

Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Anbaupflug in zwei Meßstellen

Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode

Der Wert von Messungen der zwischen Pflug und Schlepper wirkenden Kräfte nach Größe, Richtung und Lage besteht vor allem darin, daß daraus die zusätzliche Belastung der Triebachse bestimmt werden kann und damit das notwendige Schleppergewicht, auch im Vergleich zwischen Gelenkviereckpflügen, Anhängelpflügen und angebauten Stelzpflügen ohne oberen Lenker. Außerdem können die Ergebnisse die Grundlage für weitere Untersuchungen am Dreipunktanbau bilden, etwa über die Lage des Führungspunktes und des Momentanpols des Lenkergetriebes oder die Größe und den Verlauf der Kräfte in den Lenkern als Geber für regelnde Kraftheber.

Aus diesen Gründen wurden in verschiedenen Ländern Meßeinrichtungen und Auswerteverfahren entwickelt [1 ÷ 10]. Bei einigen werden Kräfte und Momente räumlich gemessen, bei anderen nur Längs- und Vertikalkräfte, also keine Querkräfte und bei manchen allein die Längskraft in Fahrtrichtung des Schleppers. Eine Beschränkung auf möglichst wenige Meßstellen ist anzustreben, um die Auswertearbeit zu erleichtern. Zur Bestimmung der zusätzlichen Belastung der Schleppertriebachse sind beim Dreipunktanbau mindestens zwei Meßstellen für Kraftkomponenten in waagerechter und senkrechter Richtung notwendig, während die Messung der Längskraft nur bei Anhängelpflügen und bei angebauten Stelzpflügen oder für einen Vergleich der Zugwiderstände von Geräten in verschiedenen Böden und Tiefen ausreicht.

Die zusätzliche Belastung der Triebachse läßt sich auch durch Meßstellen am Körper der Schlepperhinterachse messen, wobei die Häufigkeitsverteilung der auftretenden Kräfte, beispielsweise auf unebener Fahrbahn, unmittelbar registriert werden kann [8]. Die Lage der resultierenden Widerstandskraft ist dann aus den waagerecht und senkrecht gemessenen Kräften grafisch zu ermitteln, wenn die Vorderachslast bekannt ist.

Eine verhältnismäßig einfache Einrichtung, mit der die Kräfte in allen Ebenen bestimmt werden können, besteht aus einem Zwischenrahmen mit Meßstellen zwischen den Lenkern des Dreipunktanbaues und den Kupplungsbolzen des Gerätes. Dieser Rahmen läßt sich im Wechsel für verschiedene Schlepper und Geräte verwenden. Eine Ausführung ist neuerdings bekannt geworden, bei der die geometrischen Verhältnisse durch den Rahmen nur wenig verändert werden [10].

Während bisher nur einzelne Ergebnisse aus den vorgenannten Arbeiten veröffentlicht sind, liegen für die Kräfte und Momente an verschiedenen Pflugkörperformen, Böden und Arbeitstiefen umfangreiche Zusammenstellungen vor [11 ÷ 13]. Sie bildeten daher die Grundlage, um mit Hilfe von grafischen und analytischen Verfahren die Resultierende am Schlepper, die zusätzliche Belastung und die Lenkerkräfte zu ermitteln.

Um die Richtigkeit dieser Verfahren zu sichern, wurden vom Institut für Schlepperforschung eine neue Meßeinrichtung und Auswertemethode entwickelt, die mit zwei Meßstellen auskommt: Größe, Richtung und Lage der resultierenden Widerstandskraft des Pfluges am Schlepper werden aus der Messung der horizontalen Widerstandskraft und der Kraft im oberen Lenker mit einer grafischen Methode gewonnen. Hieraus können dann die weiteren Kräfte an den Lenkern und mit einigen Annahmen am Pflugkörper selbst gefunden werden. Damit wird ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeiten möglich und eine Verbindung mit denen der Sechskomponenten-Meßeinrichtung an Pflugkörpern hergestellt.

Die Lage der resultierenden Widerstandskraft kann jedoch nur bei Schleppern mit schwimmendem Kraftheber gefunden werden, bei denen sie durch den Führungspunkt bestimmt wird. Wenn Kräfte zwischen Schlepper und Pflug, beispielsweise durch Federn oder durch Druck im Kraftheberzylinder über die Hubstangen, ausgeübt werden, müssen diese noch zusätzlich gemessen werden.

Querkräfte wurden nicht gemessen, obwohl dies manchmal, zum Beispiel am Hang oder bei besonderen Einstellungen des Pfluges wünschenswert ist. Bei der verwendeten Meßeinrichtung wäre eine Querkraft durch Dehnungsmeßstreifen an den unteren, horizontalen Lenkern des Rahmens (Bild 1) zu messen gewesen, die Auswertung wäre aber erschwert worden.

Meßeinrichtungen und Auswertemethode

Die bereits früher beschriebene Einrichtung zur Messung der horizontalen Widerstandskraft W_L an Dreipunktanbau-Geräten [4] wurde durch eine Feder zur Messung der Kraft O im oberen Lenker ergänzt. Die Längskraft W_L wird über den hydraulischen Druckzylinder und eine Schlauchleitung auf die Feder des Maihak-Schreibgerätes übertragen, der Federweg im oberen Lenker mit einer Flexballverbindung auf einen zusätzlich am Maihak-Gerät angebauten Schreibstift, so daß beide Werte synchron, um 25 mm versetzt, aufgeschrieben werden.

Bild 1 zeigt die Meßeinrichtung und die Anordnung der Meßstellen schematisch, Bild 2 beim Feldversuch und Bild 3 einen Ausschnitt aus einem „Schrieb“. Wegmarken wurden durch einen Kontaktgeber an markierten Stellen der Versuchsstrecke gezeichnet. Die Lage des Lenkervierecks relativ zum Schlepper kann durch Ablesen einer Skala am Schlepperheck (Bild 2) erfaßt werden, über die ein mit den Hubarmen des Krafthebers verbundener Zeiger hinwegstreicht.

Die Auswertungsmethode, die auf grafischen Verfahren beruht, ist in Bild 4 für einen Pflug am Dreipunktanbau und am schwimmenden Kraftheber dargestellt. Schlepper und Pflug sind nur angedeutet, das Lenkergetriebe ist in verschiedenen Projektionen gezeichnet.

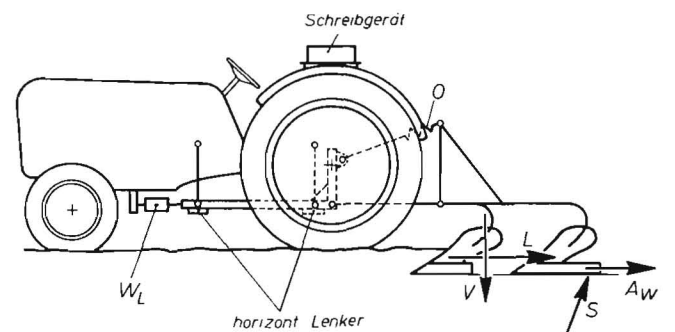


Bild 1: Anordnung der Meßstellen (W_L und O) am Schlepper
Bodenkräfte (L und V) an den Pflugkörpern, Schleifsohlenkraft S und Reibkraft an der Anlage A_W



Bild 2: Schlepper und Pflug mit Meßeinrichtung beim Feldversuch

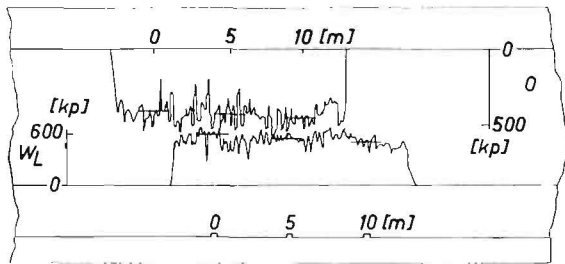


Bild 3: Ausschnitt aus einem Meßschrieb

Der Aufriß kann entweder in eine Ebene senkrecht zur Schlepperstandebene (1) oder senkrecht zur Ackeroberfläche (2) projiziert werden. Bei der Projektion (1) sind die Aufstandspunkte der Hinterräder des Schleppers auf gleicher Höhe abgebildet und die Lagen der unteren Lenker decken sich. Die Zeichenebene steht in einem Winkel zur Vertikalen, entsprechend der Pflugtiefe. Deshalb verkürzen sich die Vertikal-Komponenten etwas, während die Längskräfte gleich bleiben. In der Projektion (2) ist die senkrechte Bodenkraft auf den Pflugkörper in wahrer Größe abgebildet. Aus dem Seitenriß (3), bei dem die Schnittkanten des Pfluges vertikal und horizontal liegen, werden die beiden Projektionen (1) und (2), aus den Projektionen (2) und (3) der Grundriß (4) in einer Ebene parallel zur Ackeroberfläche gezeichnet.

