

Die Zug- und Lenkfähigkeit schwerer Radschlepper mit Regelhydraulik beim Arbeiten mit Anbau- und Aufsattelpflügen sowie die Tiefen- und Seitenführung der Pflüge

Von **Rüdiger Krause**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Die Motorleistung der Ackerschlepper ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen, so daß bei der Bodenbearbeitung die Flächenleistung durch erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit und größere Arbeitsbreite gesteigert werden konnte. Vielfurchige Pflüge großer Arbeitsbreite bringen aber hinsichtlich des Verbindungs- und Führungssystems mit dem Schlepper neue Probleme und Anforderungen mit sich. Es werden die Zug- und Lenkfähigkeit eines 75-PS-Radschleppers mit Regelhydraulik bei der Arbeit mit vier- und fünf-furchigen Aufsattel- und Anbaupflügen sowie die Pflugführung in Abhängigkeit von den Regelungssystemen nach konstanter Arbeitstiefe und konstantem Zugwiderstand experimentell und theoretisch untersucht. Dabei ergaben sich Vorschläge zur Verbesserung der Abstimmung zwischen Schlepper und Pflug.

1 Einleitung

Das Abstimmen von Schleppern großer Leistung mit entsprechend großen Pflügen stößt in der Praxis noch häufig auf Schwierigkeiten. Die Angaben der Firmen für die Zuordnung beziehen sich im allgemeinen nur auf Motorleistung des Schleppers und Scharzahl des Pfluges, wobei häufig noch günstige Betriebsbedingungen angenommen werden. Die Schwierigkeiten sind meist auf ein ungünstiges Verhältnis von Motorleistung und Arbeitswiderstand, auf zu geringe Schleppergewichte und ungünstige Achslastverteilungen, aber auch auf mangelhafte Verbindungs- und Regelungssysteme zurückzuführen. Aufsattelpflüge sind in Deutschland erst in jüngster Zeit stärker eingesetzt worden. Praktische Erfahrungen und theoretische Grundlagen über die funktionelle Abstimmung von Aufsattelpflügen mit Schleppern mit Regelhydraulik stehen kaum zur Verfügung; eine Übertragung der Erkenntnisse aus der Arbeit mit dem Anbaupflug ist nur bedingt möglich.

2 Versuchsdurchführung

In systematischen Feldversuchen wurde unter verschiedenen, teilweise extremen Einsatzbedingungen das Zusammenwirken eines schweren Schleppers (mit Regelhydraulik) mit vier- und fünf-furchigen Anbau- und Aufsattelpflügen vergleichsweise untersucht²⁾. Dabei interessierte vor allem die Zug- und Lenkfähigkeit des Schleppers unter dem Einfluß der beiden Pflugsysteme und die Pflugführung in Abhängigkeit von den beiden Regelungssystemen (konstante Arbeitstiefe, konstanter Zugwiderstand). Beim Aufsattelpflug wird gesondert der Einfluß einer den Pflugrahmen mit der Kupplungsebene der Dreipunktanlenkung verbindenden Hilfsfeder auf die zusätzliche Belastung der Schlepptriebachse untersucht.

Zur Bestimmung von Motorleistung, Eigengewicht und Achslastverteilung des für einen bestimmten Pflug erforderlichen

¹⁾ Der Verfasser dankt Dipl.-Ing. H. Skalweit, der die Vorversuche betreute, für die Anregungen vor und während der Durchführung der Arbeit sowie Ing. H. Voges für die Unterstützung bei den Versuchen und der Auswertung.

²⁾ Die Untersuchungen wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt.

Den Firmen Rheinstahl-Hanomag AG und Rabewerk H. Clausing sei auch an dieser Stelle für die Bereitstellung von Schlepper und Pflügen sowie für personelle Unterstützung bei den Feldversuchen gedankt.

Dipl.-Ing. Rüdiger Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode. Die vorstehende Arbeit ist im wesentlichen während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Schlepperforschung der FAL entstanden.

Schleppers und zur Auslegung von Kraftheber und Regelhydraulik werden die vom Pflug auf den Schlepper übertragenen Kräfte sowie die auftretenden Störgrößen ermittelt. Um Regler und Stellglieder der Regelhydraulik an die vorhandene Regelstrecke (den Pflug) anpassen zu können, ist die Kenntnis des betriebsmäßigen Verhaltens von Regelgröße und Stellgröße erforderlich.

Die technischen Daten der beiden Versuchspflüge und des Versuchsschleppers sind in **Tafel 1** zusammengestellt. In **Tafel 2** sind die Meßgrößen und die Meßeinrichtungen zusammengefaßt; Meßgrößenaufnehmer von Skalweit, Seifert und anderen Mitarbeitern des Instituts für Schlepperforschung wurden verwendet.

Tafel 1. Die technischen Daten des bei den Feldversuchen verwendeten Schleppers sowie des Anbau- und des Aufsattelpfluges.

A Pflüge	Anbaupflug	Aufsattelpflug
Scharzahl	4 (3)	5 (4)
Körperform	Universal	Universal
Vorschäler	4 (3)	5 (4)
Sech	1 Scheibensech	1 Scheibensech
Gewicht mit Meßeinrichtung und Stützrad	745 (695) kp	1430 (1370) kp
Körperabstand	750 mm	910 mm
Rahmenhöhe	600 mm	610 mm
Bemerkung	—	Heckrad auf dem ungepflügten Land, Zwangslenkung
B Schlepper Leistung: 75 PS		
Antrieb: Hinterradantrieb		
Gesamtgewicht mit Zusatzgewichten: 4170 kp		
Hinterachslast: 2360 kp		
Radstand: 2,35 m		
Regelung: nach Zugwiderstand über den oberen Lenker, nach Arbeitstiefe („Pilot“), nach Lage („Position Control“).		

Tafel 2. Die bei den Versuchen gemessenen Größen und verwendeten Meßeinrichtungen.

Meßgröße	Meßgrößenaufnehmer	
Horizontale und vertikale Kräfte an den unteren Lenkern	Vierkomponentenmeßeinrichtung [1] mit Dehnmeßstreifen	10-Kanal-Schreiber
Kraft im oberen Lenker	Mohrscher Ring	
Kraft in der Hilfsfeder des Aufsattelpfluges	Mohrscher Ring	
Druck im Arbeitszylinder des Krafthebers	Membran-Druckdose	
Bewegung der unteren Lenker relativ zum Schlepper	Tauchspule	
Tiefe am ersten Pflugkörper	Tauchspule	
Vertikale Kraft am Heckrad des Aufsattelpfluges	Tellerfederpaar mit Dehnmeßstreifen	Meßfilm
Bewegung des Schleppers um die Querachse	Meßlatte	
Bewegung des Pfluges um die Längs- und Querachse	Meßplatten	von Hand
Arbeitstiefe am letzten Schar	Meßstab	
Arbeitsbreite	Bandmaß	
Arbeitsgeschwindigkeit	Stoppuhr	
Überschreiten des Regelbereiches bei Zugwiderstandsregelung	Kontrollampe	

Um eine Zuordnung von Meßstrecke (je Versuch 20 m) und Meßschieb zu ermöglichen, werden durch einen Kontaktgeber Markierungen auf den Schrieb gebracht, deren Abstand jeweils 1 m Versuchsstrecke entspricht. Die Relativbewegungen von Schlepper und Pflug werden gefilmt. Die Zuordnung von Meßstrecke und Film erfolgt über längs der Meßstrecke im Abstand von 5 m gesteckte Latten. Die Bewegungen von Schlepper und Pflug werden auf einen mitgefilmten „künstlichen Horizont“ (weiße Perlonschnur) bezogen. **Bild 1** zeigt schematisch die Anordnung der Meßstellen.

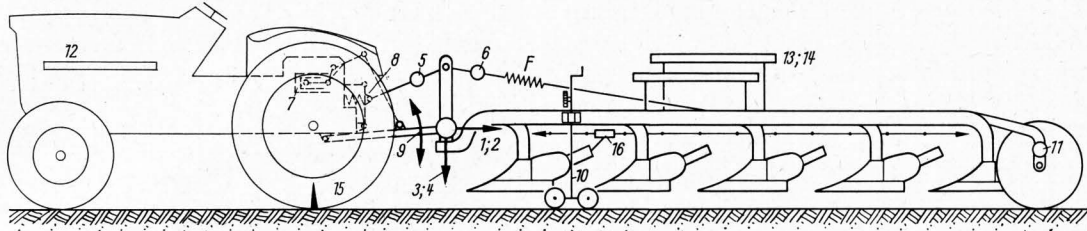


Bild 1. Anordnung der Meßstellen an Schlepper und Pflug.

- 1, 2 Längskräfte U_L im rechten und linken Unterlenker
- 3, 4 senkrechte Kräfte U_S in den Unterlenkern
- 5 Kraft O im oberen Lenker
- 6 Federkraft F
- 7 Druck p_{KR} im Arbeitszylinder
- 8 Arbeiten der Regelung (Kontrollampe)
- 9 Bewegung des unteren Lenkers relativ zum Schlepper
- 10 Arbeitstiefe t_1 des ersten Pflugkörpers
- 11 senkrechte Kraft S_R am Pflugstützrad
- 12 Filmaufnahme der Schlepperbewegung
- 13, 14 Filmaufnahme der Pflugbewegung
- 15 Arbeitsgeschwindigkeit (Stoppuhr, Bandmaß) und Schlupf
- 16 Kontaktgeber für die Meßstreckenmarken

Für die Versuche standen drei relativ ebene Äcker verschiedener Bodenart zur Verfügung. Sie werden in **Tafel 3** näher beschrieben. Mit den beiden Pflugsystemen wurden Meßreihen mit den folgenden Varianten in allen Kombinationsmöglichkeiten gefahren:

1. Boden (leicht bis extrem schwer),
 2. Arbeitstiefe (15, 22, 28 cm),
 3. Regelsystem (nach Zugwiderstand, nach Arbeitstiefe, nach Lage),
 4. Anlenk- und Kupplungspunkte (verschiedene Stellungen);
- beim Aufsattelpflug außerdem
5. Hilfsfeder (0 bis 900 kp),
 6. Zugpunkt (3 Punkte seitlich versetzt).

3 Zug- und Lenkfähigkeit des Schleppers

Für die Zugfähigkeit eines Schleppers beim Ziehen eines Pfluges sind zwei Dinge entscheidend: Die Größe der zur Verfügung stehenden Motorleistung und die Möglichkeit, diese

Tafel 3. Die Charakterisierung der bei den Versuchen bearbeiteten Versuchsäcker.

Versuchsacker Nr.	1	2	3
Bezeichnung des Bodens	lehmgiger Sand leicht	sandiger Lehm mittelschwer	lehmgiger Ton extrem schwer
Vorfrucht	Getreide	Getreide	Getreide
Zustand	ungeschälte Stoppel, leicht verschlamm	ungeschälte Stoppel, durch häufiges Befahren verfestigt, etwas Stallung	ungeschälte Stoppel
Feuchtigkeit %	14 bis 17	12,8 bis 20,6	16,1 bis 20,8
spez. Zugwiderstand kp/dm^2	20 bis 40	40 bis 60	60 bis 125
Bemerkungen	—	3 bis 8 cm tiefe Mährescherspuren in Pflugrichtung	Mährescherspuren in Pflugrichtung, einige staunasse Stellen

Leistung über die Triebräder auf den Boden zu übertragen. Bei den heute zur Verfügung stehenden hohen Schleppermotorleistungen ist dazu eine hohe Belastung der Triebachse erforderlich.

3.1 Zusätzliche Belastung der Schlepperhinterachse

Die verschiedenen Pflugsysteme ermöglichen bei der Arbeit eine zusätzliche, verschieden große Übertragung von vertikalen Kräften vom Pflug auf den Schlepper. **Bild 2 bis 5** zeigen in vereinfachter Darstellung vier bekannte Verbindungssysteme

mit der Art der Übertragung des Bodenwiderstandes vom Pflug auf den Schlepper.

