

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTL)
LANDMASCHINEN- UND ACKERSCHLEPPER-VEREINIGUNG (LAV) IM VDMA
MAX-EYTH-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER LANDTECHNIK (MEG)

Heft 1/1966

MÜNCHEN

16. JAHRGANG

Wladyslaw Bala:

Einfluß der Bodenart und -feuchtigkeit auf die Größe des Grabenpflugwiderstands

Institut für Landtechnik und Meliorationswesen, Krakau

Die theoretischen Grundlagen zur Berechnung der beim Grabenpflügen auftretenden Kräfte in Abhängigkeit von dem Trennungswinkel sowie vom äußeren und inneren Reibungswinkel sind von vielen Forschern bearbeitet und von BRACH [1] geordnet und erweitert worden. Doch sind die mechanischen Bodeneigenschaften, wie der äußere und innere Reibungswinkel, weder konstant noch leicht und eindeutig mit den bisher bekannten Methoden zu ermitteln.

Es erhebt sich somit die Frage, ob es nicht zweckmäßig wäre, Zusammenhänge zwischen den Trennungswiderständen und den leicht und eindeutig bestimmbar physikalischen Bodeneigenschaften, wie die mechanische Zusammensetzung und Feuchtigkeit, zu untersuchen.

Diese Frage wurde in den Untersuchungen von ZIELENIN aufgegriffen [2]. Er hat die Abhängigkeit der Trennungswiderstände von der Bodenart und -feuchtigkeit in Diagrammen dargestellt (Bild 1).

Aus dem von ZIELENIN ausgearbeiteten Diagramm ergibt sich, daß bei allen Böden, mit Ausnahme der Sande, der Trennungswiderstand mit dem Ansteigen der Bodenfeuchtigkeit fällt und daß bei einer Bodenfeuchtigkeit, die an Fluidität grenzt, der Trennungswiderstand für alle Bodenarten fast gleich groß ist.

In den durchgeführten Untersuchungen unterscheidet ZIELENIN folgende Bodenarten: gewachsener Sandboden, umgeborener lehmiger Sandboden, lehmiger Boden, sandiger Lehm. Andere Forscher, wie beispielsweise CAPARRINI [3], teilen die Böden bei Berücksichtigung des Trennungswiderstands folgenderweise ein: leichter Boden, mittelschwerer Boden und schwerer Boden. Andere, wie zum Beispiel DOMBROWSKI [4] wenden die Baueinteilung der Bodenarten an.

Solche Einteilung der Böden für die Bestimmung des Trennungswiderstands ist offensichtlich viel zu ungenau, da sie eine Erforschung näherer Zusammenhänge nicht gestattet.

In den durchgeführten Untersuchungen wurde versucht, die Abhängigkeit der Trennungswiderstandsgröße von der eindeutig durch die mechanische Zusammensetzung bestimmten Bodenart zu erforschen. Auf Grund der mechanischen Zusammensetzung kann man unter Anlehnung an die Norm die Bodenarten genau einteilen [5].

Die Untersuchungen, die auf Bestimmung der Abhängigkeit des Trennungswiderstands von der Bodenart hinzielten, wurden bei einer konstanten Feuchtigkeit der untersuchten Böden durchgeführt.

Da die Bodenfeuchtigkeit auch die Trennungswiderstandsgröße beeinflusst, wurde eine zweite Untersuchungsreihe

für die Bestimmung dieser Abhängigkeit getrennt für jede Bodenart ausgeführt.

Den durchgeführten Untersuchungen wurden folgende theoretische Voraussetzungen zugrunde gelegt.

Der Trennungswiderstand ist von folgenden Faktoren abhängig:

Art und Gestalt des Werkzeugs N

Trennungstiefe und Querschnitt der Scholle H

Trennungsgeschwindigkeit V

Bodenart G

Bodenfeuchtigkeit W

Diese Abhängigkeit kann als Funktion mehrerer Variablen dargestellt werden:

$$P = f(N, H, V, G, W)$$

Unter Voraussetzung, daß die Faktoren „Konstruktion und geometrische Gestalt der Schneidkante des Grabwerkzeugs“, „Trennungstiefe und Querschnitt der Scholle“, „Trennungsgeschwindigkeit“ und „Bodenfeuchtigkeit“ konstant bleiben, wird die Funktion, die den Einfluß mehrerer variabler Faktoren auf den Trennungswiderstand zum Ausdruck bringt, auf einen variablen Faktor, nämlich auf die Bodenart, beschränkt:

$$P_G = I_G(C_G, G) \cdot$$

Hierin bedeuten:

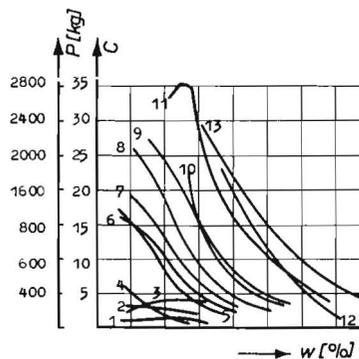


Bild 1: Abhängigkeit des Trennungswiderstandes von der Bodenart und deren Feuchtigkeit nach ZIELENIN

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1 Flusssand | 7 leichter Lehm |
| 2 gewachsener Sand | 8 strenger Lehm |
| 3 gewachsener Sand auf 1 m Tiefe | 9 u. 10 Lehm |
| 4 umgeborener lehmiger Sand | 11 Ton |
| 5 u. 6 lehmiger Sand | 12 strenger Ton |

C_G die konstante Größe, die den Einfluß der konstanten Faktoren im Trennungsvorgang ausdrückt;

G die variable Größe, die den Einfluß der Bodenart auf den Trennungswiderstand für ein gegebenes Arbeitswerkzeug bei den anderen konstanten Faktoren ausdrückt.