Aus dem Meßschrieb werden an den markierten Punkten, für die auf dem Acker Tiefe und Breite der Pflugfurchen gemessen waren, Mittelwerte für die Kräfte W_L und O über etwa 2 m Fahrstrecke gebildet, die der weiteren Auswertung zugrundegelegt sind.

Die resultierende Widerstandskraft W^+ in der Projektion (1) ist maßgebend für die zusätzliche Belastung der Triebachse; W^+ kann aus den Kräften W_L und O gewonnen werden. O^+ entspricht aber nicht dem gemessenen Wert O , weil der obere Lenker nicht in der Projektion (1), sondern etwa vertikal liegt, wie aus der Projektion (3) hervorgeht. Deshalb kann die gemessene Kraft O , deren Richtung dem Lageplan (2) zu entnehmen ist, in das Krafteck (2a) eingetragen und dann ihre senkrechte Komponente über das Krafteck (3a) nach dem Kraft-

eck (1a) projiziert werden. Die Längskomponente von O im Krafteck (2a) ist gleich derjenigen in (1a). An O^+ wird W_L angetragen, durch die Richtung von U^+ am anderen Endpunkt von O^+ ergibt sich die Größe und Richtung von W^+ , das im Lageplan (1) durch den Schnittpunkt von O^+ und U^+ , den Momentanpol des Lenkervierecks geht. Dies gilt, wie gesagt, nur für den freipendelnden, selbststellenden Pflug am schwimmenden Kraftheber, wobei das Gelenkviereck nicht durch Kräfte vom Kraftheberzylinder über die Hubstangen oder von einer Antischlupffeder beeinflusst wird.

Aus dem Abstand r der so gewonnenen resultierenden Widerstandskraft W^+ vom Auflagepunkt der Triebadrennen (der Rollwiderstand der Hinterräder wurde, wie in früheren Veröffentlichungen, mit 12% der Belastung angenommen) läßt sich die Entlastung der Vorderachse ermitteln. Die gesamte zusätzliche Triebachslast ergibt sich dann aus diesem Betrag plus der senkrechten Komponente von W^+ , nämlich W_{S^+} in der Projektion (1a). Hieraus wird der Triebkraftbeiwert berechnet.

Um einen Vergleich mit den in früheren Arbeiten zugrundegelegten Bodenkraften am Pflugkörper (L und V) zu bekommen, werden diese aus der resultierenden Widerstandskraft W grafisch bestimmt. Dabei setzen sich L und V aus den Einzelkräften an den zwei Körpern zusammen.

W wird im Krafteck (2a) aus W_L und dem von (1a) herüberprojizierten W_S ermittelt; daraus ergibt sich die Richtung U , die im Lageplan (2) durch den Schnittpunkt der unteren Lenker gezogen wird. Durch den Schnittpunkt von U und O geht W . Mit der Übertragung der Kräfte aus der Projektion (1) in die Projektion (2) wird eine Verbesserung des früher angewandten Verfahrens [15+17] erreicht, da die Aufteilung von U_1 und U_2 nicht mehr durch den Grundriß (4) kontrolliert zu werden braucht. In den Kraftecken (4a) und (4b) sind die beiden Kräfte U_1 und U_2 nochmals eingezeichnet, ihr Schnittpunkt liegt jeweils unter dem der beiden Kräfte U_1 und U_2 in den Kraftecken (2a) und (2b).

Im Lageplan (2) sind jetzt nach Größe und Richtung die Kräfte W , G , W_L — nach Richtung S_S und V bekannt. Die Lage von V ergibt sich in der Mitte zwischen den Durchstoßungspunkten der Resultierenden R an den beiden Pflugkörpern, die in etwa ein Drittel der Furchentiefe und 200 mm hinter der Scharspitze liegen. Von anderen Verfassern wird auch die Trennfuge zwischen Schar und Streichblech als Durchstoßungspunkt angenommen [14].

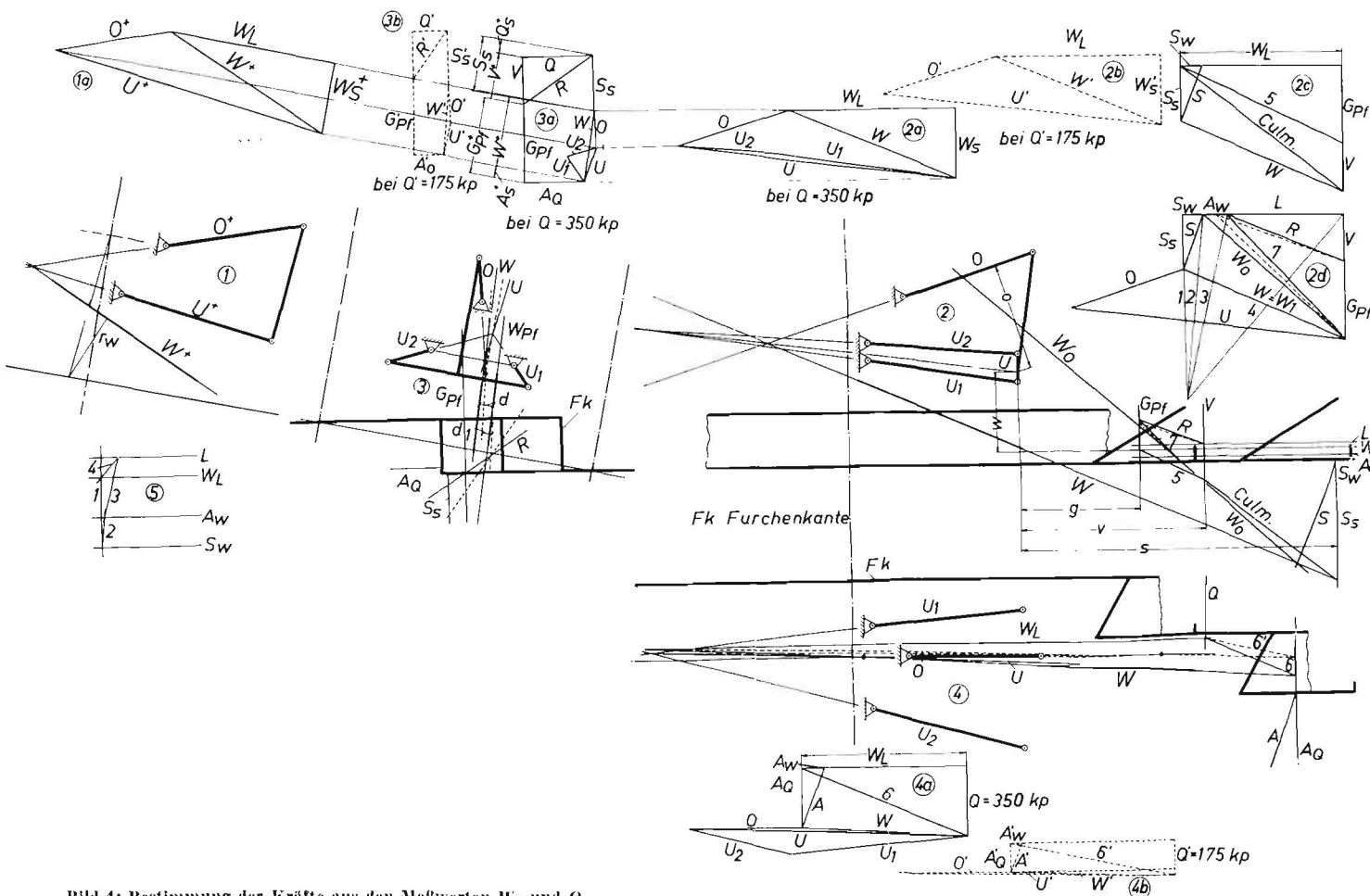


Bild 4: Bestimmung der Kräfte aus den Meßwerten W_L und O

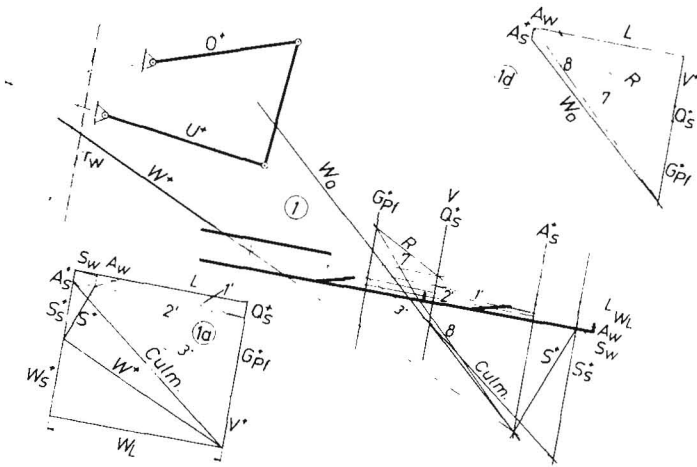


Bild 4a: Ermittlung der Kräfte in der Schlepperstandebene (Kontrolle zu Bild 4)

