit zunehmender Arbeitstiefe sich der Kraftangriffspunkt bezogen auf die Arbeitstiefe nach unten verlagert, was zumindest teilweise auf den mit der Tiefe zunehmenden Scherwiderstand des Bodens zurückgeführt werden kann. Zu Bild 7 ist noch anzumerken, daß unter den vorstehend genannten Versuchsbedingungen (Stoppfeld) bei sehr kleinen Arbeitstiefen die Messung der Kraftkomponenten infolge ihrer geringen Absolutwerte nicht genau genug ist, um daraus die Lage und Richtung der resultierenden Bodenwiderstandskraft zu bestimmen, zumal für die Berechnung von  $b$  und  $\alpha$  Quotienten gebildet werden. Aufgrund der Überlegung, daß bei ebenen die Bodenoberfläche streifender Scharspitze die Bodenwiderstandskraft nur an derselben angreifen kann, sowie unter der Annahme, daß sich die Größe  $h$  kontinuierlich ändert, wurden in Bild 7 die Kurven für  $h$  und  $h/d$  im Bereich kleiner Arbeitstiefe eingezeichnet.



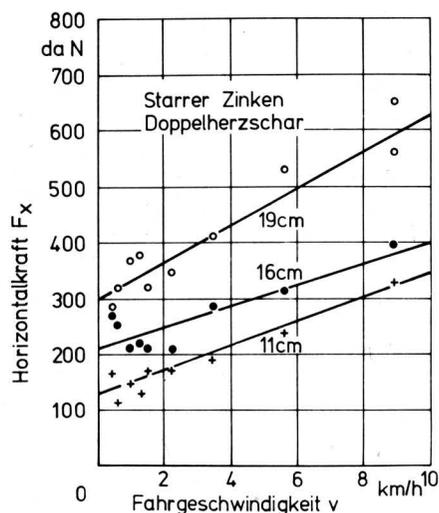
**Bild 6.** Lage der Bodenwiderstandskraft relativ zum Schar für verschiedene Arbeitstiefen.

Neben der Arbeitstiefe ist auf einem gegebenen Boden die Fahrgeschwindigkeit von Bedeutung für die auf das Werkzeug wirkende Kraft.



**Bild 7.** Höhe  $h$  und auf die Arbeitstiefe  $d$  bezogene Höhe des Kraftangriffspunktes am Schar in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe.

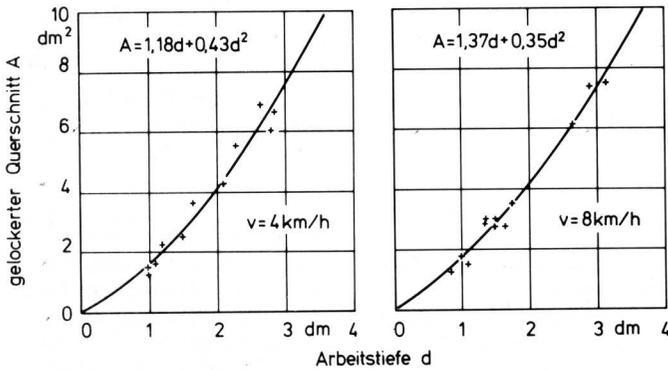
Bild 8 zeigt die Horizontalkomponente des Bodenwiderstandes oder die Zugkraft als Funktion der Fahrgeschwindigkeit, gemessen auf einem schluffigen Lehm. Es läßt sich in dem untersuchten Bereich ein linearer Anstieg der Zugkraft mit zunehmender Geschwindigkeit feststellen. Der Grund für den deutlichen Zugkraftanstieg kann nicht allein in den fahrgeschwindigkeitsabhängigen Beschleunigungskräften liegen, die bei der Bewegung des aufgebrochenen Bodens entstehen, da deren Anteil an der gemessenen Zugkraft gering ist. Vielmehr sind in der Literatur [12] Hinweise zu finden, daß der Scherwiderstand von Boden nicht nur von dessen physikalischen Eigenschaften abhängt, sondern außerdem mit steigender Schergeschwindigkeit zunimmt. Unter der Voraussetzung, daß der Bodenbruch überwiegend entlang von Scherebenen erfolgt, könnte der genannte Effekt den Zugkraftanstieg bewirken. Aus Bild 8 geht nicht eindeutig hervor, ob der Zugkraftanstieg bei steigender Fahrgeschwindigkeit auch von der Arbeitstiefe abhängt. Es ist jedoch zu erwarten, daß der in größerer Tiefe anzutreffende höhere statistische Scherwiderstand sich auch stärker mit steigender Schergeschwindigkeit ändert. Dem würde die größere Steigung der Geraden für 19 cm Tiefe gegenüber der für 11 cm Tiefe entsprechen.



