

Ein Gerät zur Darstellung des resultierenden Bodenwiderstands an Pflugkörpern

1. Einführung

Bei der Pflugarbeit setzt der Boden dem Pflugkörper je nach der Art und dem Zustand des Bodens und des Werkzeuges einen Widerstand entgegen, der sich aus Schnitt-, Hub-, Reib-, Deformations- und Beschleunigungswiderständen zusammensetzt. Man bezeichnet diesen Widerstand als den resultierenden Bodenwiderstand des Pflugkörpers. Die Größe, den Angriffspunkt und die Lage der Wirkungslinie dieses Widerstands benötigt der Konstrukteur für die Gestaltung einer festigkeits- und funktionsgerechten Konstruktion. Bei Einzel- und Vergleichsuntersuchungen der Pflugarbeit kann für die energetische Beurteilung der resultierende Bodenwiderstand als objektiver Maßstab herangezogen werden.

Die Messung des resultierenden Bodenwiderstands bereitet heute keine besonderen Schwierigkeiten mehr, obwohl seine oben genannten Komponenten räumlich und flächenhaft verteilt am Pflugkörper angreifen und im allgemeinen auch nicht zu einer Resultierenden zusammenfaßbar sind. Mittels einer Sechskomponenten-Meßeinrichtung läßt sich die Wirkung eines solchen räumlichen Kräftesystems ohne weiteres ermitteln.

Eine derartige Meßeinrichtung (Bild 1) besteht im Prinzip aus einem mit dem zu untersuchenden Objekt fest verbundenen Meßrahmen *a*, der sich über sechs Geber *b* auf den Geräterahmen *c* abstützt. Von den Gebern, die sowohl auf mechanischer als auch auf hydraulischer oder elektrischer Grundlage arbeiten können, führt ein geeignetes Leitungssystem zum Registriergerät der Meßeinrichtung.

Jede Aktionsänderung am in Untersuchung stehenden Objekt wird von den Gebern aufgenommen, als Reaktionsänderung abgegeben, der Registriereinrichtung zugeführt und dort fixiert.

2. Die Darstellung des resultierenden Bodenwiderstands

Weit schwieriger als die Messung des resultierenden Bodenwiderstands ist dessen Darstellung aus den Meßergebnissen. Da die Sechskomponenten-Meßeinrichtung als Brutto-Meßeinrichtung arbeitet, also die Teilreaktionen der einzelnen Widerstandskomponenten in den Gebern zu Resultierenden zusammenfaßt, ist die Rückführung der Meßergebnisse auf den wahren Beanspruchungszustand nicht mehr möglich. Damit bleibt lediglich die Möglichkeit offen, den resultierenden Bodenwiderstand als ein Äquivalent seiner Komponenten darzustellen. Nach den Gesetzen der Mechanik gibt es für das räumliche Kräftesystem [1] folgende äquivalente Darstellungen:

- a) Zurückführung des räumlichen Kräftesystems auf eine Einzelkraft und ein resultierendes Moment durch einen beliebig vorgegebenen Punkt, z. B. der Scharspitze des Pflugkörpers (Bild 2a).
- b) Zurückführung des räumlichen Kräftesystems auf zwei sich kreuzende Einzelkräfte, die man als Kraftkreuz bezeichnet (Bild 2b).

*) Institut für Landmaschinentechnik der TH Dresden (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. GRUNER).

c) Zurückführung des räumlichen Kräftesystems auf eine Einzelkraft und ein resultierendes Restmoment, deren Wirkungslinien auf ein und derselben Gerade liegen, also eine Zentralachse bilden (Bild 2c). Diese Äquivalentdarstellung wird als Kraftschraube bezeichnet.

Von den drei genannten äquivalenten Darstellungen ist die Kraftschraube am anschaulichsten, da sie der gefühlsmäßigen Vorstellung am nächsten kommt. Ihre Ermittlung ist aber um so schwieriger, weil außer ihrer Größe und der Lage der Zentralachse auch die Lage ihres Durchstoßpunktes in der Arbeitsfläche des Pflugkörpers ermittelt werden muß. Die letztgenannte Operation ist um so komplizierter und zeitaufwendiger, je verwickelter die Geometrie des Pflugkörpers ist.