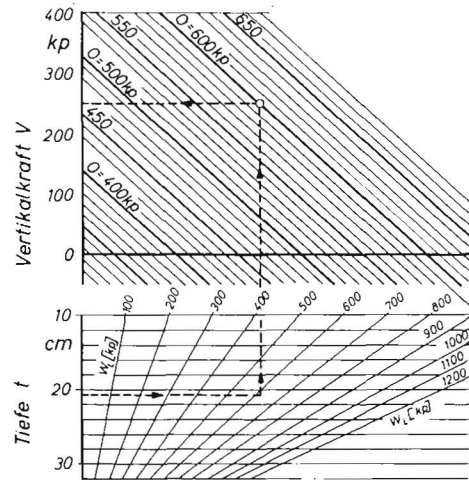


Bild 5: Vertikalkraft V in Abhängigkeit von den Meßgrößen

W_L , das sich aus den Kräften L , A_W und S_W zusammensetzt, muß zwischen diesen Kräften liegen. Seine Lage wird zunächst geschätzt und dann kontrolliert. In dem Kräfteck (2d) sind vier Polstrahlen zu den Längskräften S_W , A_W , L , die zusammen W_L ergeben, gezeichnet. Überträgt man die Polstrahlen in die Nebenfigur (5), so ergibt sich die Lage von W_L durch den Schnitt der Polstrahlen 1 und 4. Nach Vereinigung der bekannten Kräfte G und W_L im Kräfteck (2c) und Übertragung als Gerade 5 in den Lageplan (2) sind vier Kräfte vorhanden, von denen sich V und S_S mit Hilfe der CULMANSchen Geraden durch die Schnittpunkte von V mit 5 und W mit S_S nach Übertragung der Richtung in das Kräfteck (2c) finden lassen.

Im Kräfteck (2d) ist die Kraft W_0 bestimmt, die im Gleichgewicht mit den Kräften W und S steht. Sie geht im Lageplan (2) durch den Schnittpunkt der Kraft W mit der Kraft S . W_0 ist bekanntlich [15–17] unabhängig von der Lage des Gelenkvierecks und der Höhe des Führungspunktes. Sie wäre gleich der resultierenden Widerstandskraft bei regelndem Kraftheber, bei einer Schleifsohlenkraft S am Pflug gleich Null.

Nach Annahme der Anlegekraft A_W läßt sich auch die Längskomponente L der am Pflugkörper wirkenden Bodenkraft R bestimmen. Da die Querkkräfte nicht gemessen wurden, ist die Größe von A nicht bekannt, sie kann aber in weiten Grenzen schwanken, ohne daß die Resultierende R sich wesentlich ändert. Bei Annahme der Querkraft in zwei Größen von 175 und 350 kg ergeben sich aus dem Lageplan (4) und den Kräftecken (4a) und (4b) die Größen A_Q und A_Q' und werden von dort in die anderen Projektionen übertragen. Die Änderung der Größe L und der Resultierenden R geht aus der Projektion (2d) hervor, die Annahme von A_W beeinflußt also nicht die Größe der Kraft W_0 .

In Bild 4a wird zur Kontrolle die Lage von W_0 senkrecht zur Schlepperstandebene, in der Projektion (1), bestimmt, wobei die senkrechten Komponenten der Querkkräfte A_S^+ und Q_S^+ aus dem Seitenriß (s. (3a) von Bild 4) berücksichtigt werden müssen. Der Abstand zwischen W_0 und den unteren Kupplungspunkten in Bild 4a muß etwa der gleiche sein wie der zwischen W_0 im Aufriß (2) des Bildes 4 und dem Schnittpunkt der Resultierenden U mit der Tragachse des Pfluges. Ferner muß die Größe von V^+ in Bild 4a, wenn man sie über das Kräfteck im Seitenriß (3a) auf das Kräfteck (2c) in Bild 4 projiziert, dem dort ermittelten V entsprechen.

Es besteht ferner die Möglichkeit, die Größe von V aus den Momenten um die Tragachse des Pfluges zu berechnen. Hierzu muß allerdings vorher W_S grafisch bestimmt sein. Dann lassen sich die beiden Gleichungen aufstellen:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & O \cdot o - S_S \cdot s - W_L \cdot w + G_{PP} \cdot g + V \cdot r = 0 \\ \text{b)} \quad & W_S + S_S = G_{PP} + F' \end{aligned}$$

Nach Zusammenfügen der beiden Gleichungen ergibt sich

$$F' = \frac{O \cdot o - G_{PP}(s - g) + W_S \cdot s - W_L \cdot w}{s - v}$$

Hierin bedeuten die kleinen Buchstaben die Abstände der einzelnen Kräfte vom Momentenpunkt (s. Bild 4).

Wenn die Maße des Lenkervierecks und des Pfluges gegeben sind, läßt sich verhältnismäßig leicht ein Nomogramm herstellen, aus dem für die Meßgrößen W_L und O unmittelbar die Vertikalkraft V abgelesen werden kann.

Für drei Tiefen (z. B. 10, 20 und 30 cm) und je drei Größen von W_L und O werden grafisch die Werte für W_S bestimmt und daraus nach der oben abgeleiteten Formel die Vertikalkraft V errechnet. In einer Tiefe (z. B. für 20 cm) wird ein Maßstab für W_L gewählt und O für die berechneten V -Werte eingetragen. Damit erhält man die Richtungen und die Abstände der Linien des Parameters O , die gleich sind. Die Richtung der Linien W_L im unteren Teil des Nomogramms werden dann durch Wahl von O und V in einer anderen Tiefe (10 oder 30 cm) erhalten. Das Nomogramm (Bild 5) gilt nur für die Abmessungen des Lenkervierecks und des Pfluges, die bei den Versuchen benutzt wurden.

Bild 6 zeigt die Ermittlung der resultierenden Widerstandskraft, wenn eine Feder zwischen Schlepper und Pflug gespannt wird. Die Größe der Federkraft kann aus einer Eichkurve entnommen werden, ihre Richtung ergibt sich aus der Lage der beiden Befestigungspunkte am Schlepper und Pflug.

O^+ und W_L werden zusammengefügt und daran die Federkraft F nach Größe und Richtung angetragen. Durch die Richtung U^+ vom Anfangspunkt von W_L ergeben sich W^+ und W^+ . Die Resultierende von O^+ und F , mit 3 bezeichnet, gibt im Lageplan im Schnittpunkt mit U die Lage von W^+ . Die Bestimmung der Bodenkraft V , L und S kann in gleicher Weise wie beim freipendelnden Pflug (in den Projektionen (2a) — (2b) des Bildes 4) vorgenommen werden.

Bei der Anlenkung als Stelzpflug werden keine Kräfte im oberen Lenker gemessen. Die Ermittlung der Kräfte zeigt Bild 7. Die Kraft W^+ liegt in der Richtung der unteren Lenker, ihre Größe ergibt sich durch W_L . Eine Bestimmung der Bodenkraft am Pflug ist für diesen Fall nicht möglich. Wenn man die Kraft V , die aus den anderen Versuchen bekannt ist, einsetzt, können nach Vereinigung der drei bekannten Kräfte G , V und W_L mit Hilfe der CULMANSchen Geraden die Stützkkräfte C_S und S_S bestimmt werden. Durch Ansatz der drei Gleichgewichtsbedingungen können C_S und S_S , wenn V bekannt ist, auch berechnet werden.

