

KRÄFTE ZWISCHEN SCHLEPPER UND ARBEITSGERÄT

Von Helmut Skalweit

Der Arbeitserfolg eines Schleppergerätes hängt ausser von der zweckmässigen Gestaltung der Werkzeuge, die hier nicht behandelt werden soll, von der Anordnung der Geräte am Schlepper und von der Ausbildung der Verbindungs- und Betätigungselemente ab [1]. Das ordnungsgemässe Arbeiten und die Haltbarkeit dieser Teile werden weitgehend durch die an den Geräten und am Schlepper auftretenden Kräfte beeinflusst. Am Beispiel des Anbaupfluges wird nachstehend ein Verfahren für ihre Ermittlung gezeigt; anschliessend werden die Möglichkeiten für eine Beeinflussung dieser Kräfte besprochen.

Die Anbaupflüge finden an mittleren und kleinen Schleppern eine immer stärkere Verwendung in der Form von Beet-, Wechsel- und Drehpflügen. Der Beetpflug wird im allgemeinen gewählt, wenn mit drei oder mehr Scharen gearbeitet werden soll, die sich beim Kehrpflug-Prinzip nicht innerhalb der Schlepperspur unterbringen lassen. Der ein- oder zweifurchige Anbauwechselflug ist die zurzeit gebräuchlichste Art, während der Drehpflug bisher vorwiegend am Einachsschlepper angebaut wurde. Der Drehpflug schiebt sich jedoch auch am Vierradschlepper – wie die letzten landwirtschaftlichen Ausstellungen zeigten – allmählich in den Vordergrund. Dabei gibt es den normalen Drehpflug, dessen Körper sich um eine gemeinsame Achse um 180° oder um einen kleineren Winkel (Winkeldrehpflug) schwenken lassen, und den aufgelösten Drehpflug, dessen Körper jeweils um eine eigene Achse gedreht und damit in die Arbeitsstellung gebracht werden. Die folgenden Betrachtungen gelten für alle Arten von Anbaupflügen, soweit nicht auf Besonderheiten hingewiesen wird.

A. Anbausysteme

Je nach Art der Anbringung des Pfluges am Schlepper kann man vier verschiedene Systeme unterscheiden, die in Bild 1 schematisch dargestellt sind:

1. Der freipendelnde Pflug mit reellem oder ideellem Führungspunkt entsprechend den Ausführungsformen A1 und A2. Die Richtlinie¹⁾ (Sohle) des Pflugkörpers wird durch das Spiel der angreifenden Kräfte parallel zur Ackeroberfläche gehalten, wobei Gleichgewicht der Kräfte am Pflugkörper herrscht. Bei der in vertikaler Richtung starren Anbringung des Pfluges am Körper des Einachsschleppers (System A3) kann der Pflug um die Aufstandlinie der Triebräder schwenken.

2. Der durch eine Führungsrolle gesteuerte Pflug, bei dem diese entweder als Stützrolle (B1) starr angebracht ist oder als Fühlrolle (B2) den Führungspunkt bzw. den Kraftheber beeinflusst. Bei dieser Anordnung wird das Profil der Ackeroberfläche in der Pflugsohle gut nachgebildet.

3. Der vom Kraftheber gesteuerte Mehrgelenkpflug (C) nach *Ferguson* [2], der vom Schlepper getragen wird. Mit wechselndem Bodenwiderstand ändert sich die Arbeitstiefe, wenn sie nicht von Hand nachgeregelt wird.

4. Der starr am Schlepper befestigte Pflug (D). Seine Arbeit ist bei einer Anbringung zwischen Vorder- und Hinterachse ähnlich der eines Anhängerpfluges, jedoch ergeben sich u.U. unangenehme Auswirkungen auf den Schlepper. Bei hinten starr angebrachtem Pflug würden die Nickschwankungen des Schleppers Zwangskräfte zwischen Schlepper und Pflug hervorrufen. Dieses System ist in Deutschland nicht gebräuchlich und wird im folgenden nicht behandelt.

B. Ermittlung der Kräfte am Pflug und Schlepper

Die Ermittlung der Grösse und Lage der zwischen Schlepper und Pflug auftretenden Kräfte erfolgt nach dem üblichen Verfahren der graphischen Statik. Gegenüber der rechnerischen Methode hat man hierbei den Vorteil der grösseren Anschaulichkeit und Ein-

1) Begriffe des Pflugkörpers nach DIN 11118

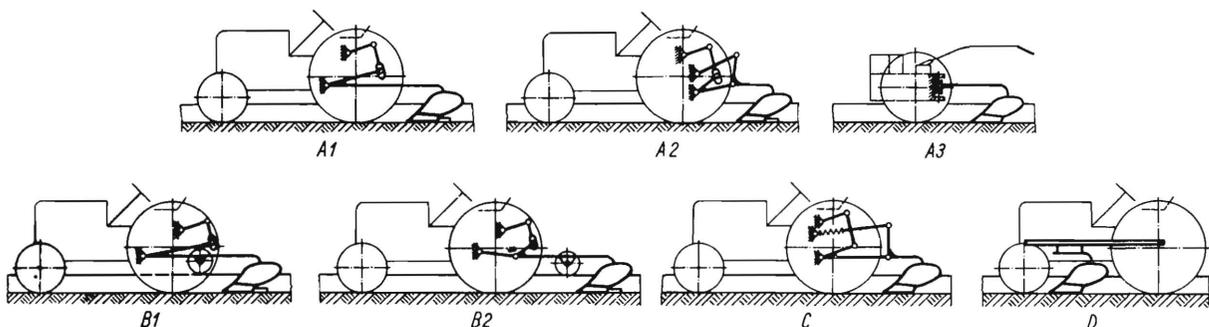


Bild 1. Anbausysteme der Arbeitsgeräte am Schlepper.

- | | | | |
|---------|---------------------------------|---|--|
| A1 – A3 | freipendelnde Schwingpflüge | C | vom Kraftheber gesteuerter Mehrgelenkpflug |
| B1, B2 | Schwingpflüge mit Führungsrolle | D | starr mit dem Schlepper verbundener Pflug. |

fachheit. Da der Streubereich für die Lage und Richtung des resultierenden Bodenwiderstandes R, wie die Untersuchungen von Getzlaff [3] zeigen, verhältnismässig gross ist, dürfte die Genauigkeit der graphischen Lösung ausreichen.

Während üblicherweise im spezifischen Pflugwiderstand (in kg/dm²) alle horizontalen Widerstände enthalten sind, wird hier der Begriff „spezifischer Bodenwiderstand“ ohne den Rollwiderstand der Pflugräder und ohne Gleitreibung an Sohle und Anlage eingeführt und in den folgenden Beispielen mit 45 kg/dm² angenommen.

Ferner wird in den Bildern jeweils die linke Pflughälfte eines Wechselfluges gezeigt; es handelt sich also um linkswendende Körper. Das Messersech ist nur im Aufriss von Bild 2 gezeichnet. Seine Wirkung ist aber überall in dem Bodenwiderstand R und dem Gewicht G berücksichtigt.

Die seitliche Anlagenkraft A soll in der Mitte der Anlage, die Sohlenkraft S in der Mitte der Schleifsohle als Resultierende einer Normalkraft A_N bzw. S_N und einer Reibungskraft A_W bzw. S_W angreifen. Das Verhältnis der Reibungskräfte zu den Normalkräften wurde mit 0,4 angenommen (der übliche Wert der Reibung zwischen Stahl und Ackerboden beträgt etwa 0,4. Untersuchungen des Instituts für Landtechnische Grundlagenforschung haben bei bindigem Lehm Werte bis 0,8 ergeben).

1. Der freipendelnde Schwingpflug (A1 bis A3)

In Bild 2 ist ein Zweifurchenpflug mit einer Sohle am hinteren Körper nach der Ausführungsform A1 dargestellt. Die im Raum liegenden Kräfte werden auf die drei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen projiziert und können dann in den einzelnen Rissen weiter behandelt werden. Es treten am Pflug folgende Kräfte auf:

- G Gewicht des Pfluges
- S Sohlenkraft
 - S_N Normalkomponente
 - S_W Reibungskomponente
- A Anlagenkraft
 - A_N Normalkomponente
 - A_W Reibungskomponente
- W resultierende Zugkraft in O.

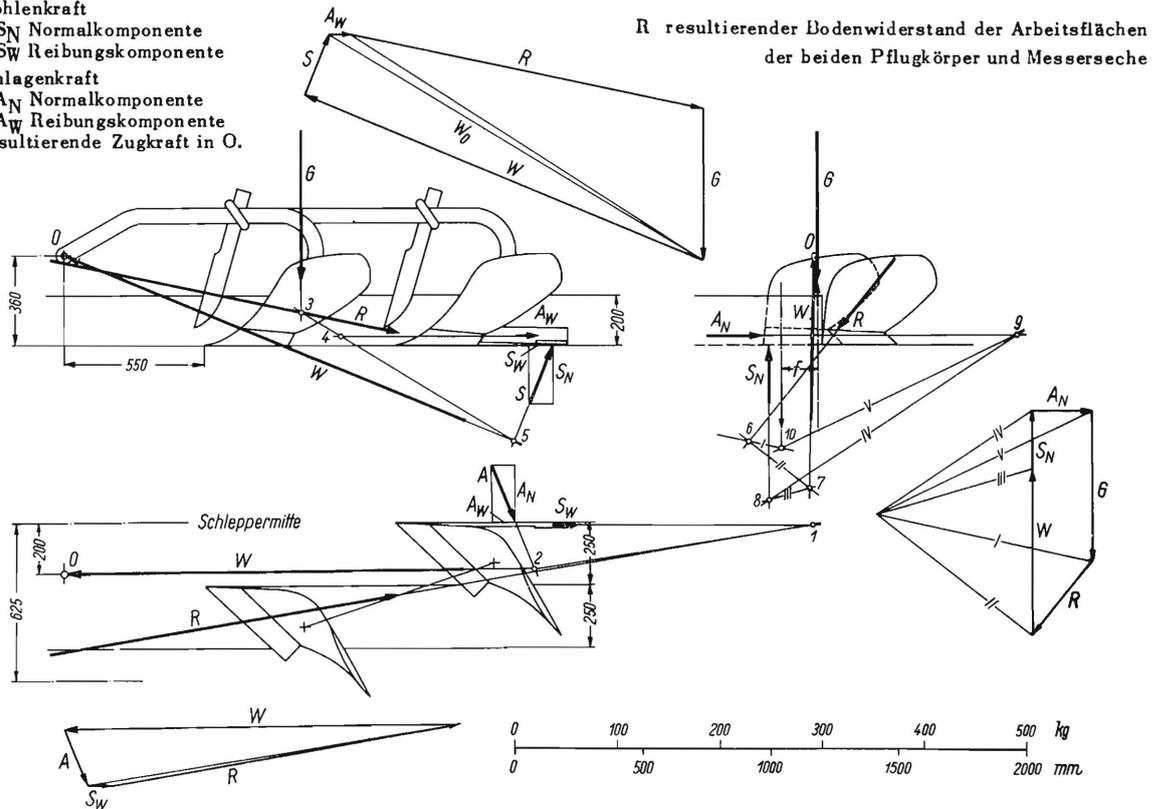


Bild 2. Die Kräfte am freipendelnden Schwingpflug mit reellem Führungspunkt (System A₁ in Bild 1).