Wenn man annimmt, daß der Trennungswiderstand von der Bodenfeuchtigkeit abhängt, so kann man experimentell für eine bestimmte Bodenart, ein gegebenes Werkzeug und die konstanten Arbeitsgrößen diese Abhängigkeit bestimmen. Allgemein kann sie als Funktion dargestellt werden:

$$P_w = f_w (C_w, W) .$$

Hierin bedeuten:

C_w die konstante Größe, die den Einfluß der konstanten Faktoren ausdrückt;

W die variable Größe, die den Einfluß der Bodenfeuchtigkeit ausdrückt.

Zwecks Bestimmung der genannten Zusammenhänge wurden Felduntersuchungen angestellt, bei denen der Trennungswiderstand bei Änderung der Bodenart und bei Änderung der Bodenfeuchtigkeit gemessen wurde. Jeder von diesen Faktoren übt auf die Trennungswiderstandsgröße Einfluß aus. Deswegen wurde bei der Untersuchung des Einflusses des einen Faktors der Einfluß des anderen ausgeschaltet, indem er konstant gehalten wurde.

Zur Untersuchung wurde der Grabenpflug (PD-1) herangezogen, wobei folgende Arbeitsgrößen konstant waren und betragen: Grabenpflugtiefe = 50 cm und Fahrgeschwindigkeit = 0,325 m/s.

Bei den Untersuchungen wurde die Zugkraft am Haken des den Pflug ziehenden Schleppers gemessen, wobei gleichzeitig die charakteristischen Merkmale des untersuchten Faktors gemessen wurden. Die Größen der Faktoren, die bei der Untersuchung als unveränderlich vorausgesetzt wurden, sind auch kontrollmäßig gemessen worden.

Eine grundsätzliche Forderung für die Richtigkeit jeder Messung war eine genaue Prüfung des Bodens nicht nur hinsichtlich seiner Art und Feuchtigkeit, sondern auch in Bezug auf seine Gleichmäßigkeit auf der ganzen Länge und Tiefe der Versuchsarbeit.

Zwecks Einhaltung dieser Forderung wurde jede Versuchsfläche auf Grund von Probebohrungen gewählt. Auf der Fläche wurde die Richtung des auszuführenden Versuchsgrabens abgesteckt, wobei auf der abgesteckten Achse des Grabens Prüfbohrungen je 3 m ausgeführt wurden. Die

Länge der Meßabschnitte an den Versuchsgräben betrug 20 m.

Die Zugkraft am Schlepperhaken wurde mittels des hydraulischen Dynamographen mit einem Meßbereich von 0 bis 10 000 kg und einer Schreibgenauigkeit von $\pm 2\%$ gemessen.

Bei den Messungen wurde der Dynamograph in die den Schlepper mit dem Pflug verbindende Kupplung eingeschaltet. Durch den Dynamographen wurde die ganze Kraft registriert, die zur Überwindung der in der Arbeit des Pfluges auftretenden Widerstände benötigt wird.

Auf Grund der von den Messungen erhaltenen Diagramme wurde ein Mittelwert der zur Überwindung der Widerstände benötigten Kräfte errechnet. Der Meßfehler betrug 5 %.

Die Grabenpflüge arbeiten richtig nur in bindigen Böden. Deshalb wurden die Untersuchungen nur auf diese Böden beschränkt. Sie wurden in Feldverhältnissen, die den normalen Betriebsverhältnissen entsprechen, durchgeführt. Infolgedessen sind die erlangten Ergebnisse durch Maßstabfehler nicht behaftet.

Die bindigen Mineralböden werden auf Grund ihrer Korngrößen unter Anlehnung an die Norm [5] in zwölf Bodenarten eingeteilt.

Eine volle Untersuchung sollte also die Ausführung von Trennungswiderstandsmessungen in der Pflugarbeit auf allen zwölf Bodenarten umfassen.

Jedoch mit Rücksicht auf große Schwierigkeiten in der Auffindung der Versuchsflächen für die gewünschte Bodenart, die wenigstens in einer Tiefe bis zu 1 m gleichartig wären, auf Schwierigkeiten bei Erlangung der Bewilligung für das Betreten der Versuchsflächen, mit Rücksicht auf Zerstörungen, die bei den Untersuchungen entstehen, und auf die großen Kosten der Untersuchungen wurden die Untersuchungen auf sechs Bodenarten beschränkt, die derart gewählt wurden, daß fundamentale Bindigkeitsgruppen, also schwach bindige, mäßig bindige, stark bindige und schwere Böden vertreten sind.

Die Zusammenstellung und die Charakteristik der untersuchten Böden ist in Tafel 1 angegeben. Die in der Tafel angegebenen charakteristischen Werte sind Mittelwerte von den aus dem ganzen Querschnitt entnommenen Bodenproben.