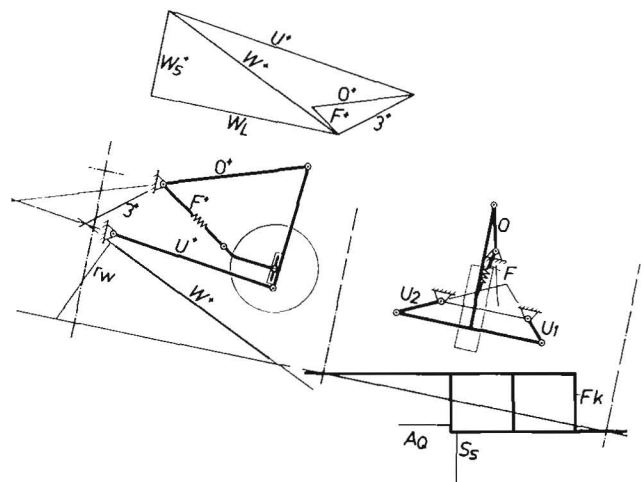


Bild 6: Ermittlung der Kräfte bei zwischengeschalteter Antriebsfeder

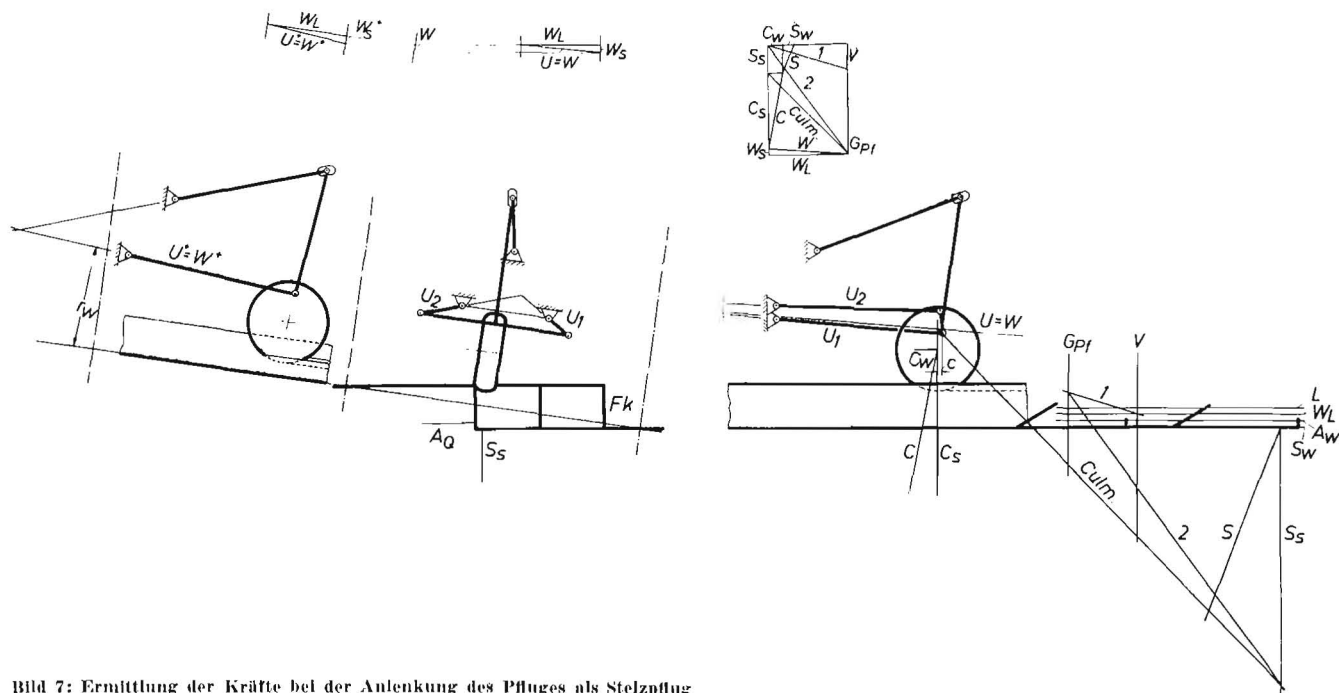


Bild 7: Ermittlung der Kräfte bei der Anlenkung des Pfluges als Stelzpflug

Fehlerquellen

Bei Versuchen mit Bodenbearbeitungsgeräten, die mit dem Schlepper gelenkig verbunden sind, können Fehler auftreten, von denen die wichtigsten im folgenden behandelt werden sollen:

1. Bei der Einstellung des Pfluges müssen die Schnittkanten waagrecht und senkrecht ausgerichtet sein und Tiefe und Arbeitsbreite der beiden Körper gleichmäßig gehalten werden. Vor dem Meßversuch werden dadurch mehrere Vorfahrten mit der gleichen Furchentiefe notwendig. Zur Kontrolle sollten öfters die zugedeckten Furchensohlen freigelegt werden.
2. Das Spiel in den Gelenken und die elastischen Formänderungen der Verbindungs- und Pflugteile können sich so auswirken, daß sich die Lage der unteren Lenker zur Richtlinie der Pflugkörper verändert.
3. Die Einsenkung der Front- und Triebdrehreifen während des Pflügens ändert sich mit der Belastung und damit die Lage des Pfluges zum Schlepper. Bei der Auswertung wurde so vorgegangen, daß die Stellung der unteren Lenker für eine bestimmte Arbeitstiefe auf Grund einer Kurve, die aus Messungen auf dem Acker und aus den Ablesungen an der Skala entstanden war, ermittelt wurde.
4. Durch Unebenheiten des Ackers, insbesondere durch Fahrspuren von den vorhergegangenen Arbeiten, werden Relativbewegungen zwischen Pflug und Schlepper hervorgerufen, die zu einer Änderung der Lage des Gelenkvierecks führen und sich auch auf den Gang des Pfluges auswirken können. Es wäre vorteilhaft, diese Bewegungen in Abhängigkeit von dem Oberflächenprofil des Ackers zu filmen.
5. Die Änderung der Bodenwiderstände ist auf der Versuchsstrecke unter Umständen sehr groß, teils durch die wechselnde Bodenart, teils durch Verdichtungen an der Oberfläche oder im Untergrund. Daraus ergeben sich erhebliche Streuungen, die nur durch eine entsprechende Anzahl von Versuchen und statistische Auswertung zu gesicherten Werten führen.
6. Bei den Vergleichen mit den Messungen von GETZLAFF [10; 11] wurde der Durchstoßungspunkt von R am Pflugkörper und die Größe der Anlagekraft A geschätzt. Die Ergebnisse zeigen, daß diese Annahmen richtig sind; sie gelten aber nur für die normalen Pflugkörper, also nicht für Schnellpflugkörper, und bei einer guten Einstellung des Pfluges.

Die genannten Fehlermöglichkeiten sind wohl ein Grund dafür, daß in der Literatur eine große Zahl von Meßeinrichtungen beschrieben wird, daß aber nur wenig Ergebnisse zu finden sind.

Hinzu kommt die umfangreiche Auswertearbeit bei einer Messung an vielen Meßstellen.

Die Genauigkeit der vorliegenden Messungen wird durch die beschriebenen Fehlermöglichkeiten ebenfalls beeinflusst. So wirken sich beispielsweise Fehler in der Tiefenmessung oder bei der Höhe der Kupplungspunkte über Boden bei der grafischen Lösung auf die Ermittlung der senkrechten Bodenkraft V aus. Bei Änderung der Höhe der Kupplungspunkte um beispielsweise ± 20 mm bei einer Tiefe von 20 cm ändert sich auch V um ± 20 bis 30 kp.

Versuchsgeräte und Durchführung der Messungen

Am Versuchsschlepper wurde ein Winkeldrehpflug angebaut¹⁾. Der Schlepper war mit der Meßeinrichtung versehen. Seine Masse betrug ohne Fahrer 2400 kg, davon vorn (A_0) 920 kp; hinten (B_0) 1480 kp; Radstand = 2,10 m; Reifen 11-36 AS.

Der Winkeldrehpflug war mit Körpern BP ENNCv ausgerüstet und für einen Tiefgang von 28 cm bestimmt. Die Masse des Pfluges mit einem Messersech am hinteren Körper betrug 390 kg.

Der Pflug bietet die Möglichkeit, die Anlenkungsart am Schlepper leicht zu verändern. Der obere Lenker kann sich nämlich entweder gegen den entsprechenden Lagerpunkt an der Koppel, die mit dem Grindel fest verbunden ist, abstützen, oder nach Herausnahme eines Steckers gelöst werden. Im ersten Fall wird bei Druckkräften im oberen Lenker das Gelenkviereck für die Führung des Pfluges in der Vertikalebene wirksam, die Resultierende W geht bei schwimmendem Kraftheber durch den Führungspunkt, während im zweiten Falle die unteren Lenker den Pflug wie einen Stelzpflug ziehen, der sich auf dem vorderen Rad und der Schleifsohle abstützt [15+17]. Die Resultierende W liegt hier in der Ebene der beiden unteren Lenker. Diese Anlenkungsart ist häufig bei französischen Pflügen zu finden, bei denen der obere Lenker durch eine Kette ersetzt ist.

Ferner läßt sich die schon erwähnte Feder zwischen Pflug und Schlepper anbringen, die auf die Schleppertriebachse eine zusätzliche Belastung infolge der Kräfte am Pflug überträgt.

Bei den Versuchen mit Stecker (Wirkung des oberen Lenkers) war im allgemeinen das Stützrad hochgestellt (also keine Berührung mit dem Acker), um einen Einfluß auf den Zugwiderstand durch einen mehr oder weniger hohen Rollwiderstand zu vermeiden. Der Pflug stützt sich also auf die Schleifsohle ab. Die Tiefenführung wird durch die gegenseitige Abhängigkeit von Scharfschneide und Schleifsohle erreicht.