Die Komponenten der Kräfte R und W sind in den einzelnen Projektionen nicht mit besonderen Indizes bezeichnet worden.

Im Grundriss werden R und S_W (S_W wird vorerst geschätzt und später anhand des Aufrisses korrigiert) vektoriell im Schnittpunkt (1) vereinigt und zum Schnitt (2) mit der Anlagenkraft A gebracht. Da die resultierende Zugkraft W durch den Führungspunkt O und den Schnittpunkt (2) gehen muss, ist deren Richtung bekannt. Die Grösse der Kräfte A und W ergibt sich aus dem zugehörigen Kräfteck.

Im Aufriss werden die Kräfte R, G und A_W (A_W wird aus dem Grundriss entnommen) vektoriell zu der Ersatzkraft W₀ vereinigt. Diese wird zum Schnitt (5) mit der Sohlenkraft S gebracht. Die Verbindungslinie zwischen dem Führungspunkt O und dem Schnittpunkt (5) ergibt die Richtung der resultierenden Kraft W. Aus dem Kräfteck dieser Projektion wird ebenso wie im Grundriss die Grösse der Kräfte S und W bestimmt. Das erhaltene S_W im Aufriss ergibt sich in dem gezeichneten Beispiel gleich dem geschätzten S_W im Grundriss; würde sich eine vom geschätzten S_W abweichende Grösse ergeben, so müsste die Kräfteermittlung mit einem anderen Schätzwert wiederholt werden.

In den Seitenriss lassen sich sämtliche Kräfte durch Projektion aus den beiden anderen Rissen nach Lage und Grösse übertragen. Das daraus entwickelte Kräfteck schliesst sich, das Seileck jedoch nicht. Nur durch die Anbringung eines Kräftepaares kann auch das Seileck zum Schliessen gebracht werden. Wenn man im letzten Schnittpunkt (10) des Seilecks eine senkrechte Kraft in Grösse und Richtung der Schwerkraft G anbringt und in der Wirkungslinie der Schwerkraft eine entgegengesetzt gleich grosse Kraft G, so sind durch dieses hinzugefügte Kräftepaar G · f alle Kräfte und Momente am Pflug im Gleichgewicht.

1. das Gewicht G des Pfluges, das senkrecht im Schwerpunkt des Pfluges wirkt;
2. der resultierende Bodenwiderstand R ; er wurde als Mittelwert aus Messungen von *Getzlaff* [3] und von *v. Poncet* [4] nach Grösse und Richtung gewählt. In diesen Arbeiten erscheint auch ein räumlicher Momentenvektor. Er ist durch die Versuchsanordnung bedingt, bei der die Pflugkörper fest eingespannt ohne Anlage und Sohle gefahren wurden, sodass in allen Ebenen Momente auftreten können. Diese sind im Folgenden nicht berücksichtigt;
3. die waagerechte Anlagenkraft A ;
4. die Schleifsohlenkraft S und
5. die am Führungspunkt O angreifende, resultierende Zugkraft W .

Aus den angenommenen Kräften können in Grund- und Aufriss (Bild 2) die Grösse und Richtung von W sowie die Grösse von A und S bestimmt werden. In Grund- und Aufriss können im Führungspunkt keine

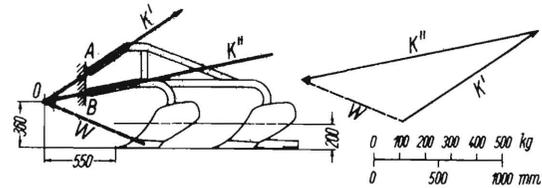


Bild 3. Lenkerkräfte am freipendelnden Schwingpflug mit ideellem Führungspunkt (s. System A2 in Bild 1).

W resultierende Zugkraft (aus Bild 2 entnommen)
 K' und K'' Lenkerkräfte.

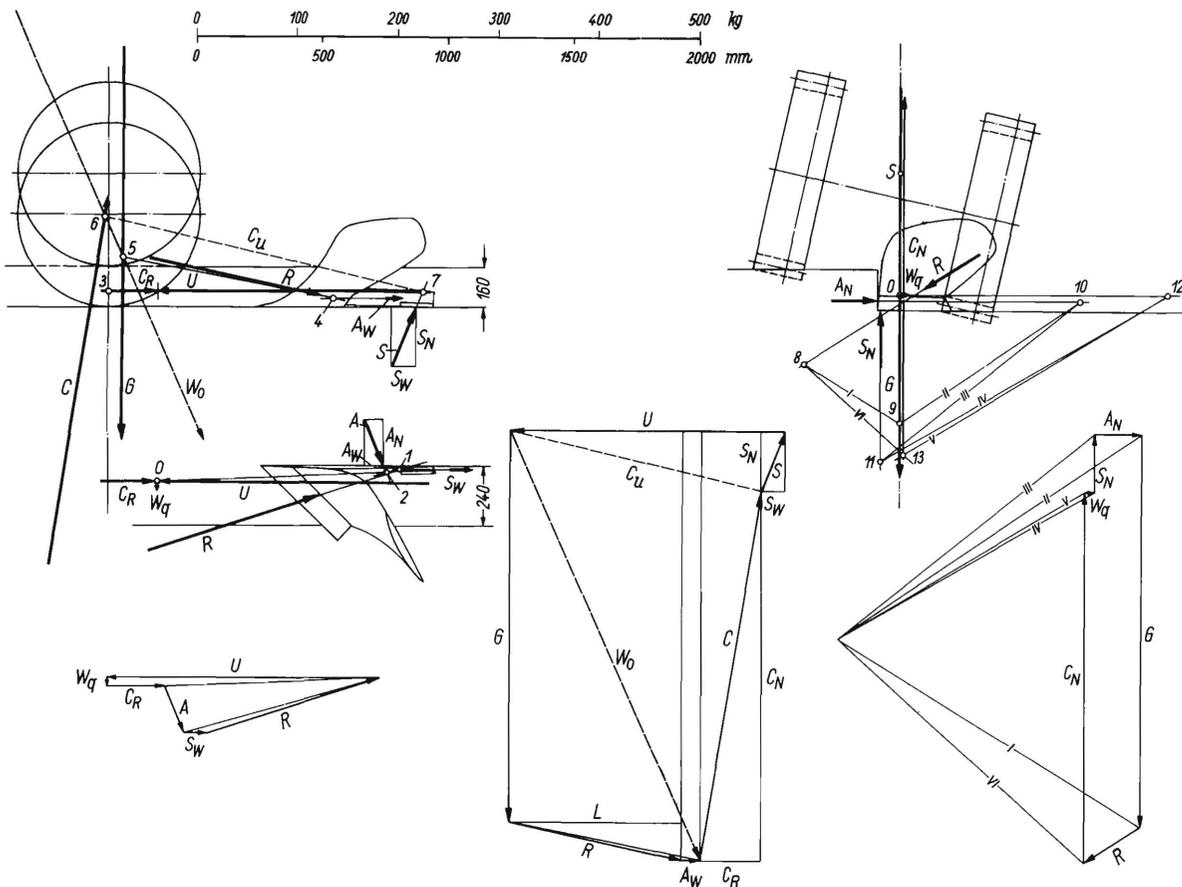


Bild 4. Kräfte am Schwingpflug und Einachsschlepper (siehe System A3 in Bild 1).

- | | |
|--|--------------------------------------|
| G Gesamtgewicht vom Pflug und Einachsschlepper | S Sohlenkraft |
| R resultierender Bodenwiderstand der Arbeitsflächen von Pflugkörper und Sech | S_N Normalkomponente |
| L Längskomponente von R | S_W Reibungskomponente |
| A Anlagenkraft | W_q Querkraft am Pendelbolzen |
| A_N Normalkomponente | U Gesamtumfangskraft an den Rädern |
| A_W Reibungskomponente | C Radialkraft an den Rädern |
| | C_N Vertikalkomponente |
| | C_R Rollwiderstand |

Im Grundriss vereinigt man die Kräfte R , S_W und A in dem senkrechten Pendelbolzen O , der sich etwa 200 mm hinter der Triebachse befindet. Aus der Vereinigung dieser resultierenden Kraft mit U und C_R in O resultiert eine kleine Querkraft W_q , die von der Triebachse aufgenommen werden muss.

Im Aufriss geht die Umfangskraft U durch den Punkt 3 der gedachten Auflagelinie der beiden Triebräder, um die sich der Pflugkörper einspielt. Für die Greiferräder wurde der Rollwiderstand C_R zu 16 % der Achslast angenommen, womit die Richtung der radialen Auflagekraft C des Rades bekannt ist. Die Kräfte R , G und A_W werden zur Kraft W_0 im Schnittpunkt 5 vereinigt. Da somit W_0 der Grösse und Richtung nach und C , S und U der Richtung nach bekannt sind, kann deren Grösse mit Hilfe der *Culmann'schen* Geraden C_u bestimmt werden. Man bringt je zwei Kräfte (W_0 und C bzw. S und U) im Aufriss zum Schnitt; die Verbindungslinie der Schnittpunkte (6 und 7) ergibt die Richtung der *Culmann'schen* Geraden, mit deren Hilfe im Kräfteck die Grösse von C , S und U bestimmt wird. U ist im Kräfteck die Summe aus L , A_W , C_R und S_W .