Stellt man Aufwand und Nutzen gegenüber, dann ist unter diesen Bedingungen die Anwendung dieses Darstellungsvorfahrens in Frage gestellt. Um jedoch auf diese Darstellungsweise – insbesondere auf dem Gebiet der Lehre – nicht verzichten zu müssen, wurde vom Institut nach der Idee des Verfassers ein Gerät entwickelt, das einerseits in sinnfälliger Weise die Kraftschraube materiell darstellt und damit die Anschaulichkeit des Verfahrens noch weiter erhöht und zum anderen ohne jeglichen Rechenaufwand den Durchstoßpunkt in der Arbeitsfläche des Pflugkörpers ermittelt.

Bild 3 zeigt dieses Gerät im eingestellten Zustand an einem Pflugkörper des dreifurchigen Schlepper-Anhängepfluges DZ 30, der als Meßpflugkörper am Sechskomponenten-Meßpflug des Instituts arbeitet. Weil das Wirkungsprinzip dieses Gerätes auf der Vektoranalysis beruht, erhielt das Gerät den Namen „Vektoriator“.

3. Das Wirkungsprinzip des Vektoriators

Wie aus Bild 3 zu ersehen ist, besteht das Gerät aus einer Grundplatte, die am zu untersuchenden Pflugkörper befestigt wird, und aus dem funktionellen Teil, der sich über ein Stützsegment auf die Grundplatte abstützt. Der funktionelle Teil, bestehend aus drei miteinander verbundenen Stäben, übernimmt die materielle Darstellung der Kraftschraube. Da der Endstab, der die Kraftschraube verkörpert, in Richtung seiner Längsachse frei verschiebbar ist, bereitet die Ermittlung des Durchstoßpunktes – im Bild durch einen Kreis gekennzeichnet – keinerlei Schwierigkeiten mehr.

Das Wirkungsprinzip des Vektoriators besteht im Überführen einer Einzelkraft und eines resultierenden Momentes in eine Kraftschraube. Die Wirkungsweise im einzelnen läßt sich am besten mit Hilfe der vektoriellen Kraftschraubenermittlung, die ebenfalls von einer Einzelkraft und einem resultierenden Moment ausgeht, erklären. Ausgangspunkt für diese Ermittlung ist das in einem kartesischen Koordinatensystem eingeordnete, eingangs behandelte Meßsystem (Bild 1). Es ist zweckmäßig, diese Zuordnung so vorzunehmen, daß der Koordinatenursprung in der Nähe der Scharspitze liegt, und die $X-Y$ -Ebene zur waagerechten Richtebene¹⁾ und die $X-Z$

¹⁾ Bezeichnung_nach DIN 11118.

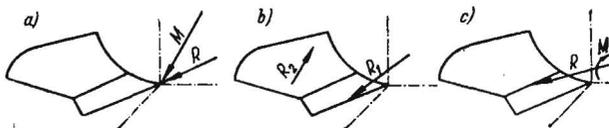


Bild 2 (oben). Äquivalentdarstellungen des resultierenden Bodenwiderstands a Einzelkraft R und resultierendes Moment M durch einen beliebigen Punkt, b Kraftkreuz, c Kraftschraube

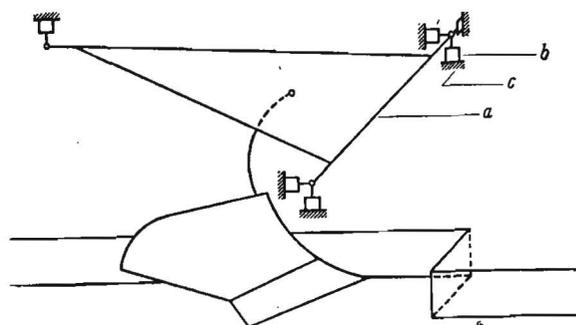


Bild 1 (links). Wirkungsprinzip einer Sechskomponenten-Meßeinrichtung a Meßrahmen mit Pflugkörper, b Geber, c Geräterahmen

