

Untersuchungen von drei Systemen regelnder hydraulischer Kraftheber beim Pflügen wechselnder Böden

Von A. Seifert, Braunschweig-Völkenrode

Mitteilung aus dem Institut für Schlepperforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

In Feldversuchen wird die Wirkung von drei verschiedenen Systemen regelnder hydraulischer Kraftheber auf die Tiefenhaltung eines Anbaupfluges bei stark wechselndem Bodenwiderstand gemessen und verglichen. Bei zwei Systemen wird die Furchentiefe auf gleichbleibende Kraft im oberen Lenker des Verbindungsgetriebes, also nach Zugwiderstand, geregelt, wobei sich die beiden Systeme nur hinsichtlich der Empfindlichkeit der Regelung unterscheiden. Das dritte System regelt mittels eines Tastrades auf gleiche Furchentiefe. Es wird das unterschiedliche Verhalten der drei Systeme bei oft wechselnder Bodenart, bei verdichteten Fahrzeugschienen auf dem Acker und bei wechselndem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens an Hand der Schwankungen der Furchentiefe untersucht. Dabei werden auch Unterlagen über die äußeren und inneren Regelvorgänge gewonnen, z. B. die Zahl der Regelimpulse, der Öldruck im Arbeitszylinder u. a. in Abhängigkeit von den äußeren Gegebenheiten (Bodenwiderstand, Furchentiefe, Arbeitsgeschwindigkeit). Hinsichtlich der Einhaltung möglichst kleiner Schwankungen der Furchentiefe und des Nichteinwühlens der Schlepperräder bei starken Schwankungen des Bodenwiderstandes ist das Regelsystem nach Furchentiefe (Tastrad) dem System nach Zugwiderstand überlegen.

1. Zweck der Untersuchungen

Feldversuche mit regelnden hydraulischen Krafthebern an Ackerschleppern, insbesondere zur Ermittlung der dabei auftretenden Kräfte zwischen Schlepper und Anbaupflug, sind verschiedentlich durchgeführt worden [1 bis 4]. Bei den vorliegenden Untersuchungen war eine schon lange gesuchte, günstige Gelegenheit vorhanden, für Messungen einen ausreichend großen, ebenen Acker mit drei verschiedenen Bodenarten an einer Stelle zur Verfügung zu haben, auf dem im besonderen der Einfluß verschiedener Systeme regelnder Kraftheber bei wechselnden Böden auf die Schwankungen in der Furchentiefe unter Verwendung desselben Pfluges zügig nacheinander untersucht werden konnte. Auf einem anderen Boden konnte dem Einfluß der Verdichtung durch Befahren mit Ackerwagen gegenüber unverdichteten Stellen auf die Änderung der Furchentiefe nachgegangen werden. Schließlich wurde noch ein mittelschwerer, ebener und sehr gleichmäßiger Boden gefunden, bei dem Kraftheberuntersuchungen in trockenem und feuchtem Bodenzustand durchgeführt werden konnten. Diese Untersuchungen erbrachten darüber hinaus eine Reihe weiterer Ergebnisse, die zur Beurteilung äußerer und innerer Regelvorgänge von Wichtigkeit waren.

2. Versuchsbedingungen

Folgende Systeme regelnder hydraulischer Kraftheber an Ackerschleppern wurden untersucht:

System A: Regelnd nach Zugwiderstand auf gleichbleibender Kraft im oberen Lenker. Geringe äußere Empfindlichkeit in der Regelung; bei einer Kraftänderung im oberen Lenker von 160 kp ergibt sich 1 mm Weg des Regelsteuerstiftes am Krafthebergehäuse.

System B: Regelung wie bei A, jedoch hohe äußere Empfindlichkeit in der Regelung; bei einer Kraftänderung im oberen Lenker von 50 kp ergibt sich 1 mm Weg des Regelsteuerstiftes am Krafthebergehäuse.

System C: Regelnd auf gleiche Furchentiefe.