Im Seitenriss ist zur Kontrolle das Kräfteck gezeichnet, das sich schliesst. Auch das Seileck im Lageplan schliesst sich, es entsteht kein freies Moment, wie bei Bild 2; das vom Pflug herrührende Moment wird von den Triebrädern als Kräftepaar aufgenommen.

Momente auftreten. Dagegen wirkt im Seitenriss im Führungsgelenk ausser der Kraftkomponente von W auch ein Reaktionsmoment von der Grösse $G \cdot f$, welches das entsprechende, früher gemessene Moment [3] und [4] aufheben sollte, was durch die Anordnung der Lage des Führungspunktes, Schwerpunktes u.a. teilweise erreicht werden kann.

Die resultierende Zugkraft W geht durch den Führungspunkt O , der bei der Ausführung A1 als reeller Anlenkpunkt (Bild 2), bei A2 ideell als Schnittpunkt O der Verlängerungen der Lenker (Bild 3) vorhanden ist. Bei gleicher Lage des Pfluges und des Führungspunktes relativ zur Furche ergeben sich für beide Ausführungen nach Richtung und Lage dieselben Kräfte. Der ideelle Führungspunkt bei Ausführung A2 kann seine Lage während der Arbeit im Gegensatz zum festen Führungspunkt bei Ausführung A1 ändern. Einen Sonderfall stellt die Mehrgelenkaufhängung mit zwei parallelen Lenkern dar. Diese stehen in der Arbeitsstellung parallel zur resultierenden Zugkraft W . Aus dieser Bedingung lassen sich die Kräfte im Krafteck bestimmen. Bei einigen Ausführungen werden zwei Gelenke des Gelenkvierecks durch eine Führung ersetzt, wodurch sich aber keine grundsätzliche Änderung des Systems ergibt.

- A Anlagenkraft
 - A_N Normalkomponente
 - A_W Reibungskomponente
- S Sohlenkraft
 - S_N Normalkomponente
 - S_W Reibungskomponente
- C Radialkraft am Stützrad
 - C_N Vertikalkomponente
 - C_R Rollwiderstand

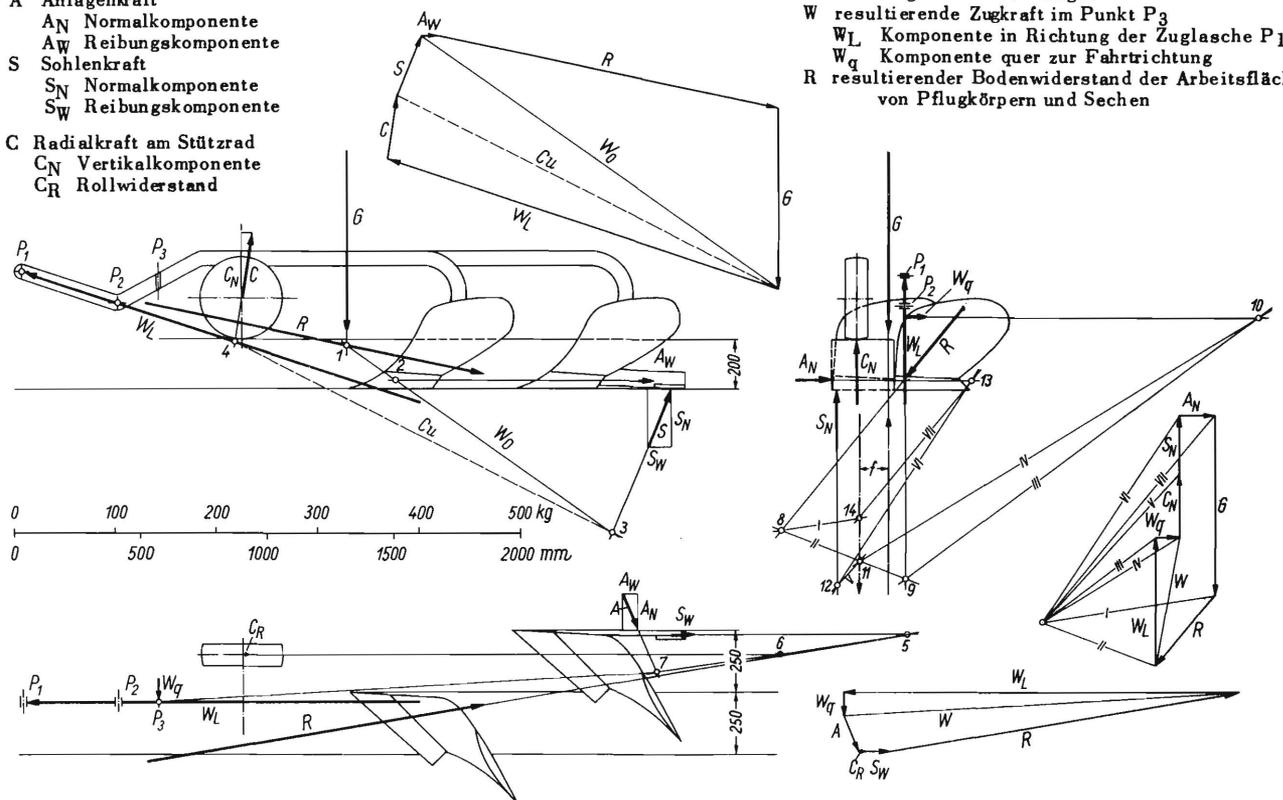


Bild 6. Stelzflug, Führrolle zur Steuerung des Führungspunktes (s. System B2 in Bild 1).

Bei der Ermittlung der Kräfte geht man zweckmässig vom Aufriss aus, wobei A_W geschätzt und evtl. nachher aus dem Grundriss korrigiert werden muss. W_O ergibt sich aus der vektoriellen Vereinigung von R , G und A_W , S , C und W_L sind ihrer Richtung nach bekannt. Mit Hilfe der Culmannschen Geraden C_u erhält man im Krafteck die Grössen der drei Kräfte.

Im Grundriss werden die Kräfte R , S_W , C_R und A zu ihrer Ersatzkraft W vereinigt, die durch das senkrechte Gelenk P_3 geht. W wird in diesem Punkte in die Längskraft W_L und die Querlast W_Q zerlegt; W_Q muss durch eine besondere Halterung (z.B. Kette) aufgenommen werden, wenn sich nicht der kleine Winkel von W gegenüber der Schlepperlängsachse in dem Spiel der Gelenke des Lenkers P_1P_2 ausgleicht und sich dieser Lenker nach der resultierenden Zugkraft W ausrichten kann.

Im Seitenriss tritt wie in Bild 2 ein Reaktionsmoment $G \cdot f$ auf, dessen Grösse wie dort beschrieben ermittelt wird.

Bild 4 zeigt den Kräfteplan eines Schwingfluges am Einachsschlepper. In Abweichung von den Pflügen in Bild 2 und 3 müssen bei der Kräfteermittlung Pflug und Triebachse als Ganzes betrachtet werden. Ausser den bisher vorkommenden Kräften sind noch die Umfangskraft U sowie die Auflagekräfte der Räder, die zu einer resultierenden Auflagekraft C der Triebachse vereinigt werden, zu be-

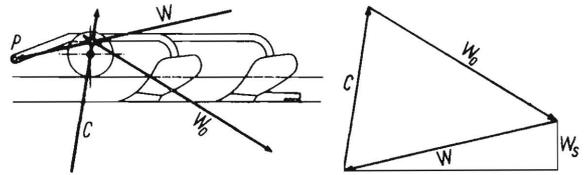


Bild 5. Schwingpflug mit Stützrolle zur Tiefenbegrenzung (s. System B1 in Bild 1).

- W_O Ersatzkraft für R , G und A_W (aus Bild 2 entnommen)
- C Achsdruck der Stützrolle ($C_R/C_N = 0,16$)
- W resultierende Zugkraft am Führungspunkt P .

rücksichtigen. Der resultierende Bodenwiderstand R wurde in diesem Beispiel aus der Arbeit von *v. Poncet* [4] als Mittelwert einer Versuchsreihe für eine Tiefe von 16 cm und eine Breite von 24 cm gewählt. Die Räder sind Greiferräder, die bis zu einer gewissen Tiefe einsinken, sodass sich die im Seitenriss gezeichneten Auflagepunkte ergeben.

- G Gesamtgewicht des Pfluges
- W resultierende Zugkraft im Punkt P_3
- W_L Komponente in Richtung der Zuglasche P_1P_2
- W_Q Komponente quer zur Fahrtrichtung
- R resultierender Bodenwiderstand der Arbeitsflächen von Pflugkörpern und Sechen

2. Der Schwingpflug mit Führungsrolle (B 1 und B 2)

Bild 5 zeigt einen Schwingpflug mit denselben Abmessungen wie in Bild 2 mit einer starr angebrachten Stützrolle (Ausführung B 1). Die Stützrolle soll dazu dienen, die einmal eingestellte Tiefe einzuhalten. Es kann jedoch vorkommen, dass bei Unebenheiten oder beim Hinausfahren des Schleppers aus der Furche der Führungspunkt O soweit abgesenkt wird, dass der Stützdruck auf der Führungsrolle zunimmt, während die Kraft an der Schleifsohle sehr stark abnimmt. Am Pflug wirken die Kräfte W_0 als Ersatzkraft für R , G und A_w (s. Bild 2), die von der Stützrolle aufgenommene Kraft C , von der die Richtung durch Annahme des Rollbeiwertes bekannt ist und die resultierende Zugkraft W , die durch den Führungspunkt und den Schnittpunkt der beiden anderen Kräfte geht. Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Anlenkungen ist die resultierende Zugkraft W schräg nach unten gerichtet; dies hat ungünstige Rückwirkungen auf die Zugfähigkeit des Schleppers zur Folge, worauf später noch zurückzukommen sein wird.