¹⁾ Der Schlepper wurde von der Firma Klöckner-Humboldt-Deutz (D 40 S) und der Pflug von der Firma Rabewerk (Goldammer B 55-W) dankenswerterweise dem Institut für die Versuche zur Verfügung gestellt

Die Versuche wurden auf einem leichten und zwei mittleren Böden durchgeführt — ein schwerer Boden, der für die Versuche vorgesehen war, befand sich zur Versuchszeit in einem lockeren Zustand, bei dem nur sehr niedrige Zugwiderstände gemessen werden konnten. Die Böden waren zum Teil an der Oberfläche durch Schlepper, Erntemaschinen und Ackerwagen verdichtet.

Bei den Versuchen wurden Tiefe und Breite der Pflugtiefe in Abständen von 5 m auf einer Meßstrecke von 20 beziehungsweise 40 m in üblicher Weise mit einem Tiefenmesser gemessen; die Lage der Dreipunklenker relativ zum Schlepper wurde während der Fahrt jeweils an den Meßpunkten an der Skala abgelesen.

Bei einigen Versuchen wurden der Kraftstoffverbrauch mit einem geeichten Durchlaufgefäß von 40 cm und Messung der dabei gefahrenen Strecke und der Schlupf durch Ausmessen der Abrollwege leer und bei der Arbeit für eine bestimmte Anzahl von Radumdrehungen ermittelt.

Ergebnisse

Spezifischer Widerstand des Pfluges

Die für die Bestimmung des spezifischen Zugwiderstandes notwendige Längskraft W_L ist in Bild 8 für drei verschiedene Böden über der Tiefe aufgetragen. Die W_L -Kurven laufen bei geringen Tiefen nicht gegen Null, weil die Schnittbreite nicht mit der Tiefe verkleinert wird und die Scharschneide einen unverhältnismäßig großen Teil des Zugwiderstandes verbraucht. Dieser Betrag liegt bei etwa 200–250 kg für die beiden Schare einschließlich der Reibungskräfte an der Anlage A_W und Sohle S_W . Wenn man Versuche mit möglichst gleichmäßiger Tiefe statistisch auswertet, können Häufigkeits- und Summenkurven gezeichnet werden (s. Bild 9 und 10)²⁾. Die Streubreite hängt hier mit den Tiefendifferenzen zusammen; die Tiefe variierte bei dem Pflug 1 um 2,5 cm, bei Pflug 2 um 5 cm. Die Abweichungen der Summenkurven von der Geraden können durch Unterschiede der Bodenwiderstände oder der Tiefen hervorgerufen sein.

Bild 11 zeigt die Streuung des spezifischen Zugwiderstandes p_z bei unterschiedlicher Tiefe bei Versuchen auf dem Boden 2. Der spezifische Zugwiderstand beträgt bei 18 cm Tiefe im Mittel 35 kg/dm², fällt auf einen Wert von 32 kg/dm² bei 15 cm Tiefe und steigt dann wieder an. Das kann damit erklärt werden, daß der Schnittwiderstand an der Scharschneide fast gleich bleibt und der Boden in den oberen Schichten stärker durch Befahren verdichtet war. Bei großer Tiefe steigt der spezifische Zugwiderstand bei diesem Boden nur verhältnismäßig wenig bis 50 kg/dm² bei 30 cm Tiefe an.

Der spezifische Zugwiderstand ist nicht allein kennzeichnend für einen nach Art und Zustand bestimmten Boden, sondern er wird auch durch den Pflugkörper und die Anlenkung (Reibungskräfte an Anlage und Sohle hängen von der Einstellung ab) beeinflusst. Dies geht aus den Kurven auf Bild 12 hervor, die den Verlauf des spezifischen Zugwiderstandes für zwei Pflugkörperformen auf dem gleichen Boden bei den verschiedenen Tiefen zeigen.

Auf Bild 13 sind von den drei Versuchsböden die Mittelwertskurven übereinander gezeichnet. Dabei fällt der Boden 3 mit seinem steilen Anstieg bei größerer Tiefe auf. Hier scheinen unterhalb der Bearbeitungsgrenze von 24 cm Verdichtungen vorhanden gewesen zu sein.

Das Zwischenschalten einer Antischlupffeder (Federkraft $F = 120$ bis 180 kg) wirkt sich auf die Größe des spezifischen Zugwiderstandes nicht aus. Die gemessenen Werte für p_z liegen im Streugebiet (Bild 14).

Bei Ausschaltung des oberen Lenkers (Anlenkung als Stelzpflug) vergrößerten sich auf dem leichten Boden (Bild 14) die Widerstandswerte, weil wahrscheinlich der Rollwiderstand des Stützrades sich stärker auswirkte, während sie bei den mittleren Böden mit fester Oberfläche im Streugebiet blieben.

Die Pflugtiefe konnte mit Hilfe der Stützrolle einfacher als mit dem oberen Lenker beim Dreipunktanbau eingestellt werden und wurde auch gleichmäßiger gehalten.

²⁾ Die Messungen wurden mit zwei anderen Anbaupflügen durchgeführt.

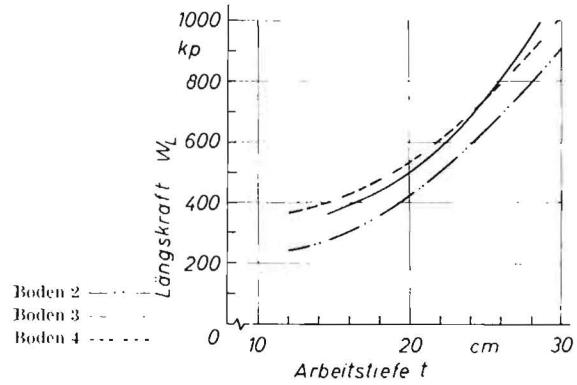


Bild 8: Größe der Längskraft W_L für die Böden 2 bis 4 in Abhängigkeit von der Tiefe

Triebkraftbeiwert

Der für das Pflügen in verschiedenen Tiefen erforderliche Triebkraftbeiwert errechnet sich aus der bei der Arbeit auftretenden Längskraft W_L plus dem Rollwiderstand der Vorderräder $A \cdot q_A$

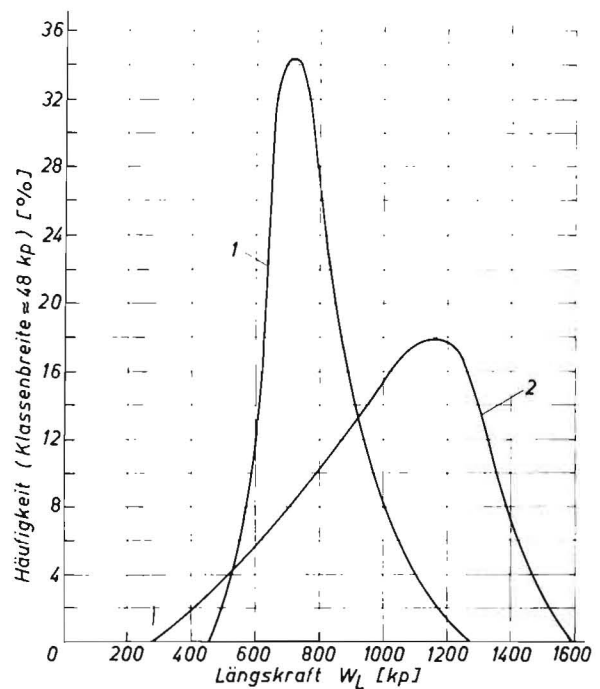


Bild 9: Häufigkeitskurven der Längskraft W_L für zwei verschiedene Pflüge auf gleichem Boden

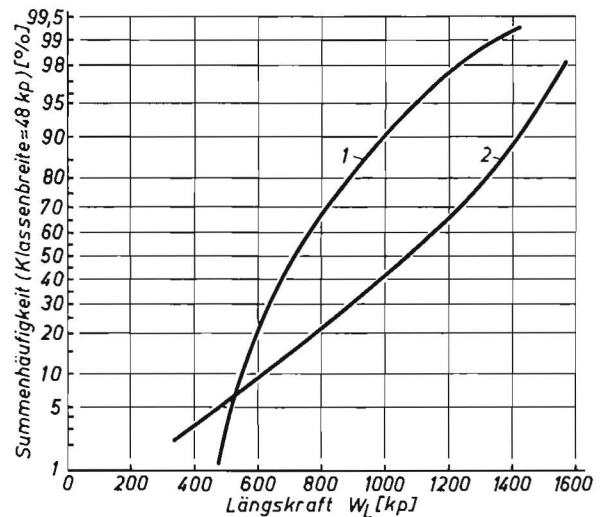


Bild 10: Summenkurven der Häufigkeit der Längskraft W_L für zwei Pflüge nach Bild 9