Die Versuchsflächen wurden auf ebenem Gelände gewählt, um den Einfluß der Geländeneigung auszuschalten. Die Richtung der Versuchsgräben war parallel zu den Schichtlinien,

Tafel 1: Zusammenstellung und Charakteristik der untersuchten Böden

| | Beschreibung des untersuchten Bodens | | | Korngrößenfraktionen | | | Feuchtigkeit [%] | Volumgewicht [G/cm ³] | Spezifisches Gewicht | Innerer Reibungswinkel [°] | Kohäsion C | Gehalt an Eisen Karbonaten | |
|---|--------------------------------------|----------------|------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|------------|----------------------------|---|
| | Bindigkeit | Art | Farbe | Ton I [%] | Staub P ₂₀ [%] | Sand P ₄ [%] | | | | | | | |
| 1 | schwach bindig | Flottsand | hellgelb | 6 | 48 | 46 | 14,0 | 1,84 | 2,62 | 33 | 0,03 | — | — |
| 2 | mäßig bindig | sandiger Lehm | grau | 13 | 11 | 76 | 14,8 | 1,82 | 2,60 | 15 | 0,20 | — | — |
| 3 | mäßig bindig | Lehm | dunkelgrau | 12 | 41 | 47 | 15,3 | 1,98 | 2,59 | 15 | 0,30 | — | — |
| 4 | mäßig bindig | staubiger Lehm | dunkelgrau | 13 | 73 | 14 | 15,6 | 1,80 | 2,62 | 12 | 0,30 | 0,44 | — |
| 5 | stark bindig | strenger Lehm | rostfarben | 27 | 28 | 45 | 14,2 | 1,77 | 2,56 | 23 | 0,30 | Spur | — |
| 6 | schwer | Ton | gelb | 34 | 33 | 33 | 15,8 | 1,68 | 2,46 | 7 | 0,30 | — | — |

Tafel 2: Zusammenstellung der Trennungswiderstände für verschiedene Bodenarten bei konstanten Arbeitsgrößen und konstanter Bodenfeuchtigkeit

| Bodenart | Mechanische Zusammensetzung der Fraktionen [%] | Trennungswiderstand P_G |
|------------------|------------------------------------------------|---------------------------|
| | | [kg] |
| 1 Flottsand | $I = 6$ | |
| | $P_y = 48$ | 2750 |
| | $P_i = 46$ | 2600 |
| 2 Sandiger Lehm | $I = 13$ | |
| | $P_y = 11$ | 3050 |
| | $P_i = 76$ | 3150 |
| 3 Lehm | $I = 12$ | |
| | $P_y = 41$ | 3550 |
| | $P_i = 47$ | |
| 4 Staubiger Lehm | $I = 13$ | |
| | $P_y = 73$ | 4000 |
| | $P_i = 14$ | 3950 |
| 5 Strenger Lehm | $I = 27$ | |
| | $P_y = 28$ | 4800 |
| | $P_i = 45$ | 5000 |
| 6 Ton | $I = 34$ | |
| | $P_y = 33$ | 6550 |
| | $P_i = 33$ | 5950 |

wodurch die größte Gleichmäßigkeit der Bodenfeuchtigkeit auf der ganzen Grabenlänge gesichert wurde. In einer Linie wurden drei bis vier Versuchsgräben mit einer Länge von je 24 m ausgeführt, wobei für die Messung 20 m gerechnet wurden. Die nächste Grabenlinie verlief parallel zu der ersten in einer Entfernung von etwa 4 m.

Die Untersuchungen wurden in den Monaten September, Oktober, November und Dezember 1962 auf den Böden der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalten in Mydlniki bei Kraków, die der Landwirtschaftlichen Hochschule in Kraków gehören, und in der Gemeinde Wieprz, Kreis Wadowice, durchgeführt. Für die Untersuchungen wurde der Herbst gewählt, um diese bei verschiedener Bodenfeuchtigkeit durchführen zu können. Der Sommer 1962 war sehr trocken, im September herrschte schönes Wetter, wodurch die Ausführung der Messungen bei geringer Bodenfeuchtigkeit möglich war. In den nächsten Monaten ermöglichte das Herbstwetter, die Messungen bei ständig wachsender Bodenfeuchtigkeit durchzuführen. Die letzten Messungen, für die ein sehr feuchter Boden nötig war, wurden erst Mitte Dezember nach dem Abschmelzen des ersten Schneefalls ausgeführt.

Zwecks Untersuchung des Einflusses der Bodenart auf den Trennungswiderstand, wurde der Zugkraftbedarf am Schleperhaken bei der Pflugarbeit auf allen in der Tafel 1 bezeichneten Bodenarten zusammengestellt, wobei vorausgesetzt wurde, daß die Bodenart der veränderliche Faktor und die Bodenfeuchtigkeit, die Grabtiefe (Querschnitt der Scholle) sowie die Fahrgeschwindigkeit die konstanten Größen sind. Die Zusammenstellung der gemessenen Kräfte ist in Tafel 2 angegeben.

Zwecks Erleichterung der Analyse der Widerstände in der Pflugarbeit in ihrer Abhängigkeit von der Bodenart wurden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen in einem Diagramm dargestellt (Bild 2).