Auf Bild 6 ist der Kräfteplan eines Pfluges mit Führad (Stelzpflug) nach Ausführung B 2 dargestellt. Da dieser Pflug durch den Kraftheber vom Boden abgehoben werden kann, handelt es sich bei dieser Ausführung um ein Mittelding zwischen angehängtem und angebautem Pflug. Der Führungspunkt wird hier nicht vom Schlepper, sondern von dem Führad in seiner Höhe geregelt. Allerdings nur in gewissen Grenzen, die erreicht sind, wenn die Stützkraft $C = 0$ oder die Sohlenkraft $S = 0$ wird. Die Bewegung des Führungspunktes kann auch mit der des Führades gekoppelt sein, wodurch die genannten Grenzen erweitert werden.

Durch die Höhe von P_1 am Schlepper wird die Verteilung der Stützkkräfte auf Führad und Sohle ähnlich wie beim Anhängepflug beeinflusst.

3. Der vom Kraftheber gesteuerte Mehrgelenkpflug (C)

Abb. 7 zeigt den Kräfteplan für einen Mehrgelenkpflug, der vom Kraftheber gesteuert wird. Soweit Unterlagen zur Verfügung standen, wurden die Ab-

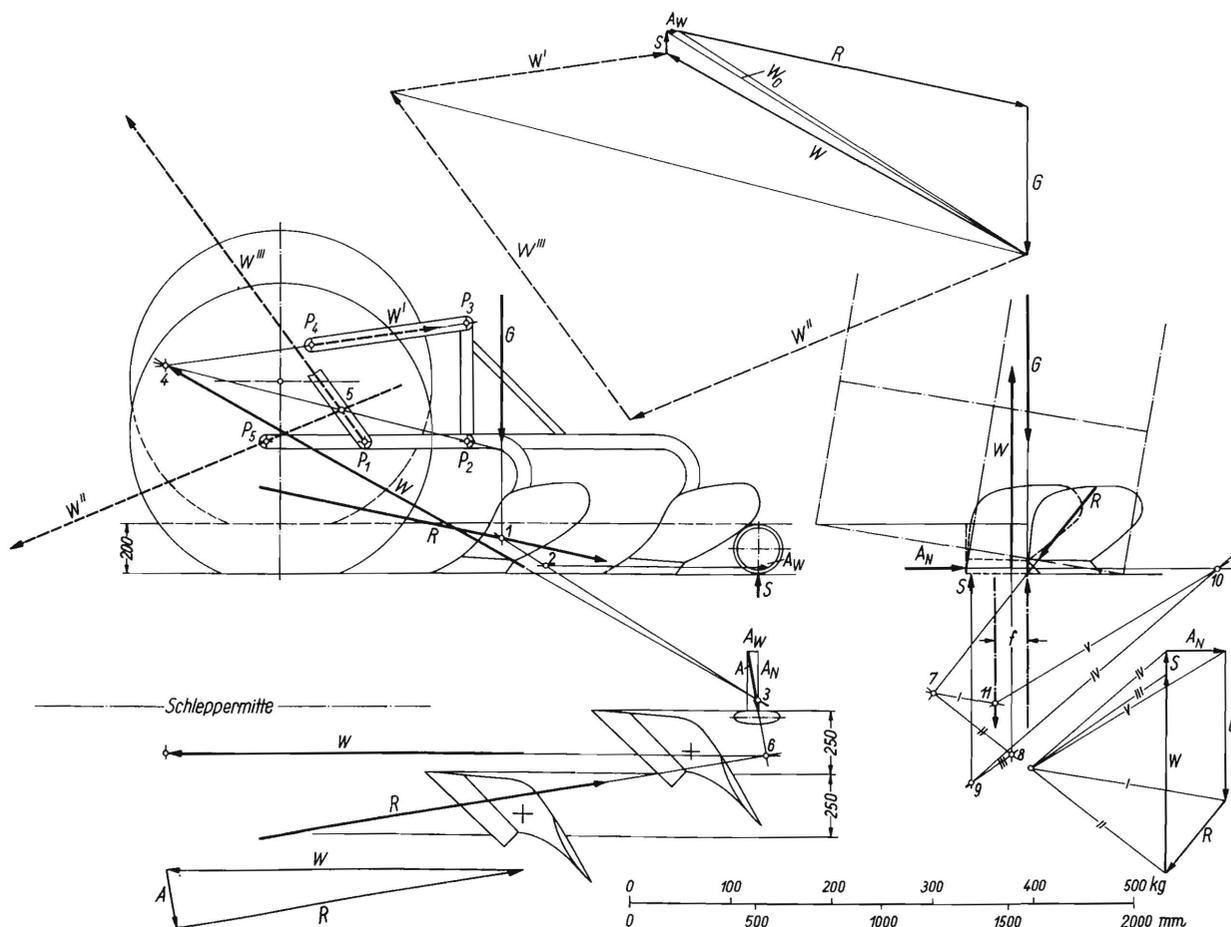


Bild 7. Vom Kraftheber gesteuerter Mehrgelenkpflug (s. System C in Bild 1).

Im Aufriss wird die Ersatzkraft W_0 wieder aus R , G und der seitlichen Reibung A_w der Rolle (Reibungswiderstand 16% der Anlagenkraft A_N) ermittelt. Eine Schleifsohle ist nicht vorhanden, der Pflug wird vom Kraftheber gehalten; jedoch wird durch den Rand der Stützscheibe, die eigentlich nur die seitliche Anlage ersetzen soll, eine Stützkraft S von etwa 25 kg aufgenommen. Aus W_0 und S ergibt sich die resultierende Zugkraft W . Die Richtung von W wird in den Lageplan übertragen, wobei man den Schnittpunkt 4 mit dem Lenker P_3P_4 erhält. W geht (mit Ausnahme eines Sonderfalles) nicht durch den Schnittpunkt der beiden Lenker P_1P_2 und P_3P_4 . Die resultierende Zugkraft W wurde im Aufriss in W' im Lenker P_3P_4 , in W'' am Schleppergelenk P_5 und in die Kraft W''' in dem zum Kraftheber führende Lenker zerlegt. Im Grundriss liegt W annähernd parallel zur Schlepperlängsachse. Im Seitenriss ergibt sich wieder ein am Grindel wirkendes Reaktionsmoment $G \cdot f$.

messungen und das System des *Ferguson*-Schleppers zugrundegelegt [5, 6]. Das Gelenkviereck wird durch den Kraftheber, der am Punkt P_1 den unteren Lenker und damit das Viergelenk-System festhält, gesteuert. Wenn der Zugwiderstand und dadurch die Druckkraft W^I im oberen Lenker P_3P_4 sich ändert, wird über eine Feder der Kraftheber betätigt [7]. Für die seitliche Pendelung sind die Lenker in Kugelgelenken gelagert und schwingen, da der Schnittpunkt ihrer Verlängerungen etwa an der Vorderachse des Schleppers liegt, um diesen ideellen Punkt. Die resultierende Zugkraft W liegt daher im Grundriss etwa parallel zur Schlepperlängsachse.

4. Die Achslasten am Schlepper

Auf Bild 8 ist die Wirkung des Arbeitswiderstandes W des Pfluges auf die Achslasten des Schleppers dargestellt. Ausser der üblichen Anbringung

C. Forderungen an die Verbindungssteile zwischen Schlepper und Pflug

Nachdem im Vorstehenden die Kräfte zwischen Schlepper und Pflug für die verschiedenen Anbausysteme ermittelt worden sind, wird nun die Beziehung dieser Kräfte zu der Ausbildung der Verbindungselemente zwischen Schlepper und Pflug sowie des Anlenksystems unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Forderungen einer kritischen Betrachtung unterzogen.

Der Pflug soll nach der Auswahl der geeigneten Körper einen Furchquerschnitt von bestimmter Tiefe und Breite gleichmässig über die ganze Furchenlänge halten. Der Pflug muss beim Einsetzen die verlangte Tiefe schnell erreichen und am Ende der Furche auf kürzestem Wege ausgehoben werden können. Während der Arbeit soll bei Änderungen der Arbeitsverhältnisse (Bodenwiderstand, Unebenheiten usw.) der Furchenquerschnitt entweder auto-

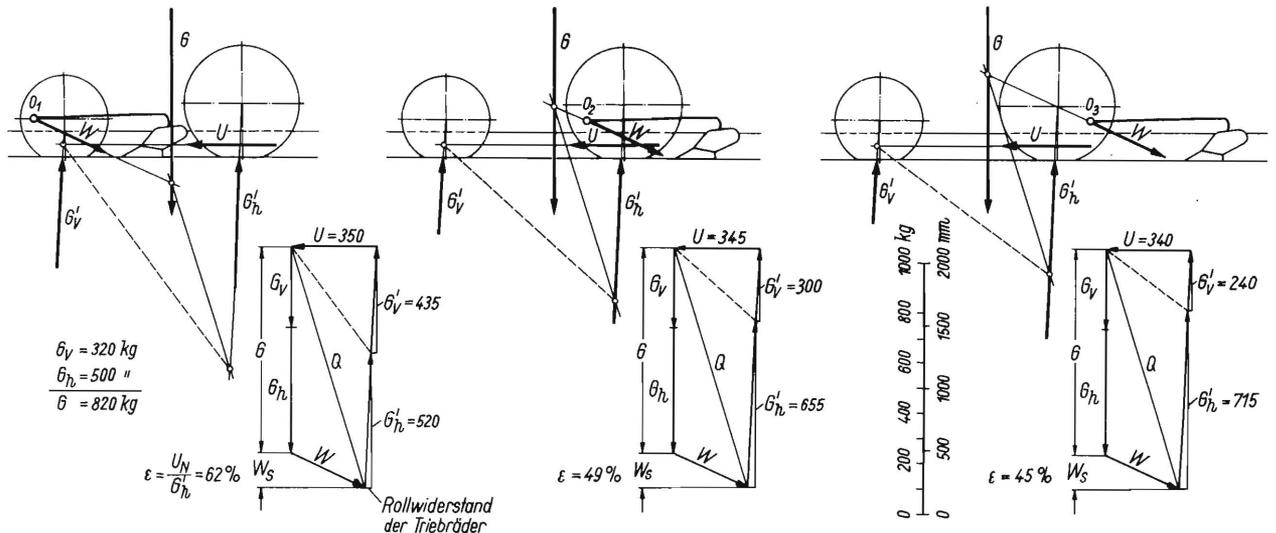


Bild 8. Einfluss des Arbeitswiderstandes eines Pfluges nach System A1 und A2 auf die Achslasten eines Schleppers.