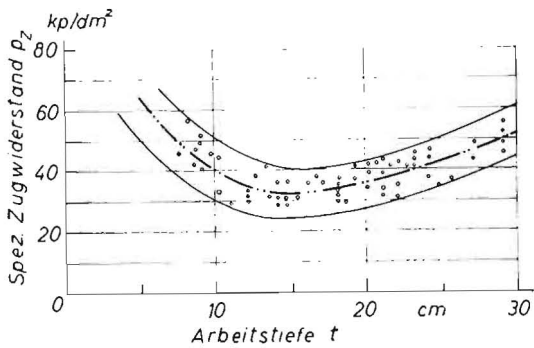


Bild 11: Streugebiet und gemittelte Kurven des spezifischen Zugwiderstandes für den Boden 2 in Abhängigkeit von der Tiefe

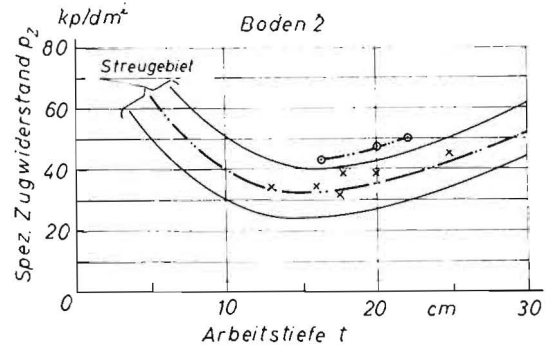


Bild 14: Vergleich des spezifischen Zugwiderstandes in Abhängigkeit von der Tiefe für zwei Böden zwischen der Anordnung ohne und mit Feder und der Anlenkung als Stelzflug
x Gelenkflug mit Feder; o Stelzflug

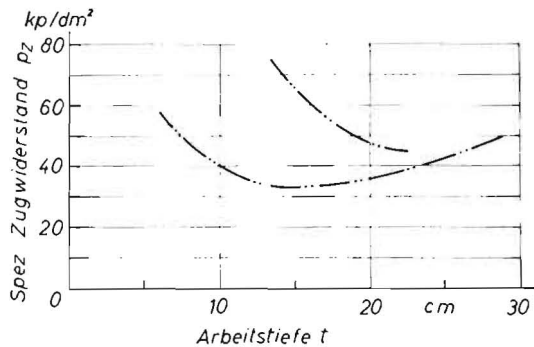


Bild 12: Vergleich des spezifischen Zugwiderstandes zweier Pflugkörper in Abhängigkeit von der Tiefe bei gleichem Boden

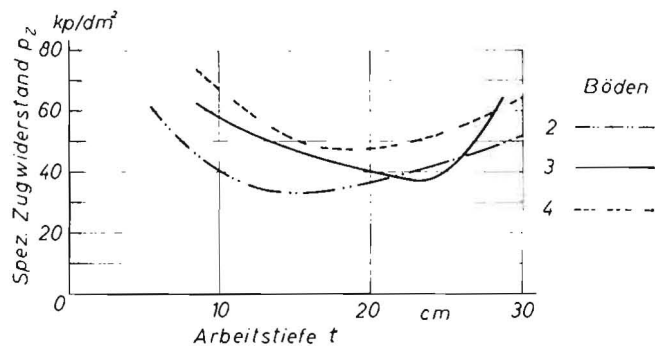


Bild 13: Abhängigkeit des spezifischen Zugwiderstandes von der Tiefe für die drei Versuchsböden

und der dazugehörigen Triebachslast B . Wenn die Lage von W^+ in der Schlepperstandebene bekannt ist, kann die Triebachslast grafisch [15+17] oder rechnerisch und der Triebkraftbeiwert nach

der Formel: $z = \frac{W_L + A \cdot \rho_A}{B}$ bestimmt werden, wobei

$A = A_0 \cdot \frac{W \cdot r_w}{a}$, $B = B_0 \cdot \frac{W \cdot r}{a}$ und ρ_A der Rollwiderstandsbeiwert sind. Die Hebelarme der rollenden Reibung sind vorn und hinten gleich groß gewählt.

Tafel 1 enthält die Werte für die Zusatzlast, den Zusatzlastfaktor $B: B_0$ und für z . Der Zusatzlastfaktor steigt bei schwimmendem Kraftheber mit der Tiefe bis zu einem Wert von 1,35 ohne und von 1,51 mit Antischlupffeder.

Die berechneten Triebkraftbeiwerte geben an, welcher Wert für z in Abhängigkeit von der Tiefe notwendig war. In den Versuchen wurde bei den drei Versuchsböden eine Tiefe erreicht, bei der der Schlepper sich einwühlte. Dabei wurde also der erforderliche Triebkraftbeiwert größer als der auf diesem Boden vorhandene und der Schlupf 100%. Das Bild 15 zeigt den Anstieg von z bei den drei Böden; mit waagerechten Linien sind die Werte für z angegeben, bei dem der Schlepper durchdrehte. Dies war zunächst bei einem trockenen Sandboden der Fall, dann bei dem feuchteren Lehmboden und schließlich bei dem verhältnismäßig trockenen kiesigen, sandigen Lehm.

Auf Bild 16 befindet sich für den Boden 3 links die Triebkraftbeiwert-Schlupfkurve, allerdings mit nur wenigen ermittelten Schlupfwerten, die Triebkraftbeiwerte z , rechts die Kraft W_L und die Triebachslast B . Wie die gestrichelte Linie als Beispiel zeigt, kann man für eine bestimmte Tiefe (23,5 cm) über den Wert $z_1 = 0,38$ den zu erwartenden Schlupf (18%) ablesen. Bei einem

Tafel 1: Zusammenstellung von Ergebnissen für drei Versuchsböden am Gelenkviereckpflug und für zwei Böden am Stelzflug

			Gelenkviereckpflug									Stelzflug	
			Boden 2			Boden 3			Boden 4			Boden 2	Boden 4
Tiefe	t	[cm]	12	20	27	15	20	27	12	20	27	21	21
Breite	b	[cm]	64	54	64	58	60	58	56	52	54	59	62
Längskraft	W_L	[kp]	250	420	760	380	500	1000	390	500	845	435	640
Spez. Zugwiderstand Kraft im oberen Lenker	p_z	[kp/dm²]	33,6	39,5	44,0	46,7	41,5	62,5	58,5	50,0	57,0	35,4	49,6
resultierende Widerstandskraft senkrechte Komponente von W^+	O	[kp]	450	520	480	470	500	500	580	580	600	—	—
Betriebsachslast hinten	W^+	[kp]	310	490	800	440	540	1000	500	525	920	440	645
Zusatzlastfaktor erforderlicher Triebkraftbeiwert	W_s^+	[kp]	200	220	280	220	250	330	220	275	350	40	60
Vertikalkraft	B	[kp]	1708	1788	1925	1760	1805	1995	1800	1817	1997	1569	1681
Schleifsohlenkraft	$\frac{B}{B_0}$		1,15	1,21	1,31	1,19	1,22	1,35	1,21	1,23	1,35	1,10	1,14
Vertikalkraft (Bild 19)	z erf.		0,23	0,31	0,45	0,30	0,33	0,56	0,29	0,35	0,50	0,34	0,43
Stützrollenkraft	V	[kp]	110	140	60	50	110	30	160	255	200	130	240
Schleifsohlenkraft	S_s	[kp]	300	310	170	220	250	100	330	370	240	340	435
Schleifsohlenkraft	V	[kp]										140	135
Schleifsohlenkraft	C_s	[kp]											
Schleifsohlenkraft	S_s	[kp]											

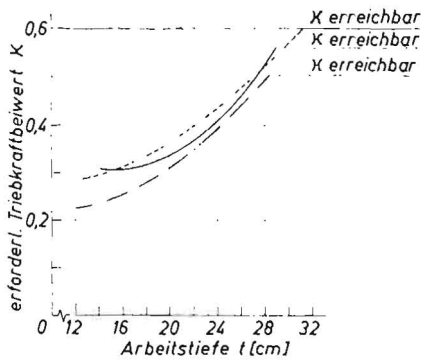


Bild 15: Erforderlicher Triebkraftbeiwert x in Abhängigkeit von der Tiefe für drei Böden und die erreichbaren Triebkraftbeiwerte x (für Gelenkviereckpflug ohne Feder)

--- Boden 2; Feuchtigkeit 17%; ——— Boden 3; Feuchtigkeit 22%
 - - - - - Boden 4; Feuchtigkeit 14,5%

leichteren Schlepper 2 wäre der erforderliche x_2 -Wert größer oder die erreichbare Furchentiefe kleiner beziehungsweise der Schlupf in den verschiedenen Tiefen größer.