Das Diagramm wurde folgendermaßen aufgezeichnet: Auf der Ordinatenachse wurden die Trennungswiderstandswerte,

die durch den Pflug bei der Arbeit auf den untersuchten Böden überwunden wurden, in Tonnen aufgetragen. Auf der Abszissenachse wurden die untersuchten Böden nach ihrer mechanischen Zusammensetzung aufgetragen. Die Abszissenachse wurde in vier Abschnitte eingeteilt, deren erster die Bodenarten mit einem Staubfraktionsgehalt von 0 % bis 100 % und Tonfraktionsgehalt bis 10 %, der zweite die Bodenarten mit einem Staubfraktionsgehalt von 0 % bis 90 % und Tonfraktionsgehalt von 10 % bis 20 %, der dritte die Bodenarten mit einem Staubfraktionsgehalt von 0 bis 80 % und Tonfraktionsgehalt von 20 bis 30 % und der vierte die Bodenarten mit einem Staubfraktionsgehalt von 0 bis 70 % und Tonfraktionsgehalt von über 30 % bezeichnen. Die Länge der Abszisse x , die die untersuchte Bodenart bezeichnet, wird durch den prozentualen Anteil der Staubfraktion (P_y %) und Tonfraktion (I %) folgendermaßen ermittelt:

$$\begin{aligned} \text{Bei } I_1 = 0\% - 10\% & \quad x = P_y + I \cos 60^\circ \\ \text{Bei } I_1 = 10\% - 20\% & \quad x = 100 + P_y + (I-10) \cos 60^\circ \\ \text{Bei } I_1 = 20\% - 30\% & \quad x = 190 + P_y + (I-20) \cos 60^\circ \\ \text{Bei } I_1 > 30\% & \quad x = 270 + P_y + (I-30) \cos 60^\circ \end{aligned}$$

Diese Ermittlung wird vorgeschlagen auf Grund der Analyse der Einteilung der bindigen Böden nach dem FERET-Dreieck.

Bei der Analyse des Diagramms in Bild 2 ergibt sich, daß die Widerstände in der Pflugarbeit mit dem Ansteigen der Tonfraktion wachsen. Die dieses Wachsen darstellende Kurve hat einen stetigen Charakter und eine Gestalt, die sich der Parabel nähert.

Bei der Annahme des stetigen Charakters der Kurve kann man an Hand des Diagramms den Wert der Widerstände ermitteln, die bei der Pflugarbeit in beliebigem bindigem Boden auftreten, wenn dessen mechanische Zusammensetzung oder genauer dessen Gehalt an Staub- und Tonfraktion bekannt ist. Dies gilt nur mit der Einschränkung, daß das Diagramm nur bei den Böden anwendbar ist, die keine Eisen- und Kalkverbindungen enthalten. Die genannten Verbindungen können die Bodenbindigkeit wesentlich ändern.

Einen großen Arbeitsaufwand erforderte die Durchführung der Untersuchungen, die auf die Bestimmung des Einflusses der Bodenfeuchtigkeit auf die Arbeitswiderstände in der Pflugarbeit hielten. Es wurden viele Messungen der Arbeitswiderstände auf vorher untersuchten und gewählten

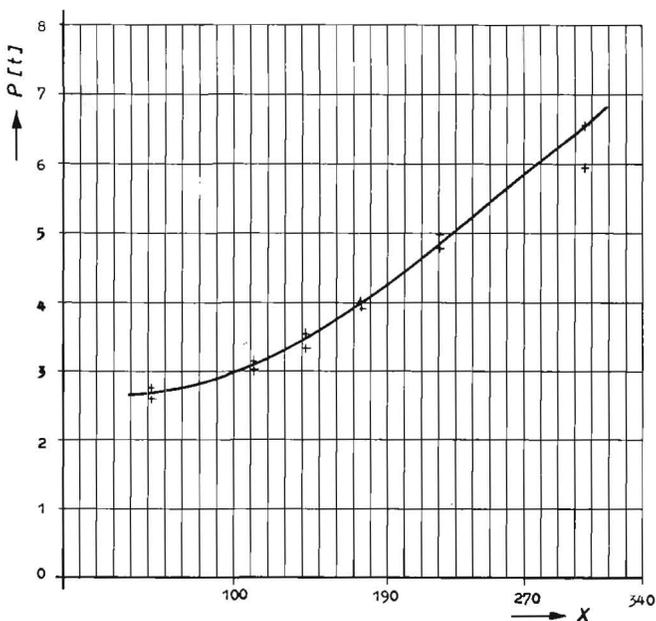


Bild 2: Abhängigkeit des Trennungswiderstandes in der Pflugarbeit von der Bodenart

Bodenarten bei verschiedener aber in der ganzen Arbeitstiefe gleichartiger Feuchtigkeit ausgeführt.

Alle Faktoren wurden gemäß der oben dargelegten Methodik bei denselben Werten der konstanten Größen auf den in Tafel 1 beschriebenen Bodenarten gemessen. Die Größe der Arbeitswiderstände in der Pflugarbeit bei verschiedener Bodenfeuchtigkeit wurde nach den Dynamogrammen berechnet und mit Diagramm in Bild 3 dargestellt.

Das Diagramm wurde folgenderweise aufgezeichnet: Auf der Ordinatenachse wurden die Arbeitswiderstände P_w in Tonnen und auf der Abszissenachse wurde die Bodenfeuchtigkeit W in Prozenten aufgetragen. Die Kurven, die die Abhängigkeit des Trennungswiderstandes von der Bodenfeuchtigkeit darstellen, wurden für alle untersuchten Bodenarten zusammen in Bild 3 aufgezeichnet.