W resultierender Zugwiderstand des Pfluges im Führungspunkt O
 $G = G_v + G_h$ Gewicht des Schleppers
 G_v und G_h statische Radlasten (hinten und vorn)
 G'_v und G'_h Radlasten bei der Arbeit (hinten und vorn)

U Umfangskraft der Triebäder
 U_N Nutzumfangskraft, d.h. die um den Eigenrollwiderstand der Triebäder verminderte Umfangskraft
 $\epsilon = U_N/G'_h$ erforderlicher Kraftschlussbeiwert [8] der Triebäder.

Die bekannten Kräfte W und G ergeben vektoriell addiert die Kraft Q . Der Rollwiderstand wird vorn zu 6% und hinten zu 4% der Achsbelastung angenommen, wodurch die Richtung der Radlasten bei der Arbeit bekannt ist. Nun werden die Wirkungslinien von Q und G'_h sowie von U und G'_v zum Schnitt gebracht. Die Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte ist die (gestrichelte) *Culmann'sche Gerade*, die im Kräfteck die Aufteilung der Gesamtbelastung auf die Vorder- und Hinterachse ergibt. U liegt auf etwa der halben Furchentiefe, da die Räder rechts und links in verschiedener Höhe, der Furche und dem ungepflügten Lande, laufen.

des Pfluges in der Nähe der Hinterachse des Schleppers wird auch die Wirkung der Anlenkung weiter vorn am Schlepper untersucht. Von dem Schleppergewicht $G = 820$ kg soll statisch auf die Vorderachse ein Anteil $G_v = 320$ kg und auf die Hinterachse $G_h = 500$ kg kommen. Durch den Zugwiderstand ändert sich die Gewichtsverteilung. Ferner wird der Schlepper durch die senkrechte Komponente W_s des resultierenden Zugwiderstandes W belastet. Die Verteilung dieser Kraft auf Vorder- und Hinterachse wird durch die Lage des Angriffspunktes O bestimmt. In Bild 9 sind die Achsdrücke G'_v und G'_h in Abhängigkeit von der Lage des Pflugführungspunktes O am Schlepper dargestellt.

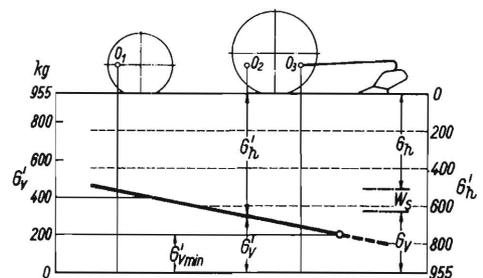


Bild 9. Die Achslasten bei der Arbeit in Abhängigkeit von Lage des Führungspunktes O am Schlepper.

matisch eingehalten oder mindestens vom Schlepversitz aus leicht nachgeregelt werden können. Die Druckkräfte von Anlage und Sohle auf den Boden dürfen nicht so gross sein, dass die Furchenwände verschmiert oder gar eingedrückt werden.

Für den Transport muss der Pflug so hoch ausgehoben werden können, dass er einerseits vor Beschädigung geschützt ist, andererseits aber nicht irgendwelche Funktionen des Schleppers behindert. Der Schlepper darf durch die Kräfte, die vom Pflug auf ihn ausgeübt werden, nicht in seiner Zugfähig-

durch Verdrehen des Pflugkörpers um eine Querachse zu verändern, z.B. bei einem reellen Führungspunkt durch eine Verstellspindel oder einen Verstellhebel, durch die der Grindel mehr oder weniger stark abgeknickt werden kann. Der Führungspunkt ändert dabei seine Lage relativ zum Schlepper nicht ($a = \text{const}$). Er muss aber am Schlepper so niedrig gewählt werden, dass der Pflug auch bei den schwierigsten Verhältnissen nicht auf die Scharspitze geht (Bild 10b). Beim ideellen Anlenkpunkt überlagern sich diese beiden Verstellungen.

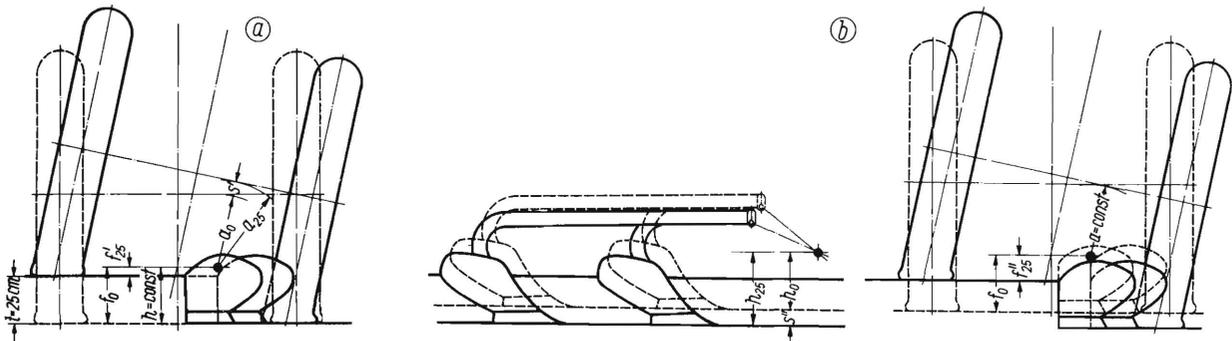


Bild 10. Einstellung der Furchentiefe. Verstellung des Führungspunktes, a) relativ zum Schlepper, b) relativ zur Pflugsohle.

s Verstellweg
h Höhe des Anlenkpunktes über der Furchensohle
a „ „ „ „ unter der Triebachse.

keit und Lenksicherheit beeinträchtigt werden, vielmehr sind durch sie möglichst günstige Rückwirkungen anzustreben. Die an der Anlage und Sohle auftretenden Reibungskräfte müssen mit Rücksicht auf den Gesamtzugwiderstand möglichst gering gehalten werden.

Die sich daraus ergebenden Aufgaben für die Ausbildung der Verbindungselemente und des Anlenksystems können unterteilt werden in

- die Einstellung der Arbeitstiefe und -breite,
- das Erreichen der eingestellten Furchentiefe,
- das Einhalten der gewünschten Lage des Pfluges,
- das Ausheben des Pfluges von der Arbeitsstellung in die Transportstellung und umgekehrt. Über die hierbei auftretenden Kräfte berichtet Seifert an anderer Stelle [7].

1. Die Einstellung der Arbeitstiefe und -breite

Zwei Arten der Tiefeneinstellung kommen, u.U. gleichzeitig, zur Anwendung (Bild 10). Nach der einen wird der Führungspunkt relativ zum Schlepper verstellt und behält seinen Abstand h zur Pflugsohle immer bei (Bild 10a). Dabei muss der Führungspunkt O gegenüber der Pflugsohle so tief liegen, dass auch bei dem grössten Furchenquerschnitt und unter schwierigen Bodenverhältnissen immer noch ein ausreichender Sohlendruck vorhanden ist.

Die zweite Verstellmöglichkeit besteht darin, den Abstand der Pflugsohle von dem Führungspunkt O

Wollte man bei den Systemen A1, B1 und B2 zur Einhaltung des Sohlendruckes den Führungspunkt am Pflug tiefer legen, so würde man dadurch immer mehr die Bodenfreiheit zwischen Anlenkpunkt und ungepflügtem Boden verringern. Es führt zu Störungen, wenn sich Pflanzenreste, Erde oder Mist vor dem Anlenkpunkt zusammenschieben, unter Umständen kommt es sogar dazu, dass der Schlepper aufsitzt. Bild 10 und 11 zeigen, dass die Verstellung des Knickwinkels am Grindel hinsichtlich der Bodenfreiheit etwas vorteilhafter ist. Die Bodenfrei-

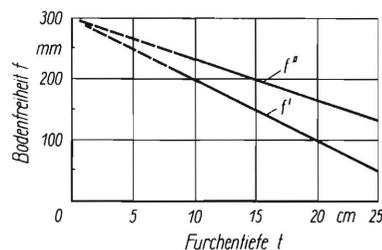


Bild 11. Bodenfreiheit des Führungspunktes in Abhängigkeit von der Furchentiefe.

heit kann auch durch Verlängerung des Grindels vergrössert werden, wenn der Führungspunkt auf der Wirkungslinie von W nach vorne verschoben wird. Da der Einzugswinkel bei längerem Grindel jedoch immer kleiner wird, und damit der Pflug nur langsam auf seine eingestellte Tiefe kommt, müssen diese beiden Forderungen gegeneinander abgeglichen werden.

Beim System A2 und C mit ideellem Führungspunkt treten diese Schwierigkeiten nicht auf. Hier kann man die ideelle Grindellänge und die Lage des Führungspunktes in weiten Grenzen durch die

Wahl der Längen des Gelenkvierecks beherrschen. Die Tiefe wird beim System A2 durch Verschiebung eines Festpunktes bzw. durch Änderung in der Länge eines Hebels am Lenkerviereck, beim System C durch den Kraftheber geregelt. Auch die Einstellung des Pflugkörpers um seine Längsachse, die zunächst dazu dient, in der Ebene eine senkrechte Furchenwand unabhängig von der Schräglage des Schleppers zu erzielen, wirkt sich auf den Tiefgang des Pfluges aus. Über diesen Einfluss liegen noch keine Untersuchungen bzw. Ergebnisse vor.