Anbaupflüge werden bei Pflugarbeiten und Transport von Schleppern mit Regelhydraulik theoretisch vollkommen getragen, **Bild 2**. Der gesamte auf den Pflug wirkende Bodenwiderstand W_0 wird vom Schlepper aufgenommen. Das führt zu einer erheblichen Zusatzbelastung der Schlepperhinterachse bei gleichzeitig starker Entlastung der Vorderachse, die bis an die Grenze der Lenksicherheit gehen kann. Bei Anbaupflügen

Bild 2

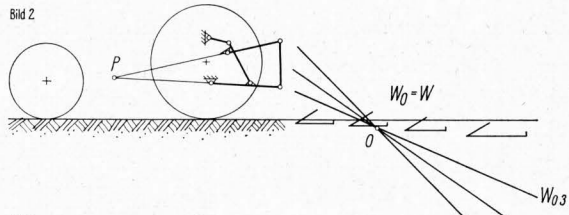


Bild 3

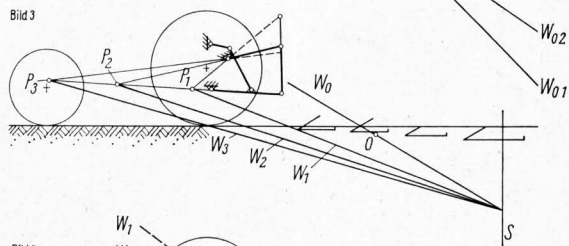


Bild 4

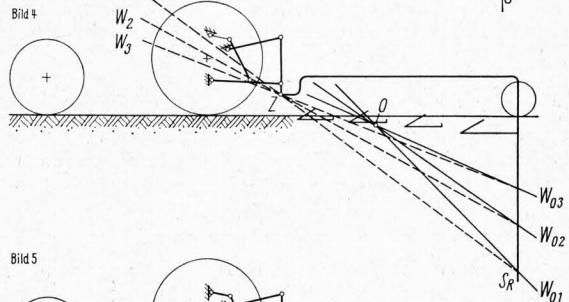


Bild 5

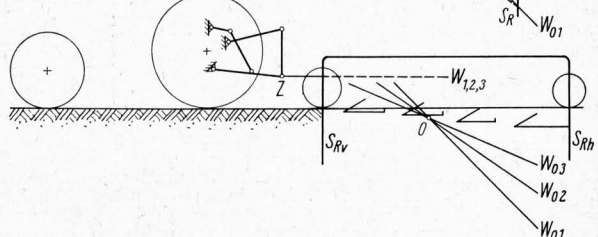


Bild 2 bis 5. Wirkungslinien des resultierenden Bodenwiderstandes W_0 , der vom Pflug abgestützten Vertikalkräfte S und der vom Pflug auf den Schlepper wirkenden Gesamtkraft W .

Bild 2: Anbaupflug mit Regelhydraulik — **Bild 3:** Anbaupflug ohne Regelhydraulik (Freigang) — **Bild 4:** Aufsattelpflug — **Bild 5:** Anhängerpflug.

O Angriffspunkt der resultierten Pflugkraft

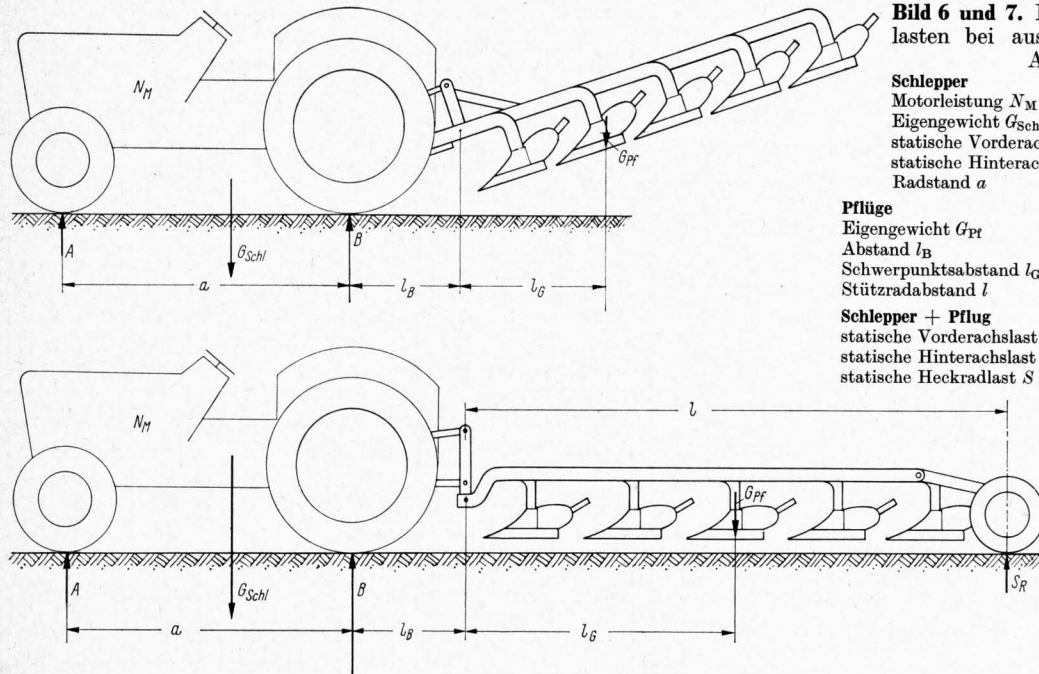
Z reeller Zugpunkt

P ideeller Führungspunkt

Die Mittelebene des in der Furche fahrenden Schleppers wurde zur einfachen Darstellung der Kinematik des Dreipunktanbaues in die Zeichenebene gedreht; dadurch erscheinen die gleichtief arbeitenden Pflugkörper gestaffelt.

ohne Regelhydraulik, Bild 3, wird ein Teil der vertikalen Pflugkräfte an den zur Führung erforderlichen Stützflächen am Pflug (Pflugsohle und -anlagen) übertragen. Die Aufsattelpflüge in Bild 4 sind eigens mit einem Stützrad am Pflgende zur Aufnahme eines wesentlichen Teiles der vertikalen Kräfte, die am Pflug angreifen, ausgerüstet. Während schließlich bei angehängten Pflügen sämtliche Vertikalkräfte von den Pflugrädern aufgenommen werden und nur die horizontale Pflugkraft auf den Schlepper übertragen wird, Bild 5.

In ausgehobenem Zustand wird bei Aufsattelpflügen vom Heckrad ein wesentlicher Anteil S_R des Pfluggewichtes G_{PF}



getragen, so daß nur ein Teil des Gesamtgewichtes am Schlepper abgestützt wird. Die Belastung der Schlepperhinterachse und die Entlastung der Vorderachse sind beim Aufsattelpflug geringer als beim Anbaupflug gleicher Scharzahl, Bild 6 und 7, so daß die Transportsicherheit auch im Hinblick auf vertikale Beschleunigungskräfte beim Aufsattelpflug wesentlich größer ist als beim Anbaupflug.

Beim Pflügen kommt zu den Pfluggewichten der Bodenwiderstand hinzu, wobei bezüglich der Triebachslast die unterschiedlichen kinematischen Verhältnisse der Verbindungssysteme eine Rolle spielen. Entscheidend für die Größe der Zusatzlast ist ihre Abhängigkeit von der Arbeitstiefe. Für Anbaupflüge ist der Verlauf der Zusatzlast in Abhängigkeit von der Tiefe beim Arbeiten in „Schwimmstellung“ (Freigang) und mit Regelhydraulik bekannt [2]. Bei geringen bis mittleren Arbeitstiefen bringt beim Anbaupflug die Regelhydraulik eine wesentliche Erhöhung der Zusatzlast gegenüber dem in Schwimmstellung arbeitenden Pflug, Bild 8. Bei großen Arbeitstiefen, wo die zusätzliche Belastung der Triebachse wegen des erhöhten Zugkraftbedarfes besonders wichtig ist, fällt die Zusatzlast aber in den meisten Fällen ab. Dagegen ergibt sich beim Aufsattelpflug mit seinem reellen Zugpunkt eine mit der Arbeitstiefe progressiv wachsende Zusatzlast, Bild 9. Bild 8 und 9 zeigen, daß ein Vergleich der statischen Belastungsverhältnisse allein (Bild 6 und 7) keinen ausreichenden Aufschluß über das Verhalten während der Arbeit geben kann. Für die untersuchten Pflüge mit unterschiedlichem Gewicht (s. Tafel 1) ergibt sich also bei geringen bis mittleren Arbeitstiefen — ähnlich wie im ausgehobenen Zustand — für den Anbaupflug eine höhere Zusatzlast als für den Aufsattelpflug. Infolge der unterschiedlichen Tendenzen wird aber bei mittlerer Arbeitstiefe Gleichheit der Zusatzlasten erreicht. Während bei noch größeren Arbeitstiefen die zusätzliche Belastung der Triebäder beim Anbaupflug fällt, steigt sie beim Aufsattelpflug.

Zur Klärung der Gewichtsübertragung bei Aufsattelpflügen wurden Kräftepläne bei verschiedener Arbeitstiefe aufgestellt, Bild 10. Es wird zunächst — im Hinblick auf die gegenläufigen

Tendenzen der Boden- und Stützkkräfte — die Zusatzlast W_S auf die Triebäder konstant angenommen. Für den horizontalen Zugwiderstand W_L zeigt sich der bekannte progressive Anstieg mit der Arbeitstiefe; auch der auf den Schlepper wirkende Gesamtwiderstand W wächst schwach progressiv. Das neben der vertikalen Kraft W_S für die Gewichtsverlagerung auf den Schlepper verantwortliche Moment, das W um die Aufstandsfläche der Schlepperhinterräder bildet, wächst trotz der Verschiebung des Aufsattelpunktes nach unten mit der Arbeitstiefe. Zeigt W_S , wie unter verschiedenen Arbeitsbedingungen am Aufsattelpflug ermittelt wurde, einen mit der Furchentiefe

Bild 6 und 7. Kräfte und Schlepperachslasten bei ausgehobenem Anbau- bzw. Aufsattelpflug.