**Bild 8.** Zugkraft eines Grubberwerkzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Arbeitstiefen.

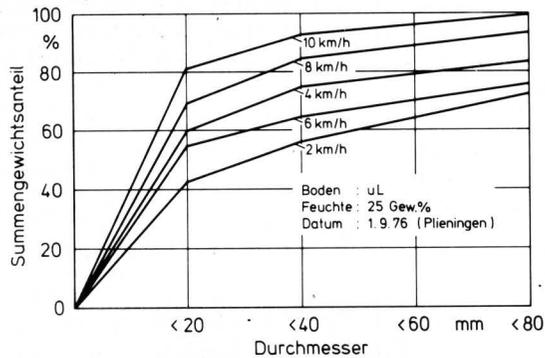
## 5.2 Arbeitseffekt eines Grubberwerkzeugs

Grubberwerkzeuge werden hauptsächlich zum Aufbrechen verdichteter Böden eingesetzt. Es interessiert deshalb, wie groß der vom einzelnen Werkzeug gelockerte Bodenquerschnitt ist, der in **Bild 9** beispielsweise als Funktion der Arbeitstiefe dargestellt ist. Der Furchenquerschnitt kann näherungsweise als Trapezfläche beschrieben werden, deren Höhe gleich der Furchentiefe ist [3]. Hält man den Winkel, den die Furchenflanken einschließen, konstant, dann geht die Arbeitstiefe in die Berechnung des Furchenquerschnitts linear und im Quadrat ein, was mit den gemessenen Werten gut übereinstimmt. Mit Hilfe von **Bild 9** und unter Berücksichtigung des mit der Tiefe zunehmenden Scherwiderstands des Bodens läßt sich auch der Verlauf der Zugkraft über der Arbeitstiefe (**Bild 5**) erklären.



**Bild 9.** Durch ein Einzelwerkzeug gelockelter Bodenquerschnitt als Funktion der Arbeitstiefe.

Der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf den gelockerten Querschnitt scheint gering zu sein. Im Gegensatz dazu ist die Fahrgeschwindigkeit von deutlichem Einfluß auf die Aggregatgrößenzusammensetzung des aufgebrochenen Bodens. **Bild 10** zeigt, daß durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit die Zerkleinerungswirkung des Grubberwerkzeugs wesentlich verbessert werden kann.



**Bild 10.** Zerkleinerungswirkung eines Grubberwerkzeugs — dargestellt als Durchgangssumme in Abhängigkeit vom Sieblochdurchmesser bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.

## 6. Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde der Bodenwiderstand eines starren Grubberzinkens mit Doppelherzschar gemessen. Es wird versucht, einen Zusammenhang mit dem Scherwiderstand des Bodens herzustellen. Zur Ermittlung des Arbeitseffektes des Grubberwerkzeugs werden die Größen "gelockelter Querschnitt" und "Aggregatgrößenverteilung" herangezogen. Aus den vorgelegten Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß im Sinne eines möglichst geringen Zugleistungsbedarfs für einen Grubber dessen Arbeitsgeschwindigkeit nicht zu hoch gewählt werden sollte. Statt dessen könnte man versuchen, durch geeignete Form der Werkzeuge dem aufgebrochenen Boden eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erteilen, die beim Aufprall der Kluten deren Zerkleinerung bewirkt.

### Schrifttum

- [ 1 ] Möller, R.: Zugkraftbedarf und Arbeitserfolg starrer und federnder Grubberzinken. Grundl. Landtechnik Heft 11 (1959) S. 85/94.
- [ 2 ] Plötner, K.: Bodenwiderstand und Bodenaufbruch beim Einsatz von Bodenbearbeitungswerkzeugen. Agrartechnik Bd. 23 (1973) H.4, S. 187/90.
- [ 3 ] Willat, S.T. u. A.H. Willis: A study the trough formed by the passage of tines through soil. Journ. Agr.Engng. Res. Bd. 10 (1965) Nr. 1, S. 1/4.
- [ 4 ] Vornkahl, W.: Dynamik gezogener Bodenwerkzeuge im Modellversuch. Fortschr.-Ber., VDI-Z., Reihe 14, Nr. 7, Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
- [ 5 ] Payne, P.C.J. u. D.W. Tanner: The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. Journ. Agr.Engng. Res. Bd. 4 (1959) Nr. 4, S. 312/25.
- [ 6 ] Söhne, W.: Einige Grundlagen für eine landtechnische Bodenmechanik. Grundl. Landtechnik Heft 7 (1956) S. 11/27.
- [ 7 ] O'Callaghan, J.R.: Der Bruchmechanismus des Bodens bei der Bodenbearbeitung. Grundl. Landtechnik Bd. 17 (1967) H. 3, S. 92/95.
- [ 8 ] Hettiaratchi, D.R.P. u. A.R. Reece: Symmetrical, three-dimensional soil failure. Journ. Terramechanics Bd. 4 (1967) Nr. 3, S. 45/67.
- [ 9 ] Söhne, W.: Reibung und Kohäsion bei Ackerböden. Grundl. Landtechnik Heft 5 (1953) S. 64/80.
- [ 10 ] Panwar, J.S. u. J.S. Siemens: Shear strength and energy of soil failure related to density and moisture. Trans. of the ASAE Bd. 15 (1972) S. 423/27.
- [ 11 ] Lucius, J.: Methodik der Werkzeugentwicklung für die Bodenbearbeitung. Dt. Agrartechnik Bd. 22 (1972) H. 11, S. 515/17.
- [ 12 ] Rowe, R.J. u. K.K. Barnes: Influence of speed on elements of draft of a tillage tool. Trans. of the ASAE Bd. 4 (1961) Nr. 1, S. 55/57.