

teórica y a la confección de tablas para las distancias necesarias entre los ovillos en la siembra de semilla monogermen. En este esqueleto de valores matemáticamente calculados se pueden intercalar también los valores límite, hallados de forma empírica para el brote en el campo, cuando las condiciones del suelo o las del tiempo sean desfavorables, resultando de ello las deducciones siguientes: Aceptando que la siembra de una semilla monogermen a distancias inferiores a 3 cm no tiene objeto, resulta que la siembra de semillas monogermen de elevada capacidad de germinación es posible en casi

toda clase de terrenos. En cambio queda limitada a terrenos especialmente buenos, siendo la capacidad de germinación de la semilla reducida.

El empleo de semillas monogermen en terreno desfavorable sólo es posible, aumentando la capacidad de germinación de la semilla, pero no, aumentando el índice medio de germinación, ya que esto mejoraría el brote en el campo solamente de manera insignificante. La capacidad de germinación de la semilla podría aumentar, si se llegase a criar una semilla exclusivamente monogermen.

Ernst Mewes:

Zusammensetzung der Kräfte an Schlepperpflügen

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Kenntnisse über die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug sind erforderlich, um die Beeinflussung des Schleppers zu erfahren und auch die Regelung der Pfluglagen beurteilen zu können. SKALWEIT [1—4] hat gezeigt, wie aus den Kraftwirkungen am Pflugkörper die Stützkkräfte am Pflug und die Kraftwirkungen auf den Schlepper nach den Gesetzmäßigkeiten der Statik ermittelt werden können. Im folgenden wird nun gezeigt, wie die Kraftwirkungen der Pflüge, wovon eine Reihe Angaben von GETZLAFF [5—12] veröffentlicht worden sind, ermittelt werden konnten. Auch zur Frage der Bestimmung der Kraftübertragungen auf den Schlepper werden danach Beiträge geliefert.

Für die Darstellung der räumlichen Kräftewirkung der Bodenkkräfte am Pflugkörper gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie aus der räumlichen Statik bekannt ist. Eine sinngemäße Darstellung erfolgt durch die Kraftschraube [13]. Für praktischen Gebrauch ist mitunter die Verwendung von rechtwinkligen Kraftkreuzen von Vorteil [14]. Hier wird im Zusammenhang mit Beispielen der Durchrechnung der Aufhängemechanismen für Schlepperpflüge gezeigt, daß die in USA eingeführte Darstellung mit einer resultierenden Kraft und dazu einem Kräftepaar, das nur ein Moment um die Längsachse aufweist, gut gebraucht werden kann. Dabei wird zunächst auf die Auswertung von Sechskomponentenmessungen und die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Darstellungsarten (sechs Komponenten, Kraftschraube, Kraftkreuze und Kraft zuzüglich Moment um Hauptachse) eingegangen. Die Hauptsache ist im Gegensatz zur Zentralachse nicht durch die jeweilige Kräftegruppe bedingt, sondern wird auf Grund der Konstruktionen festgelegt.

Ermittlung der Kräfte an Pflugkörpern mit Sechskomponentenmessungen

Wenn brauchbare Meßergebnisse für die Kräfte an einem Pflugkörper gewonnen werden sollen, muß zunächst dafür gesorgt werden, daß der Pflugkörper bei wiederkehrenden Versuchen in gleichbleibender Weise geführt wird. Um den auftretenden Streubereich zu erfassen, mußte damit gerechnet werden, daß eine große Anzahl von Versuchen in möglichst gleicher Weise durchzuführen und statistisch auszuwerten war. Bei den auf Veranlassung von Prof. Dr. agr. h. c. Dr.-Ing. habil. W. KLOTH durchgeführten Untersuchungen des Instituts für Landtechnische Grundlagenforschung über die Kräfte an Pflugkörpern wurden Versuche in Bodenrinnen wegen Bedenken gegen die Übertragbarkeit ausgeschlossen und nur Versuche mit Original-Pflugkörpern in natürlich gelagerten Böden vorgesehen. Um mit erträglichem Aufwand die große Zahl der erforderlichen Untersuchungen durchführen zu können, wurde der Versuchskörper — wie bereits in [5] geschildert — in einen Rahmenanhängepflug eingebaut,

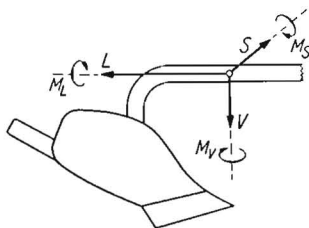


Bild 1: Perspektivische Darstellung mit Richtungsangaben für die Komponenten der Kräfteinwirkungen vom Boden. L = Längskraft, S = Seitenkraft, V = Vertikalkraft. M_L , M_S , M_V sind Momente um bestimmte entsprechend gerichtete Achsen. Dabei zählen Rechtsschraubungen als positiv. Die Pfeile geben die positiv rechnenden Richtungen an

der bei der Arbeit verhältnismäßig geringe Ungleichmäßigkeiten (z. B. hinsichtlich des Tiefganges) zeigt.

Für vollständige Kraftfeststellungen am Pflug sind sechs Komponenten zu ermitteln, zum Beispiel die Kräfte in Längs-, Vertikal- und Seitenrichtung und die Momente um eine Längs-, eine Vertikal- und eine Seitenachse (Bild 1). Der Pflugkörper mußte daher in geeigneter Weise über mindestens sechs Meßwerkzeuge mit dem Pfluggestell verbunden werden. Bei den bisher bekannt gewordenen Sechskomponentenmeßpflügen wurden die Kraftwirkungen über sechs Kraftmeßdosen, die für statisch bestimmte Lagerung verteilt liegen, auf das Gestell übertragen.

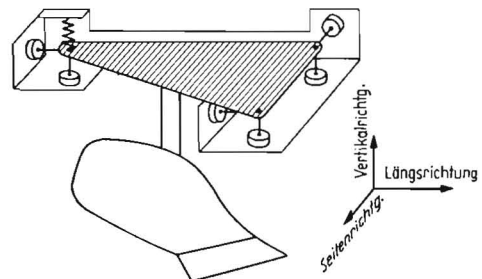


Bild 2

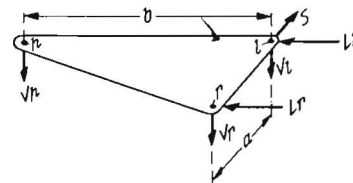


Bild 3

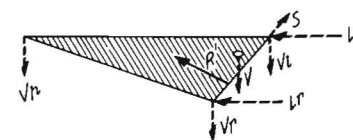


Bild 4

Bild 2: Sechskomponentenmeßgerät für Pflugkörper, entwickelt etwa 1925 im Institut für Landmaschinen der TH München. Ein horizontal liegender Meßrahmen ist in 6 hydraulischen Meßdosen gegenüber dem festen Rahmen abgestützt

Bild 3: Schema eines Sechskomponentenmeßgeräts des Instituts für Landmaschinen der TH München mit den von Meßdosen auf den umgebenden Pflugrahmen übertragenen 6 Kräften L_r , L_s , S , V_r , V_s , V_h . (Gezeichnet sind also nicht die Reaktionen des Pflugrahmens auf den Meßrahmen. Sie verlaufen überall entgegengesetzt gerichtet.)

Bild 4: Zusammenfassung der Kräfte in der Meße Ebene S , L_r und L_s zu R und der auf der Meße Ebene senkrecht stehenden Kräfte V_r , V_s und V_h zu V . Da die Wirkungslinien von R und V im allgemeinen (wie hier gezeichnet) sich nicht im Raume schneiden, kann eine resultierende Kraft nicht dafür eingesetzt werden

Die ersten Geräte dieser Art (Bild 2) entstanden im Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule München unter Prof. Dr.-Ing. G. KÜHNE [15]. Prof. MARKS [16] erbaute und verwendete als erster ein solches Gerät für die Registrierung von sechs Komponenten an Pflugkörpern.

Zwischen Meßrahmen und festem Rahmen sind auch Vorspannfedern eingeschaltet, insbesondere bei V_h , der Vertikalkraftdose hinten (vgl. Bild 2 und 3), wo die Kraft Richtung beim Pflügen eine andere sein kann als beim Hängen im Ruhezustand. Auf den Meßrahmen werden folgende Kräftearten ausgeübt:

1. Gewichtskräfte vom Eigengewicht,
2. Federkräfte durch Vorspannfedern,
3. Bodenkkräfte durch das Werkzeug,
4. Reaktionskräfte von den Meßdosen.

Alle zusammen bilden ein Gleichgewichtssystem. Die Bewegungen des Meßrahmens gegenüber dem festen Rahmen, die infolge Ausschlags der Meßdosen auftreten, sind sehr klein. Damit ändern sich die Federkräfte nicht wesentlich. Für eine bestimmte Einstellung der schweren Teile und der Vorspannfedern wird zunächst ohne Bodenkkräfte an den Werkzeugen ein Nullschrieb für alle sechs Meßstellen gemacht. Die Unterschiede demgegenüber liefern (im wesentlichen) nur die vom Boden auf das Werkzeug ausgeübten Kräfte. Die gesamten Kraftänderungen bei den Reaktionskräften an den sechs Meßdosen müssen dann mit den Bodenkkräften im Gleichgewicht stehen. Das entgegengesetzte der Reaktionskräfte sind die Kräfte, die von dem Meßrahmen über die Meßdosen auf den festen Pflugrahmen ausgeübt werden. Die Kraftänderungen dieser Dosenkräfte, die in Bild 3f eingetragen sind, sind dann insgesamt statisch gleichwertig der Gesamtheit der Bodenkkräfte auf das Werkzeug. Welche Dosenkraftänderungen als positiv angesetzt und ausgewertet werden, ist aus den Pfeilrichtungen in den Bildern zu erkennen. Bei den Komponenten der resultierenden (Boden-)Kraft werden positiv gerechnet:

- L nach hinten,
- S nach links,
- V nach unten.

Die Momente werden positiv gerechnet, wenn sie bei Sicht längs der Achsen in positiver Richtung im Uhrzeigersinn drehen. Für die Meßpunkte am Rahmen und die Meßdosenunterscheidungen am Gerät nach Bild 3 werden die Kennzeichen verwendet:

- r = rechts,
- l = links (vorn),
- h = hinten (links).

Nach Bild 3 kann aus den Meßgrößen berechnet werden:

$$L = L_r + L_l, \quad (1)$$

$$V = V_r + V_l + V_h \quad (2)$$

und für die Momente um entsprechende Achsen durch Punkt r :

$$\left. \begin{aligned} M_{Lr} &= (V_l + V_h) a, \\ M_{Sr} &= -V_h b, \\ M_{Vr} &= -L_l a. \end{aligned} \right\} (3)$$

Zum Beispiel ist für eine Einzelmessung an einem rechtswendenden Pflug aus [15] entnommen worden: $L_r = 130$ kg; $L_l = 75$ kg; $S = 62$ kg; $V_r = 100$ kg; $V_l = 45$ kg; $V_h = -65$ kg bei $a = 0,6$ m; $b = 1,0$ m. Dann ist $L = 205$ kg; $V = 80$ kg; $M_L = -12$ kgm; $M_S = 65$ kgm; $M_V = -45$ kgm.