In Bild 12 ist der Einfluss der Lage des Führungspunktes auf die Sohlenkraft an einem Einscharpflug zu erkennen, und zwar wird S mit zunehmender Tiefe geringer. Legt man den Führungspunkt auf 450 mm, so zeigt sich im Krafteck für tiefe Furchen, dass S negativ geworden ist – der Pflug geht also auf die Spitze. Durch ein zusätzliches Moment kann der Sohlendruck auch in diesem Fall aufrecht erhalten werden, jedoch darf hierdurch nicht die freie Pendelung des Pfluges behindert werden. Gewichte, Federn oder das Hubwerk werden dazu benutzt, um ein Moment auszuüben. Zusatzgewichte und Federn können unter Umständen das Ausheben erschweren, wenn sie nicht so angebracht sind, dass sie ausserhalb des Arbeitsbereiches wirkungslos werden. Es ist auch möglich, durch eine Verlängerung des Grindels den Sohlendruck zu verstärken, wie an es Häufelwerkzeugen bekannt geworden ist.

Beim Einachsschlepper steigt der Sohlendruck infolge des wachsenden Antriebsdrehmomentes mit grösserer Tiefe an, jedoch wird hier der Bedienungsmann, um das Einwühlen der Triebäder zu verhindern, einen Teil des Sohlendruckes durch Anheben der Holme aufnehmen und dadurch die gewünschte Tiefe einregeln.

Die Arbeitsbreite wird durch eine seitliche Verlegung des Führungspunktes relativ zum Schlepper eingestellt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Pflugkörper in ihrer Stellung zum Anhängenpunkt um ihre Hochachse zu verdrehen²⁾ oder bei Anwendung eines Lenkertrapezes durch Verlängerung des einen Lenkers.

2. Das Erreichen der eingestellten Furchentiefe

Notwendig für das schnelle Erreichen der Tiefe ist ein möglichst grosser Anstellwinkel zwischen Pflugsohle (Richtlinie) und Bodenoberfläche und ein grosses Einzugsmoment, das sich aus der Lage des Führungspunktes und der Wirkung der Kräfte am Pflug ergibt.

Der Anstellwinkel wird umso grösser, je kleiner die reelle oder ideelle Grindellänge ist. Bei flacher Furche ist das Einzugsvermögen, bei der Drehung

um einen festen Führungspunkt, infolge des kleinen Anstellwinkels am geringsten. Durch entsprechende Wahl der Polbahn des ideellen Führungspunktes (System A2) lässt sich der Anstellwinkel bei allen Tiefen in der gewünschten Grösse halten.

Das Eindringen des Pfluges wird dadurch beschleunigt, dass man zunächst den Führungspunkt für eine tiefe Furche einstellt, ihn sozusagen übersteuert und nach dem Eindringen auf die richtige Tiefe zurückstellt. Dies ist im allgemeinen nur bei einer Verstellung des Führungspunktes relativ zum Schlepper möglich. Hierdurch werden sowohl das Einzugsmoment als auch der Anstellwinkel vergrössert. In diesem Zusammenhang muss bemerkt werden, dass das System C bei den Massen nach *Ferguson* nur einen sehr kleinen Anstellwinkel hat. Trotzdem ist der Einzug gut, weil das Einzugsmoment gross ist. Während

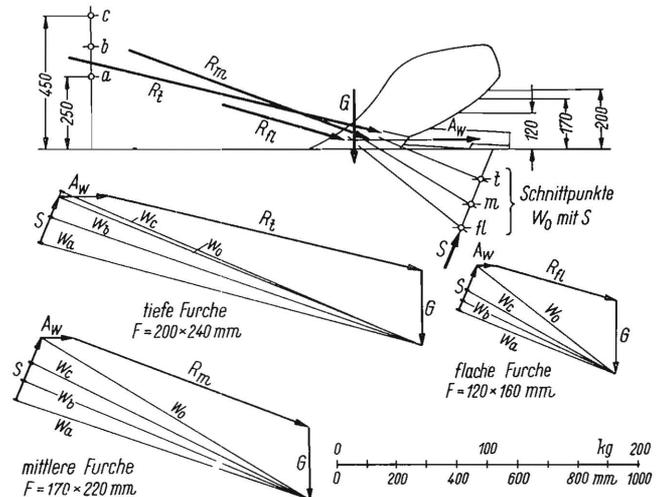


Bild 12. Einfluss der Lage des Führungspunktes auf den Sohlendruck.

sich nämlich der Führungspunkt, wenn der Kraftheber den Pflug hält, in der in Bild 7 gezeichneten Lage im Schnittpunkt 4 am oberen Lenker befindet, liegt er beim Herunterlassen des Pfluges in der Verlängerung der beiden Lenker P_1P_2 und P_3P_4 , also weit unter der Wirkungslinie von \bar{W} .

Die Ausführung von *David Brown*³⁾ erlaubt es, mit dem Kraftheber den oberen Lenker des Gelenkvierecks zu verlängern oder zu verkürzen, sodass die Schleifsohle (Richtlinie) beim Einsetzen des Pfluges sehr stark auf die Spitze, beim Ausheben auf die hintere Schleifsohle gestellt wird, womit das Eindringen bzw. das Ausheben des Pfluges erleichtert wird.

Zu einem schnellen Eindringen trägt ferner die Scharform bei. Die von den Amerikanern und auch von *Ferguson* [2] verwendeten Schnabelschare sind etwas nach unten zugespitzt, ebenso die deutschen Meisselschare, die gleichfalls ein besseres Einzugsvermögen haben. Manchmal lassen sich durch geringe Änderungen des Scharwinkels der Einzug und der Sohlendruck des Pfluges günstig beeinflussen.

²⁾ Ausführung des Pfluges am Kettenschlepper der Firma *Bristol Tractors Ltd.*

³⁾ Unterlage: Firmenprospekt.

3. Das Einhalten der gewünschten Lage des Pfluges

Der Pflug soll bei der Arbeit in der Ebene unter den vorliegenden Bodenverhältnissen in der eingestellten Tiefe immer horizontal sowie parallel zur Fahrtrichtung gehen. Es soll dadurch ein gleichmässiger, rechteckiger „Pflugbalken“ herausgeschnitten werden und eine saubere Furche entstehen.

Die Einhaltung der eingestellten Tiefe und die Beibehaltung der gewünschten Lage des Pfluges werden im Aufriss durch das Gleichgewicht der Kräfte bewirkt. Die Kräfte werden durch die Bewegungen des Führungspunktes infolge der Schleppernickschwankungen und durch die Änderungen des Bodenwiderstandes, die häufig innerhalb einer einzigen Furchenlänge auftreten können, beeinflusst. Ein ausreichender Sohlendruck kann diese in gewissen Grenzen ausgleichen; er darf aber nicht zu gross werden, damit die Furchensohle nicht verschmiert wird.

Von Seiten der Landwirtschaft kann man die Forderung aufstellen, dass die Furchensohle möglichst genau entsprechend der Bodenoberfläche abgebildet werden soll. Jedoch wird man nicht verlangen, dass bei kurzen Unebenheiten, wie z.B. bei Querfurchen, der Pflug sofort folgt. Diese Bedingungen werden von den 3 verschiedenen Systemen mehr oder weniger gut erfüllt. Beim System A kann durch eine grosse reelle oder ideelle Grindellänge erreicht werden, dass der Pflug bei kurzen Unebenheiten nicht folgt, aber bei längeren Wellen mit einer gewissen Phasenverschiebung die Tiefe nachregelt. Bei System B bekommt man eine genauere Nachbildung der Bodenoberfläche, da die Stützräder dicht vor dem Pflugkörper laufen. Dabei ist der Gang des Pfluges weniger durch die von den in der Vorfurche und auf den Unebenheiten des ungepflügten Landes laufenden Schlepperrädern beeinflusst.

Beim System C wird durch die Steuerung des Krafthebers bei jeder Schwankung des Schleppers die Arbeitstiefe des Pfluges unter homogenen Bodenverhältnissen gleichgehalten, weil sich Änderungen im Zugwiderstand sofort auf den Kraftheber auswirken. Der Unterschied bei der Einhaltung der gewünschten Furchentiefe zwischen den Systemen B und C besteht darin, dass bei System C die Zugkraft konstant gehalten wird, falls man nicht mit dem Kraftheber nachregelt, d.h. dass sich bei wechselnden Bodenwiderständen die Furchentiefe ändert, während bei System B die Forderung nach genauer Abbildung der Bodenoberfläche unabhängig von schwankenden Bodenwiderständen weitgehend infolge der Führung durch das Stützrad erfüllt wird.

Der Drehpflug, bei dem das Gewicht beider Körper auf das Kräftespiel wirksam ist, läuft unter gleichen Verhältnissen (Abmessungen und Gewichten) gleichmässiger in der Furche als der Wechselflug. Dabei wird durch das grössere Gewicht auch bei starken Änderungen des Bodenwiderstandes ein

ausreichender Sohlendruck aufrecht erhalten. Der Kraftheber muss allerdings immer das Gewicht beider Pflugkörper ausheben. Dadurch, dass infolge des grösseren Gewichtes die Entfernung der Scharspitze vom Führungspunkt bei Einhaltung eines gleich grossen Sohlendruckes kleiner gewählt werden kann, lässt sich dieser Nachteil ausgleichen. Die Vorteile des Drehpfluges, die vor allem in der Vereinfachung des Hubwerkes und dem Wegfall einiger Gelenke gegenüber dem Wechselflug bestehen, sollten zu seiner Bevorzugung in Verbindung mit den Systemen A2 und C führen. Beide Systeme können durch eine Dreipunktkupplung mit dem Drehpflug und anderen Geräten verbunden werden.

Die zur Fahrtrichtung parallele Lage der Pflugsohle wird im Grundriss, wie vorher im Aufriss, durch das Gleichgewicht der Kräfte hergestellt. Auch hier ist ein gewisser Anlagendruck notwendig, um bei geringen Änderungen des Bodenwiderstandes den Pflug an der Furchenwand zu halten. Er soll jedoch nicht zu gross werden, damit der Reibungswiderstand und die benötigte Zugkraft niedrig bleiben. Besonders bei flacher Furche kann es vorkommen, dass die seitliche Wand eingedrückt wird und der Pflug herauspringt. Wird jedoch der Anlagendruck am Pflug dadurch verringert, dass man den Zugpunkt relativ zum Pflug weiter nach aussen legt, so ergeben sich ungünstige Wirkungen auf den Schlepper. Dies trifft besonders beim Ein- und Zweischarpflug zu, während bei einem Dreischarpflug der Führungspunkt sehr nahe an der Schlepperlängsachse liegt.