Schlepper		
Motorleistung N_M		100 PS
Eigengewicht G_{Schl}		5000 kp
statische Vorderachslast A_0		1870 kp
statische Hinterachslast B_0		3130 kp
Radstand a		2600 mm
Pflüge		
Eigengewicht G_{PF}	Anbaupflug	Aufsattelpflug
Abstand l_B	800 mm	1200 mm
Schwerpunktsabstand l_G	960 mm	1020 mm
Stützradabstand l	1300 mm	2500 mm
		5000 mm
Schlepper + Pflug		
statische Vorderachslast A	1175 kp	1634 kp
statische Hinterachslast B	4625 kp	3966 kp
statische Heckradlast S		600 kp

Verwendete Formelzeichen

A	kp	horizontale Anlagekraft, senkrecht zur Fahrtrichtung
A'	kp	Vorderachslast des Schleppers
A_0	kp	statische Vorderachslast des Schleppers
B	kp	Hinterachslast des Schleppers
B_0	kp	statische Hinterachslast des Schleppers
ΔA	kp	zusätzliche Vorderachsentlastung des Schleppers durch den Pflug bei der Arbeit
$\Delta A'$	kp	zusätzliche Vorderachsentlastung des Schleppers durch den Pflug bei Verwendung einer Hilfsfeder
ΔB	kp	zusätzliche Hinterachslast des Schleppers durch den Pflug bei der Arbeit
$\Delta B'$	kp	zusätzliche Hinterachslast des Schleppers durch den Pflug bei Verwendung einer Hilfsfeder
B_{ert}	kp	erforderliche Hinterachslast des Schleppers
F	kp	Federkraft der Hilfsfeder beim Aufsattelpflug
F'	cm ²	Furchenquerschnitt
G_{PF}	kp	Pflugeigengewicht
G_{Schl}	kp	Schleppereigengewicht
N_M	PS	Motorleistung des Schleppers
O	kp	Kraft im oberen Lenker
O_L	kp	waagerechte Komponente von O
O_S	kp	senkrechte Komponente von O
R_A	kp	Rollwiderstand der Schleppervorderräder
S	kp	senkrechte Sohlenkraft
S_R	kp	senkrechte Heckradlast
S'_R	kp	senkrechte Heckradlast bei Aufsattelpflug mit Hilfsfeder
T	kp	Triebkraft der Schlepperhinterräder
U	kp	Kraft in den unteren Lenkern
U_{L_1, L_2}	kp	Längskräfte in den unteren Lenkern
U_{S_1, S_2}	kp	senkrechte Kräfte in den unteren Lenkern
W_0	kp	resultierender, auf den Pflug wirkender Bodenwiderstand
W_{0L}	kp	Längskomponente von W_0
W_{0S}	kp	senkrechte Komponente von W_0
W_{0Q}	kp	(horizontale) Komponente von W_0 quer zur Fahrtrichtung
W	kp	auf den Schlepper wirkende Komponente von W_0
W_L	kp	Längskomponente von W
W_S	kp	senkrechte Komponente von W
W_Q	kp	(horizontale) Komponente von W quer zur Fahrtrichtung
a	cm	Radstand des Schleppers
b	cm	Furchenbreite
p_{Kr}	kp/cm ²	Druck im Kraftheberzylinder
t	cm	Furchentiefe
v	m/s	Arbeitsgeschwindigkeit
w_L	kp/dm ²	spezifischer Pflugwiderstand
z	—	Triebkraftbeiwert des Schleppers

steigenden oder parabolischen Verlauf, so ergibt sich für die Zusatzlast ΔB ein wie in Bild 9 gezeigtes Verhalten. Die Kräftepläne in Bild 10 zeigen auch den später erwähnten Abfall der Stützkraft S_R mit wachsender Furchentiefe.

Die Tatsache, daß in Bild 9 die zusätzliche Belastung der Triebräder bei dem leichten Boden 1 höher liegt als beim schweren, liegt auch daran, daß auf ersterem mit einer Hilfsfeder zwischen Schlepper und Pflug gearbeitet wurde, durch die, wie später gezeigt wird, die Zusatzlast erhöht wird.

Von erheblichem Einfluß auf die Größe der Zusatzlast ist die Lage des Zugpunktes relativ zu der des resultierenden Pflugwiderstandes W_0 . In Bild 11 sind für vier Positionen des Zugpunktes bei gleicher Richtung und Größe des Pflugwiderstandes W_0 die entsprechenden Kräftepläne dargestellt. Die vertikale Komponente hat zwei Auflagerreaktionen: W_S am Zugpunkt und S_R am Stützrad. Die Positionen III und IV in Bild 11 zeigen den Normalfall mit jeweils zwei Stützkraften. In Position II liegt der Zugpunkt auf der Wirkungslinie von W_0 : die Stützkraft S_R am Stützrad wird Null. Damit nimmt der Schlepper die gesamte vertikale Pflugkraft auf; die größtmögliche Zusatzbelastung der Triebäder ist erreicht. Liegt der Zugpunkt oberhalb von W_0 , Position I, so wird die Stützkraft am Heckrad negativ, d. h., der Pflug wird hinten angehoben bzw. es werden zusätzliche Gewichte am Heckrad notwendig, falls die dabei erreichte große Zusatzlast am Schlepper erforderlich ist.

Ein Vergleich der verschiedenen Regelsysteme unter gleichen Versuchsbedingungen zeigt keinen wesentlichen Unterschied im mittleren Verlauf der Zusatzlast, Bild 12. Zur Analyse eines einzelnen Regelvorganges wurde ein Meßschrieb in Zeitintervallen von 0,1 s ausgewertet. (Dieser Vorgang kann nicht als repräsentativ angesehen werden, aber er macht die Zusammenhänge und möglichen Abweichungen besonders deutlich.) Bild 13

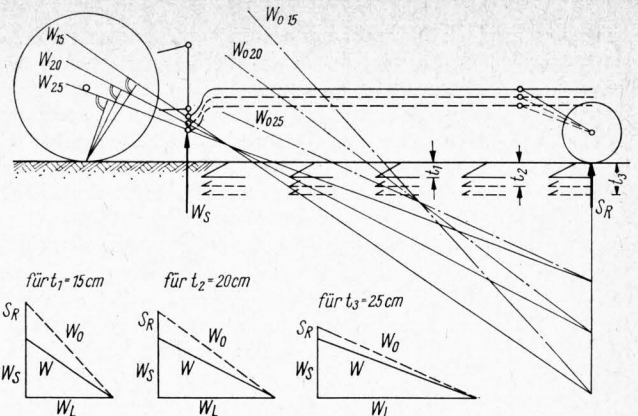


Bild 10. Kräftepläne für den Aufsattelpflug bei drei verschiedenen Furchentiefen unter der Voraussetzung, daß die vertikale Kraft W_S am Zugpunkt konstant ist.

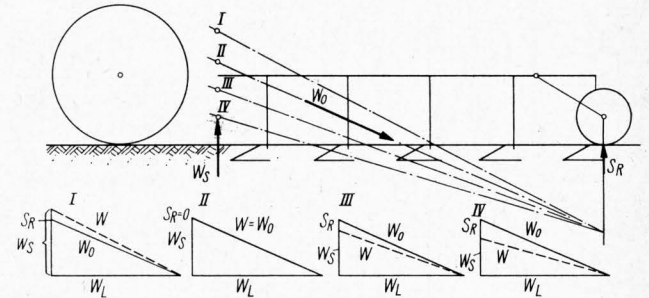


Bild 11. Einfluß der Lage des Zugpunktes auf die Verteilung der Stützkraft am Aufsattelpflug.

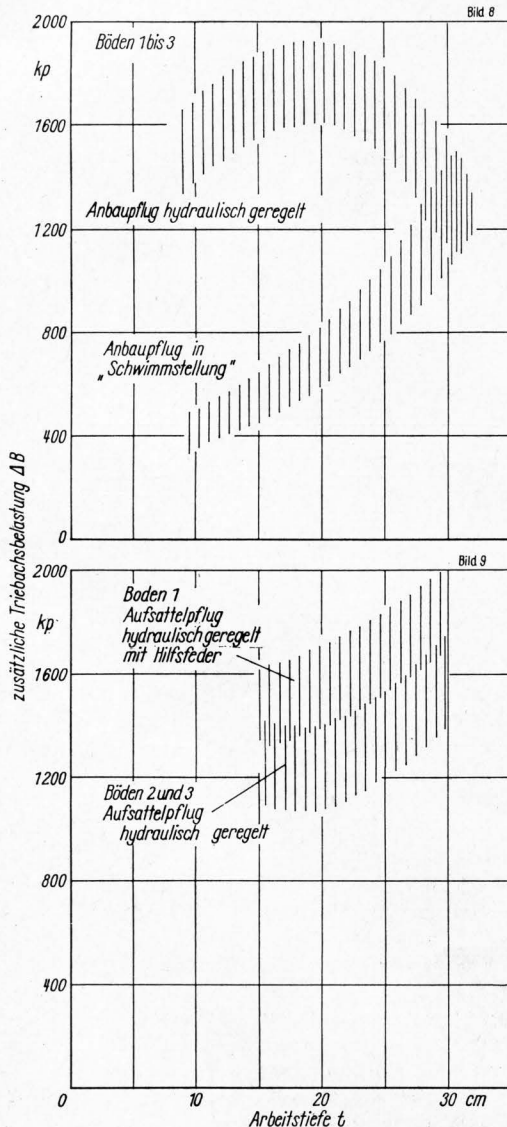


Bild 8 und 9 (links). Zusätzliche Belastung der Schleppertriebachse in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe eines vierfurchigen Aufsattelpfluges und eines vierfurchigen Anbaupfluges.

Schlepper- und Pflugdaten siehe Tafel 1
Boden 1, 2 und 3 siehe Tafel 3

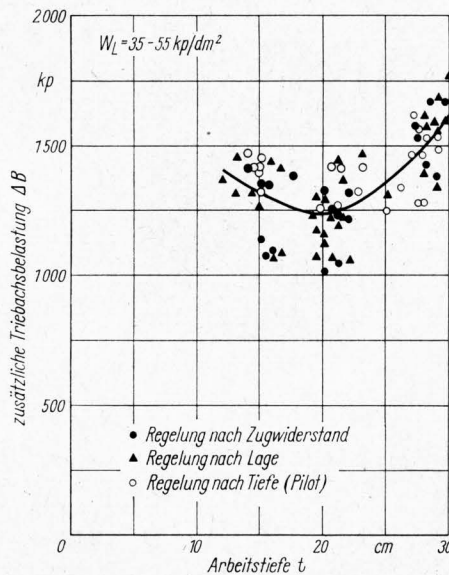


Bild 12. Zusätzliche Belastung der Schlepperhinterachse durch den vierfurchigen Aufsattelpflug bei drei verschiedenen Regelsystemen.

Arbeitstiefe $t \approx 12$ cm
Zugwiderstandsregelung über die Kraft O im oberen Lenker
 p_{Kr} Öldruck am Arbeitszylinder des Krafthebers
 t_1 Furchentiefe am ersten Pflugkörper
 h_{uL} Hub des unteren Lenkers am Kupplungspunkt

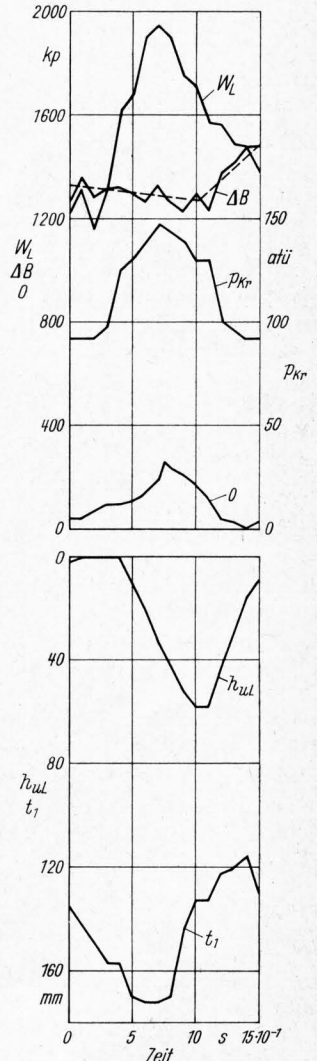


Bild 13. Die Phasen eines Regelprozesses bei Regelung nach dem Zugwiderstand W_L bei dem vierfurchigen Aufsattelpflug.

zeigt die einzelnen Phasen bei Regelung auf konstanten Zugwiderstand am Aufsattelpflug. In diesem Beispiel arbeitet der Pflug vorne zunehmend tiefer (siehe t_v), damit steigt der Zugwiderstand W_L und die Kraft O im oberen Lenker. Nachdem der Istwert eine bestimmte Grenze überschritten hat, spricht die Regelung an. Der Druck p_{KR} im Arbeitszylinder wächst und die Einzugsbewegung kommt zum Stillstand. Anschließend wird der Pflug in die Ausgangslage zurückgeführt. Das Beispiel macht deutlich, daß ein Anstieg der Zusatzlast ΔB erst eintritt, wenn der Hubvorgang beginnt, der Zugwiderstand W_L also schon wieder fällt. Ehe ein Regelimpuls bis zum Stellglied durchkommt, erfolgt trotz Regelung nach konstantem Zugwiderstand ein beträchtlicher Anstieg des Zugwiderstandes, ohne daß die Zusatzlast ΔB sich ändert. Die Triebachslast B_0 muß entsprechend der Totzeit und Ansprechempfindlichkeit der Regelung und der daraus möglichen Sollwertabweichung des Zugwiderstandes ausreichend hoch gewählt sein.