Sollen die Werte für entsprechende Achsen durch einen anderen Punkt P , der um z unter, x hinter und y links von r liegt, bestimmt werden (z. B. die Scharspitze), dann gelten die Umrechnungsformeln:

$$\left. \begin{aligned} M_{LP} &= M_L + Sz - Vy, \\ M_{SP} &= M_S + Vx - Lz, \\ M_{VP} &= M_V + Ly - Sx. \end{aligned} \right\} (4)$$

Zum Beispiel ist für $x = 0,15$ m; $y = 0,45$ m; $z = 0,45$ m:

$$\begin{aligned} M_{LP} &= -20 \text{ kgm}, \\ M_{SP} &= -15 \text{ kgm}, \\ M_{VP} &= 38 \text{ kgm}. \end{aligned}$$

Mit solchen Komponentendarstellungen allein hat man sich aber nicht begnügt. Es wurden zum Beispiel in [15—18] graphische Zusammenfassungen zu einer Kraft R' in der Horizontalebene und einer Kraft in Vertikalrichtung ausgeführt (Bild 4). Die

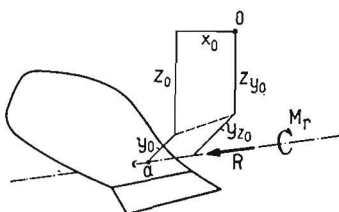


Bild 5: Die Kraftschraube als resultierende Kraftwirkung am Pflugkörper. Die Zentralachse der Kräftegruppe verläuft schräg im Raum in Richtung von R . Die Punkte auf derselben haben gegenüber einem Koordinatenanfangspunkt O die Koordinaten x_0, y_0, z_0 . Für den Punkt a des Bildes sind sie alle positiv

beiden Kräfte schneiden sich im allgemeinen nicht und lassen sich alsdann nicht zu einer Resultierenden allein zusammenfassen. Sie stellen vielmehr ein sogenanntes Kraftkreuz dar [16]. Wie die Statik der räumlichen Kräfte lehrt, sind noch viele andere Darstellungen für die gleiche Kräftegruppe bei statischer Gleichwertigkeit möglich. Eine relativ einfache und sinnvolle Darstellung (Bild 5) ist die durch die Kraftschraube, die außer einer resultierenden Kraft R in einer bestimmten Wirkungslinie, der sogenannten Zentralachse der räumlichen Kräftegruppe, noch ein im allgemeinen Restmoment M , genanntes Kräftepaar um diese Richtung enthält. Diese Darstellung wurde für die Kräfte am Pflug von v. PONCET [19] angewendet. Danach ist

$$R = \sqrt{L^2 + S^2 + V^2}, \quad (5)$$

$$M = \frac{M_L L + M_S S + M_V V}{R} = (M_L + M_S S/L + M_V V/L) / \sqrt{1 + (S/L)^2 + (V/L)^2}. \quad (6)$$

M , hat positives Vorzeichen, wenn es im Sinne einer Rechtschraube dreht, im umgekehrten Falle negatives Vorzeichen. Für alle Punkte der Zentralachse sind die Momente um die Längsrichtung M_{L_0} stets gleich, ebenso die um die Seitenrichtung M_{S_0} usw. Heißen die Koordinaten eines beliebigen Punktes a (Bild 5) der Zentralachse x_0, y_0, z_0 , dann ist entsprechend (4):

$$\left. \begin{aligned} M_{L_0} &= M_L + Sz_0 - Vy_0, \\ M_{S_0} &= M_S + Vx_0 - Lz_0, \\ M_{V_0} &= M_V + Ly_0 - Sx_0. \end{aligned} \right\} (7)$$

Es gilt

$$M_{L_0} : M_{S_0} : M_{V_0} = L : S : V. \quad (8)$$

Daraus können die Koordinaten der Zentralachse abgeleitet werden. Wenn die Koordinaten der Zentralachse

für $x_0 = 0$ heißen y_{z_0}, z_{y_0} , (Bild 5)

für $y_0 = 0$ heißen z_{x_0}, x_{z_0} und

für $z_0 = 0$ heißen x_{y_0}, y_{x_0} ,

wird erhalten

$$\left. \begin{aligned} Ly_{z_0} &= -Sx_{y_0} = [(M_L L + M_S S) V - M_V (L^2 + S^2)] / R^2, \\ Sz_{y_0} &= -Vy_{z_0} = [(M_S S + M_V V) L - M_L (S^2 + V^2)] / R^2, \\ Vx_{z_0} &= -Lz_{x_0} = [(M_V V + M_L L) S - M_S (V^2 + L^2)] / R^2. \end{aligned} \right\} (9)$$

Es ist dabei $R^2 = L^2 + S^2$. (10)

Entsprechend lassen sich bilden

$$R''^2 = L^2 + V^2 \quad (11)$$

beziehungsweise $R'''^2 = S^2 + V^2$. (12)

Für das Beispiel ist

$$\begin{aligned} y_0 &= -0,050 + 0,303 x_0, \\ z_0 &= 0,065 + 0,390 x_0. \end{aligned}$$

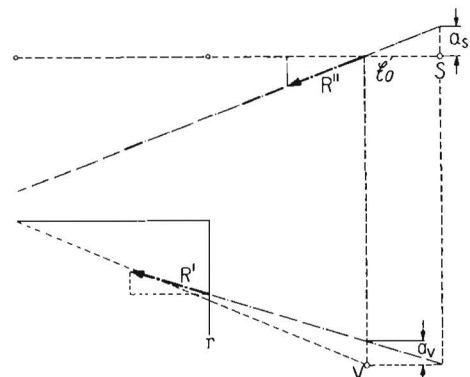


Bild 6: Rechtwinklige Kraftkreuze als Darstellungsmittel für die resultierende Wirkung räumlicher Kräftegruppen. Jedes der rechtwinkligen Kraftkreuze, im Grundriß R', V und im Aufriß R'', S , ist statisch gleichwertig mit der Kräftegruppe der Bodenkkräfte auf das Werkzeug

Andere Darstellungsarten der räumlichen Kräftegruppe bei statischer Gleichwertigkeit sind die durch rechtwinklige Kraftkreuze [14]. In Bild 6 ist in der unteren Hälfte im Grundriß die Darstellung von Bild 4 für das untersuchte Beispiel aufgetragen, gültig für die Meßebeene \mathcal{C}_0 (s. Aufriß). Wird dagegen L und V zusammengefaßt und S getrennt betrachtet, so erhält man für das Beispiel die Darstellung im Aufriß von Bild 6 mit R'' und S (letzteres in \mathcal{C}_0). Das (in Grundriß und Aufriß von Bild 6) sind zwei verschiedene, aber statisch gleichwertige rechtwinklige Kraftkreuze. Für die Zusammenhänge zwischen statisch

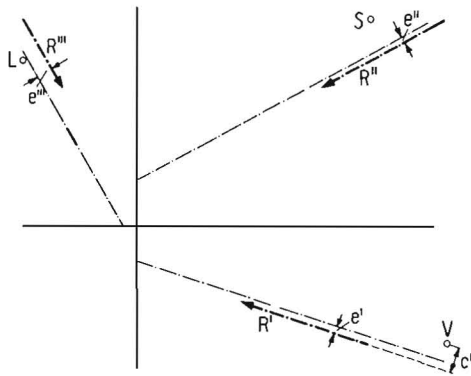


Bild 7: Zusammenhänge zwischen statisch gleichwertigen Darstellungen durch Kraftschraube oder durch rechtwinklige Kraftkreuze R', V oder R'', S oder R''', L . — — — Zentrallachse der Kräftegruppe

gleichwertigen rechtwinkligen Kraftkreuzen und der Kraftschraube gelten nach [14] die Gesetzmäßigkeiten mit den Bezeichnungen von Bild 7:

$$R = \sqrt{R'^2 + V^2}, \quad (13)$$

$$|M_r| = \frac{VR'c'}{R}, \quad (14)$$

$$e' = \frac{V^2}{R'^2} c' \quad (15)$$

und andererseits

$$\left. \begin{aligned} e' &= \frac{|M_r| V}{R R'}, \\ c' - e' &= \frac{|M_r| R'}{R V}, \quad c' = \frac{|M_r| R}{R' V}, \\ e'' &= \frac{|M_r| S}{R R''} \end{aligned} \right\} (16)$$

und so fort.

So ergibt sich aus

$L = 205 \text{ kg}$, $S = 62 \text{ kg}$ somit $R' = 214 \text{ kg}$, ferner $V = 80 \text{ kg}$ und $c' = 0,12 \text{ m}$ (Bild 6; weil V hierbei auf einer anderen Seite

von R' liegt als nach Bild 7, wird für M_r hier negatives Vorzeichen eingesetzt):

$$\begin{aligned} R &= 229 \text{ kg}, & M_r &= -9 \text{ kgm}, & e' &= 0,015 \text{ m}, \\ R'' &= 220 \text{ kg}, & & & e'' &= 0,011 \text{ m}, & c'' &= 0,15 \text{ m}, \\ R''' &= 101 \text{ kg}, & & & e''' &= 0,08 \text{ m}. \end{aligned}$$

Man sieht, daß e' und e'' nicht sehr groß werden, e''' aber in diesem Fall eine recht beträchtliche Abweichung der Wirkungslinie von R''' gegenüber der Zentrallachse angibt. Es muß dafür aber auch sicher sein, daß M_r so groß ist und nicht durch Ungenauigkeiten in den Messungen unbedeutende Werte von M_r in Frage kommen.

Wenn so mit verschiedenen Projektionen und den in sie fallenden Teilkräften (R', R'', R''') gearbeitet wird, werden die Lagen der senkrecht darauf stehenden Teilkräfte nicht mehr gebraucht, da sie keine Anteile für die Komponenten in den Projektionen und auch für alle Momente um Achsen senkrecht zu den Projektionsebenen liefern. Wenn in drei Projektionen die Wirkungslinien der in sie fallenden Teilkräfte R', R'' und R''' (wobei zwischen den drei Richtungen eine Beziehung besteht) und ihre Größen (wozu dann nur noch eine Komponente, zum Beispiel L , angegeben zu sein braucht) bekannt sind, wird für die statischen Untersuchungen die Zentrallachse nicht mehr gebraucht (s. u.).