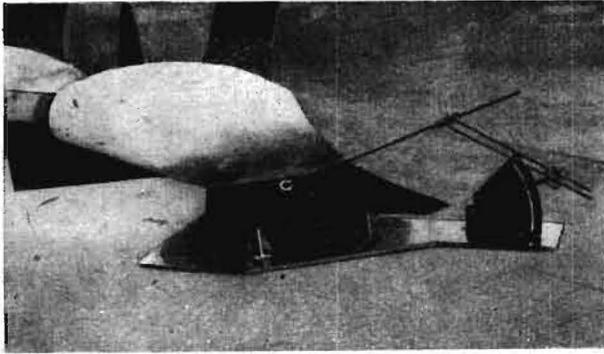
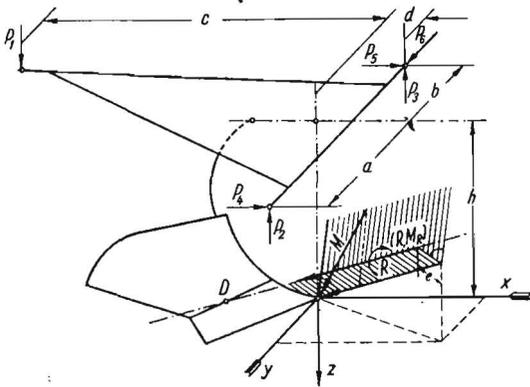


Bild 3. Vektoriator im eingestellten Zustand am Pflugkörper des Meßpfluges. Der Durchstoßpunkt der Kraftschraube durch die Arbeitsfläche des Pflugkörpers ist weiß umrandet

Bild 5. Zeichnerische Erläuterung zur mathematischen Ermittlung der Kraftschraube aus einer Einzelkraft und einem resultierenden Moment mit gemeinsamem Angriffspunkt

Bild 4. Einzelkraft R und resultierendes Moment M als Äquivalent des räumlichen Kräftesystems an der Sechskomponenten-Meßeinrichtung. Überführung des Äquivalents in eine Kraftschraube



Ebene zur senkrechten Richtebene des Pflugkörpers parallel verläuft (Bild 4).

Aus dem Kräfte- und Momentengleichgewicht für den Koordinatenursprung erhält man die resultierende Kraft \bar{R}^2 und das resultierende Moment \bar{M} , die beide zusammen das gesuchte Ausgangs-äquivalent des resultierenden Bodenwiderstands darstellen.

Für den Fall, daß die Wirkungslinien der Geber und auch die Fluchtlinien zwischen den Gebern (in Bild 4 sind an Stelle der Geber die in ihnen hervorgerufenen Reaktionskräfte eingezeichnet) parallel zu den Koordinatenachsen des Bezugssystems liegen, lautet das Kräftegleichgewicht:

$$R_x = P_4 + P_5, \quad (1)$$

$$R_y = P_6, \quad (2)$$

$$R_z = P_2 + P_3 - P_1. \quad (3)$$

Die resultierende Kraft \bar{R} in Vektorschreibweise ergibt sich aus

$$\bar{R} = R_x i + R_y j + R_z k. \quad (4)$$

Den Betrag der resultierenden Kraft erhält man durch geometrische Addition ihrer Komponenten

$$|\bar{R}| = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}. \quad (5)$$

Das Momentengleichgewicht ist durch folgende Gleichungen gekennzeichnet:

$$M_x = P_6 h - P_2 a - (P_1 - P_3) b, \quad (6)$$

$$M_y = P_1 c - (P_2 + P_3) d - (P_4 + P_5) h, \quad (7)$$

$$M_z = P_4 a - P_5 b + P_6 d. \quad (8)$$

Das resultierende Moment \bar{M} in Vektorschreibweise ergibt sich aus

$$\bar{M} = M_x i + M_y j + M_z k. \quad (9)$$

¹⁾ Der Querstrich kennzeichnet die überstrichene Größe als Vektor.