Aus Bild 3 ergibt sich deutlich die Abhängigkeit des Trennungswiderstandes von der Bodenfeuchtigkeit. Es läßt sich die gleiche Gesetzmäßigkeit feststellen wie in den Untersuchungen von ZIELENIN, daß nämlich bei allen bindigen Böden der Trennungswiderstand beim Wachsen der Bodenfeuchtigkeit fällt. Bei einer Bodenfeuchtigkeit, die sich dem Zustand voller Sättigung annähert, ist der Trennungswiderstand bei verschiedenen Bodenarten fast gleich.

Bei der Analyse der Kurven in Bild 3 kann man feststellen, daß deren Verlauf demjenigen der Parabelfamilie mit folgender allgemeinen Gleichung

$$y = a(x - B)^2 + A$$

angenähert ist.

Wenn man zwecks Vereinfachung voraussetzt, daß bei der Bodenfeuchtigkeit $B = W_0$ der Trennungswiderstand in der Pflugarbeit für alle Bodenarten gleich ist und daß bei der Bodenfeuchtigkeit $B = W_0$ der Trennungswiderstand für alle Pflüge $A = P_{w0}$ beträgt, so kann folgende die Versuchsergebnisse interpolierende Gleichung der Parabelfamilie angesetzt werden:

$$P_w = a(W - W_0)^2 + P_{w0}$$

Die Größe P_{w0} stellt die Verschiebung des Parabelscheitels längs der Ordinatenachse dar und bezeichnet physikalisch die Trennungswiderstandsgröße in der Pflugarbeit auf beliebigem bindigem Boden, wenn dessen Feuchtigkeit W_0 be-

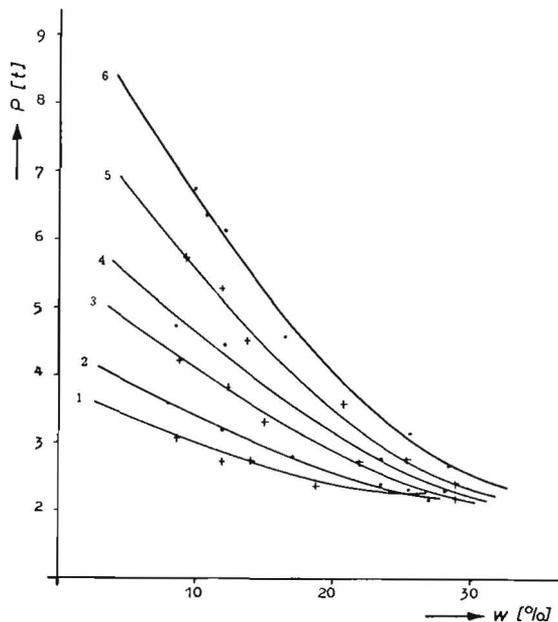


Bild 3: Abhängigkeit des Trennungswiderstandes in der Pflugarbeit von der Bodenfeuchtigkeit
 1 Flotssand 3 Lehm 5 strenger Lehm
 2 sandiger Lehm 4 staubiger Lehm 6 Ton

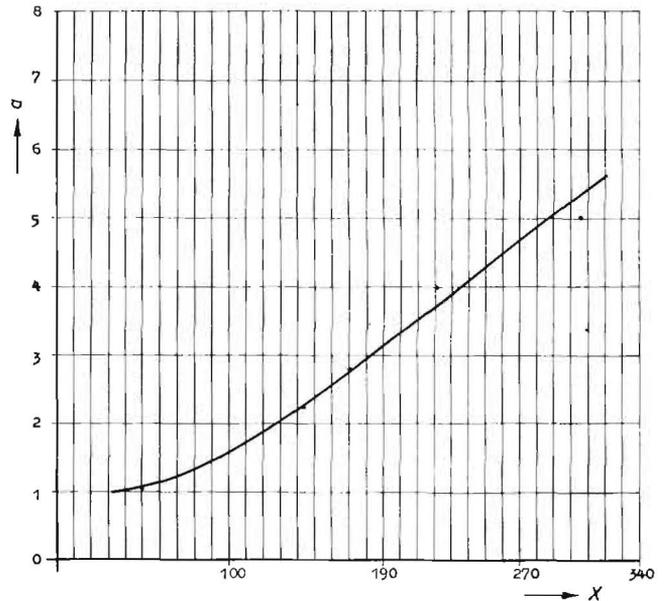


Bild 4: Nomogramm für die Berechnung des Koeffizienten a

trägt. Die Größe W_0 ist die Verschiebung des Parabelscheitels längs der Abszissenachse und bezeichnet die Bodenfeuchtigkeit, bei der der Trennungswiderstand für alle Böden gleich ist.

Bei Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate wurden folgende Werte der Koeffizienten gefunden:

die konstanten für alle Bodenarten:

$P_{w0} = 2000$ kg und $W_0 = 40$ %;

die variablen, abhängig von der mechanischen Zusammensetzung des Bodens:

| | | |
|-----------------------------------------------------------|------------|--------------|
| $a = 1,05$ für die mechanische Zusammensetzung des Bodens | $I = 6$ % | $P_y = 48$ % |
| $a = 1,45$ | $I = 13$ % | $P_y = 11$ % |
| $a = 2,25$ | $I = 12$ % | $P_y = 41$ % |
| $a = 2,80$ | $I = 13$ % | $P_y = 73$ % |
| $a = 4,00$ | $I = 27$ % | $P_y = 28$ % |
| $a = 5,00$ | $I = 34$ % | $P_y = 33$ % |