Nun wird aber gefragt, ob für die weitere Behandlung nicht bestimmte Projektionen weniger wichtig sind als andere. Das kann man beim Pflug für die Querebene mit dem (aus der Zentrallachse im allgemeinen stärker herausfallenden, kleineren) R''' im Vergleich zu den anderen Projektionen R' und R'' behaupten. Das mit den Teilkräften R' und R'' noch nicht erfaßte Moment um die Längsachse wirkt sich zum Beispiel bei bestimmten Konstruktionen nur auf bestimmte Teile der Halterung aus (s. später). Daher kann noch die folgende Darstellung von Vorteil sein.

Nach dem Vorbild von CLYDE [17] wird eine Darstellung der räumlichen Kräftegruppe durch eine Kraft R und ein Moment um die Längsachse (= Hauptachse) M_{Lc} angewandt. Hierbei ist R nach Größe, Richtung und Lage die aus den Projektionen R' und R'' im Grund- und Aufriß von Bild 6 zu bildende Kraft.

Sie liegt für $M_r \neq 0$ ($M_{Lc} \neq 0$) nicht in der Zentrallachse. Ferner ist

$$M_{Lc} = V a_v = S a_s, \quad (17)$$

wobei a_v und a_s die in Bild 6 gekennzeichneten Strecken sind. Dieses Moment ist größer als das Restmoment M_r bei der Kraftschraube. Durch Vergleich von Bild 6 mit Bild 7 ergibt sich nämlich

$$M_{Lc} = V c' \frac{R'}{L}, \quad (18)$$

$$M_{Lc} = V c' \sqrt{1 + \left(\frac{S}{L}\right)^2}. \quad (19)$$

Dagegen ist nach [14]:

$$M_r = V c' \frac{R'}{R}. \quad (20)$$

Also ist das Verhältnis der Momente

$$\frac{M_{Lc}}{M_r} = \frac{R}{L}, \quad (21)$$

was immer größer als 1 ist.

Die räumliche Kräftegruppe am Pflugkörper wird ebenso wie mit dem System von Bild 2 zum Beispiel mit dem vom National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, entwickelten Meßgerät nach Bild 8 oder dem vom Institut für Landtechnische Grundlagenforschung benutzten Gerät nach den Bildern 9 und 10 erfaßt. Bei ersterem liegt die aus den drei „Meßpunkten“ gebildete Ebene ebenso wie bei den Vorgängern horizontal, jedoch mit praktisch symmetrischer Verteilung zu einer Längsachse. Bei letzterem ist die „Meßebene“ vertikal in Längsrichtung angeordnet. Verfasser hat diese Anordnung vorgeschlagen, damit bei der Untersuchung symmetrischer Bodenbearbeitungsgeräte (Hackgeräte usw.) für die Feststellung der Größe und Lage der Resultierenden dann nur drei Registrierungen herangezogen zu werden brauchen.

Bei den einzelnen Meßgrößen werden die Kräfte mit positiven Zahlenwerten angesetzt, wenn die Auslenkungen in den Regi-

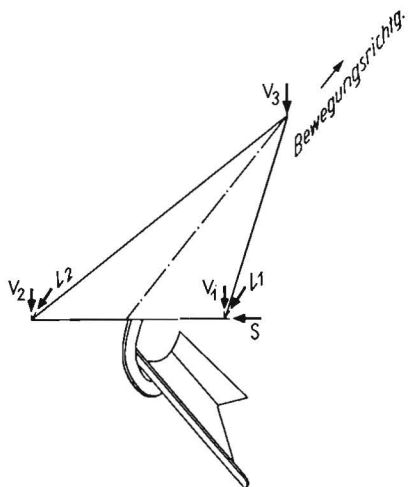


Bild 8

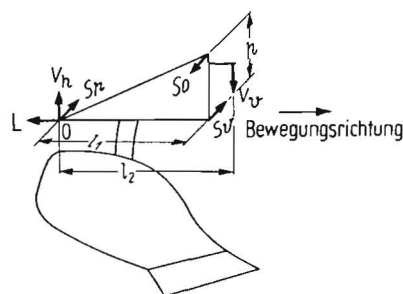


Bild 9

Bild 8: Sechskomponentenpflug des National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, England

Bild 9: Schema des Meßsystems am Sechskomponentenmeßgerät des Instituts für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

strierungen durch Druck hervorgerufen werden. Von den Seitenkraftdosen liegt bei den folgenden Auswertungen, die für rechtswendende Pflugkörper gemacht wurden, die obere rechts und die untere links.

Bei den Indizes bedeutet *o* oben,
v vorn,
h hinten.

(Bedeutung der Hauptbuchstaben wie bisher.) Um einen einfachen konstruktiven Aufbau zu erhalten, wurde die Vertikaldose vorn etwas vor die Seitenkraftdosen gesetzt (Bild 10).

Festgestellt wurden die 6 Größen $L, V_v, V_h, S_v, S_h, S_o$ (vgl. Bild 2 in [5]). Es ist dann

$$V = V_v - V_h, \quad (22)$$

$$S = S_o + S_h - S_v. \quad (23)$$

Für Achsen durch den Punkt 0 (Bild 9) sind die Momente in kg m, wenn die Kräfte in kg eingesetzt werden:

$$M_L = -S_o h, \quad (24)$$

$$M_V = (S_o - S_v) l_1, \quad (25)$$

$$M_S = V_v l_2. \quad (26)$$

Als Zahlenbeispiele werden im folgenden die Kombinationen von Kräften genommen, die für einen Normpflug-Körper S 20 bei Boden *F* und Schnittbreite $b = 20$ cm für die Furchentiefen $t = 15$ und 20 cm zu den von GETZLAFF [9] festgestellten Mittelwerten führen. Sie sind

für $t = 15$ cm: 1) $L = 95$ kg, $V_v = 115$ kg, $V_h = 100$ kg,
 $S_o = 80$ kg, $S_v = 91$ kg, $S_h = 24$ kg.

für $t = 20$ cm: 2) $L = 185$ kg, $V_v = 197$ kg, $V_h = 180$ kg,
 $S_o = 140$ kg, $S_v = 148$ kg, $S_h = 64$ kg.

Dann ist

$$1) V = 15 \text{ kg}, S = 35 \text{ kg},$$

$$2) V = 17 \text{ kg}, S = 72 \text{ kg}$$

und die Resultierende nach (5):

$$R = 102 \text{ bzw. } 200 \text{ kg.}$$

Die Momente sind für den Bezugspunkt 0 (s. o.), wenn $l_1 = 0,475$ m, $l_2 = 0,55$ m und $h = 0,2$ m ist:

$$1) M_L = -16 \text{ kgm}, M_S = 63 \text{ kgm}, M_V = -5 \text{ kgm},$$

$$2) M_L = -28 \text{ kgm}, M_S = 108 \text{ kgm}, M_V = -4 \text{ kgm}.$$

Als Restmoment ergibt sich nach (6):

$$M_r = 6 \text{ bzw. } 13 \text{ kgm}.$$

Nach (21) ist

$$\frac{M_{Le}}{M_r} = 1,07 \text{ bzw. } 1,08,$$

also M_{Le} nur wenig größer als M_r . Nach (17) ist noch

$$a_v = 0,43 \text{ bzw. } 0,82 \text{ m}$$

und $a_s = 0,18 \text{ bzw. } 0,19 \text{ m}.$

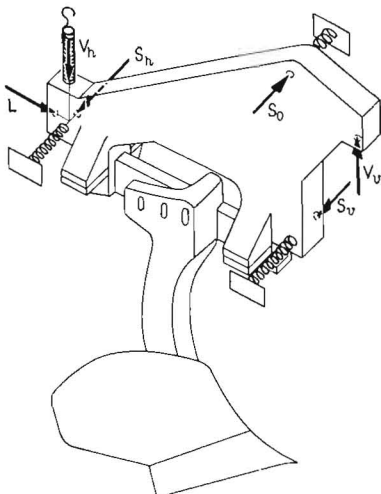


Bild 10: Perspektivische Skizze des beweglichen Meßrahmens mit Angabe der Verbindungsstellen mit dem festen Pflugrahmen

Ohne Benutzung der Momentenwerte und der Zentralachse wird ein vollständiges Ergebnis wie folgt entwickelt: Gemäß Bild 11 werden im Punkt 0 die Kräfte L und V_h vektoriell addiert zu H , dessen Wirkungslinie sich mit der von V_v im Punkt 1 schneidet. Dort wird H mit V_v vektoriell zusammen-

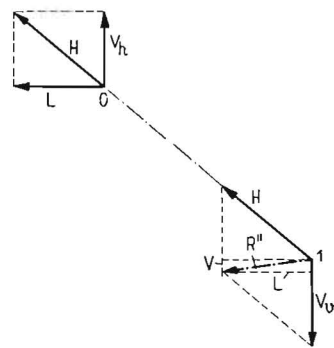


Bild 11

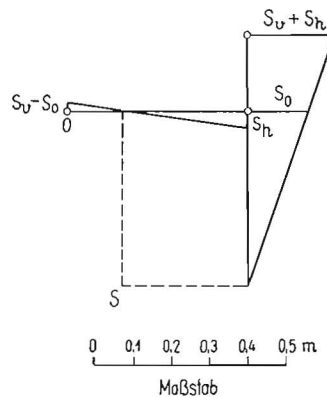


Bild 12

Bild 11: Zeichnerische Ermittlung der Kraft R' in der Meße Ebene des Völkneroder Sechskomponentenmeßgeräts für die Mittelwerte bei Pflugkörper S 20, Boden *F* [9], Schnittbreite 20 cm und Furchentiefe 15 cm

Bild 12: Zeichnerische Bestimmung der Lage der Seitenkraft S für die Mittelwerte bei Pflugkörper S 20, Boden *F* [9], Schnittbreite 20 cm und Furchentiefe 15 cm, aufgetragen zu den Meßpunkten des Völkneroder Sechskomponentenmeßgeräts

gesetzt zu R'' . Als dann wird die Lage der Resultierenden von S_h, S_v und S_o ermittelt. Dies kann graphisch vorgenommen werden, zum Beispiel gemäß Bild 12. Bei „schleichenden Schnitten“ ist diese Bestimmung ungenau. Berechenbar ist die Tieflage von S unter 0 mit $\frac{S_o}{S} h$ und die Rücklage hinter S_v mit $\frac{S_h}{S} l_1$.

Für die oben angegebenen Zahlenwerte betragen diese Längen 1) 0,46 m und 0,33 m, 2) 0,39 m und 0,42 m.

Damit ist zunächst ein rechtwinkliges Kraftkreuz (R'', S) gewonnen worden. Als nächstes wird die Teilkraft R' im Grundriß aufgesucht. Das geschieht nach Bild 13 (rechte Seite) dadurch, daß vom Aufriß S nach unten auf den Grundriß bis zur Meße Ebene herunterprojiziert wird. Durch den damit erhaltenen Punkt im Grundriß wird R' entsprechend der durch die Größe der Komponenten in Längsrichtung L und in Seitenrichtung S bedingten Richtung hindurchgelegt. Eine vollständige Kennzeichnung der Kräftegruppe ist dann, zusammen mit dem Moment um die Längsachse von der Größe $S a_s$ (Bild 13), die Kraft, die durch R' und R'' allein dargestellt wird.