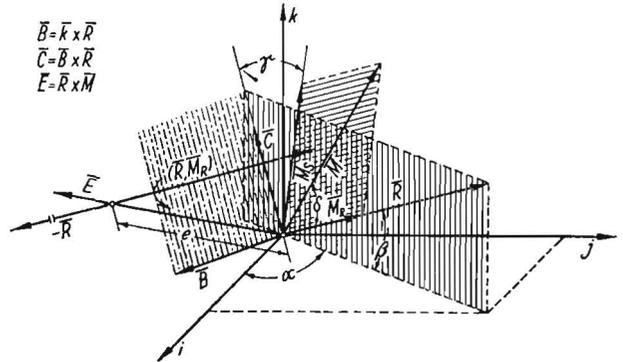
Den Betrag des resultierenden Moments erhält man wiederum durch geometrische Addition seiner Komponenten

$$|\bar{M}| = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}. \quad (10)$$

Nunmehr erfolgt die Überführung dieses Äquivalents in die gesuchte Kraftschraube. Zu diesem Zweck wird das resultierende Moment \bar{M} in zwei Orthogonalkomponenten \bar{M}_S und \bar{M}_R derart zerlegt, daß \bar{R} mit \bar{M}_R die gesuchte Kraftschraube (\bar{R} , \bar{M}_R) bildet.

Den für diese Zerlegung erforderlichen Winkel δ erhält man aus dem skalaren Produkt²⁾ von \bar{R} und \bar{M} .

$$\delta = \arccos \frac{\bar{R} \cdot \bar{M}}{|\bar{R}| |\bar{M}|}. \quad (11)$$



Die Gleichungen der Orthogonalkomponenten lauten dann:

$$\bar{M}_S = \bar{M} \sin \delta, \quad (12)$$

$$\bar{M}_R = \bar{M} \cos \delta. \quad (13)$$

Die nächste Operation besteht aus einem Kunstgriff, durch den die Momentenkomponente \bar{M}_S kompensiert und die endgültige Lage der Kraftschraube festgelegt wird.

Senkrecht zur Momentenebene wird die Kraftschraube so weit um den Betrag e parallel zu sich selbst verschoben, bis das dadurch hervorgerufene Kraftmoment der Kraft \bar{R} das Teilmoment \bar{M}_S kompensiert. Diese Lage stellt die endgültige Lage der Kraftschraube dar. Ihre verlängerte Zentralachse durchstoßt im Punkt „D“ die Arbeitsfläche des Pflugkörpers. Den Betrag e erhält man aus der Beziehung des Kraftmomentes

$$e = \frac{|\bar{M}_S|}{|\bar{R}|}. \quad (14)$$

An diese Operation anschließend müßte nun die Ermittlung des Durchstoßpunktes vorgenommen werden. Da aber diese Operation vom Vektoriator ohne jeglichen Rechenaufwand durchgeführt wird, können wir darauf verzichten.

Zur Erklärung der Wirkungsweise des Vektoriators genügen die bisherigen Ausführungen. Vergleicht man diesbezüglich Bild 4 mit Bild 3, dann erkennt man, daß durch den funktionellen Teil des Vektoriators der Vektorenzug $\bar{R} - e - (\bar{R}, \bar{M}_R)$ materiell dargestellt wird. Die erforderliche Linienflüchtigkeit des Vektors (\bar{R}, \bar{M}_R), die die Ermittlung des Durchstoßpunktes ohne zusätzliche Rechenarbeit ermöglicht, wurde durch das Führungselement, das den zweiten mit dem dritten Stab verbindet, gewährleistet.