3.2 Wirkung einer Hilfsfeder am Aufsattelpflug

Der Aufsattelpflug ist üblicherweise nur durch einen kardanschen Zugpunkt mit dem Schlepper verbunden. Spannt man eine Feder zwischen Pflugrahmen und Kupplungsebene (am Versuchsschlepper serienmäßig eingebaut), **Bild 14**, so schafft man ein weiteres Verbindungsglied zwischen Schlepper und Pflug, über das Kräfte zwischen beiden wirken können. Über die Feder unter dem Neigungswinkel φ kann ein zusätzlicher Anteil des Pfluggewichtes auf den Schlepper und damit auf die Schlepper-

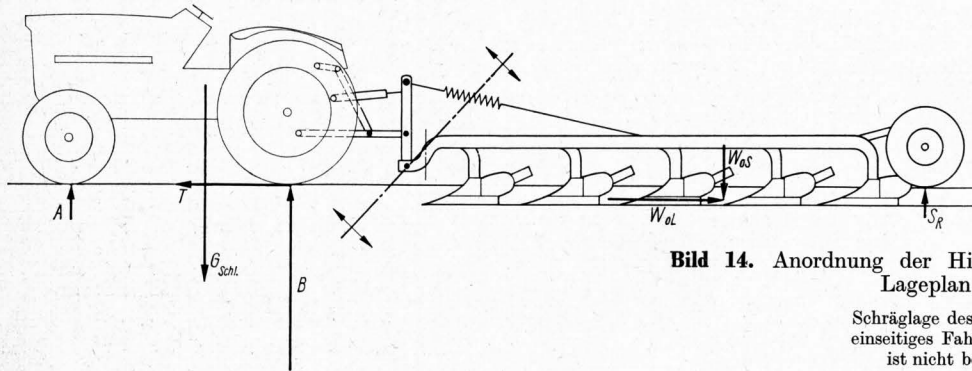


Bild 15. Zusätzliche Triebachslast und Vorderachs-entlastung des Schleppers sowie Stützkraft am Heckrad des vierfurchigen Aufsattelpfluges in Abhängigkeit von der Spannkraft der Hilfsfeder.

spez. Pfluggewicht $W_L = 30$ bis 50 kp/dm²
 $\Delta B'$ zusätzliche Triebachslast
 $\Delta A'$ Vorderachsbelastung
 S'_R Stützkraft am Heckrad

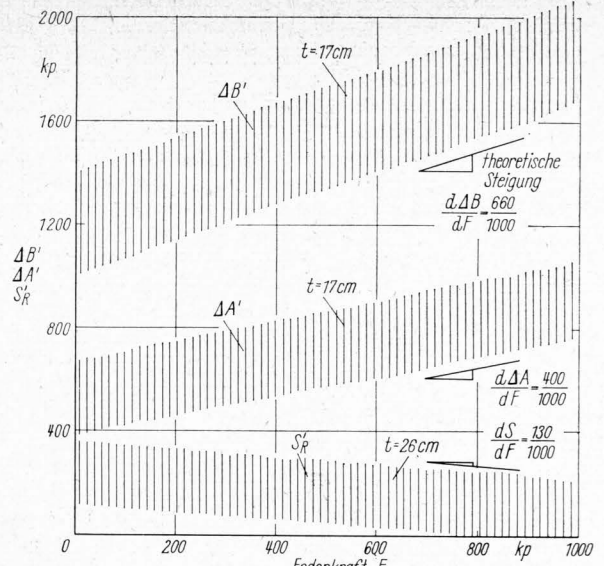
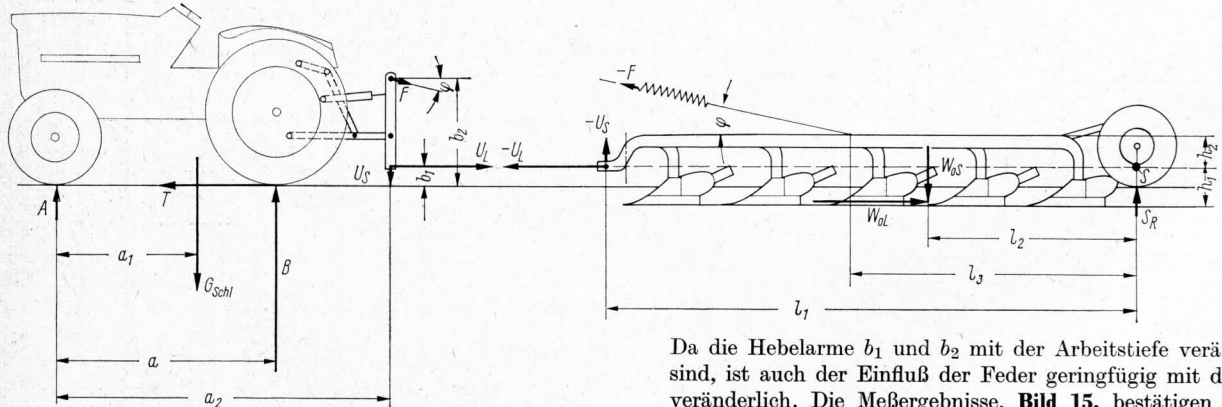


Bild 14. Anordnung der Hilfsfeder am Aufsattelpflug und Lageplan der Kräfte.

Schräglage des Schleppers durch einseitiges Fahren in der Furche ist nicht berücksichtigt.



triebachse übertragen werden. Dabei nimmt die Belastung des Heckrades bzw. die gesamte Bodstützkraft des Pfluges ab.

Der Einfluß der Feder auf Zusatzlast, Vorderachs-entlastung sowie auf die Stützkraft kann wie folgt berechnet werden (Rollwiderstände sind nicht berücksichtigt):

$$\Delta B_F = \frac{F}{a l_1} [(\sin \varphi l_3 - \cos \varphi h_2) a_2 - (\cos \varphi b_1 - \cos \varphi b_2 - \sin \varphi a_2) l_1] \quad (1)$$

$$\Delta A_F = \frac{F}{a l_1} \{(\sin \varphi l_3 - \cos \varphi h_2) (a_2 - a) + [\cos \varphi b_1 - \cos \varphi b_2 - \sin \varphi (a_2 - a)] l_1\} \quad (2)$$

$$\Delta S_F = \frac{F}{l_1} (\sin \varphi l_3 - \cos \varphi h_2 - \sin \varphi l_1) \quad (3)$$

Da die Hebelarme b_1 und b_2 mit der Arbeitstiefe veränderlich sind, ist auch der Einfluß der Feder geringfügig mit der Tiefe veränderlich. Die Meßergebnisse, **Bild 15**, bestätigen den errechneten Einfluß; darin ist

$$\begin{aligned} \Delta B' &= \Delta B + \Delta B_F, \\ \Delta A' &= \Delta A + \Delta A_F, \\ S'_R &= S_R + \Delta S_F. \end{aligned}$$

Mit Hilfe der Feder kann die Zusatzbelastung der Triebachse und entsprechend auch die Vorderachs-entlastung stufenlos eingestellt und bis zum Abheben des Pflugheckrades gesteigert werden. Die damit erzielte Zusatzlast der Triebachse steigt stärker an als die Vorderachs-entlastung. Auf diese Weise lassen sich auch bei geringen Arbeitstiefen Zusatzlasten wie beim Anbaupflug erreichen oder gar überschreiten. Die Vorteile des Aufsattelpfluges gegenüber dem Anbaupflug, wie Transport-sicherheit, kleiner Wenderadius, günstiger Scharabstand, sicherer Einzug und Furchenanfang auf einer Linie quer zur Arbeits-richtung über die volle Arbeitsbreite, bleiben dabei erhalten.

Es wäre eine Steuerung oder sogar Regelung der Federspannung denkbar, die über den ganzen Tiefenbereich ein optimales Verhältnis von Zusatzlast und Vorderachsentlastung einhält. Mit der Steigerung der Federkraft ist, wie aus Gl. (3) ersichtlich, eine Entlastung des Heckrades verbunden. Da die Stützkraft zudem mit der Arbeitstiefe abnimmt, ist der Punkt maximal erreichbarer Zusatzlast (für $S_R = 0$) unter der Wirkung der Hilfsfeder schon bei einer geringeren Arbeitstiefe erreicht. Durch variable Gewichte am Ende des Pfluges könnte die Last auf dem Heckrad konstant gehalten und die Zusatzbelastung auf die Triebachse noch weiter gesteigert werden.

3.3 Entlastung der Schleppvorderachse

Für die Entlastung der Vorderachse des Schleppers bestehen bei Anbau- und Aufsattelpflug ähnliche Verhältnisse wie für die Belastung der Hinterachse. Auch hier ist in Transportstellung und bei kleinen Arbeitstiefen die Entlastung bei Verbindung mit dem Aufsattelpflug geringer als mit dem Anbaupflug, **Bild 16 und 17**. Zu großen Tiefen hin kehrt sich das Verhältnis durch die progressive Entlastung beim Aufsattelpflug um. Das ist verständlich, da der längere und schwerere Aufsattelpflug dann ähnlich einem Anbaupflug vorwiegend vom Schlepper getragen wird, **Bild 18** ($S_R \rightarrow 0$).

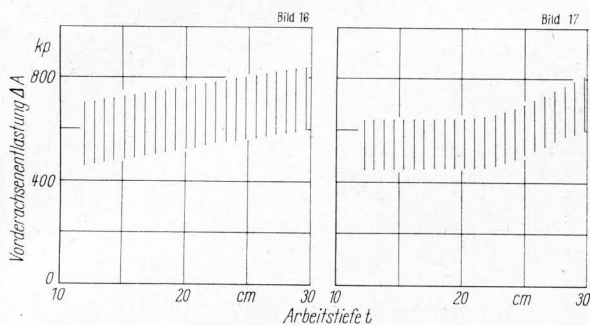


Bild 16 und 17. Entlastung der Schleppvorderachse in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe bei der Arbeit mit einem vierfurchigen Anbau- und einem vierfurchigen Aufsattelpflug verschiedener Eigengewichte (Tafel 1).

spez. Pflugwiderstand $W_L = 30$ bis 50 kp/dm^2

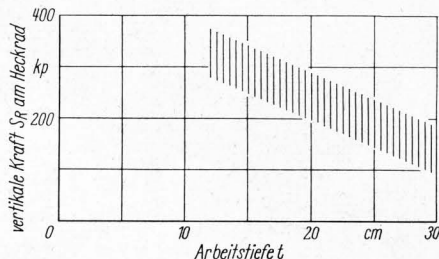


Bild 18. Vertikale Stützkraft am Heckrad des vierfurchigen Aufsattelpfluges (Tafel 1) in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe.

spez. Pflugwiderstand $W_L = 40$ bis 60 kp/dm^2

4 Pflugführung

Die Widerstandskraft W_0 ist als die Summe aller vom Boden auf die Pflugkörper wirkenden Kräfte schräg im Raum gerichtet. Ihre in Fahrtrichtung liegende Komponente wird bei allen Verbindungssystemen ausschließlich von der „Zugmaschine“ aufgenommen. Die vertikale Komponente verteilt sich je nach Verbindungssystem (Bild 2 bis 5) mehr oder minder auf den Schlepper und auf Pflugsohlen und Stützräder (falls vorhanden). Der horizontale Anteil quer zur Fahrtrichtung stützt sich in ähnlicher Weise am Schlepper, an der Pfluganlage und an Stützrädern ab. Durch eine gute Pflugführung können alle drei Komponenten relativ klein und — abgesehen von Abweichungen infolge des wechselnden Bodenwiderstandes — konstant gehalten werden.