Weiter kann entsprechend Bild 13 vom Aufriß S nach links auf den Seitenriß projiziert werden bis zu der Meße Ebene. Dort wird die Wirkungslinie von R''' in der durch V und S gegebenen Richtung hindurchgezogen. Auch mit R', R'' und R''' (ohne weitere Momente) ist ein vollständig kennzeichnendes Ergebnis für die Pflugkraftgruppe niedergelegt, wie oben gezeigt wurde. Man kann die Koordinaten der Schnittpunkte auch berechnen. Der Einfluß von Abweichungen in den einzelnen Meßwerten wird damit feststellbar.

Von den Durchstoßpunkten der Wirkungslinien der Projektionskräfte mit den Achsen durch 0 erhalten wir nach [14] (auch

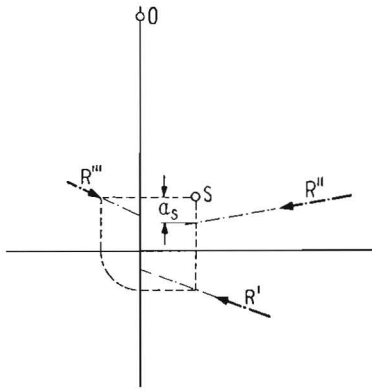


Bild 13: Ermittlung der Wirkungslinien von R' und R''' aus dem rechtwinkligen Kraftkreuz R'', S nach Bild 11 und 12

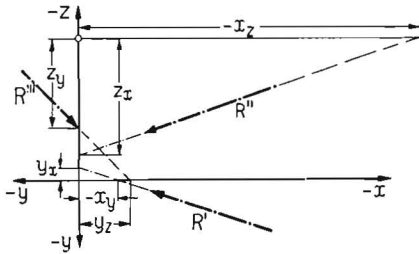


Bild 14: Die Wirkungslinien der Projektionskräfte R', R'', R''' in Grund- und Seitenriß und ihre Durchstoßpunkte mit den Achsen x, y, z , die durch den gewählten Koordinatenanfangspunkt gelegt sind

leicht ableitbar) die Koordinaten (Bild 14):

$$\begin{aligned}
 y_z &= -M_v/L = \frac{S_v - S_o}{L} l_1, \\
 x_y &= M_v/S = \frac{S_v - S_o}{S_o + S_h - S_o} l_1, \\
 x_z &= -M_s/V = \frac{V_v}{V_h - V_v} l_2, \\
 z_x &= M_s/L = -\frac{V_v}{L} l_2, \\
 z_y &= -M_L/S = \frac{S_o}{S_v + S_h - S_o} h, \\
 y_z &= M_L/V = \frac{S_o}{V_h - V_v} h.
 \end{aligned} \tag{27}$$

Die Beziehungen zwischen diesen Abschnitten und den Kraft- und Momentenkomponenten sind bedeutend einfacher als für die für uns weniger wichtigen Zentralachsabschnitte.

Bei unseren Beispielen für einen Normpflugkörper ist

$$\begin{aligned}
 1) \quad y_z &= +0,053 \text{ m} \quad \text{und} \quad 2) \quad +0,022 \text{ m}, \\
 x_y &= -0,143 \text{ m} \quad \quad \quad -0,056 \text{ m}, \\
 x_z &= -4,20 \text{ m} \quad \quad \quad -6,35 \text{ m}, \\
 z_x &= +0,663 \text{ m} \quad \quad \quad +0,583 \text{ m}, \\
 z_y &= +0,457 \text{ m} \quad \quad \quad +0,389 \text{ m}, \\
 y_z &= -1,07 \text{ m} \quad \quad \quad -1,65 \text{ m}.
 \end{aligned}$$

Für die Abschnitte der Zentralachsprojektionen ergibt sich dagegen nach den früher angegebenen Beziehungen:

$$\begin{aligned}
 1) \quad y_{z_0} &= +0,062 \text{ m} \quad \text{und} \quad 2) \quad +0,027 \text{ m}, \\
 x_{y_0} &= -0,168 \text{ m} \quad \quad \quad -0,071 \text{ m}, \\
 x_{z_0} &= -4,07 \text{ m} \quad \quad \quad -6,075 \text{ m}, \\
 z_{x_0} &= +0,642 \text{ m} \quad \quad \quad +0,559 \text{ m}, \\
 z_{y_0} &= +0,616 \text{ m} \quad \quad \quad +0,553 \text{ m}, \\
 y_{z_0} &= -1,435 \text{ m} \quad \quad \quad -2,34 \text{ m}.
 \end{aligned}$$

Für eine vollständige Darstellung der Kräftegruppe genügen z. B. L, S, V, y_x, z_x, z_y oder L, S, V, x_y, x_z und M_{L_e} . Für die Beispiele ist das Moment um die Hauptachse (\neq Zentralachse) dann $M_{L_e} = 6$ beziehungsweise 14 kgm .

Ermittlung der vom Anbaupflug auf den Schlepper übertragenen Kräfte

Zur Feststellung der vom Pflug auf den Schlepper insgesamt ausgeübten Kräfte müssen die Kräfte einschließlich der Stützkkräfte von „Anlage“ und „Sohle“ oder von Stützrädern bekannt sein [20; 21]. Diese werden jetzt ermittelt unter der Voraussetzung, daß

die Kraftwirkungen am Pflug ohne die Stützorgane bekannt sind und von den Kräften für die Stützorgane die Wirkungslinien festliegen. Auf den Pflug wirkt außerdem noch eine Gewichtskraft, deren Lage unabhängig von der Zentralachse der Bodenkkräfte festliegt. Selbst wenn bei den Bodenkkräften $M_x = 0$, also eine Resultierende R herausgekommen ist und nun die Wirkungslinien von R und G im Raum aneinander vorbeilaufen, ohne sich zu schneiden, dann ergibt die Kräftegruppe aus Boden- und Gewichtskräften am Pflug keine Resultierende allein, sondern ein schiefwinkliges Kraftkreuz R, G oder eine Kraftschraube oder andere gleichwertige Kraftkreuze. Der Ansatz von $M_x = 0$ bei den Bodenkkräften liefert also keine besonderen Vereinfachungen. Man kommt überhaupt meist um die allgemeinere Betrachtungsweise, die die räumliche Verteilung der Kräfte aufgibt, nicht herum, wenn man Widersprüche mit den Versuchsergebnissen in den Untersuchungen nicht in Kauf nehmen will. Eine richtige räumliche Betrachtungsweise stellt aber die Untersuchung zum Beispiel mit den Projektionskräften R', R'', R''' allein oder mit den Größen R', R'' und M_{L_e} dar.

An dem Pflug treten außer den Bodenkkräften auf den Pflugkörper als Kräfte noch auf: das Gewicht des Pfluges G , die Anlagekraft A und Sohlenkraft B und beziehungsweise oder eine Stützrollkraft C . Wir betrachten zunächst einen Schwingpflug nach Bild 15 mit Stützrolle und ohne Sohlenkraft B beim Pflugkörper. Zusammengesetzt wird, wie für nicht hängendes Gelände in Bild 15 gezeichnet:

$$\left. \begin{aligned}
 \text{im Aufriß} \quad R'' + G &= W_1, \\
 W_1 + A_L &= W_0, \\
 W_0 + C &= W'', \\
 \text{im Grundriß} \quad R' + C_L &= W_2, \\
 W_2 + A &= W'.
 \end{aligned} \right\} \tag{28}$$

Die Zusammensetzung im Seitenriß wird nicht näher untersucht. Momente um die Längsachse stützen sich durch die Anhängerkonstruktion des Schwingpfluges auf dem Schlepper ab.

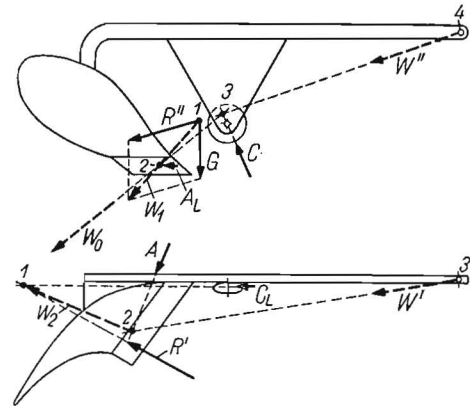


Bild 15: Zusammensetzung der Kräfte an einem Schwingpflug. In Grund- und Aufriß geht die resultierende Kraftwirkung W durch die Pendelachse

Von den Größen der linken Seiten von (28) sind zunächst unbekannt A_L und C beziehungsweise C_L und A . Bei der graphischen Konstruktion nach [1] ff. wird C_L geschätzt und zuerst im Grundriß vorgegangen. Man kann dann A außer W' ermitteln. Im Aufriß wird alsdann C und W'' ermittelt. Die Größen W' und W'' kennzeichnen im Grund- und Aufriß die Kräftewirkungen vom Pflug auf den Schlepper an den Pendelbolzen. Werden Schätzungen nicht vorweggenommen, dann sind die Untersuchungen nach bekannten graphischen Verfahren [22; 23] nicht einfach.

Geschildert werden jetzt rechnerische Ermittlungen für die unbekanntenen Kräfte. Bei der Bildung der Momente schräggerichteter Kräfte um irgendwelche Achsen kann man jeweils das Produkt aus der Teilkraft eines rechtwinkligen Kraftkreuzes, von dem die andere Teilkraft parallel zu der Bezugsachse verläuft, und deren kürzesten Abstand von der Achse ansetzen. Man kann auch jene Teilkraft in zwei rechtwinklige Komponenten an jeder beliebigen Stelle ihrer Wirkungslinie zerlegen, so auch jeweils an (zwei) Stellen, an denen die eine Komponente kein Moment um die Bezugsachse ergibt. So ist zum Beispiel das Moment der Bodenkraft auf den Pflugkörper um die Vertikalachse durch den Anhängpunkt nach Bild 16

$$R'a = Lb \tag{29}$$

und das Moment der Anlagekraft um die gleiche Achse

$$A c = A_s d, \quad (30)$$

wenn d die Rücklage des Durchstoßpunktes der Anlagekraft durch die Längsebene durch den Anhängpunkt ist. Dabei gilt noch

$$A = \sqrt{A_s^2 + A_L^2} \quad (31)$$

$$\text{und } A_L = \mu_a A_s, \quad (32)$$

$$\text{also } A/A_s = \sqrt{1 + \mu_a^2}. \quad (33)$$

Wegen der Kleinheit des Moments $C_L e$ gegen $A c$ bietet sich als Näherungslösung an (vgl. Grundriß von Bild 16):

$$A_s = L b / d. \quad (34)$$

Aus dem Aufriß von Bild 16 erhält man, wenn das Moment $A_L f$ gegen $C g$ vernachlässigt wird:

$$C \approx \frac{1}{g} (G h - L i). \quad (35)$$

Sonst wird benutzt

$$A_L f + C g = G h - L i. \quad (36)$$

Ist dann A_s nach (34) bestimmt, so erhält man mit (32)

$$C = \frac{1}{g} (G h - L i - \mu_a L b / d). \quad (37)$$

Ohne Vernachlässigung von $C_L e$ gegenüber $A c$ erhält man aus dem Gleichgewicht der Momente im Grundriß

$$A_s d - C_L e = L b. \quad (38)$$

Wird C auf seiner Wirkungslinie in dem Punkt hinter der Pendelachse im Aufriß in seine Komponenten C_V (mit dem Moment $C_V k$ um die Pendelachse) und C_L mit

$$C_L = \mu_r C_V \quad (39)$$

zerlegt, so ergibt sich aus dem Gleichgewicht der Momente im Aufriß [analog (36)]

$$A_L f + C_V k = G h - L i. \quad (40)$$

Wir ersparen es uns, die Beziehung zwischen μ_r , k und g aufzuschreiben, ebenso die allgemeinen Ergebnisse für A_s und C_V , die durch Substitution aus (38) und (40) mit (32) und (39) zu erhalten sind. Wir untersuchen jetzt ein Beispiel mit

$$\begin{aligned} G &= 148 \text{ kg}, \quad L = 325 \text{ kg}, \quad \mu_r = 0,2, \quad \mu_a = 0,4, \\ b &= 300 \text{ mm}, \quad d = 1830 \text{ mm}, \quad e = -180 \text{ mm}, \quad f = 340 \text{ mm}, \\ h &= 930 \text{ mm}, \quad i = 25 \text{ mm}, \quad k = 2050 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Damit wird erhalten

$$\begin{aligned} A_s \cdot 1,830 - 0,2 C_V \cdot (-0,180) &= 325 \cdot 0,300, \\ 0,4 A_s \cdot 0,340 + C_V \cdot 2,050 &= 148 \cdot 0,930 - 325 \cdot 0,025 \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} A_s \cdot 1,830 + C_V \cdot 0,036 &= 97,5, \\ A_s \cdot 0,136 + C_V \cdot 2,050 &= 130. \end{aligned}$$

Diese 2 Gleichungen mit 2 Unbekannten ergeben:

$$\begin{aligned} A_s &= 52 \text{ kg}, \quad C_V = 60 \text{ kg}, \\ A_L &= 20 \text{ kg}, \quad C_L = 12 \text{ kg}, \\ A &= 56 \text{ kg}, \quad C = 61 \text{ kg}. \end{aligned}$$

In 1. Näherung wird erhalten nach (34)

$$A_s = 53 \text{ kg}$$

und aus (35):

$$C \approx \frac{130}{2,01} = 65 \text{ kg}, \text{ dabei } C_V \approx \frac{130}{2,05} = 63 \text{ kg}; \text{ damit}$$

$C_L e \approx -2,3 \text{ kgm}$ bei $L b = 97,5 \text{ kgm}$, das ist ca. 2% Korrektur bei A_s , bei C etwas größer.

Als dann wird ein Anbaupflug mit Dreipunktaufhängung für folgenden Sonderfall untersucht:

1. Die unteren Lenker bilden eine Ebene. Diese Ebene ist im allgemeinen gegenüber der Schlepperhinterachse nicht (wesentlich) seitlich geneigt.
2. Die Hubstangen sind (praktisch) parallel zueinander (Bild 17).
3. Das Moment um die Hubwellenachse ist ausgeglichen.

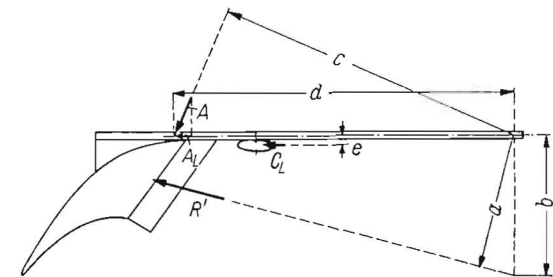
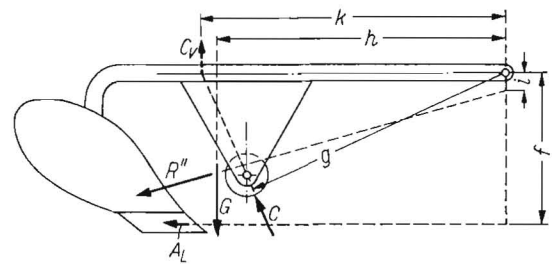


Bild 16: Kräfte und Hebelarme der Kräfte am Schwingpflug

Die Kräfte in den Hubstangen sind dann gleich groß und entgegengesetzt. Die Hubstangen nehmen also zusammen nur ein Moment um die Längsachse auf.

Sieht man von der Wirkung der Hubstangen mal ab, so verbleiben in den unteren Lenkerstangen (wie im oberen Lenker) nur Kräfte in Richtung der Lenkerachsen. Der Zusammenhang zwischen diesen Kräften U_i und U_r und den resultierenden Kräften an den Aufhängepunkten der unteren Lenker geht aus Bild 18 hervor.

Zwischen der Schlepperhinterachse und der Seitenrichtung in der Ebene der Furchensohle tritt meist ein Winkel α auf (Bild 19).

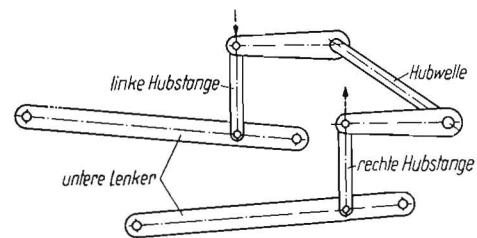


Bild 17: Hubgestänge an der Dreipunktaufhängung in perspektivischer Darstellung. Das Moment um die Hubwelle ist ausgeglichen (Krafthebel in Schwimmstellung). Die Hubstangen liegen (praktisch) parallel

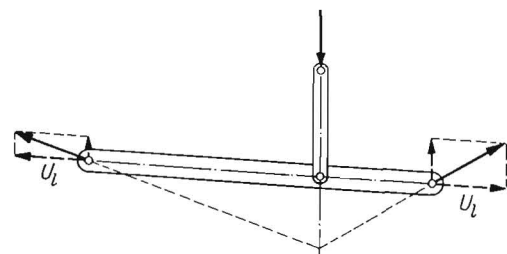


Bild 18: „Lenkerkräfte“ U und Gelenkkräfte, gezeichnet am linken unteren Lenker

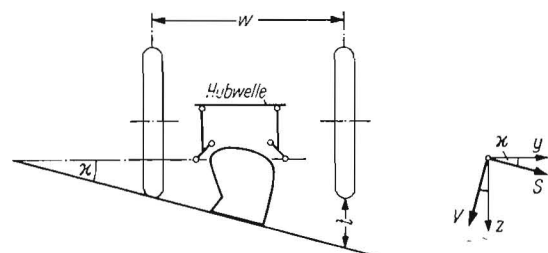


Bild 19: Blick von vorn auf den Pflug mit Gestänge (oberer Lenker nicht eingezeichnet), dazu Lage des Schleppers beim Pflügen

Mit der Spurweite w und der Furchentiefe t ist

$$\operatorname{tg} \alpha = t/w. \quad (41)$$

Die Kräfte auf Pflugkörper, Anlage und Sohle beziehungsweise Stützrad werden zunächst in dem pflugkörperfesten Achsen-system L, S, V angegeben. Gebildet werden die Momente um Achsen durch den Schnittpunkt 1 der unteren Lenker, und zwar um Seiten- und Vertikalachse in einem pflugkörperfesten System. Nach Bild 20 ist, wenn O als Druckkraft in dem oberen Lenker positiv, als Zugkraft negativ gerechnet wird (wie in [4]) — zu beachten ist auch, daß die Hebelarme (z. B. s, v, i) in den gegenüber den in Bild 20 eingetragenen entgegengesetzten Richtungen als negative Größen einzusetzen sind:

$$Gh - Li - A_s j - B_v k + O_L v = 0, \quad (42)$$

$$Lb - A_s d + B_v e + Q_L s = 0. \quad (43)$$

Dabei ist

$$A_L = \mu_a A_s, \quad (44)$$

$$B_L = \mu_b B_v. \quad (45)$$

Die Strecken v und s werden aus Längen y und z berechnet, die in nach den Schlepperachsen ausgerichteten Projektionsebenen

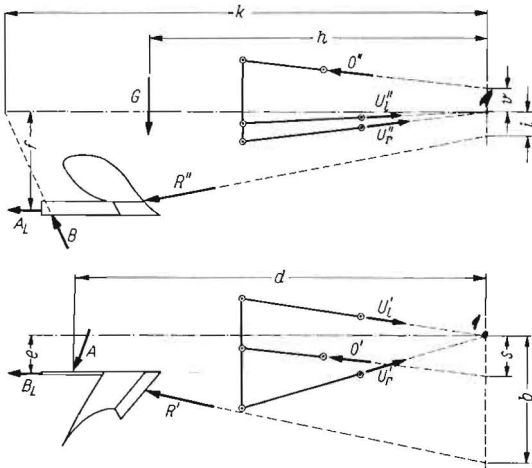


Bild 20: Kräfte am Pflug mit Dreipunktaufhängung (Hubstangenkräfte nicht einbezogen)

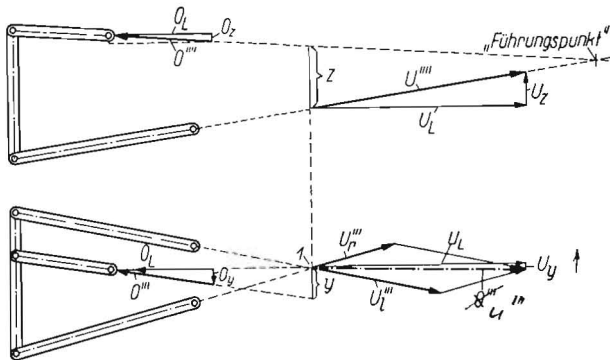


Bild 21: Dreipunktaufhängung in Projektionen in Schlepper-Seiten- und -Hochachse

abzugreifen sind (Bild 21). y, z sind die Koordinaten des Durchstoßpunktes der Wirkungslinie von O durch die Querebene in dem Schnittpunkt 1 der unteren Lenkerachsen, bezogen auf das schlepperfeste Achsenkreuz durch Punkt 1. Nach Bild 19 wird ermittelt:

$$v = z \cos \alpha - y \sin \alpha, \quad (46)$$

$$s = y \cos \alpha + z \sin \alpha. \quad (47)$$

(Alle diese vier Längen sollen nach den Bildern 20 und 21 in anderen Richtungen positiv gerechnet werden von Punkt 1 aus als die Achsen von Bild 19.) Es sei darauf hingewiesen, daß der sogenannte Führungspunkt (s. Bild 21) bei diesen Rechnungen nicht als Momentenbezugspunkt verwendet wurde.