Es ist bemerkenswert, daß der Wert des Koeffizienten a von der mechanischen Zusammensetzung des Bodens abhängt. Wenn sich die Abhängigkeit des Koeffizienten a von der mechanischen Zusammensetzung des Bodens (Bild 4) ähnlich darstellt, wie dies für die Abhängigkeit des Trennungswiderstandes von der Bodenart (Bild 2) der Fall ist, so wird es möglich sein, dessen Wert für beliebige Bodenart mit bekannter mechanischen Zusammensetzung an Hand des Diagramms abzulesen. Dies ermöglicht, die Trennungswiderstandsgröße in der Grabenpflugarbeit in Abhängigkeit von der Bodenart und deren Feuchtigkeit nach der folgenden Formel zu berechnen:

$$P_w = a(W - 40)^2 + 2000 \text{ kg}$$

Schlußfolgerungen

Es besteht eine Abhängigkeit des Trennungswiderstandes von der mechanischen Zusammensetzung des Bodens.

Das Ansteigen des Tonfraktionsgehalts im Boden bewirkt das Ansteigen des Trennungswiderstandes. Die diese Zusammenhänge darstellende Kurve hat stetigen Charakter, und ihr Verlauf ist der Parabel angenähert.

Der Trennungswiderstand des Bodens ist von dessen Feuchtigkeit abhängig. Alle Böden haben einen gleichen Trennungswiderstand, wenn die Bodenfeuchtigkeit an den Fluiditätszustand grenzt. Der Abfall der Bodenfeuchtigkeit be-

wirkt das Wachsen des Trennungswiderstandes. Der Widerstandszuwachs ist von der Bodenart abhängig. Bei bindigen Böden ist der Zuwachs größer.

Der Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf den Trennungswiderstand wird allgemein durch folgende Parabelgleichung ausgedrückt:

$$P_{ir} = a (W - 40)^2 + P_{ir0}.$$

Notwendig ist eine Weiterführung der Untersuchungen auf einer größeren Zahl von Bodenarten, um sowohl die erlangten Ergebnisse zu bestätigen als auch die physikalische Bedeutung der Abhängigkeit des Trennungswiderstands des Bodens von dessen mechanischen Zusammensetzung und Feuchtigkeit genau aufzuklären.

Zusammenfassung

Der Verfasser hat untersucht, wie die Graben-Pflugwiderstände durch die Bodenart und -feuchtigkeit beeinflusst werden.

Um die Abhängigkeit der Graben-Pflugwiderstände von der Bodenart zu untersuchen, wurde die Zugkraft am Schlepperhaken gemessen, und zwar so, daß die Bodenart der veränderliche Faktor und die Bodenfeuchtigkeit, Fahrtgeschwindigkeit und Pflugtiefe die konstanten Größen sind. Die Untersuchungsergebnisse wurden auf einem Diagramm dargestellt. Auf der Ordinatenachse wurde die Widerstandsgröße und auf der Abszissenachse wurde die Bodenart aufgetragen, bei der Voraussetzung, daß die Abszissenlänge von dem Gehalt des untersuchten Bodens an Ton- und Staubfraktionen abhängig ist.

Auf Grund der Analyse des Diagramms stellt der Verfasser fest, daß die Pflugwiderstände mit dem Gehalt des Bodens an Ton- und Staubfraktionen ansteigen und die dieses Ansteigen darstellende Kurve einen stetigen Charakter mit einem der Parabel angenäherten Verlauf besitzt. Der Verfasser macht jedoch den Vorbehalt, daß die Untersuchungen und das Diagramm für eisen- und kalklose Böden ausgeführt worden sind und daß diese Bestandteile die mechanischen Bodeneigenschaften grundsätzlich ändern können.

Die Untersuchungen zur Feststellung der Abhängigkeit der Pflugwiderstände in der Grabenpflugarbeit von der Bodenfeuchtigkeit wurden an sechs bindigen Bodenarten durchgeführt, wobei die Bodenart, Fahrtgeschwindigkeit und Pflugtiefe die konstanten Größen und die Bodenfeuchtigkeit die veränderliche Größe bildeten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden auch auf Diagrammen dargestellt. Auf der Ordinatenachse wurden die Pflugwiderstände und auf der Abszissenachse die Bodenfeuchtigkeit in Prozenten, gesondert für jede Bodenart aufgetragen. Die erhaltenen Kurven lassen eine ähnliche Gesetzmäßigkeit wie bei den Untersuchungen von ZIELENIN erkennen — und bei allen bindigen Böden fällt der Pflugwiderstand beim Ansteigen der Bodenfeuchtigkeit.

Bei der Voraussetzung des parabolischen Verlaufs der Kurve, die das Ansteigen des Pflugwiderstandes in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit darstellt und bei Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate hat der Verfasser eine die Untersuchungsergebnisse interpolierende Funktion in folgender Formel aufgestellt:

$$P_w = a (40 - w)^2 + P_{w0}.$$

Schrifttum

- [1] BRACH, I.: "Teoretyczne podstawy skrawania gruntów w maszynach do robot ziemnych". Warszawa, Arkady 1960
BRACH, I.: "O dwóch modelach rozkładu naprężeń w procesie skrawania gruntów w maszynach do robot ziemnych". *Archiwum Budowy Maszyn* 8 (1961), Heft 2
- [2] ZIELENIN, A. N.: "Fizitscheskije osnovy teoriji resanija gruntow". Isdatelstwo Akademii Nauk SSR, Moskau 1950
ZIELENIN, A. N.: "Resanije gruntow". Isdatelstwo Akademii Nauk SSR, Moskau 1959