4. Die Handhabung des Vektoriators

Für die Darstellung der Kraftschraube durch den Vektoriator (Bild 5) benötigt man lediglich

- die Richtung der resultierenden Kraft \bar{R} , die durch die Raumwinkel α und β eindeutig festgelegt ist,
- die Neigung der $\bar{M}-\bar{R}$ -Ebene zur Vertikalebene der Kraft \bar{R} , die durch den Winkel γ eindeutig festgelegt ist, und
- den Abstand e , der aus Gleichung (14) ermittelt wird.

Der Winkel α wird auf der Grundplatte, der Winkel β am Stützsegment und der Winkel γ an der Kreisscheibe zwischen dem ersten und zweiten Stab eingestellt. Die Größe der Winkel erhält man aus folgenden Beziehungen:

²⁾ Näheres: Hütte I, 28. Aufl., S. 112.

$$\alpha = \arctan \frac{R_y}{R_x}, \quad (15)$$

$$\beta = \arctan \frac{R_z}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}, \quad (16)$$

$$\gamma = \arccos \frac{\overline{M_S} \overline{C}}{|\overline{M_S}| |\overline{C}|} \quad (17)$$

Der Drehsinn des Winkels γ , bezogen auf die Vertikalebene des Vektors \overline{R} , verläuft im Uhrzeigersinn, wenn die Beziehung

$$R_x M_y - R_y M_x > 0 \quad (18)$$

*) Der Hilfsvektor \overline{C} geht aus dem Vektorprodukt der Vektoren \overline{B} und \overline{R} hervor, wobei \overline{B} das Vektorprodukt aus \overline{R} und \overline{k} darstellt. Näheres: Hütte I 28. Aufl., S. 113.

*) Die linke Seite der Gleichung stellt die Z-Komponente des Vektors \overline{E} dar, der aus dem Vektorprodukt der Vektoren \overline{R} und \overline{M} hervorgeht.

erfüllt ist. Andernfalls erfolgt die Einstellung des Winkels entgegengesetzt zum Drehsinn des Uhrzeigers.

5. Schlußbetrachtungen

Der Einsatzbereich des hier beschriebenen Vektoriators ist keineswegs nur auf die Darstellung des resultierenden Bodenwiderstands in Form einer Kraftschraube am Pflugkörper beschränkt. Im Gegenteil, überall dort, wo die Darstellung eines räumlichen Kräftesystems durch eine Kraftschraube als zweckmäßig betrachtet wird, kann das Gerät eingesetzt werden. Insbesondere sei auf den Einsatz bei energetischen Häufelkörper- und Grubberzinkenuntersuchungen verwiesen.

Literatur

[1] FÖPPL, L.: Mechanik starrer Körper. Hütte I, 28. Aufl., Seite 641 u. f. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1955.

A 3212

Dipl.-Ing. K. HEESE und Dipl.-Ing. H. SCHINKE, Potsdam-Bornim*)

Maschinen zum Verteilen des Grabenaushubs und ihre Entwicklungsmöglichkeit

Nachfolgender Aufsatz gibt eine Übersicht über die Entwicklung der maschinellen Aushubverteilung an mit Grabenpflügen gezogenen Binnenentwässerungsgräben bis Ende des Jahres 1957. Die von den MTS entwickelten Verfahren der einseitigen und beidseitigen Aushubverteilung werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen und aus dem Vergleich Erkenntnisse gewonnen, die für die weitere Arbeit auf diesem Gebiet von Interesse sind. Schließlich werden für verschiedene Maschinen, deren schnelle Entwicklung vom Standpunkt der technischen Gegebenheiten aus zweckmäßig erscheint, die theoretischen Einsatzkosten vorausgerechnet. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Entwicklung von Aushubverteilermaschinen so zu lenken, daß neben dem technischen ein größtmöglicher ökonomischer Nutzen entsteht.