Aus der Gleichgewichtsbedingung für die Kräfte am Pflug in der Längsrichtung wird erhalten

$$L + A_L + B_L + O_L - U_L = 0. \quad (48)$$

Damit ist zu den drei Unbekannten der vorhergehenden Gleichungen (42) und (43): A_s, B_v, O_L noch eine weitere (4.) Unbekannte U_L hinzugekommen.

Setzen wir die Gleichgewichtsbedingungen auch für die S - und V -Richtung (d. h. in einem pflugkörperfesten System) an, dann erhalten wir fünf Gleichungen mit fünf Unbekannten. Auf nur vier voneinander unabhängige Unbekannte kommen wir, wenn wir als 4. Beziehung die Gleichgewichtsbedingung in Richtung der Z -Achse in einem schlepperfesten Achsenkreuz ansetzen. Dabei ist nach Bild 19

$$Z = V \cos \alpha + S \sin \alpha. \quad (49)$$

Wir setzen an

$$Z_0 = (G + V) \cos \alpha + S \sin \alpha, \quad (50)$$

$$Z_p = (G + V - B_v) \cos \alpha + (S - A_s) \sin \alpha. \quad (51)$$

Nicht nur für die Komponenten der Kraft O , sondern auch für die Z - und L -Komponenten der Kraft $U = U_L + U_L'$ (vektoriell addiert) gibt es nach Bild 21 für bestimmte Lagerrichtungen der Lenker am Schlepper feste Verhältniswerte

$$\varphi_0 = O_z/O_L, \quad (52)$$

$$\varphi_u = U_z/U_L. \quad (53)$$

Diese sind positiv gerechnet, wenn die oberen Lenker in einem schlepperfesten Koordinatensystem nach vorne, die unteren Lenker nach hinten abfallen, umgekehrt negativ. Die Gleichgewichtsbedingung in Z -Richtung ergibt

$$O_z + U_z - Z_p = 0, \quad (54)$$

$$\varphi_0 O_L + \varphi_u U_L - (G + V - B_v) \cos \alpha - (S - A_s) \sin \alpha = 0, \quad (55)$$

$$A_s \sin \alpha + B_v \cos \alpha + \varphi_0 O_L + \varphi_u U_L = Z_0. \quad (56)$$

Wird U_L aus (48) in (56) eingesetzt, so erhält man

$$A_s (\mu_a \varphi_u + \sin \alpha) + B_v (\mu_b \varphi_u + \cos \alpha) + (\varphi_0 - \varphi_u) O_L = Z_0 - \varphi_u L. \quad (57)$$

(Hierauf würde man auch kommen, wenn man die Gleichgewichtsbedingung sofort nur für die Richtung senkrecht zu U'''' im Aufriß von Bild 21 ansetzt.)

Solche Substitutionen — wie die von U in (56) aus (48) — können auch weiterhin aus (42), (43) oder (57) gemacht werden. Die Auflösung der Gleichungen wird an Beispielen gezeigt. Dabei wird ausgegangen von den Beziehungen

$$a) \mu_a j A_s + k B_v - v O_L = M_s, \quad (42a)$$

$$b) d A_s - \mu_b e B_v - s O_L = M_v, \quad (43a)$$

$$- \mu_a A_s - \mu_b B_v - O_L + U_L = L, \quad (48a)$$

$$c) \sin \alpha A_s + \cos \alpha B_v + \varphi_0 O_L + \varphi_u U_L = Z_0 \quad (56a)$$

mit

$$M_s = Gh - Li, \quad (58)$$

$$M_v = Lb, \quad (59)$$

$$Z_0 = (G + V) \cos \alpha + S \sin \alpha \approx G + V + St/w. \quad (50a)$$

Ist dabei O_L negativ, so heißt das, daß in dem oberen Lenker Zug auftritt. A_s und B_v dürfen nicht negativ werden.

Untersucht wird jetzt ein Beispiel, bei dem ist:

$$\begin{aligned} \mu_a = \mu_b = 0,4; \quad b = 590 \text{ mm}, \quad d = 2600 \text{ mm}, \quad e = 110 \text{ mm}, \\ f = 570 \text{ mm}, \quad h = 2120 \text{ mm}, \quad i = 250 \text{ mm}, \quad k = 2950 \text{ mm}, \\ y = 82 \text{ mm}, \quad z = 192 \text{ mm}, \quad t = 207 \text{ mm}, \quad w = 1100 \text{ mm}, \quad \varphi_0 = 0,062, \\ \varphi_u = 0,095, \quad G = 155 \text{ kg}, \quad L = 275 \text{ kg}, \quad S = 55 \text{ kg}, \quad V = 35 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Aus obigen Werten wird ermittelt

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,188; \quad \sin \alpha = 0,186; \quad \cos \alpha = 0,988, \quad v = 0,172 \text{ mm},$$

$$s = 0,115 \text{ mm}, \quad Z_0 = 198 \text{ kg}, \quad M_s = 260 \text{ kgm}, \quad M_v = 162 \text{ kgm}.$$

Die Beziehungen für A_s, B_v, O_L und U_L lauten damit

- 1) $0,228 A_s + 2,950 B_v - 0,172 O_L = 260,$
- 2) $2,600 A_s - 0,044 B_v - 0,115 O_L = 162,$
- 3) $0,186 A_s + 0,988 B_v + 0,062 O_L + 0,095 U_L = 198,$
- 4) $U_L = 0,4 A_s + 0,4 B_v + O_L + 275.$

Durch Eliminierung von U_L aus 3) und 4) wird erhalten:

$$5) \quad 0,224 A_s + 1,026 B_v + 0,157 O_L = 172;$$

aus 1), 2) und 5) wird alsdann O_L eliminiert, indem zunächst aus

1) ermittelt wird

$$0,172 O_L = 0,228 A_S + 2,950 B_V - 260,$$

$$6) O_L = 1,325 A_S + 17,15 B_V - 1510.$$

Dies in 2) und 5) eingesetzt, erhält man

$$7) 2,448 A_S - 2,014 B_V = -12,$$

$$8) 0,432 A_S + 3,716 B_V = 409.$$

Aus 8) erhält man

$$3,716 B_V = 409 - 0,432 A_S,$$

$$9) B_V = 110 - 0,116 A_S.$$

Dies in 7) eingesetzt, ergibt

$$2,682 A_S = 210,$$

$$A_S = 78 \text{ kg},$$

$$\text{aus 9): } B_V = 101 \text{ kg},$$

$$\text{aus 6): } O_L = 325 \text{ kg},$$

$$\text{aus 3): } U_L = 671 \text{ kg}.$$

Es ist danach eine Kontrolle zu machen, indem diese Werte in die Gleichungen 1) bis 4) eingesetzt werden. Die linken Seiten dieser Gleichungen ergeben damit

$$\begin{aligned} 18 + 298 - 56 &= 260, \\ 203 - 4 - 37 &= 162, \\ -31 - 40 - 325 + 671 &= 275, \\ 15 + 100 + 20 + 64 &= 199. \end{aligned}$$

Diese Werte müssen mit den Zahlenwerten der rechten Seiten der Gleichungen 1) bis 4) sämtlich (einermaßen) übereinstimmen. (Sollte dies nicht der Fall sein, so ist der Fehler zu suchen. Man grenzt den Bereich des Auftretens des Fehlers ein, indem man nacheinander die Ergebnisse in 7) und 8) beziehungsweise 5) einsetzt.)

Die bisher geschilderten Kontrollen sorgen nur dafür, daß bei der Lösung der vier Gleichungen mit vier Unbekannten kein Fehler sich einschleicht. Daß nicht schon in den vier Gleichungen Fehler enthalten sind, wird zweckmäßig noch gesondert kontrolliert. Jetzt bestimmen wir noch die Kräfte O , U_i und U_r .

Es ist

$$\begin{aligned} O_z &= \varphi_0 O_L & (60) \\ &= 0,062 \cdot 325 = 20 \text{ kg}, \\ |O''''| &= \sqrt{325^2 + 20^2}. \end{aligned}$$

Zeigt der obere Lenker im Grundriß vorn nach rechts, dann ist O_Y/O_L positiv anzusetzen, umgekehrt negativ.

Mit $O_Y/O_L = 0,162$

wird erhalten

$$\begin{aligned} O_Y &= 53 \text{ kg}, \\ |O| &= \sqrt{325^2 + 20^2 + 53^2}, \\ O &= 330 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung der Kräfte in der Y-Richtung wird erhalten

$$U_Y = (S - A_S) \cos \alpha - (G + V - B_V) \sin \alpha + O_Y, \quad (61)$$

wobei positives U_Y nach rechts gerichtet ist.

Bei dem Beispiel ist

$$\begin{aligned} U_Y &= (55 - 78) \cdot 0,988 - (155 + 35 - 101) \cdot 0,186 + 53 \\ &= -23 - 17 + 53 = 13 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Dieses U_Y wird in Bild 21 mit U_L vektoriell zusammengesetzt $\rightarrow U''''$ und dann in U_i'''' und U_r'''' graphisch zerlegt. Erhalten wurde

$$\begin{aligned} U_i'''' &= 413 \text{ kg}, \quad U_r'''' = 268 \text{ kg}, \\ U_{iL} &= 407 \text{ kg}, \quad U_{rL} = 264 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Es ist

$$\begin{aligned} U_{iZ} &= \varphi_u U_{iL}, \quad U_{rZ} = \varphi_u U_{rL}, & (62) \\ U_{iZ} &= 39 \text{ kg}, \quad U_{rZ} = 25 \text{ kg}, \\ U_i &= 415 \text{ kg}, \quad U_r = 270 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Beides sind Zugkräfte.