Die Antischlupffeder brachte bezüglich des Triebkraftbeiwertes eine Verbesserung, das heißt einen kleineren, erforderlichen Triebkraftbeiwert (Bild 17).

Bei den Fahrten mit Stelzpflug war die zusätzliche Belastung $B-B_0$ geringer und das erforderliche x bei größeren Tiefen höher. Die Triebräder des Schleppers würden also beim Stelzpflug schon bei einer geringeren Tiefe durchdrehen (Bild 17). Allerdings ändert sich hier bei einem Einwühlen der Triebäder die Pflugtiefe im Gegensatz zum Gelenkviereckpflug ohne Stützrolle nicht.

Vertikalkraft V und Schleifsohlenkraft S

Die Ermittlung der V -Werte erbrachte Ergebnisse, die wie bei GETZLAFF zum Teil stark streuen, aber in ihren Mittelwerten eine einheitliche Tendenz haben, nämlich einen Anstieg bis zu einer Tiefe von 18 cm und dann einen Abfall. Bild 18 zeigt das Streugebiet für den Boden 2. Auf Bild 19 sind neben den drei Versuchsböden vier weitere Böden von GETZLAFF [11; 12] eingezeichnet. Die Kurven von zwei der Versuchsböden liegen im Bereich der von GETZLAFF gemessenen Werte. Beim Boden 4 wurden sehr viel höhere V -Werte ermittelt, was wahrscheinlich der Vorbearbeitung des Bodens zuzuschreiben ist. Insbesondere befand sich auf diesem Schlag eine Miete, die vor der Bearbeitung geräumt worden war.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei mittleren Böden oft mit großen V -Werten zu rechnen ist und damit die Schleifsohlenkraft verhältnismäßig hoch wird. Diese Kräfte können bei freipendelnden Pflügen durch eine entsprechende Lage des Führungspunktes oder durch Einrichtungen am Kraftheber zur Vergrößerung der Triebachslast ausgenutzt werden.

Andererseits ergaben sich bei Versuchen, bei denen der Pflug mit einem Scheibensech statt des Messersechtes ausgerüstet war, negative Werte für die Vertikalkraft, was auch bei Versuchen des NIAE in Silsoe gefunden wurde [12].

Durch Einschalten der Antischlupffeder ändern sich die V -Werte, die nur von Pflugkörper und Boden abhängen, nicht. Die Kräfte

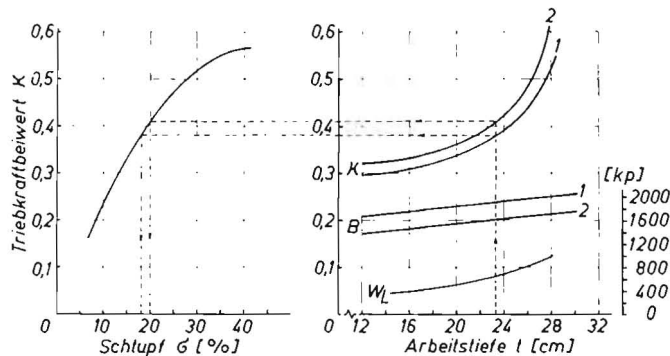


Bild 16: Zusammenhänge zwischen Arbeitstiefe, Triebkraftbeiwert und Schlupf

Bei Kurve 1: Schleppergewicht $G_{ges.} = 2400$ kp; $B_0 = 1480$ kp; bei Kurve 2: Schleppergewicht $G_{ges.} = 1920$ kp; $B_0 = 1200$ kp

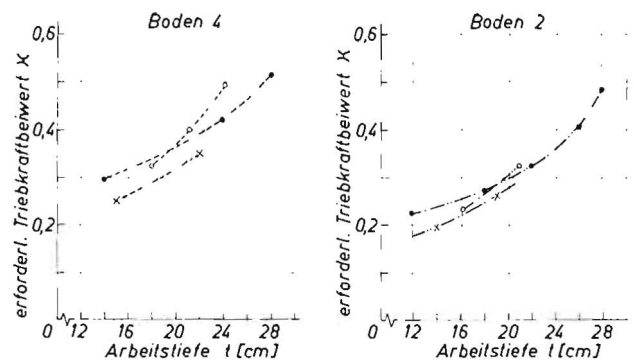


Bild 17: Vergleich der erforderlichen x -Werte für die Anordnungen mit und ohne Feder und für den Stelzpflug in Abhängigkeit von der Tiefe für die Böden 2 und 4

● Gelenkviereckpflug ohne Feder; × Gelenkviereckpflug mit Feder; ○ Stelzpflug

im oberen Lenker sind bei Verwendung der Feder etwas kleiner; dies ist um so mehr der Fall, je größer die Kraft ist, die vom Schlepper über die Feder auf das Lenkerviereck ausgeübt wird. Bei regelndem Kraftheber mit seiner Hubkraft an den unteren Lenkern kann bekanntlich die Kraft im oberen Lenker Null oder sogar negativ werden.

Der Verlauf der Schleifsohlenkraft S in Bild 20 für die drei Versuchsböden zeigt eine ähnliche Tendenz wie der Verlauf der Vertikalkraft V . Wenn man diese Kurven bis auf S gleich Null in

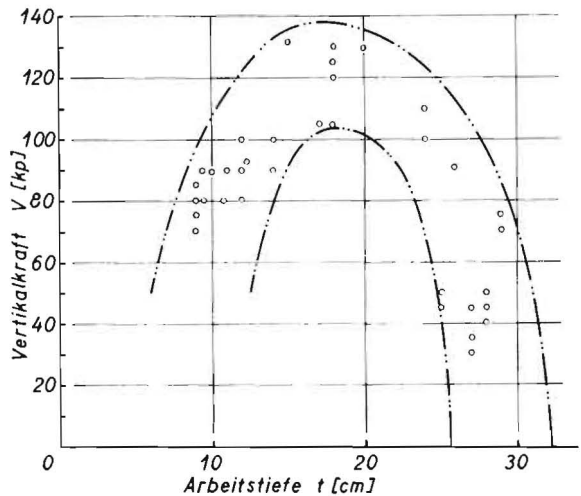


Bild 18: Streugebiet der Vertikalkraft V in Abhängigkeit von der Tiefe bei dem Boden 2

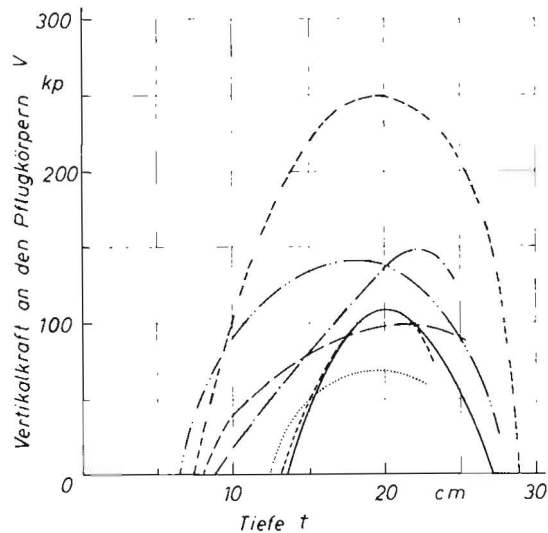


Bild 19: Vertikalkraft V in Abhängigkeit von der Tiefe für drei Versuchsböden und vier Meßböden von Getzlaff [11 und 12]

Boden 1, lehmiger Sand ———; Boden 2, lehmiger Sand — · — · —; Boden 3, sandiger Lehm — · — · —; Boden 4, kiesiger, sandiger Lehm - - - - -; Boden 5, sandiger Lehm · · · · ·; Boden 6, kiesiger, toniger Lehm - · - · - ·; Boden 7, sandiger, lehmiger Ton — · — · —

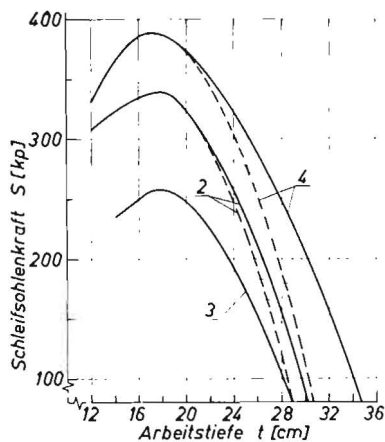


Bild 20: Schleifsohlenkraft S des Pfluges für drei Versuchsböden in Abhängigkeit von der Tiefe

Für Boden 2 und 4 mit eingeschalteter Antischlupffeder; ohne Antischlupffeder —; mit Antischlupffeder - - -

große Tiefen extrapoliert, erhält man die Grenze, bei der sich der Pflug auf die Spitze stellen würde. Bei einer solchen Tiefe ergibt sich ein W^+ , das oberhalb von W_0 liegt. Da die Kurven erst außerhalb der Tiefe von 28 cm durch Null gehen, sind die Dimensionen des Pfluges und der Anlenkung gut gewählt. Der Schnittpunkt wird in einer geringeren Tiefe erreicht, wenn mit Antischlupffeder gearbeitet wird.