1 Stand der Mechanisierung der Herstellungs- und Räumungsarbeiten von Binnenentwässerungsgräben

Während für die Räumung von Hauptgräben gegenwärtig außer einer Anzahl der im Graben laufenden „York“-Geräte von RITSCHER (DBR) noch keine kontinuierlich arbeitenden Maschinen weiter zur Verfügung stehen, wird die Grundräumung der Beetgräben heute hauptsächlich mit der Grabenräumschnecke „Archimedes“ ausgeführt. Für das Bearbeiten der Grüppchen eignet sich die in unserer Republik mehrfach vorhandene Wittenburg-Grabenfräse GF 4 (DBR), obwohl für deren Einsatz oftmals ein leistungsfähigerer Schlepper als der RS 14/30 erwünscht wäre.

Zum Herstellen und Räumen von Beetgräben führten sich in den letzten Jahren aus Mangel an anderen Geräten Grabenpflüge ein, die unkompliziert in ihrem Aufbau und einfach herzustellen sind, so daß sie mit den Mitteln der MTS zu fertigen waren. Ihr umfassender Einsatz hat vielerorts die Wasserverhältnisse auf Acker-, Wiesen- und Weideflächen schnell verbessert.

Das Abführen des überschüssigen Bodenwassers durch Einsatz des Grabenpfluges brachte jedoch ein neues Problem mit sich, das einer schnellen technischen Lösung bedarf: das Ausbreiten des auf den Grabenrändern abgelegten Aushubs. Die an den Gräben lagernden Erdmassen stellen ein Hindernis für den Abfluß des Oberflächenwassers in den Graben dar, zudem verdichten sie durch ihr Gewicht die Grabenränder und hemmen dadurch den Abfluß des überschüssigen Bodenwassers in den Graben. Nicht zuletzt ist noch der große Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche zu nennen, der etwa das Drei- bis Vierfache des Verlustes beträgt, der durch den Graben selbst entsteht.

Diese Tatsachen unterstreichen die dringende Notwendigkeit, den Grabenaushub zu beseitigen. Ein ständiger Einsatz des Grabenpfluges ohne Aushubverteilung ist also nicht vertretbar, obwohl in der Vergangenheit hunderte von Kilometern Gräben in dieser Weise gezogen werden mußten. Für das Ausbreiten des Grabenaushubs in Handarbeit stehen der Landwirtschaft aber kaum noch Arbeitskräfte zur Verfügung, zudem ist diese Arbeit sehr kostspielig. Angesichts dieser Situation konzentriert sich jetzt das Streben aller interessierten Stellen auf die Entwicklung von Maschinen und Geräten, mit denen sich der Aushub mechanisch verteilen läßt.

*) Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin (Direktor: Prof. Dr. S. ROSEGER).

Die Landwirtschaft stellt an die Qualität der Aushubverteilung hohe Ansprüche. Der ausgebobene Boden (Bild 1) soll in möglichst gleichmäßiger, dünner Schicht ausgebreitet werden, so daß die damit bedeckten Pflanzen bei Wachstumsbeginn den Erdschleier schnell durchstoßen und sich normal entwickeln können.

Die Initiative, durch Schaffung einer geeigneten Technik die Aushubverteilung zu mechanisieren, ging von den MTS aus. Vor allem die MTS Protzen (Bez. Potsdam) und Holzendorf (Bez. Schwerin) haben dabei entscheidende Arbeit geleistet. Sie konzentrierten sich von vornherein auf rotierende propellerartige Arbeitsorgane, die



Bild 1. In Handarbeit ausgeführtes Verteilen des Grabenaushubs

den Aushubwall quer zerschneiden und gleichzeitig nach einer Seite breitgeschleudern. Bis dahin war es weniger gebräuchlich, den Aushub in dieser Art zu verteilen. Die Wittenburg-Grabenfräse z. B. arbeitet das Grabenprofil mit Hilfe in Längsrichtung rotierender Frässhelices aus, wobei der Aushub sofort breitgeschleudert wird (Bild 2).

In den Niederlanden wird für das Herstellen von Beetgräben neben Grabenpflügen eine Fräsmaschine eingesetzt, deren Fräsräder am Heck des Schleppers rechtwinklig zur Achse des herzustellenden