Diese Kräfte müssen zusammen mit den Kräften der Pflugkörper (R' , R''), ferner G , $A = 84 \text{ kg}$, $B = 109 \text{ kg}$ in Grund- und Aufriß

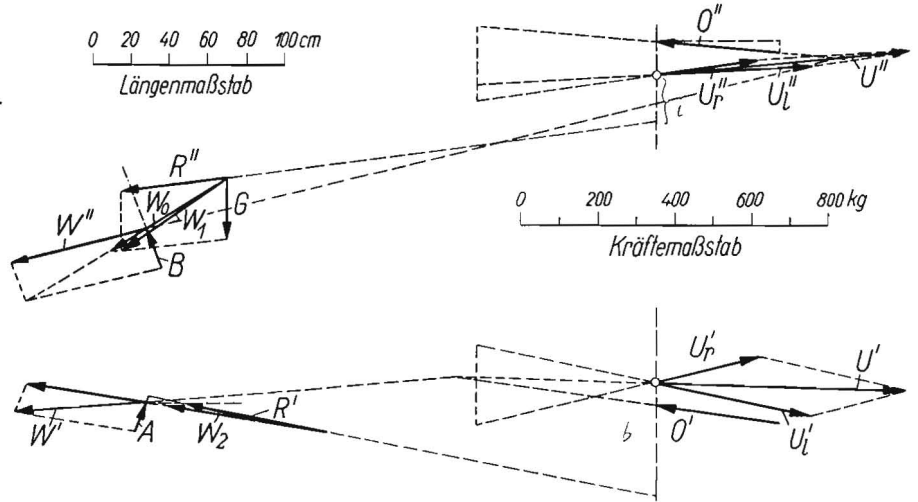


Bild 22: Zusammensetzung der Kräfte am Pflug mit Dreipunktaufhängung in 2 Projektionen nach pflugkörperfesten Achsen

ein Gleichgewichtssystem bilden. In Bild 22 ist dies gezeigt worden. In Grund- und Aufriß wurden die Kräfte U_i , U_r und O eingetragen unter Berücksichtigung ihrer Richtungen und ihrer berechneten Längskomponente in bestimmtem Kräftemaßstab. Schrittweise zusammengefügt wurde durch Parallelogrammkonstruktionen in 2 Projektionen U_r und U_i zu U , ferner $R'' + G + A_L$ zu W_0 und $R' + B_L$ zu W_2 . Alsdann wurden durch die Schnittpunkte von W_0 und B bzw. W_2 und A und U mit O die Wirkungslinien von W'' und W' gezeichnet und damit die B - und A -Werte geprüft. Bei diesen Konstruktionen erkennt man die großen Änderungen für die Kräfte bei Änderung einzelner Neigungen und Lagen der Dreipunktkopplung.

Die Sohlenkraft ist bei dem untersuchten Beispiel sehr groß. Man kann sie durch einige Verstellungen beeinflussen. Sowohl wenn die Länge des oberen Lenkers verkürzt wird, als auch wenn der Anschlußpunkt des oberen Lenkers nach unten verschoben wird, ändern sich gleichzeitig mehrere der in obigem Beispiel vorgegebenen Größen. Es soll jetzt die Änderung der Kräfte untersucht werden, wenn sich allein die Größe v ändert. Für eine Reihe von Werten sind die Kräfte berechnet worden. In Bild 23 sind die danach für diese Anordnung festgestellten Kräfte O , A und B eingetragen. Untersucht ist dabei der Bereich, bis die Sohlenkraft B ungefähr gleich der Anlagekraft A geworden ist. Die Kräfte in den Lenkern sind dabei angestiegen. Sollen noch weitere Senkungen in A und B erreicht werden, so sind weitergehende Änderungen in v und s vorzusehen. Für $v = -0,172 \text{ m}$

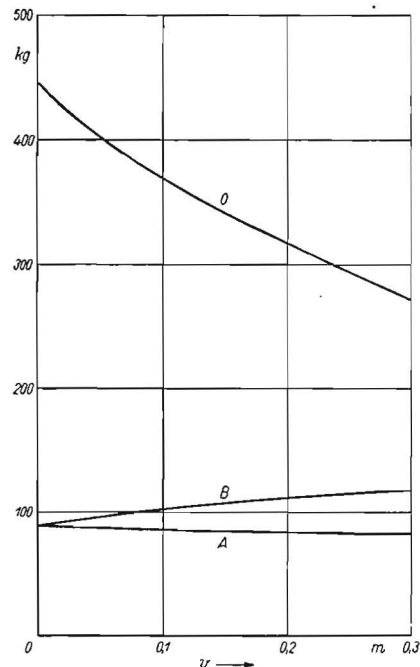


Bild 23: Änderung der Kräfte bei Verstellung

und $s = -0,115$ m und sonst unveränderte Größen (Neigungen usw.) ergibt sich

$$\begin{aligned} A_s &= 27 \text{ kg}, & B_r &= 39 \text{ kg}, \\ A &= 29 \text{ kg}, & B &= 42 \text{ kg}, \\ O_L &= 808 \text{ kg}, & U_L &= 1110 \text{ kg}, \\ O &= 820 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Jetzt werden die für die bisherigen Untersuchungen der Dreipunktaufhängung aufgestellten Voraussetzungen fallen gelassen. Man hat dann zu ermitteln:

1. die Anlagekraft A ,
2. die Sohlenkraft B ,
3. die Kraft im oberen Lenker O ,
4. die Kraft in der linken Hubstange H_L ,
5. dasselbe rechts H_R ,
6. und 7. die Kräfte in den unteren Lenkern links und rechts, U_L, U_R , die als in die Stangenrichtungen fallend den Komponenten überlagert werden, die den Hubstangenkräften parallel sind.

Für die Lösung stehen folgende 7 Gleichgewichtsbedingungen zur Verfügung:

1. für das Drehmoment der Hubstangenkräfte um die Ausgleichswelle,
2. bis 4. für die Komponenten in Längs-, Vertikal- und Quer- richtung,
5. bis 7. für die Momente um eine Längs-, Vertikal- und Quer- achse.

Jeweils müssen die Richtungen und Lagen der Kräfte zu dem beliebig wählbaren Achsenkreuz bekannt sein. Die Aufgabe ist damit rechnerisch lösbar.

Zusammenfassung

Die Kräfte, die von den Anbaupflügen her auf den Schlepper übertragen werden, beeinflussen dessen Leistungsfähigkeit, Schlupf und Lenkbarkeit. Sie werden gewonnen aus Ergebnissen von Sechskomponentenmessungen. Gezeigt ist hier, in wie vielfältiger Weise die resultierenden Kraftwirkungen an den Pflugkörpern dargestellt werden können. Für die Auswertungen zumeist am besten geeignet ist die Darstellung durch eine resultierende Kraft, nachdem ein reines Moment um die Längsachse des Pfluges (Kräftepaar) abgesondert worden ist. Dieses Kräftepaar wird bei der üblichen Dreipunktaufhängung von den beiden Hubstangen getrennt aufgenommen. Aus der verbleibenden Resultierenden, die nach Größe, Richtung und Lage bekannt ist, können durch Rechnungen auf Grund von Gleichgewichtsansätzen die Stützkkräfte des Pfluges und die vom Anbaugestänge übertragenen Kräfte ermittelt werden. Bei solchen Rechnungen brauchen nicht zuvor Abschätzungen über die Größe einer Stützkraft vorgenommen zu werden. Je nach der Kompliziertheit des Systems sind bei der Berechnung mehr oder weniger unbekanntes Kraftgrößen von den gesamten unbekanntes Größen nicht abtrennbar, so daß entsprechend mehr oder weniger (lineare) Gleichungen mit den Unbekannten aufzustellen sind. Die Lösung der Berechnungen ist immer durchführbar.

Schrifttum

- [1] SKALWEIT, H.: Kräfte zwischen Schlepper und Arbeitsgerät. Grundlagen der Landtechnik, Heft 1, Düsseldorf 1951, S. 25—36
- [2] SKALWEIT, H.: Über die bei der Tiefenhaltung von Schlepperanbaugeräten auftretenden Kräfte. Grundlagen der Landtechnik, Heft 3, Düsseldorf 1952, S. 109—118
- [3] SKALWEIT, H.: Die Führungskräfte von Schlepper-Arbeitsgeräten bei den genormten Anbausystemen. Grundlagen der Landtechnik, Heft 4, Düsseldorf 1953, S. 54—64
- [4] SKALWEIT, H.: Einfluß der Pflugkräfte auf Schlepper mit Dreipunktaufhängung. Landtechnische Forschung 5 (1955), S. 1—6
- [5] GETZLAFF, G.: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper. Grundlagen der Landtechnik, Heft 1, Düsseldorf 1951, S. 16—24
- [6] GETZLAFF, G.: Über die Bodenkräfte beim Pflügen bei verschiedener Körperform und Bodenart. Grundlagen der Landtechnik, Heft 3, Düsseldorf 1952, S. 60—70
- [7] GETZLAFF, G.: Änderung der Kräfte bei Drehung der Pflugkörper aus der Normallage. Grundlagen der Landtechnik, Heft 3, Düsseldorf 1952, S. 71—74
- [8] GETZLAFF, G.: Kräfte beim Pflügen von steinigem Acker. Grundlagen der Landtechnik, Heft 5, Düsseldorf 1953, S. 7—15
- [9] GETZLAFF, G.: Vergleichende Untersuchungen über die Kräfte an Normpflugkörpern. Grundlagen der Landtechnik, Heft 5, Düsseldorf 1953, S. 16—35

- [10] GETZLAFF, G.: Kräfte an Pflugscheiben mit Fremdantrieb. Grundlagen der Landtechnik, Heft 5, Düsseldorf 1953, S. 36—41
- [11] GETZLAFF, G.: Kräfte an Schar- und Scheibenpflügen. Z. VDI 98 (1956) Nr. 5, S. 172—175
- [12] GETZLAFF, G.: Kräftemessungen an Häufelkörpern. Grundlagen der Landtechnik, Heft 9, Düsseldorf 1957, S. 61—63
- [13] REGGE, H.: Ein Gerät zur Darstellung des resultierenden Bodenwiderstands an Pflugkörpern. Deutsche Agrartechnik 8 (1958), S. 457—459
- [14] MEWES, E.: Darstellung räumlicher Kräftesysteme durch rechtwinklige Kraftkreuze. Ing. Arch. 22 (1954), S. 348—356
- [15] KÜHNE, G.: Handbuch der Landmaschinentechnik. Berlin 1930. Bd. 1, S. 57—59
- [16] MARKS, K.: Bisherige Untersuchungen über den Bodenbearbeitungsstand und ein neues Gerät zu seiner Messung. Technik in der Landwirtschaft 7 (1926), S. 257—266
- [17] CLYDE, A. W.: Technical Features of Tillage Tools. Pennsylvania Agr. Expt. Sta. Bull. 465, part 2, 1944
- [18] BAINER, KEPNER und BARGER: Principles of Farm Machinery. J. Wiley, New York 1955, S. 119
- [19] V. PONCET, W.: Untersuchungen über das Kräftespiel an einem Pflugkörper. Diss. München 1938
- [20] MARKS, K. und H. SKALWEIT: Die Übertragung der Meßergebnisse von Sechskomponentenpflügen auf angelentete Pflüge (Aussprache). Landtechnische Forschung 7 (1957), H. 2, S. 56—59
- [21] CLYDE, A. W.: Pitfalls in Applying the Science of Mechanics to Tractors and Implements. Agr. Engg. 35 (1954), Nr. 2, S. 79—83
- [22] SCHLINK und DIETZ: Technische Statik. Berlin 1948
- [23] TUMOSHENKO und GOODIER: Theory of Structures. New York 1945. IV. 36
- [24] SÖHNE, W.: Berechnung der Lagerkräfte eines Scheibenpfluges. Landtechnische Forschung 2 (1952), S. 136—140
- [25] PHILLIPS, I. R.: A graphical method for skew forces and couples. Austral. J. Appl. Sci. 6 (1955), Nr. 2
- [26] TITTMANN, E.: Zwanglauf und räumliche Kräfteermittlung am Beispiel der Dreipunktaufhängung für den Ackerschlepper. Maschinenbautechnik 5 (1956), S. 590—594
- [27] HAIN, K. u. H. SKALWEIT: Dreipunktanbau, Kompromiß zwischen Zugfähigkeit des Schleppers und Tiefenhaltung des Pfluges. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 127—133

Résumé

Ernst Mewes: "The Magnitude and Composition of Forces involved in Motorised Ploughs."