- [3] CAPARRINI, P.: "Primo contributo allo studio, dello sforzo di trazione dell' aratro". *Influenza della profondita di lavoro*. Instituto di Mecanica Agraria della Universitate di Pisa 1955
CAPARRINI, P.: "Contributo allo studio delle proprieta dinamiche del terreno". Instituto di Mecanica Agraria della Universitate di Pisa 1955
- [4] DOMBROWSKI, N. G.: "Powyschenije proiswoditelnosti odnodowschewych eskawatorow". Moskau 1951
- [5] Norm PN - 54 / B - 02480 (Polnische Norm)

Résumé

Wladyslaw Bala: "Influence of Soil Kind and Soil Moisture on the Amount of Resistance to Ditching Ploughs — A Test Result —"

The author examined how the resistance to ditching ploughs is affected by soil kind and soil moisture.

In order to examine the relationship between resistance and soil kind, the drawbar pull was measured. The soil kind was the variable factor, and the soil moisture, travelling speed and ploughing depth were the constant quantities. The results were represented by a diagram.

Owing to the analysis of the diagram, the author states that the resistance to ditching ploughs increases with the content of clay and dust fractions in the soil, and that the curve showing this rise resembles this continuous run of a parabola.

However, the author makes the reservation that the examinations and the diagram were made for iron- and limeless soils, and that the mechanical soil properties can be fundamentally changed by these constituents.

The investigations for determining the relationship between resistance and soil moisture at ditch ploughing were carried out with six cohesive kinds of soil. The soil kind, travelling speed and ploughing depth were the constant quantities, and the soil moisture was the variable factor. The results of these investigations were also diagrammed. The curves show a similar lawfulness as in ZIELENIN's examinations — with all cohesive soils the resistance to ploughing decreases as the soil moisture rises.

Wladyslaw Bala: "L'influence du type et de l'humidité du sol sur les résistances opposées aux charrues draineuses. — Résultats d'essais."

L'auteur a examiné dans quelle mesure les résistances opposées à la charrue draineuse sont influencées par le type et l'humidité du sol. Afin de déterminer l'influence du type de sol sur les résistances supportées par la charrue draineuse il a mesuré l'effort de traction au crochet d'attelage du tracteur pendant des essais entrepris avec des types de terre différents mais en maintenant constant l'humidité du sol, la vitesse d'avancement et la profondeur de travail. Les résultats d'essais ont été reproduits sur un diagramme.

L'analyse du diagramme a permis à l'auteur de constater que les résistances opposées à la charrue augmentent au fur et à mesure que la teneur du sol en argile et poussière augmente et que la courbe représentant cette augmentation évolue de façon linéaire et a à peu près la forme d'une parabole. Cependant l'auteur signale que ces essais ont été entrepris avec des terres exemptes de fer et de chaux et que la présence de ces éléments peut modifier entièrement les propriétés mécaniques du sol.

Les essais entrepris en vue de la détermination de l'influence de l'humidité du sol sur les résistances opposées à la charrue draineuse ont été effectués avec six terres cohésives différentes mais de nature identique et en maintenant constants la vitesse d'avancement et la profondeur de travail, mais en variant le taux d'humidité. Les résultats de ces essais ont été représentés également par des diagrammes. Les courbes obtenues permettent de reconnaître une loi analogue à celle trouvée par Zielenin c'est-à-dire que la résistance opposée à la charrue baisse sur tous les sols cohésifs quand l'humidité du sol augmente.

Wladyslaw Bala: "La influencia del terreno y de la humedad sobre las resistencias al arado zanjador — Resultados de una investigación."

El autor ha hecho investigaciones sobre la influencia que ejerce la clase de terreno y la humedad sobre las resistencias al arado zanjador.

Para investigar estas interdependencias se midió el esfuerzo de tracción en el gancho del tractor de tal forma que la clase de terreno fuera el factor variable y la humedad del suelo, la velocidad de marcha y la profundidad de la zanja valores constantes. Los resultados de estas pruebas se recogieron en diagramas.

Fundándose en el análisis de estos diagramas, el autor hace notar que las resistencias aumentan con el contenido cre-

ciente de arcilla y de partículas de polvo, teniendo esta curva ascendente caracter constante, parecido a una parábola. Sin embargo el autor observa que las pruebas y los diagramas se hicieron con tierra no-ferruginosa y no-caliza y que dichas sustancias podrían dar lugar a cambios fundamentales de las condiciones mecánicas del terreno.

Las pruebas, en cuanto a la dependencia de la resistencia del arado de la humedad del suelo, se hicieron con seis clases de tierra de fuerza de solidificación distinta, siendo la clase de terreno, la velocidad de marcha y la profundidad del surco valores constantes y la humedad del terreno variable.

Los resultados de estas pruebas se recogieron también en diagramas. Las curvas acusan cierta conformidad con las que dió la investigación de silenios, e. d. que en todos los terrenos de solidificación crecida baja la resistencia al arado

Fred W. Bakker-Arkema und William G. Bickert:

Theoretische Untersuchung über das konvektive Trocknen von Futterbriketts

Agricultural Engineering Department, Michigan State University, East Lansing, Michigan/USA

Einleitung

Das Heu bleibt eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Erntegüter und nimmt in den Vereinigten Staaten von Amerika flächen- und wertmäßig in der Reihe der landwirtschaftlichen Früchte die zweite Stelle ein (USDA Statistics, 1964). Obwohl der größte Prozentsatz des Heues in Ballen gepreßt wird, wächst das Interesse an der Brikettierung sehr schnell [1], und die meisten großen Landmaschinenfirmen in den USA sind mit der Entwicklung von Brikettiermaschinen beschäftigt [2].