Die Führung der Pflüge in der vertikalen Ebene ist verschiedenartig. Während sie beim Anbaupflug direkt durch Abrollen der Räder auf der Oberfläche des Ackers erfolgt, sind

beim Anbaupflug in „Schwimmstellung“ (Freigang) Schleifsohle und andere Stützflächen des Pfluges die Führungsglieder. Bei der Arbeit mit Regelhydraulik werden Anbaupflüge weitgehend vom Schlepper bzw. der Regelhydraulik getragen und geführt. Aufsattelpflüge nehmen bezüglich der Führung eine Mittelstellung zwischen Anhängen- und Anbaupflug ein. Das Pflugende wird, wie beim angehängten Pflug, durch das Heckrad geführt, während das Vorderteil des Pfluges von der Regelhydraulik abgestützt wird. In der horizontalen Ebene arbeiten dagegen alle Pflugsysteme bisher mit Selbstführung.

4.1 Pflugführung in der horizontalen Ebene

Die Bedeutung der seitlichen Anlage des Pfluges für die Führung wie auch für den Zugwiderstand war schon früh bekannt. Verschiedene Arbeiten über Anhängen- und Anbaupflüge beschäftigen sich mit diesem Thema [3 bis 7].

Beim Arbeiten am Hang mit langen Pflügen und bei den steigenden Arbeitsgeschwindigkeiten gewinnt die Notwendigkeit, die zur Führung des Pfluges erforderliche Anlagekraft aufrechtzuerhalten, an Bedeutung. Am Hang, besonders beim Wenden des Bodens hangabwärts, muß das Abrutschen des Pfluges und eine Verringerung der Arbeitsbreite vermieden werden; bei größerer Arbeitsgeschwindigkeit tritt ein starkes „Schlingern“ des Pfluges mit erheblichen Abweichungen von der gewünschten Arbeitsbreite ein. Jedenfalls muß die Anlagekraft groß genug gehalten werden, um eine ausreichende Pflugführung zu gewährleisten.

Bei extrem großer Anlagekraft, wie z. B. beim Wenden des Bodens hangaufwärts, wird die führende Furchenwand, besonders bei geringer Arbeitstiefe, seitlich weggedrückt, **Bild 19**. Das andere Extrem wird in **Bild 20** gezeigt: Die Anlagekraft ist Null geworden, so daß der Pflug nicht mehr an der Furchenwand geführt wird und in der Horizontalebene „schwimmt“. Beim Aufsattelpflug kann das Heckrad Seitenkräfte bis zu einer ge-



Bild 19. Die Furchenwand wird bei sehr starker seitlicher Kraft von der Anlage des Pfluges eingedrückt.

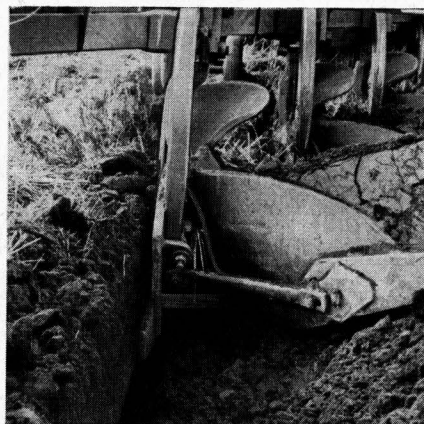


Bild 20. Abheben der Pfluganlage von der Furchenwand bei fehlender seitlicher Anlagekraft.

wissen Grenze aufnehmen. Bei allen Pflugsystemen kann das seitliche Anliegen des Pfluges auf mehr oder minder einfache Weise beeinflusst werden: Beim angehängten Pflug durch Verlagern des Zugpunktes relativ zum Pflug durch Verstellen der Zugvorrichtung, beim Anbaupflug durch seitliches Verschieben der Tragachse und beim Aufsattelpflug ebenfalls durch Verlagern des Zugpunktes relativ zum Pflug. (Die Arbeitsbreite muß danach durch die entsprechenden Einstellrichtungen korrigiert werden.)

Bild 21 zeigt den theoretischen Einfluß der Lage des Zugpunktes beim Aufsattelpflug. Solange die schräg im Raum liegende Bodenkraft W_0 und die am Zugpunkt angreifende Kraft W in ihrer Grundrißprojektion keine gemeinsame Wirkungslinie haben, wirkt ein rechts drehendes Moment auf den Pflug, das durch die Anlagekraft vom Boden aufgenommen werden muß. Seitenkräfte werden an allen Pflugkörpern und am Heckrad übertragen. Faßt man alle Seitenkräfte zu einer resultierenden A zusammen und nimmt bei gleichmäßiger Verteilung eine bestimmte Lage der Wirkungslinie an, so können Lage und Kräfteplan gezeichnet werden (vereinfachende Annahme: $W_{0L} = \text{konst}$). Liegt der Zugpunkt auf der Wirkungslinie von W_0 , so wird das auf den Pflug wirkende Moment und damit die Anlagekraft Null. Je weiter der Zugpunkt von dieser Lage nach links liegt, um so größer wird die Anlagekraft. Die zur Klärung dieser Vorgänge gefahrenen wenigen Feldversuche lassen nicht auf dieses Verhalten der Anlagekraft schließen, **Bild 22**. Mit der Verlagerung des Zugpunktes nach links ergibt sich keine Zunahme des spezifischen Zugwiderstandes entsprechend einer erhöhten Anlagereibung, sondern eine eindeutige Abnahme. Es müssen sich demnach andere störende Einflüsse überlagern, die weitere Untersuchungen in dieser Richtung notwendig machen.

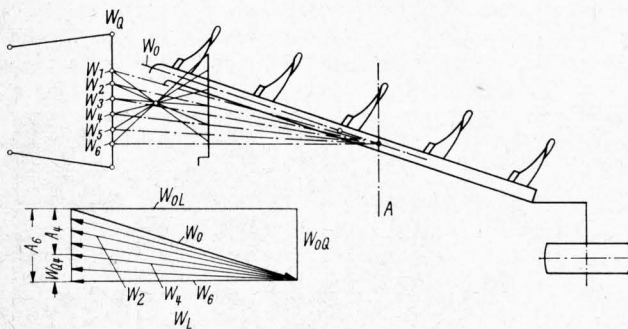


Bild 21. Beeinflussung der Anlagekraft A eines Aufsattelpfluges durch die Wahl des Zugpunktes relativ zum Pflug.

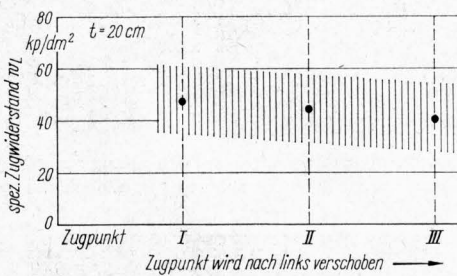


Bild 22. Spezifischer Zugwiderstand eines vierfurchigen Aufsattelpfluges in Abhängigkeit von der Lage des Zugpunktes (s. Bild 21).

Beim Anhäng- und Aufsattelpflug bietet sich durch den Einschlag des Heckrades noch eine andere Möglichkeit, auf die Größe der Anlagekraft einzuwirken. Wird das Rad zur Furchenkante hin oder von der Furchenkante weg gelenkt, so wirkt am Pflugende eine Seitenkraft S_Q . Die Beeinflussung der Anlagekraft durch vier verschiedene Anstellwinkel des Heckrades ist in **Bild 23** unter der Annahme, daß W_{0L} konstant ist, dargestellt. Die erreichbare Größe der Seitenkraft hängt von der Verformung des gegen die Fahrtrichtung eingeschlagenen Reifens und dem Transport des Bodens quer zur Fahrtrichtung ab. Sie kann durch ein geeignetes Profil des Reifens (Längsrillen) und durch Form und Größe der Auflagefläche (niedriger Luftdruck) gesteigert werden.

Wesentlich für die Beeinflussung der Seitenkraft durch das Heckrad ist dessen Belastung S_R als der Anteil der vertikalen Komponente von W_0 . Ihre Größe ist abhängig von Bodenart, Arbeitsgeschwindigkeit, Pflugkörperform und -einstellung sowie von Gewicht und Schwerpunktslage des Pfluges. Der Verlauf der Stützkraft in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe ist in Bild 18 gezeigt. Zu großen Tiefen hin nimmt die Stützkraft ab und wird für das untersuchte Aggregat bei etwa 40 cm Arbeitstiefe Null. Über das Heckrad kann dann keine Seitenkraft mehr aufgenommen oder aufgebracht werden.

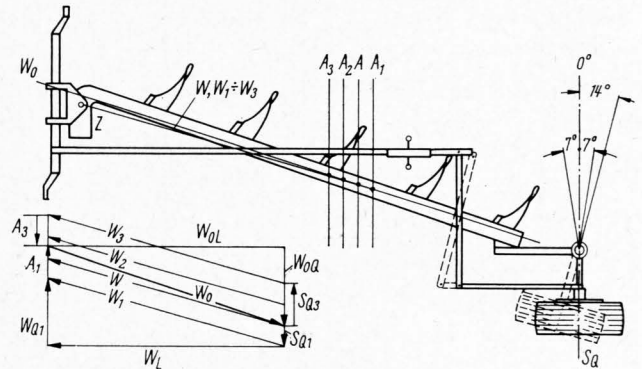


Bild 23. Beeinflussung der seitlichen Anlagekraft eines Aufsattelpfluges durch den Schräglaufwinkel des Heckrades.

Durch die beschriebenen Verfahren zur Beeinflussung der seitlichen Anlagekraft ist nicht in jedem Fall eine Einsparung an Energie zu erzielen. Um die Anlagekraft auf das erforderliche Minimum zu reduzieren oder ganz verschwinden zu lassen, ist am Schlepper im allgemeinen ein außermittiger Zugpunkt erforderlich. Das auf den Schlepper wirkende Moment, **Bild 24**, führt zu Schräglaf mit den entsprechenden Verlusten. Ob die Reibungsverluste an der Anlage des Pfluges oder die Schräglafverluste der Schlepperräder größer sind, hängt von den jeweiligen Verhältnissen ab.

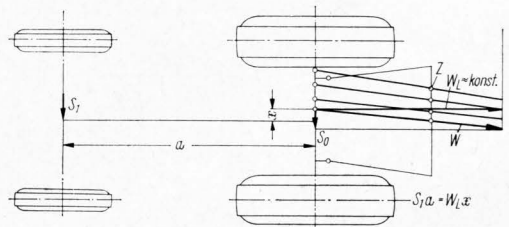


Bild 24. Kräfte und Momente am Schlepper bei außermittigem Zugpunkt Z .

4.2 Pflugführung in der vertikalen Ebene

Die Führung des Pfluges in der Vertikalen ist aus zwei Gründen von Bedeutung: Aus ackerbaulichen Gründen soll die Arbeitstiefe über die volle Arbeitsbreite möglichst konstant sein und ein unerwünschter Zugkraftanstieg durch Schräglage vermieden werden [8].

Anhäng- und Aufsattelpflug werden ganz oder teilweise durch Stützräder geführt; auch Anbaupflüge sind häufig — besonders bei der Schälarbeit — mit einem Stützrad ausgerüstet. Zudem haben alle Werkzeuge der verschiedenen Pflugsysteme mehr oder minder große Berührungsflächen (Anlage, Schleifsohle) mit dem Boden, die durch Aufnahme von Normal- und Reibungskräften ebenfalls die Führung des Pfluges beeinflussen.

Regelhydraulik-Anbaupflüge werden nicht nur beim Transport, sondern auch bei der Arbeit vom Schlepper getragen. Theoretisch sind keine Stütz- und Führungsflächen erforderlich; diese können den Regler sogar ungünstig beeinflussen. Die für die Pflugarbeit bedeutendsten Regelsysteme (nach Arbeitstiefe und nach Zugwiderstand) sollen hinsichtlich der erzielten Pflugführung nachstehend verglichen werden.