The forces originating in a motorised plough that are transmitted to the tractor exert a considerable influence upon the efficiency, slip and steering properties of the tractor. They have been evaluated from the results obtained by measuring six components. This article demonstrates the many ways the resultant effects of the forces acting on the plough can be graphically represented. The most suitable form of representation is that of a resultant obtained when a direct moment (couple) acting on the longitudinal axis of the plough has been eliminated. With the usual type of three-point suspension this couple is taken up by each of the two lifter rods. The remaining resultants, whose magnitudes, directions and positions are known, can be calculated on the basis of equalisation of the supporting forces in the plough and the forces transmitted through the connecting frames. It is not necessary to estimate the magnitude of a supporting force before making such calculations. A varying number of unknown forces cannot be separated from the total of the unknown magnitudes, so that a greater or smaller number of linear equations involving the unknown values must be set up. This number of equations varies with the complexity of the system of forces involved. These equations are in all cases capable of solution.

Ernst Mewes: «La composition des forces appliquées aux charrues portées.»

Les forces qui sont transmises des charrues portées aux tracteurs influent sur la performance, le patinage et la direction de ce dernier. On peut les déduire des résultats des mesures des six composantes. L'auteur montre les multiples façons par lesquelles on peut représenter les résultantes des forces qui sont appliquées aux corps de charrue. La formule la plus favorable en vue de l'interprétation postérieure est la représentation par une résultante des forces après isolement d'un couple libre autour de l'axe longitudinal de la charrue. Ce couple est absorbé séparément par les deux bielles d'un attelage trois points courant. La résultante restante dont la grandeur, la direction et la position sont connues, permet, par des calculs établis sur les conditions d'équilibre, de déterminer les forces d'appui de la charrue et les efforts provenant de la tringlerie d'attelage. Ces calculs n'exigent pas de faire préalablement des estimations sur la grandeur d'une force d'appui. Les forces plus ou moins inconnues qui ne peuvent être isolées de l'ensemble des inconnues sont d'autant plus nombreuses que le système est plus compliqué de sorte que l'on doit établir un nombre plus ou moins élevé d'équations linéaires avec les inconnues. La solution des problèmes établis est toujours possible.

Ernst Mewes: «El conjunto de fuerzas en arados de remolque mecánico.»

Las fuerzas que se transmiten del arado acoplado al tractor, ejercen influencia tanto sobre el rendimiento de éste, como en su patinaje y su dirección. Estos datos son los resultados de mediciones de seis componentes. Se habla en este artículo de las muchas formas en que pueden presentarse los efectos ejercidos por las fuerzas producidas en los arados. La forma que se presta mejor a la evaluación, es la de pre-

sentarlas como fuerza resultante después de separar un momento alrededor del eje longitudinal del arado (par de fuerzas). Este par de fuerzas se transmite en la suspensión corriente en tres puntos por las dos barras de alza de la resultante, cuyo valor, dirección y situación se conocen; se pueden calcular con ecuaciones de equilibrio las fuerzas de apoyo del arado y las que recibe el varillaje de acopla-

miento. En estos cálculos huelga la apreciación previa del valor de una fuerza de apoyo. Según la complicación del sistema, no pueden ponerse aparte en el cálculo valores más o menos desconocidos del total de las fuerzas de conocidas, de forma que hay que establecer relativamente más o menos ecuaciones lineares con las desconocidas. Estos cálculos tienen solución en todos los casos.

Prof. Hans Sack Dr.-Ing. E. h.



Vielen alten Besuchern der DLG-Wanderausstellungen nach dem ersten Weltkrieg werden noch die Lehrschauen in Erinnerung sein, die der junge Hans Sack dort alljährlich in einer damals ungewöhnlichen, an den Konstrukteur appellierenden Lehrhaftigkeit aufbante. Einer alten Landmaschinen-Pionierfamilie entstammend, hat er durch sein persönliches Wirken als Erfinder, Forscher, Konstrukteur, Betriebsmann und Unternehmer großen Einfluß auf die Entwicklung der 1863 gegründeten Firma Rud. Sack nehmen können. Seine Generation, die nach dem ersten Weltkrieg die Führung des Werkes übernahm, sah sich den großen Aufgaben gegenübergestellt, die sich durch den Umstellungsprozeß der Landwirtschaft vom Gespannzug auf den motorischen Zug ergaben.

Wie entscheidend und vielseitig das Wirken von Hans Sack war, zeigen seine Leistungen auf den verschiedensten Gebieten der Landtechnik. Als erster führte er die bisher auf die Grünlandpflege zugeschnittene Netzegge aus England in den Getreide- und Kartoffelbau des Kontinents ein. Nach gründlichem Studium der vielfältigen Einflüsse von Zinkenform und -anordnung auf verschiedenen Böden und Bodenzuständen fand er durch den frei einstellbaren Einzelzinken aus Federstahlraht eine brauchbare Lösung, die Netzegge in jungen Getreide- und Kartoffelbeständen einzusetzen.

In einer Zeit, in der die Entwicklung vom starren Tragpflugsystem zur losesten Kopplung von Motor und „Anhänge-Pflug“ tendiert, betreibt Hans Sack mit seinem Mitarbeiter Max Ericke bereits die Wiederverschmelzung durch Anlenkung unter wünschenswerten Freiheitsgraden. Sogar für den Dreh-Kehrpflug gelingt ihm die Verwirklichung loser Anlenk-Kinematik in seinen unter dem Namen „Huckepack“ bekannt gewordenen Anbaupflügen.

Auch auf dem Gebiet des Wagenbaues hat Hans Sack viel geleistet. Nach der Entdeckung der Vorteile des Ackerwagenluftreifens wurden auch bei Rud. Sack Ackerwagenfahrgerüste mit Achsschenkelanlenkung gebaut, deren Karosserie man dem Stellmacherhandwerk überließ. Die Neukonstruktion eines extremen Tiefladers erweist sich wegen des schwierigeren Entladens als

unpraktisch, man findet dafür den bekannten Kompromiß in der Plattformhöhe (über dem Luftreifen).

Ende der zwanziger Jahre entwickelte Hans Sack für den Einsatz des Maulwurfspluges bei der unterirdischen Ent- oder Bewässerung ein vor der Ausmündung des Dränstranges sitzendes Röhren-Walzwerk, in welchem Blechband von der Rolle weg zu Rohren mit einem Schlitz nach unten geformt und in einem Zuge vom Maulwurfskörper mittels Raupenschlepper oder Seilwinde in den künstlichen Maulwurfengang zur Auskleidung hineingezogen wurde. Hydraulische Feinsteuerung und optische Visierkontrolle des Maulwurfmessers während der Fahrt sicherten ein präzises Funktionieren. Mit dieser Entwicklungsarbeit hat Hans Sack an der Technischen Hochschule Danzig „mit Auszeichnung“ zum Dr.-Ing. promoviert.

Es kennzeichnet den Pioniergeist von Hans Sack, daß er auch auf dem Gebiet der Schädlingsbekämpfung Neues suchte und erprobte. Die ihm von Schütz dargebotene Schaumvernebelung darf man als einen Vorläufer der Sprühverfahren ansehen, die später ohne Verschäumungsmittel in den großen Obstplantagen der USA weitverbreitete Anwendung fanden.

In den dreißiger Jahren begann die Auseinandersetzung mit der Kartoffelernte. Das Ziel bildete ein Tiefbett-Vorratsroder, der die Trennung von Boden, Steinen, Kraut und Kartoffeln ohne Nachlesen, verlustlos und schonend, durch Schwingsiebung wirksamer zu bewerkstelligen versprach. Am Prototyp dieses Schwingrosters sind neben Hans Sack die Gebrüder Merker und sein Mitarbeiter Ulrich beteiligt; das heute zum Allgemeingut gewordene „gespaltene“ Rodeschar ist ein Beitrag seines Mitarbeiters Lawaetz. Der Krautschläger geht auf die Erfindung eines Landwirtes aus dem Oderbruch, v. Colmar-Zützen, zurück.

1939 schied Hans Sack aus der Firma Rud. Sack als technischer Leiter aus und gründete in Leipzig ein eigenes Unternehmen: „Dr.-Ing. Hans Sack, Sonderbau von Landmaschinen“. Von dieser Plattform aus finanzierte er die Weiterentwicklung des Schwingrosters mit der gutgehenden Lizenzfabrikation eines dänischen Tellerdüngerstreuers. Auch war die Konstruktion des Schwingrosters immerhin schon so reif geworden, daß Hans Sack es in seinem neuen Werk in wenigen Jahren zu einem Millionenumsatz bei 175 Mann Belegschaft brachte.

Der zweite Weltkrieg und die Einziehung zur Wehrmacht unterbrachen den Aufbau des Werkes, in dem er nach dem Krieg nur noch eine kurze Weile als privater Unternehmer weiterarbeiten konnte. Mit Bestürzung vernahm man bei uns 1948 von seiner Verhaftung, die unter den üblichen qualvollen Etappen fast drei Jahre währte.

Seit 1951 kennen wir ihn aus seinem vielseitigen Wirken bei der Landmaschinenfabrik Essen und der Hanomag sowie als Träger der Max-Eyth-Denk Münze. Nunmehr hat die Technische Hochschule München den inzwischen zum ordentlichen Professor für Landmaschinen und Maschinenzeichnen an der Technischen Hochschule Aachen berufenen Pionier der Landtechnik „in Würdigung seiner Verdienste um die Entwicklung neuartiger Verfahren der mechanischen Bodenbearbeitung, Pflanzenpflege und Wurzelfrüchterte mit Schleppergeräten“ zu ihrem Ehrendoktor-Ingenieur ernannt.

Walter Glasow u. Heinrich Dupuis:

Physiologischer Aufwand bei Hangarbeiten

Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach

Untersuchungen über die Motorisierung und Mechanisierung von Ackerarbeiten am Hang haben vor allem in Österreich und in der Schweiz und neuerdings auch im Bundesgebiet zu wichtigen arbeitswirtschaftlichen, technischen und betriebswirtschaftlichen

Erkenntnissen geführt. Es gelang unter anderem, die durch zunehmenden Hangwinkel gebotenen Grenzen für verschiedene Ackerarbeiten zu ermitteln und so durch eine Klassifizierung der Arbeiten der landwirtschaftlichen Praxis und Industrie wichtige