Bei Anwendung eines Lenkertrapezes (mit der kurzen Basis vorne) in der horizontalen Ebene verschiebt sich der Führungspunkt bei einem Ausschlag seitlich. Auch hierdurch wird der Anlagendruck am Pflug verringert. Der Führungspunkt ist, ähnlich wie beim Gelenkviereck in der vertikalen Ebene, nur ideell vorhanden und liegt meistens vor der Schlepperhinterachse.

Die reelle oder ideelle Grindellänge im Grundriss wirkt sich dahingehend aus, dass ein kurzer Grindel den Pflug schneller beim Einsetzen in die parallele Lage zur Fahrtrichtung und bei Kurven in die neue Richtung zieht. Am Hang ist ein kurzer Grindel gleichfalls zu bevorzugen, weil das den Pflug hangabwärts ziehende Moment um den Aufhängepunkt im Grundriss kleiner wird. Eine seitliche Verstellung des Pfluges am Hang ist nicht zu umgehen, wenn man die horizontale Pendelung beibehalten will. Im allgemeinen wird bei Anbaupflügen z.Zt. noch das seitliche Ausweichen des Pfluges am Hang durch einen verstellbaren Anschlag begrenzt. Dadurch können aber Zwangskräfte auftreten, die den Grindel oder andere Anbauteile verbiegen. Die starre Anbringung des Drehpfluges am Schlepper der Firma *Alpenland*, die in diesem Zusammenhang erwähnt werden soll, ist nur deshalb möglich, weil der Schnittpunkt der Achsen der vier gelenkten Räder auf der Höhe des Pfluges liegt [9].

E. Beeinflussung der Kräfte zwischen Pflug und Schlepper

Die Grösse und Richtung sowie die Lage des resultierenden Arbeitswiderstandes des Pfluges am Schlepper, deren Ermittlung im ersten Teil gezeigt wurde, wirken sich auf die Grösse der Achslasten des Schleppers aus. Besonders beim leichten Schlepper ist die Grösse der Last auf den treibenden und den gelenkten Rädern für die Zugfähigkeit und die Lenksicherheit entscheidend. Erwünscht ist es, dass der Arbeitswiderstand W eine grosse senkrechte Komponente W_s hat und dass durch seine Lage relativ zum Schlepper eine möglichst hohe Belastung der Triebräder erfolgt, ohne dass die Lenksicherheit beeinträchtigt wird. Die Grösse und Richtung des Arbeitswiderstandes lässt sich durch die Konstruktion des Pfluges und das Anbausystem beeinflussen, wobei auf die im vorigen Abschnitt genannten landwirtschaftlichen und technischen Forderungen Rücksicht zu nehmen ist. Voraussetzung für eine erwünschte senkrechte Komponente W_s des Arbeitswiderstandes ist, dass die aus den Kräften R , G und A_w vektoriell gebildete Ersatzkraft W_0 (z.B. in Bild 2) bereits eine möglichst grosse senkrechte Komponente hat.

Um dieses zu erreichen, gibt es zwei Wege, erstens den Pflugkörper unter Berücksichtigung seiner sonstigen Aufgaben so zu formen, dass der resultierende Bodenwiderstand R eine möglichst starke Neigung gegenüber der Horizontalen bekommt, zweitens das Verhältnis von Pfluggewicht zum Zugwiderstand möglichst gross zu machen.

Während für den ersten Weg manche Möglichkeiten bestehen, sollte im zweiten Falle der Pflug nicht schwerer sein, als die auftretenden Beanspruchungen es erfordern. Ein grosses Gewicht wirkt sich besonders beim Ausheben ungünstig aus. Den Zugwiderstand, der im wesentlichen durch die Bodenart und die Form des Pflugkörpers bestimmt ist, kann man nur insofern herabsetzen, als man durch eine geschickte Wahl der Führungspunkte in der horizontalen und vertikalen Ebene die Reibung der Anlage und Sohle so gering wie möglich hält.

Nachdem W_0 festgelegt ist, wird die Richtung und Lage von W nur durch die Wahl des Führungspunktes und die Art der Abstützung bestimmt, die bei den Systemen A bis C verschieden sind.

Die günstigste Wirkung wäre dann erreicht, wenn der Führungspunkt auf der Linie von W_0 liegen könnte. Die senkrechte Komponente von W_0 ist der maximale Wert, den W_s erreichen kann. Bei dem gesteuerten Mehrgelenkpflug C, Bauart *Ferguson*, könnte dieser Fall eintreten, da keine Sohle vorhanden ist. Bei den uns bekannten Ausführungen befindet sich jedoch eine in der Höhe bewegliche von einer Feder abgestützte ballige Scheibe anstatt der üblichen Seitenanlage am Pflug, die durch ihre Reibung auch

senkrechte Stützkkräfte aufnehmen kann. Diese betragen bei der üblichen Arbeitsstellung etwa 20–30 kg, wie durch Messungen festgestellt wurde. Um diesen Betrag S_N wird also die senkrechte Komponente W_s gegenüber der senkrechten Komponente von W_0 kleiner.

Bei den beiden anderen Systemen (A und B) muss der Führungspunkt unterhalb der Wirkungslinie von W_0 liegen, damit auf den Pflug ein Moment von einer Grösse ausgeübt wird, die ausreicht, auch bei vorübergehendem Anstieg des Bodenwiderstandes den Pflugkörper in seiner horizontalen Lage zu halten. In dem Augenblick, in dem das Moment von links gesehen gegen den Uhrzeigersinn wirkt, geht der Pflug auf die Scharspitze, was eine unsaubere Arbeit zur Folge hat. Solange das Moment rechtsdrehend ist, muss es beim System A durch die Sohle aufgenommen werden. Aus Bild 12 geht hervor, dass, je niedriger der Führungspunkt liegt, umso grösser S_N werden muss und dass die gewünschte senkrechte Komponente W_s um den Betrag S_N kleiner wird als die senkrechte Komponente von W_0 . Sind Stützrolle und Sohle zur Aufnahme des rechtsdrehenden Momentes vorhanden (System B), so wird die senkrechte Komponente von W gleichfalls um den Betrag von C_N und S_N kleiner, wie Bild 6 zeigt. Die Grösse von C_N und S_N hängt, wie bereits erwähnt, von der Lage des Zughebels P_1P_2 ab.

Bei dem Pflug (B1 und B2) muss die Stützrolle umso grössere Kräfte aufnehmen, je näher sie am Führungspunkt liegt. Dadurch erhält W u. U. sogar eine entgegengesetzte Komponente W_s , die den Schlepper entlastet und zum Durchrutschen der Triebräder führen kann (Bild 5). Ähnliche Kräfteverhältnisse können auch vorliegen, wenn ein Scheibenpflug oder ein Wendepflug mit einem Scheibensech auf sehr hartem Boden arbeitet. Ein Teil des Schleppergewichtes muss dann zum Eindringen der Scheiben in den Boden aufgewendet werden, wodurch die Triebachse entlastet wird.

Lage und Grösse von W_0 sind massgebend für die am Kraftheber im ersten Augenblick des Anhebens auftretende Kraft (Kettenkraft mal deren Hebelarm um den Anlenkpunkt).

Nachdem die Widerstandslinie vom Pflug aus festliegt, lassen sich durch keine irgendwie gestalteten Hebel oder Führungen andere Wirkungslinien der Kräfte für die Achslastverteilung des Schleppers erzielen. Die einzige Möglichkeit für den Konstrukteur besteht nun nur noch darin, die Lage des Pfluges am Schlepper günstig zu wählen. Die Entscheidung darüber muss jedoch schon beim Entwurf des Schleppers unter Berücksichtigung der Wirkungslinien sämtlicher Geräte und des Ackerwagens getroffen werden. Auf Bild 8 und 9 ist der Einfluss der Lage des Pfluges am Schlepper dargestellt. In Bild 8 ist bei gleicher Grösse und Richtung des Arbeitswiderstandes W der Führungspunkt einmal vor

dem Schlepper, einmal zwischen den Achsen und einmal hinter dem Schlepper angenommen und dazu in den Kraftecken die Änderung der Achslasten bei der Arbeit gegenüber den statischen Achslasten ermittelt. Ferner ist der Kraftschlussbeiwert, das Verhältnis von Umfangskraft zur jeweiligen Hinterachslast, eingetragen [11]. Es zeigt sich, dass bei der rechten Figur der Kraftschlussbeiwert mit 45% den normalen Verhältnissen der Haftfähigkeit entspricht, während er sich bei der mittleren Figur bereits auf 49% verschlechtert. Bei der Anlenkung des Pfluges in der Nähe der Vorderachse, z.B. beim *Allis Chalmers* Typ G – dort jedoch mit ideellem Führungspunkt – erhält man einen Kraftschlussbeiwert von 62%. Dies bedeutet, dass der Schlepper nur unter günstigsten Bedingungen und mit einem sehr grossen Schlupf die vorgesehene Pflugfurche noch bearbeitet, wenn er nicht durch Zusatzgewichte belastet wird.

Bild 9 zeigt zusammenfassend die wechselseitige Änderung der Vorder- und Hinterachslast entsprechend der Lage des Führungspunktes, durch den der Arbeitswiderstand W hindurchgeht. Da eine Vorderachslast von erfahrungsgemäss etwa 200 kg an einem solchen Leichtschlepper nicht unterschritten werden sollte, ist durch dieses G_V min die äusserste hintere Grenze für die Lage des Führungspunktes bei den gewählten Arbeitsverhältnissen gegeben.