4.21 Die Regelung nach Arbeitstiefe (Pilot)

Ein Tastradpaar rollt am Heck des Schleppers über die Ackeroberfläche und dient als Meßwertaufnehmer, wobei der Istwert der Regelgröße (die Arbeitstiefe) gemessen und über ein mechanisch-hydraulisches System korrigiert wird. Im Bereich mittlerer Arbeitstiefe (15 bis 25 cm) gilt eine Toleranz von $\pm 10\%$ als ausreichend [9]. Eine gewisse Totzeit im System sorgt dafür, daß kleinere Bodenunebenheiten (Fahrspuren, Maulwurfshügel usw.) eliminiert werden, daß also die Furchensohle nicht die Kopie der Ackeroberfläche, sondern in einem gewissen Maße „geglättet“ ist.

Beim Heben und Senken soll sich der Pflug möglichst parallel zur Oberfläche des Ackers bewegen. Bei Anbaupflügen ist das nur in beschränktem Maße möglich. Das unvermeidliche Spiel im gesamten Dreipunktanbau führt nach Messungen an verschiedenen Pflügen zu Schwenkwinkeln des Pfluges um die Tragachse von $\pm 1^\circ$ bis 2° . Bei kleineren Pflügen ist dieser Einfluß zu vernachlässigen. Bereits bei einem fünffurchigen Anbaupflug kann dieses Spiel jedoch Tiefendifferenzen zwischen dem ersten und letztem Schar bis zu ± 10 cm verursachen. Die zulässigen Toleranzen können also erheblich überschritten werden, ohne daß der Istwert an der Meßstelle sich ändert und die Regelung auslöst.

Bei Aufsattelpflügen werden für die Tiefenführung am vorderen und hinteren Pflugende zwei verschiedene Führungssysteme benutzt. Der letzte Pflugkörper bewegt sich annähernd auf einer Äquidistanten zur Bahnkurve des Heckradmittelpunktes, während die Tiefe von vorne geregelt wird. Die Bahnkurven

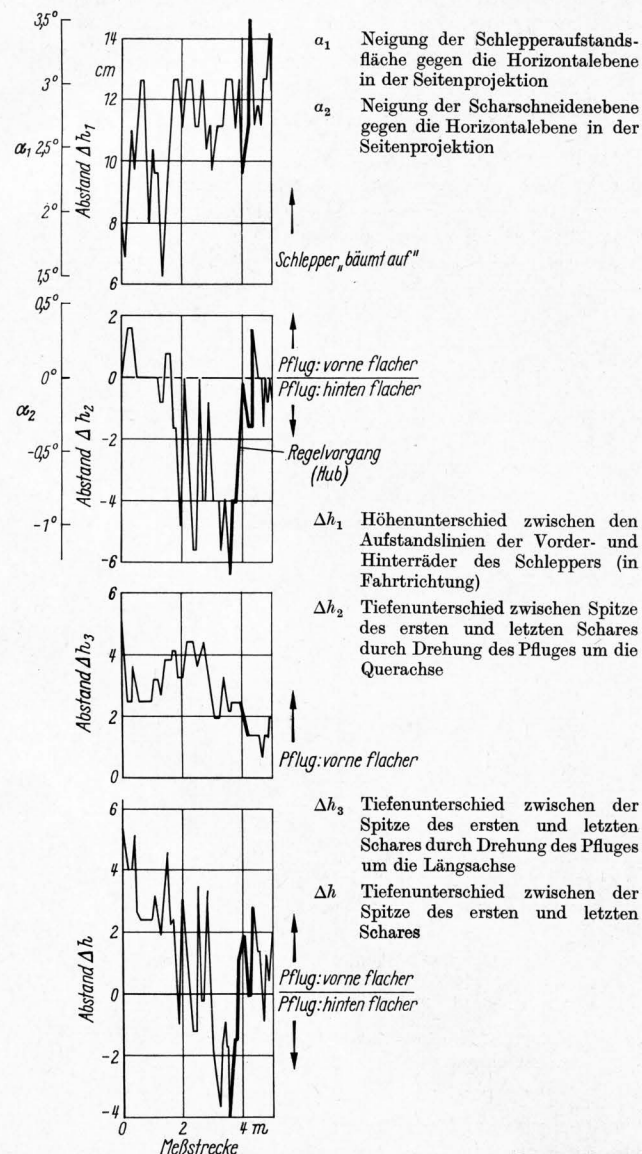


Bild 25. Bewegungen von Schlepper und Pflug gegenüber der Horizontalebene.

der Tasträder für die Regelhydraulik und des Heckrades sind — abgesehen von Unregelmäßigkeiten der Bodenoberfläche — infolge der verschiedenen Durchmesser, Auflageflächen und -kräfte unterschiedlich, so daß ebenfalls erhebliche Tiefendifferenzen zwischen erstem und letztem Schar auftreten können. Eine gleichartige Istwertbestimmung am vorderen und hinteren Pflugende mit entsprechender Mittelwertbildung bzw. mit Anschluß des Hubzylinders für das Stützrad an den Regelkreis könnte beim Aufsattelpflug Abhilfe schaffen. Auch ein weiteres Stützrad vorn am Pflug in Verbindung mit einer entsprechenden Regelanlage wäre denkbar.

4.22 Die Regelung nach Zugwiderstand

Die Zugwiderstandsregelung soll besonders unter wechselnden Bodenverhältnissen den Arbeitswiderstand des Pfluges innerhalb eines bestimmten Toleranzbereiches halten, um ein Festfahren des Schleppers zu vermeiden. Die Arbeitstiefe wird als Stellgröße benutzt, d. h., sie wird beim Auftreten von Störgrößen jeweils so lange verändert, bis der Sollwert des Zugwiderstandes wieder hergestellt ist.

Abweichungen von der gewünschten Arbeitstiefe und -breite, Änderung der Arbeitswinkel und vor allem der Bodenart und des Bodenzustandes sowie Nickbewegungen des Schleppers und Schwingungen in der Hilfsfeder des Aufsattelpfluges stellen Störgrößen dar, deren Einfluß zudem von dem jeweiligen Pflugsystem und der Pfluggröße abhängig ist. Unter Verzicht auf eine konstante Arbeitstiefe ist es jedoch mit Hilfe einer geeignet ausgelegten Regelhydraulik möglich, den Zugwiderstand konstant zu halten. Die Abweichungen von der Solltiefe werden dabei besonders groß, da der Pflug nicht parallel zur Ackeroberfläche geführt wird.

Während beim Anbaupflug das Spiel im Dreipunktanbau die Tiefenhaltung beeinträchtigt, ruft beim Aufsattelpflug die unterschiedliche Führung am Heckrad und Aufsattelpunkt besonders starke Tiefendifferenzen hervor. Da der Aufsattelpflug durch die Regelhydraulik nur am vorderen Ende gehoben und gesenkt wird, ist hier die doppelte Tiefenänderung gegenüber einer parallelen Führung notwendig, um Störgrößen zu kompensieren.

4.23 Pflugführung (Meßergebnisse)

Filmaufnahmen geben Aufschluß über die Bewegung des Pfluges in der Aufrisfebene sowie über die Zusammenhänge von Pflug- und Schlepperbewegung bei einem Regelvorgang.

Durch Überlagerung der Quer- und Längsbewegung des Pfluges lassen sich die wahren Tiefendifferenzen zwischen erstem und letztem Schar feststellen. Es zeigte sich, daß die Bewegungen trotz der relativ ebenen Oberfläche des Versuchackers und die Hub- und Senkgeschwindigkeiten mit 0,1 bis 0,8 m/s unerwartet hoch sind, **Bild 25**. Durch Kontrollversuche mit gezielten Tiefenänderungen aus einer gegebenen Arbeitstiefe konnte die Aussage der Filmaufnahmen hinsichtlich der Einzugschwindigkeiten bestätigt werden.

Die Summenhäufigkeit der auftretenden Tiefendifferenzen bei Anbau- und Aufsattelpflügen bei verschiedener Regelung ist in **Bild 26** dargestellt. Im Bereich von 5 bis 95% der Summenhäufigkeit ergeben sich Geraden; es liegt also in diesem Bereich eine Gaußsche Normalverteilung vor. An den Enden der Geraden weichen die Meßwerte von der Normalverteilung ab; der Grund dafür liegt in der Begrenzung der freien Bewegung des Pfluges durch das Ansprechen der Regelung. Bei den verschiedenen untersuchten Pflug- und Regelsystemen, wie auch bei unterschiedlichen Arbeitstiefen, zeigen die Geraden ähnliche Steigungen, d. h., die Standardabweichungen sind annähernd gleich. Läßt man bei Tiefen zwischen 15 und 25 cm eine Abweichung von $\pm 10\%$ zu, so müßte die Steigung der Geraden zu geringeren Tiefen hin zu- und die Standardabweichung abnehmen. Ein hoher Prozentsatz der Meßwerte läge außerhalb des zulässigen Toleranzbereiches.

Die Kurven in **Bild 26** zeigen ferner, daß der arithmetische Mittelwert (50% Summenhäufigkeit) der Tiefendifferenzen bei keinem der Versuche Null ist, wie es bei richtiger Pflugeinstellung erwartet werden muß. Hier wird die Schwierigkeit des Ausrichtens großer Pflüge besonders deutlich. Das Messen

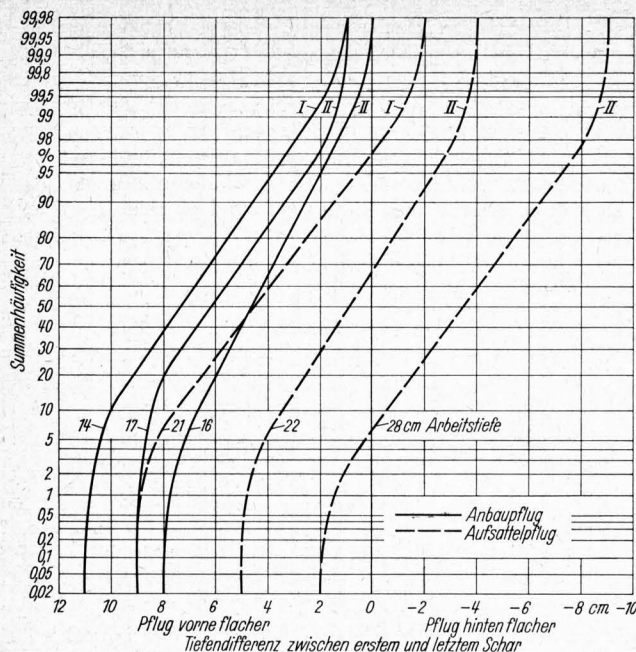


Bild 26. Häufigkeit und Größe der auftretenden Abweichungen von der Horizontalen bei einem vierfurchigen Anbau- und einem vierfurchigen Aufsattelpflug.

I Regelung nach Arbeitstiefe II Regelung nach Zugwiderstand

der Tiefe am ersten und letzten Schar nach kurzer Fahrstrecke führt zu keiner exakten Einstellung, da nur stationär gemessen werden kann, wobei nicht sicher ist, ob der Pflug gerade in seiner mittleren Lage ist. Das Einstellen großer Pflüge nach Arbeitstiefe und -breite während der Arbeit wäre denkbar. Kontrollinstrumente könnten dem Schlepperrfahrer Breite und Tiefe am ersten und letzten Schar anzeigen.

5 Zur Auslegung der Regelung nach Zugwiderstand

Die Regelung auf konstanten Zugwiderstand soll eine zügige Pflugarbeit gewährleisten, so daß sich der Schlepper trotz weitgehender Ausnutzung des Schlepper- und Pfluggewichtes bei Änderung von Bodenzustand und -oberfläche nicht festfährt. Bei der Bestimmung der Ansprechempfindlichkeit des Regelsystems müssen vor allem zwei Dinge beachtet werden: der Schlupf der Schleppertriebäder und das Einhalten der gewünschten Arbeitstiefe beim Pflügen (die eigentliche Pflugarbeit wird durch die Regelung nur wenig beeinflusst).