Das Nomogramm Bild 5 erlaubt das unmittelbare Ablesen der Vertikalkraft V , wenn man entsprechend dem gewählten Beispiel den gestrichelten Linien mit den Pfeilen folgend bei einer Tiefe von 20,5 cm einer Längskraft von 610 kp zu einer Kraft im oberen Lenker von 600 kp geht und dann einen Wert von $V = 250$ kg findet.

Zusammenfassung

Mit einem neuen Meß- und Auswerteverfahren, bei dem nur zwei Kräfte, nämlich der horizontale Zugwiderstand und die Kraft im oberen Lenker des Dreipunktanbaues gemessen werden, können der spezifische Zugwiderstand des Pfluges, die zusätzliche Belastung der Triebachse des Schleppers, der Triebkraftbeiwert und die vom „Bodenbalken“ auf den Pflugkörper wirkenden Kräfte in der Vertikalebene mit grafischen und rechnerischen Methoden ermittelt werden. Die aus der resultierenden Widerstandskraft mit einigen Annahmen grafisch gewonnenen Vertikalkräfte am Pflugkörper stimmen bei normalen Bedingungen mit denen aus der Sechskomponenten-Messung überein, so daß die Anwendung der bisherigen Verfahren für Untersuchungen am Dreipunktanbau weiter gesichert ist.

Die Ergebnisse bestätigen ferner, daß ein ausreichend hohes Schleppergewicht beim Pflügen und ein dem Schlepper entsprechend schwerer Pflug zur Belastung der Triebachse erforderlich sind. Messungen am angebauten Stelzpflug ohne oberen Lenker zeigen, daß die zusätzliche Belastung kleiner ist als beim Gelenkviereckpflug. Die Einstellung und Gleichhaltung der Tiefe sind bei dieser Anlenkung sicherer.

Das Zwischenschalten einer Antischlupffeder zwischen Schlepper und Pflug als Übergang zu den bekannten Einrichtungen am Kraftheber ergibt eine höhere Triebachslast, zeigt aber auch die Grenze der Anwendung solcher Kräfte, wenn die Schleifsohlenkraft Null wird, der Führungspunkt oberhalb der Pflugresultierenden liegt und der Pflug nicht mehr einzieht.

Schrifttum

- [1] ROGERS, J. C., u. G. M. JOHNSTON: Measuring the forces in tractor linkage. Agricultural Engineering 34 (1953) S. 542—544
- [2] JENSEN, J. K.: Experimental Stress Analysis. Agricultural Engineering 35 (1954) S. 625—629
- [3] VOLKOV, B. G., u. L. A. KLITSCHEV: Anzeige-Dynamometer für Anbaugeräte. Mech. i Elektr. 10 (1958) Heft 6, S. 45—47
- [4] SKALWEIT, H.: Messungen des Zugwiderstandes von Dreipunkt-Anbaugeräten. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 108—109
- [5] THEIL, R.: Zugkraftmessung am Dreipunktanbau des Ackersehleppers mittels elektrischer Meßmethoden. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 132—134
- [6] LAL, RADHEY: Measurement of Forces on Mounted Implements. Transactions of the ASAE (1959), S. 109—111
- [7] WISOTZKI, A. A.: Neue Methoden und Einrichtungen zur Kraftmessung von Anbaugeräten. Trakt. u. Selchhosm. 29 (1959) Heft 2, S. 22—27 (Dort weitere Literaturangaben)

- [8] DAVIS, W. M.: Relationship between implement requirements and tractor design. ASAE Winter Meeting 1960, Memphis/Tennessee 1960
- [9] REECE, A. R.: A three-point-linkage Dynamometer. Journal of Agricultural Engineering Research 6 (1961), S. 45—50
- [10] KUCZEWSKI, J.: Messung von Kräften am Schlepper bei der Dreipunktaufhängung der Geräte. Maszyni Rolnicze 3 (1961), S. 86—91
- [11] GETZLAFF, G.: Über die Bodenkräfte beim Pflügen bei verschiedener Körperform und Bodenart. In: 10. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1952. (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3), S. 60—70
- [12] GETZLAFF, G.: Vergleichende Untersuchung über die Kräfte an Normalpflugkörpern. In: 11. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1953. (Grundlagen der Landtechnik, Heft 5), S. 16—35
- [13] ROGERS, O. J. J., u. J. C. HAWKINS: Soil loads on plough bodies. Technical Memorandum Nr. 105, NIAE, Silsoe 1955/1956
- [14] WILSON, R. W.: Draft Control Hitch with Hydraulic Transport Wheel. SAE-Preprint 9617, New York 1959
- [15] SKALWEIT, H.: Die Führungskräfte von Schlepper-Arbeitsgeräten bei den genormten Anbausystemen. In: 11. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1953. (Grundlagen der Landtechnik, Heft 4) S. 54—64
- [16] SKALWEIT, H.: Einfluß der Pflugkräfte auf Schlepper mit Dreipunktaufhängung. Landtechnische Forschung 5 (1955), S. 1—6
- [17] SKALWEIT, H.: Über die gegenseitige Abhängigkeit von Schleppergewicht und Pflugfurchen. Landtechnische Forschung 10 (1960) S. 10—15
- [18] ROMANO, F.: L'influenza del sistema di attacco degli aratri semiportati sulla dinamica delle trattrici a ruote. Neapel 1960.

Résumé

Helmut Skalweit: „The Measurement of Forces between Tractors and Trailer Ploughs at two Different Points.“

Utilising a new method of measuring and evaluation, whereby only two forces need to be measured, the specific resistance to traction of the plough, the additional load on the driving axle of the tractor, the co-efficient of tractive effort and the forces acting on the frame of the plough resulting from the furrow resistance, were determined graphically and by calculation. The two forces required for these evaluations are the horizontal resistance to traction and the force in the upper guide of the three-point attachment. The vertical forces at the plough obtained from the resulting resistance by graphical means coincide under normal conditions with those obtained by measurement of the six components. Hence, the application of present methods for investigations on the three-point attachment is further substantiated.

The results also confirm that a sufficiently high tractor weight and a plough heavy enough to exert a load on the driving axle are necessary for ploughing operations. Measurements made with attached ploughs of the „shoe“ type without an upper guide have shown that the additional load is greater than would be the case with a jointed flexible „square“ plough. The setting and maintaining of the working depth is more certain with this type.

The interposition of an anti-slip spring between the tractor and the plough as an intermediary to the well-known power lifter produces a higher load on the driving axle. At the same time it indicates the limits of utilisation of such forces when the dragging force over the soil is zero and the plough-share no longer forces an entry. The guide point then no longer lies beneath the resultant of the plough (without the dragging force over the soil) which is of importance to the entry.

Helmut Skalweit: «Détermination des forces entre le tracteur et la charrue portée par leur mesure à deux points points.»

Un nouveau procédé de mesure et d'interprétation qui n'exige que la mesure de deux forces, à savoir l'effort résistant horizontal et la force s'exerçant sur le bras supérieur de l'attelage trois points, permet de déterminer, par des méthodes graphiques et arithmétiques, l'effort résistant spécifique de la charrue, la charge supplémentaire sur le pont arrière du tracteur, le coefficient de traction et les forces que la terre retournée exerce sur le corps de charrue dans le plan vertical. L'effort résistant vertical du corps de charrue déterminé graphiquement à partir de la résultante des forces, celle-ci obtenue en admettant quelques hypothèses, sont conformes, dans des conditions normales, aux résultats de la mesure des six composantes de sorte que les recherches sur l'attelage trois points peuvent toujours avoir recours aux méthodes conventionnelles.

Les résultats confirment en outre qu'il est nécessaire d'utiliser un tracteur à poids suffisamment élevé et une charrue dont le poids est adapté au tracteur afin d'obtenir une charge adéquate sur le pont arrière. Les mesures effectuées sur une charrue-support portée sans bras supérieur montrent qu'elle charge supplémentaire est inférieure à celle d'une charrue attelée à un quadrilatère articulé. Ce dernier mode de montage facilite le réglage et le maintien de la profondeur de labour.

Dans le cas où l'on ne dispose pas encore des relevages pourvus des équipements modernes, l'incorporation d'un ressort antislip entre le tracteur et la charrue constitue une solution transitoire par laquelle la charge sur l'essieu est augmentée, mais qui montre également la limite de l'utilisation des forces au moment où la force de talonnage devient zéro et la charrue ne pénètre plus dans la terre. Dans ce cas le centre de traction ne se trouve plus au-dessous de la résultante des forces de la charrue qui est le facteur déterminant pénétration.