Bei dem Brikettierverfahren wird das Heu in kleine Körper hoher Dichte zusammengepreßt. Form, Größe und Dichte der einzelnen Briketts unterscheiden sich entsprechend der Ausführung der Brikettier-Maschine. Im Vergleich zu anderen Heuerntemethoden liegt der Hauptvorteil des Brikettierens in dem relativ niedrigen Arbeitsbedarf dieses Verfahrens. Da die Briketts mit Schnecken, Förderbändern und anderen Transporteinrichtungen gefördert werden können, lassen sich Heuernte und Fütterung vollkommen mechanisieren. Weitere Vorteile sind die hohe Dichte und der Nährwert des Produktes. MATTHIES [3] und ROSS [4] haben ausführlich die Vorteile des Brikettierens gegenüber den konventionellen Methoden der Heuernte herausgestellt.

Vor der Lagerung müssen die Briketts getrocknet werden; der maximale Feuchtigkeitsgehalt von langem Heu beträgt für sichere Lagerung ungefähr 17 %, bezogen auf das

Naßgewicht [5]. Jedoch muß der Feuchtigkeitsgehalt der Briketts auf 12 bis 13 % reduziert werden, um ein Schimmeln nach drei oder vier Wochen Lagerung zu verhindern [6]. Es ist nicht klar, warum langes Heu und Briketts bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten zu schimmeln beginnen; jedoch scheint die mechanische Beanspruchung durch den Preßvorgang das Sorptionsverhalten des Futters zu ändern und zu einer Verschiebung der Sorptionsisotherme zu führen.

Die Notwendigkeit, Heubriketts zu trocknen, wird in naher Zukunft eine größere Bedeutung wegen der Entwicklung von Brikettiermaschinen gewinnen, welche Futter mit einem Anfangsfeuchtigkeitsgehalt von über 50 %, bezogen auf Naßgewicht, verarbeiten können [7]. Da in der Literatur keine genauen Angaben über die Voraussage des Trocknungsverhaltens von Futterbriketts zur Verfügung standen, wurde eine Untersuchung verschiedener Variabler, welche die konvektiven Trocknungsgeschwindigkeiten einzelner Futterbriketts beeinflussen, begonnen.

1. Versuche

1.1. Futterbriketts

Die in dieser Untersuchung verwendeten Futterbriketts wurden mit einer Versuchs-Brikettiermaschine hergestellt. Eine Ansicht der horizontalen Preßkanäle ist in Bild 1 gezeigt; die Gesamtanordnung wurde von LUNDELL und HULL [8] sowie von SCHOEDDER und BUSSE [9] beschrieben.

Der Querschnitt eines Preßkanals ohne Druckaufbringung auf die bewegliche Kanalwand beträgt $6,0 \times 6,5$ cm. Die auf das Trockengewicht bezogene Dichte der Briketts variiert von 0,25 bis $1,00 \text{ g/cm}^3$.

Briketts mit einer Dichte unter $0,4 \text{ g/cm}^3$ wurden wegen ihrer ungleichmäßigen Struktur nicht verwendet.

Die Briketts wurden aus einer gehäckselten Alfalfa-Gras-Mischung (92 % Alfalfa, 8 % Gras) mit einem Ausgangsfeuchtigkeitsgehalt von 18 %, bezogen auf das Trockengewicht, hergestellt. Die mittlere Länge des Häckselgutes betrug 4 cm. Der Feuchtigkeitsgehalt der Briketts wurde auf 20 bis 45 % erhöht, indem Wasser dem Futter kurz vor der Einführung in die Preßkanäle zugeführt wurde. Die mittlere Futteranalyse der Briketts, bezogen auf Trockengut, ergab 16,5 % Protein, 25,52 % Rohfaser, 1,45 % Ätherextrakt, 6,75 % Asche und 49,78 % N-freie Extrakte.

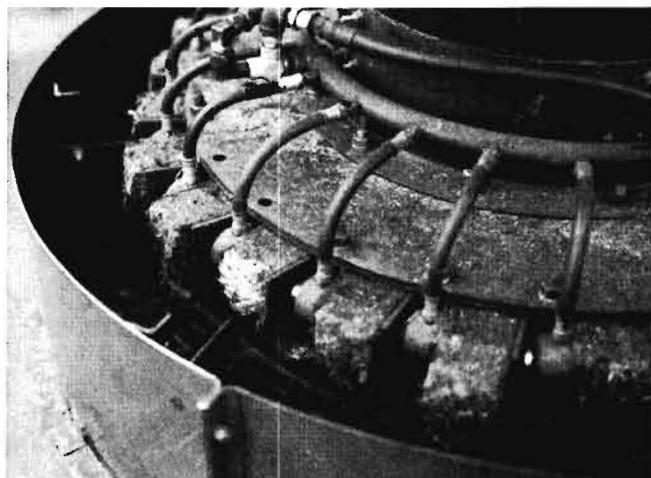


Bild 1: Ansicht der Preßkanäle

*) Approved as journal article No. XXX of the Michigan Agricultural Experiment Station, Michigan State University, East Lansing, Michigan/USA