Die Abhängigkeit der Zugfähigkeit eines Schleppers vom Schlupf der Triebäder kann aus den Zugkraft-Schlupf-Kurven

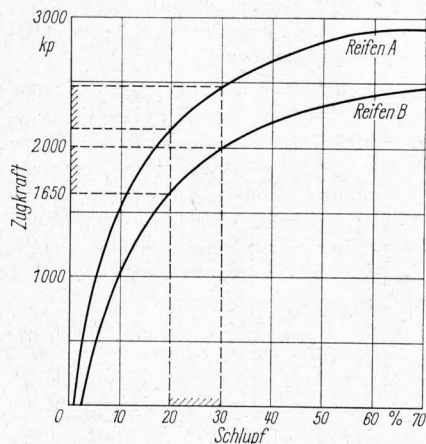


Bild 27. Die Zugkraft einer Triebachse mit zwei Reifen in Abhängigkeit vom Schlupf nach Sonnen [11].

	Reifen A	Reifen B
Reifengröße:	15 — 30 AS	10 — 28 AS
Reifeninnendruck p_1	0,8 atü	0,8 atü
Triebachsbelastung B	4000 kp	2820 kp
Bodenart:	lehmgiger Ton	
Feuchtegehalt U	33 %	

der entsprechenden Schlepperreifen unter den jeweiligen Einsatzbedingungen abgelesen werden, **Bild 27**. Im Bereich hoher Zugkräfte, wo die Steigung der Kurven klein wird, treten bereits infolge geringer Zugkraftschwankungen große Abweichungen im Schlupf bis zum Festfahren auf. Der Schlupf sollte, um die Toleranzgrenze nicht zu eng wählen zu müssen, nicht höher als etwa 30% liegen. Diese Grenze scheint auch aus ackerbaulichen und ökonomischen Gründen gerechtfertigt. Die entsprechend zulässige Toleranz der Zugkraft ist für jede Reifenkennlinie unterschiedlich. Im allgemeinen nimmt sie für große Reifen mit hohem Zugkraftvermögen prozentual ab.

Die zulässige Toleranz der Arbeitstiefe ist im mittleren Tiefenbereich mit $\pm 10\%$ angegeben [9]. Setzt man $Z = f(t) = \text{konst.}$ voraus, so ergibt sich auch für den Zugwiderstand eine Toleranz von $\pm 10\%$ des Sollwertes. Mit der entsprechenden Ansprechempfindlichkeit könnte dann auch bei einer Zugwiderstandsregelung wenigstens so lange das Einhalten der geforderten Arbeitstiefe gewährleistet werden, wie keine Änderungen im Bearbeitungswiderstand des Bodens auftreten.

Die Kontrolle des Zugwiderstandes bereitet infolge der kinematischen Verhältnisse am Dreipunktanbau Schwierigkeiten. Im allgemeinen wird nur eine Komponente des Zugwiderstandes, die Kraft im oberen oder in den unteren Lenkern, als Istwert gemessen. Die Lenker dienen als Übertragungsglied für den Istwert der Regelgröße von der Regelstrecke, dem Pflug, zur Regelfeder. Größe und Tendenzen der Kräfte in den Lenkern unter dem Einfluß der verschiedenen — auf die Regelstrecke wirkenden — Störgrößen zeigen, inwieweit die Lenker sinnvoll als Übertragungsglieder für die Zugwiderstandsregelung benutzt werden können. Für den Anbau- und den Aufsattelpflug ergeben sich hier wesentlich andere Verhältnisse.

5.1 Lenkerkräfte beim Anbaupflug

Die überwiegende Mehrzahl der Schlepper bis 50 PS und auch verschiedene Schlepper höherer Leistung benutzen bei der Zugwiderstandsregelung den oberen Lenker als Übertragungsglied. **Bild 28** zeigt den eindeutigen Anstieg der Lenkerkraft O bei steigendem Arbeitswiderstand; sie kann für die Regelung benutzt werden. Anders ist es bei dem Kraftverlauf im oberen

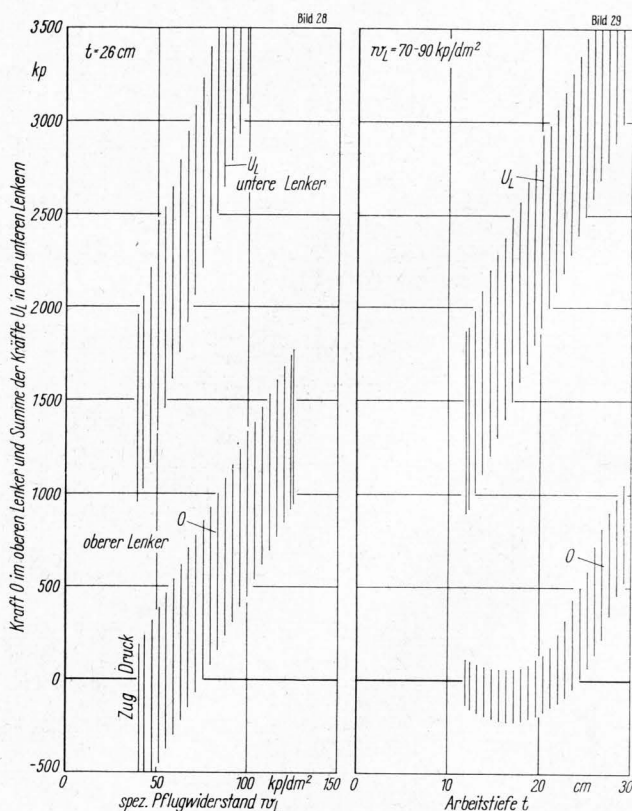


Bild 28 und 29. Kräfte O und U_L in den Lenkern des Dreipunktanbaus in Abhängigkeit vom spezifischen Pflugwiderstand bzw. der Arbeitstiefe beim vierfurchigen Anbaupflug.

Lenker in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe, **Bild 29**. In vielen Fällen besteht eine parabelförmige Abhängigkeit, wie bereits aus früheren Untersuchungen an zwei- und dreifurchigen Pflügen bekannt ist [2]. Im Bereich des Parabelscheitels, bei der Versuchsanordnung in Arbeitstiefen zwischen 12 und 18 cm, ist das Regelsystem instabil. Bei der gleichen Kraft im Lenker können sich also verschiedene Arbeitstiefen einstellen.

Die horizontalen Kräfte U_L in den Kupplungspunkten der unteren Lenker wachsen bei dem untersuchten Anbaupflug proportional mit dem Arbeitswiderstand (Bild 28) und der Tiefe (Bild 29). Sitzen die Regelfedern — wie es bei vielen Schleppern der großen Leistungsklasse üblich ist — am schlepperseitigen Anlenkpunkt der unteren Lenker, so muß der Einfluß der Hubstangen und der Glieder zum Beschränken der seitlichen Bewegungsfreiheit der Lenker berücksichtigt werden. Die Funktionen bleiben auch in diesem Fall linear ansteigend.

Ein Vergleich der Kraft im rechten mit der im linken Lenker zeigt beim Anbaupflug stark unterschiedliches Verhalten. Mit wachsendem Arbeitswiderstand und mit wachsender Tiefe verlagert sich die Kraft zunehmend auf den rechten Lenker (in Fahrtrichtung gesehen), während die Kraft im linken Lenker praktisch unbeeinflusst bleibt, **Bild 30 und 31**. Mit größerer Arbeitsbreite dagegen wird ein steigender Anteil der Gesamtkraft vom linken Lenker aufgenommen; auch eine Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit führt zu einer Verschiebung der Kräfte. Es erweist sich als unerlässlich, die Kräfte zur Kontrolle des Zugwiderstandes in beiden unteren Lenkern aufzunehmen und über ein Additionsglied den für die Regelung sinnvollen Mittelwert zu bilden.

5.2 Lenkerkräfte beim Aufsattelpflug

Beim Aufsattelpflug ist die Verteilung der Kräfte auf die Lenker des Dreipunktanbaues theoretisch wesentlich einfacher als beim Anbaupflug. Hier wird die gesamte kraftmäßige Verbindung zwischen Schlepper und Pflug durch einen kardanischen Punkt gebildet. Ein Moment in der Aufrißebene kann theoretisch durch diesen Punkt nicht übertragen werden. Die Verteilung der Kräfte auf den oberen und die unteren Lenker kann nach dem Hebelgesetz berechnet werden. In **Bild 32 und 33** sind die gemessenen Lenkerkräfte in Abhängigkeit vom spezifischen Pflugwiderstand und von der Arbeitstiefe dargestellt. Durch Ändern der geometrischen Verhältnisse an der Kupplungsebene (Kupplungspunkt des oberen und der unteren Lenker, Lage des kardanischen Aufsattelpunktes) kann die Verteilung der gesamten Widerstandskraft auf die einzelnen Lenker beeinflusst und gegebenenfalls in einen für die Zugwiderstandsregelung geeigneten Bereich gebracht werden.

Auch die Hilfsfeder am Aufsattelpflug verändert durch ihre Spannung sowie durch Angriffspunkt und Winkel die Lenkerkräfte. Der Einfluß auf die einzelnen Lenker kann aus den geometrischen Verhältnissen in **Bild 34** errechnet werden:

$$\Delta U_L = \frac{F \cos \varphi (y + r)}{y},$$

$$\Delta U_S = F \sin \varphi + \frac{F \cos \varphi (y + r) \sin \varrho}{y \cos \varrho},$$

$$\Delta O = \frac{F \cos \varphi (y + r)}{y \cos \varrho}.$$

Da in der kardanischen Verbindung zwischen Schlepper und Aufsattelpflug infolge der großen Kräfte und der großen Berührungsfläche teilweise erhebliche Reibung auftritt, kommt es häufig nicht zu der erwarteten Aufteilung der Kräfte auf die Lenker nach dem Hebelgesetz. Die Kräfte verhalten sich unter Umständen sogar ähnlich wie beim Anbaupflug. Die Reibung am Zugpunkt und an den Lagerstellen des Gelenkes sollte durch konstruktive Maßnahmen klein gehalten werden, damit das Verhalten des Aufsattelpfluges nicht beeinflusst wird. Auch bei einer Regelung des Aufsattelpfluges über die unteren Lenker erscheint ein Additionsglied für die Kräfte durchaus vorteilhaft.

Bei der konstruktiven Ausbildung der Zugwiderstandsregelung sollte darauf geachtet werden, daß sie in allen Elementen ausreichend dimensioniert ist, um den stark wechselnden Arbeitsbedingungen und Anforderungen gut und leicht angepaßt

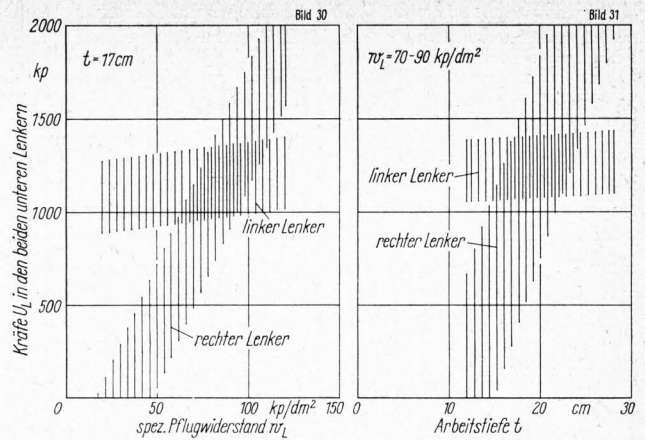


Bild 30 und 31. Einzelkräfte U_L in den unteren Lenkern des Dreipunktanbaus in Abhängigkeit vom spezifischen Pflugwiderstand bzw. der Arbeitstiefe beim vierfurchigen Anbaupflug.