In einer früheren Veröffentlichung [10] wurde gezeigt, dass am leichten Schlepper der Anbaupflug dem Anhängerpflug vorzuziehen ist. Aus dem betreffenden Bild geht hervor, dass von diesem Schlepper bei einer Haftfähigkeit, die einem Kraftschlussbeiwert von 50% entspricht, beim Anhängerpflug ein Zugwiderstand von 300 kg, beim Anbaupflug ein solcher von fast 400 kg überwunden werden kann, d.h. dass beim gleichen Furchenquerschnitt der Schlepper mit Anbaupflug ein geringeres Gewicht auf der Triebachse benötigt, also leichter gebaut sein kann.

F. Überlastungsschutz

Die Kräfte in den Verbindungsteilen zwischen Werkzeug und Schlepper lassen sich nach den bisher geschilderten Verfahren für eine normale Arbeit des Pfluges ermitteln. Beim Auftreffen des Pfluges auf ein Hindernis können aber Spitzenbeanspruchungen auftreten, die um ein Mehrfaches grösser sind. Um dies zu vermeiden, verwendet man Sicherheitsvorrichtungen. Bekannt sind die Scherbolzensicherung und die Federauslösung, die von verschiedenen deutschen Firmen angewendet werden.

Ferguson hat an seinem Schlepper eine Lösung verwendet, bei der die Steuerung des Krafthebers und die kinematischen Eigenschaften des Gelenkvierecks dazu benutzt werden, um durch eine Änderung der Lage des resultierenden Zugwiderstandes W bei Überlastung ein Rutschen der Triebäder herbeizuführen. Durch den Kraftheber wird das gesteuerte Gelenkviereck beim Auftreffen auf ein Hindernis in ein freischwingendes verwandelt [10]. Der

resultierende Zugwiderstand geht in diesem Augenblick etwa durch die Aufstandslinie der Triebäder, und die zusätzliche Belastung der Triebachse wird aufgehoben. Da die Grenze der Haftung jedoch von vielen wechselnden Faktoren abhängt, wirkt diese Art der Sicherheitseinrichtung verhältnismässig ungenau.

G. Gültigkeit der Betrachtungen für andere Anbaugeräte

Durch Einsparung von Verbindungs- und Einstell-elementen für jedes einzelne Gerät können die Anschaffungskosten der Anbaugeräte herabgesetzt werden. Die Anbauteile sollten deshalb so gestaltet werden, dass sie ausser für den Pflug auch für andere Geräte, wie Grubber, Spurlockerer, Drillmaschine, Düngerstreuer, Kartoffelkulturgeräte, Hackeinrichtung, sowie für Erntegeräte brauchbar sind [12].

Die vorstehenden Ausführungen über den Anbaupflug gelten bei entsprechender Abwandlung auch für andere am Schlepper angebaute Geräte. Die Resultierende des Arbeitswiderstandes lässt sich auch dort aus der Bodenwiderstandskraft, dem Gewicht und den Stützkraften in gleicher Weise ermitteln wie beim Pflug. Bei Geräten mit geringerem Arbeitswiderstand oder grosser Arbeitsbreite sind Stützräder in Verbindung mit dem System A2 oder B2 (über das System C konnten noch keine Erfahrungen gesammelt werden) zweckmässig, um die Arbeitstiefe auch bei wechselndem Boden gleich zu halten. Eine Einzelaufhängung der Werkzeuge wird dabei häufig vorteilhaft sein. Infolge der Stützräder bekommt allerdings die Triebachse des Schleppers keine oder nur eine geringe zusätzliche Belastung.

Der Wunsch, nicht nur die Geräte einer Firma an einem Schlepper, sondern auch verschiedene Fabrikate an verschiedene Schlepper anzuschliessen, führte zu einer Vereinheitlichung, die von der Normengruppe Landmaschinen und Ackerschlepper zu einem gewissen Abschluss gebracht worden ist [16], jedoch eine Weiterentwicklung von der heute üblichen Eingelenkanhängung (System A1 und B1) zur Mehrgelenkanhängung (System A2) erlaubt.

Schrifttum

- [1] *Gommel, W.*: Über die Durchbildung und Betätigung von Anbaugeräten bei Landwirtschaftsschleppern. Diss. T.H. Stuttgart 1944. Auszugsweise in: Berichte über Landtechnik III, Schlepper und Arbeitsgerät. Wolfratshausen/München 1948. S.88 ff.
- [2] *Ferguson, Harry, Ltd., Coventry*: Britisches Patent Nr. Pflugbefestigung am Gelenkviereck 160248 (1920/21), Erste automatische Tiefenregelung 253566 (1925/26), Gelenkviereck in der waagerechten Ebene 320084 (1929), Federregelung auf gleichen Zugwiderstand 470069 (1937), Aufhebung der seitlichen Pendelung nach Ausheben der Geräte durch Ketten 471515 (1937), Wirkung des Krafthebers bei Hindernissen 470087 u. 622166 (1937).

- [3] *Getzlaff, G.*: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper, s. a.a.O. dieses Heftes.
- [4] *Poncet, W.v.*: Untersuchungen über das Kräftespiel an einem Pflugkörper.
Diss. T. H. München 1939.
- [5] *Clyde, A.W.*: Mechanics of Plow and Tractor Hitches.
Agricult. Engng. Nov. 1934.
- [6] *Clyde, A.W.*: Mounted Plows and their Effect on the Tractor Agric. Engng. Mai 1940.
- [7] *Seifert, A.*: Ölhdraulische Kraftheber für den Ackerschlepper, Bild 14, s. a.a.O. dieses Heftes.
- [8] *Bock, G.*: Reifenprobleme.
In: Berichte über Landtechnik XI, Der Schlepper und sein Gerät. Wolfratshausen/München 1950. S. 17 ff.
- [9] *Meyer, H.*: Die Schlepper auf den Ausstellungen in Hannover und München.
Landtechn. 4 (1949) S. 688.
- [10] *Skalweit, H.*: Der Einfluss der landwirtschaftlichen Arbeitsgeräte auf die Gestaltung des Schleppers.
Z. VDI 92 (1950) S. 967 u. 971.
- [11] *Meyer, H.*: Beiträge zur Beurteilung von Schlepperbauarten.
In: Berichte über Landtechnik III, Schlepper und Arbeitsgerät. Wolfratshausen/München 1948. S. 108 ff.
- [12] *Skalweit, H.*: Technische Möglichkeiten des Schlepperbaues zur Erfüllung der landwirtschaftlichen Forderungen.
In: Berichte über Landtechnik VII d, Vorträge KTL-Tagung Wiesbaden. Wolfratshausen/München 1950. S. 90 ff.
- [13] *Marks, K.*: Der Einfluss der Anhängelast auf die Radbelastung beim Schlepper.
Landtechnik 4 (1949) S. 828/830.
- [14] – Proving avhjultractor (Ferguson TE-A-20).
Statens Maskinprovningar, Ultuna-Alnarp (Schweden).
Mitt. Nr. 910 (1949).
- [15] *Jouhannaud, M.*: Dynamique des Tracteurs à Outils Portés.
Machine Agricole Moderne IV (1950) H. 7/8.
- [16] – Abdruck des Normentwurfes 9672
in: Landtechn. 6 (1951) 78.

Institut für Schlepperforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dipl.-Ing. H. Meyer.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Helmut Skalweit, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft

DIE KINEMATIK VON AUSHEBEVORRICHTUNGEN

Von Kurt Hain

Die Aushebevorrichtungen an Ackerschleppern dienen vor allem dazu, Bodenbearbeitungswerkzeuge für den Transport auf der Strasse zu heben und auf dem Acker das Werkzeug so weit zu senken, dass es in einer geforderten Tiefe einwandfrei arbeitet. Diese Aushebevorrichtungen müssen jedoch ausser dem Heben und Senken noch eine Reihe anderer Forderungen erfüllen, die nachstehend behandelt werden.

Beim Heben und Senken der Werkzeuge ist zu beachten, dass in gehobener Stellung eine genügende Bodenfreiheit gesichert ist. Es wird vereinzelt sogar die Forderung gestellt, die Geräte so hoch zu heben, dass die Anhängelklausen am Schlepper zum Einhängen des Ackerwagens oder anderer Anhängergeräte von den gehobenen Werkzeugen freigegeben wird. Wichtig ist auch eine günstige Lage des Gesamtschwerpunktes des angehängten Gerätes so, dass der Schlepper nicht nach hinten kippen kann. Bei Vorhandensein eines Krafthebers sollte dafür gesorgt werden, dass keine allzu hohen Belastungsspitzen [1] auftreten, d.h. die Kräfte, die auf den Kolben des Krafthebers wirken, sollen während des gesamten Bewegungsverlaufes möglichst konstant bleiben. Es ist also die Forderung zu erfüllen, die durch die Gewichte der zu hebenden Teile entstehenden Kräfte bzw. Drehmomente der Charakteristik der Kraftheber möglichst gut anzupassen [2].

Die Arbeitsbedingungen für den Pflug sind so vielseitig, dass in den folgenden Ausführungen dieses Gerät allgemein als Beispiel angenommen werden soll. Zu erwähnen wäre allenfalls noch die Aushebevorrichtung für den Mähbalken, bei der eine sogenannte Schwadstellung verlangt wird, wobei der Mähbalken nur so weit aus dem Arbeitsbereich gehoben und gerastet wird, dass ein einwandfreies Wenden auf dem Felde möglich ist. Für den Transport auf der Strasse muss der Mähbalken dagegen zur Verringerung der Fahrbreite senkrecht nach oben geklappt und dort wieder eingerastet werden. Die Möglichkeiten solcher Mittelraststellungen sollen im Folgenden unberücksichtigt bleiben.

1. Kinematische Vorbetrachtungen

Die Aushebevorrichtungen bestehen im allgemeinen aus einfachen Stangen mit Bohrungen. Zylindrische Zapfen dienen zur gelenkigen Verbindung dieser Teile. Es handelt sich nur um schwingende Bewegungen, und keines der bewegten Teile vollführt im allgemeinen umlaufende Drehbewegungen. Die Übertragung von einem Getriebeteil auf das andere ist – im Gegensatz beispielsweise zu Zahnradgetrieben – ungleichförmig, d.h. bei einem gleichförmig sich bewegenden Antriebsglied bewegen sich sämtliche anderen Getriebeglieder mit sich ändernder Geschwindigkeit. Das hat zur Folge, dass sich