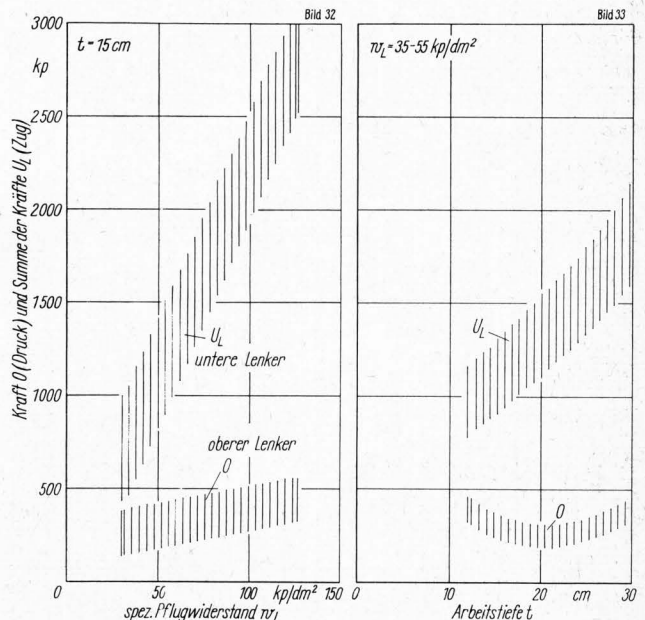


Bild 32 und 33. Kräfte O und U_L in den Lenkern des Dreipunktanbaus in Abhängigkeit vom spezifischen Pflugwiderstand bzw. der Arbeitstiefe beim vierfurchigen Aufsattelpflug.

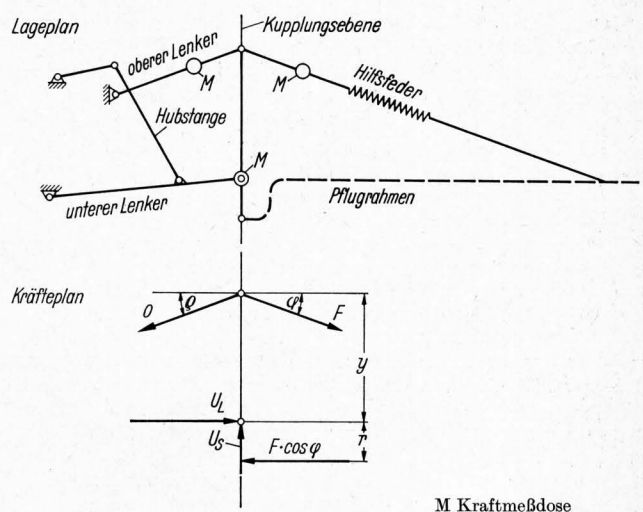


Bild 34. Geometrische Verhältnisse und Kräfte an der Kupplungsebene beim Aufsattelpflug mit Hilfsfeder.

werden zu können. Besonders wichtig ist ein definiertes Ansprechen der Regelung mit möglichst konstantem Wirkungsgrad des Krafthebers über den gesamten Regelbereich. Dazu ist ein günstiges Verhältnis von Sollwert und Regelgröße anzustreben.

6 Zusammenfassung

Ein Schlepper der 75-PS-Leistungsklasse wurde mit einem vierfurchigen Anbau- und mit einem Aufsattelpflug vergleichsweise untersucht, wobei in Feldversuchen Bodenart, Regelsystem, Arbeitstiefe sowie beim Aufsattelpflug zusätzlich Spannung der Hilfsfeder und Lage des Zugpunktes variiert wurden. Dabei ergaben sich bei der Arbeit mit Anbau- und Aufsattelpflug folgende Unterschiede:

- a) in der Kraftübertragung auf den Schlepper: Es ergeben sich unterschiedliche Tendenzen bei der zusätzlichen Belastung der Hinter- und Entlastung der Vorderachse in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe; daher abweichende Verhältnisse beim Transport und bei großen Arbeitstiefen. Beim Aufsattelpflug ist eine Beeinflussung der Achslasten durch eine Hilfsfeder möglich.
 - b) in der Pflugführung: Durch Änderung der Anlenkung kann die seitliche Anlagekraft bei allen Pflugsystemen beeinflusst werden. Beim Aufsattelpflug ist außerdem das Einschlagen des Heckrades möglich. Die Tiefenführung wird beim Anbaupflug durch das Spiel in der Anlenkung, beim Aufsattelpflug durch unterschiedliche Führungssysteme am vorderen und hinteren Pflugende ungünstig beeinflusst,
 - c) in den Lenkerkräften des Dreipunktanbaus: Beim Anbaupflug ergibt sich die Verteilung auf die einzelnen Lenker aus der Lage der *W*-Linie, beim Aufsattelpflug aus den geometrischen Verhältnissen in der Kupplungsebene (die eindeutige Verteilung wird durch Reibungskräfte gestört).
- Dagegen war Gleichheit in folgenden Fällen festzustellen:
- d) bei der durch drei verschiedene Regelsysteme erzielten mittleren zusätzlichen Triebachsbelastung,
 - e) bei der Auslegung der Zugwiderstandsregelung: Zugkraft-Schlupf-Charakteristik der Triebäder und zulässige Toleranz der Arbeitstiefe.
 - f) in der Notwendigkeit, ein Additionsmitglied bei der Regelung über die unteren Lenker zu verwenden,
 - g) in der Notwendigkeit der Tiefenkontrolle und -einstellung bei langen Pflügen während der Arbeit.

Schrifttum

- [1] *Skalweit, H.*: Feldmessungen an Schleppern mit Dreipunktanbau und regelnden Krafthebern. Landtechn. Forsch. **14** (1964) H. 1, S. 1/5.
- [2] *Skalweit, H.*: Bestimmung der Kräfte an Schlepper und Pflug bei regelndem Kraftheber. Landtechn. Forsch. **12** (1962) H. 2, S. 53/59.
- [3] *Lindgren, A. C.*, und *O. B. Zimmermann*: Coordination of theory and practice in flow design and operation. Agric. Engng **3** (1922) Nr. 1, S. 1/10.
- [4] *U'janov, A. F.*, und *V. N. Mjakin*: Zugwiderstand und dynamische Stabilität eines Dreischarpfluges in Abhängigkeit von der Lage der Anlenkung. Mechanizacija i elektrifikacija **24** (1966) Nr. 2, S. 20/23.
- [5] *Popov, I. F.*, und *N. I. Klenin*: Der Einfluß der Anordnung des Hinterrades eines Anhängerpfluges auf den Zugwiderstand. Traktory i sel'chozmašiny **29** (1959) Nr. 2, S. 28.
- [6] *Reece, A. R.*, *R. Gupta* und *S. S. Tayal*: The lateral stability of tractor implements. J. Agric. Engng Res. **11** (1966) Nr. 2, S. 80/88.
- [7] *Cowell, P. A.*, und *G. A. Mahajuola*: The lateral dynamic behaviour of tractor-mounted implements, with particular reference to the three-point linkage. J. Agric. Engng Res. **11** (1966) Nr. 3, S. 152/169.
- [8] *Getzlaff, G.*: Änderung der Kräfte bei Drehung der Pflugkörper aus der Normallage. Grundl. Landtechn. Heft **3** (1952), S. 71/74.
- [9] *Seifert, A.*: Die Gleichmäßigkeit der Furchentiefe beim Pflügen. Landtechn. **17** (1962) H. 7, S. 226/30.
- [10] *Seifert, A.*: Untersuchungen von drei Systemen regelnder hydraulischer Kraftheber beim Pflügen wechselnder Böden. Grundl. Landtechn. **15** (1965) Nr. 4, S. 107/15.
- [11] *Sonnen, F. J.*: Ein Überblick über Ergebnisse von Feldversuchen mit Triebadren von Ackerschleppern. Landtechn. Forsch. **11** (1961) H. 5, S. 117/22.

KURZAUSZÜGE AUS DEM SCHRIFTTUM

Vergleichende Untersuchung über die Bodenscherkraft

Dunlap, W. H., *G. E. VandenBerg* und *J. G. Hendrick*: Comparison of soil shear values obtained with devices of different geometrical shapes (Vergleich der Scherkraftwerte im Boden mit Schergeräten unterschiedlicher geometrischer Form). Transactions ASAE **9** (1966) Nr. 6, S. 896/900. DK 624.131

Maßgebend für die beim Scherbruch auftretende maximale Schubspannung im Boden sind der Kennwert c für die Kohäsionseigenschaft und der Winkel ϱ für die innere Reibung des Bodens. Neuere Untersuchungen von *Taylor* haben jedoch gezeigt, daß bei verschiedenen Böden zur Zeit des Scherbruchs kein Spannungsmaximum auftritt, sondern die Schubspannung mit zunehmendem Scherweg weiter ansteigt. Um die Zuverlässigkeit der bisherigen Meßmethoden zur Bestimmung von c und ϱ zu überprüfen, wurden drei häufig benutzte Geräte verglichen: der „Schergraph“, das „Ringschermeßgerät“ und die „NIAE-Scherbox“. Jeder bei diesen Vergleichsmessungen untersuchte Boden wurde in derselben Weise hergerichtet, und die Messungen wurden jeweils für mehrere Bodentiefen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, daß die mit den drei Geräten ermittelten Werte für c und ϱ z. T. erheblich voneinander abweichen; für die Kohäsion liefert die NIAE-Scherbox allgemein niedrige und der Schergraph höhere c -Werte als das Ringschergerät. Für den Winkel der inneren Reibung weichen die ϱ -Werte unregelmäßig voneinander ab. Durch ergänzende Untersuchungen mit dem Ringschergerät konnte nachgewiesen werden, daß Messungen in unterschiedlicher Bodentiefe und mit unterschiedlichen Abmessungen des Scherringes jeweils zu abweichenden Bodenkennwerten führen. GL 106

Braunschweig

H. Voß

Rechenanlagen verkürzen die Entwicklungszeit von Landmaschinen

Smith, R. E.: How computers cut design time (Rechenmaschinen beschleunigen die Untersuchung der Fahreigenschaften von Landmaschinen). Agric. Engng **47** (1966) Nr. 12, S. 648/51. 5 B. DK 581.5:625.03

Durch Simulation der verschiedensten landwirtschaftlichen Fahrzeuge auf dem Analogrechner kann die Entwurfs- und Konstruktionsarbeit erleichtert und beschleunigt werden.

Insbesondere Fragen der Betriebsfestigkeit können vor dem Bau eines Prototyps bearbeitet werden. Die tatsächlichen Einsatzbedingungen können mit einer Genauigkeit von 5% nachgebildet werden. Diese Methode wurde bisher bei der Entwicklung von selbstfahrenden Spritzgeräten, Tomatenernte- und Heubrikettiermaschinen eingesetzt. Die Fahrzeuge werden vereinfacht dargestellt durch Ein-Massen-Systeme mit zwei Freiheitsgraden (Hub- und Nickbewegung), wobei der Reifen und der elastische Boden als hintereinandergeschaltete Federn und Dämpfer aufgefaßt werden, deren Kenngrößen im einzelnen zu bestimmen sind. Im Bedarfsfall wird das Modell verfeinert, indem z. B. Wankbewegungen ebenfalls betrachtet und abgefederte Einzelmassen für die Räder angesetzt werden. Durch eine besondere Gleichung wird ebenso das Abheben und Aufprallen des Fahrzeuges berücksichtigt. Veränderungen der Fahrbahngeschwindigkeit durch Fahrzeug- und Reifeneinflüsse finden durch die Gleichung der horizontal wirkenden Kräfte ihren Niederschlag. Die Kennlinien für Federn und Dämpfer berücksichtigen alle diese Einflüsse und beinhalten daher Nichtlinearitäten und Diskontinuitäten, die aufgrund von Messungen in einem Vorprogramm auf Digitalrechenanlagen erstellt werden. GL 107

Braunschweig-Völknerode

J. O. Wendeborn