Mit dem Handhebel der Hydraulik wurde am Feldanfang eine bestimmte Furchentiefe eingestellt; sie wurde auf der ganzen Länge des Ackers unverändert beibehalten. Der obere Lenker wurde bei den Systemen A und B so an den Geber des Krafthebers angeschlossen, daß immer größtmögliche Empfindlichkeit vorhanden war. Die Senkdrossel war bei beiden Systemen voll geöffnet, also unwirksam. Bei System C wurde die Einstellung der Öldruckbegrenzung nach der Bedienungsanleitung entsprechend der Pfluggröße gewählt. Der obere Lenker war bei allen Systemen so eingestellt, daß beide Pflugkörper möglichst gleich tief den Boden bearbeiteten.

Für alle Untersuchungen wurde der gleiche Pflug, ein zweifurchiger Lemken-Volldrehpflug, verwendet. Die Schleifsohlen waren abgenommen. Der Pflug wog mit der Furchentiefeinrichtung 400 kg. Die Pflugschare waren neu, vor jedem Pflugkörper befand sich ein Messersech.

Die durch die Getriebeübersetzungen bedingten nominellen Arbeitsgeschwindigkeiten beim Pflügen lagen zwischen 3,6 und 4,8 km/h. Mit Rücksicht auf den schweren Boden und auf die Güte der Pflugarbeit erschien es nicht angebracht, höhere Geschwindigkeiten zu fahren. Bei dem mittelschweren Boden wurde teilweise mit einer Geschwindigkeit bis 7,2 km/h gepflügt.

Der erste verhältnismäßig ebene Versuchsacker mit wechselnden Böden von schwerem Lehmboden über mittelschweren und leichtem bis zu sandigem Boden war 170 m lang und 70 m breit. Die Bodenoberfläche war durch Walzen geglättet worden, Schlepperspuren waren nicht vorhanden. Der Acker hatte keinen Bewuchs. Er war mit Hafer bestellt gewesen, gleich nach der Ernte war das Feld flach geschält worden. Die einzelnen Meßstrecken betragen für jede Bodenart jeweils 30 m, sie waren so gelegt, daß sie die Übergänge von der einen zur anderen Bodenart einschlossen. Auf diesem Acker konnten die Regelsysteme A, B und C untersucht werden.

Ein zweiter Acker mit mittelschwerem, sehr gleichmäßigem Boden war am Vorgewende durch Schlepper- und Ackerwagenspuren (Abfahren des Erntegutes) verdichtet. Der spezifische Pflugwiderstand im verdichteten Zustand betrug 75 bis 78 kp/dm², im unverdichteten Zustand 50 bis 55 kp/dm². Die Oberfläche des Feldes war gut abgetrocknet, in der Tiefe von 20 bis 30 cm hatte der Boden eine Feuchtigkeit von etwa 12%. Die Oberfläche des Ackers war eben. Auch hier betrug die Meßstrecke 30 m.

Ein dritter ziemlich ebener Versuchsacker mit sehr gleichmäßigem Boden, teils in sehr trockenem und hartem, teils in gut durchfeuchtetem und lockerem Zustand, eignete sich gut zur Untersuchung äußerer und innerer Regelvorgänge. Das abgeerntete Erbsenfeld war drei Monate lang abgesetzt. Um Nickschwankungen zwischen Schlepper und dem Anbaupflug soweit wie möglich auszuschalten, wurde die Oberfläche des Ackers zusätzlich durch Handarbeit eingeebnet. Auf 30 m Meßstrecke ausnivelliert, wurden innerhalb einer Strecke von 2 m keine größeren Abweichungen als 2 cm ermittelt; am häufigsten traten Abweichungen von 1 cm auf. Die Untersuchungen konnten nur mit dem Regelsystem B durchgeführt werden, da der Acker wegen Neubestellung nicht lange genug verfügbar war.

Alle Felduntersuchungen mit den drei Systemen regelnder Kraftheber und mit einem zweifurchigen Lemkenpflug wurden während der Herbstmonate 1964 durchgeführt.

Dr.-Ing. Artur Seifert war stellvertretender Institutsdirektor im Institut für Schlepperforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

3. Meßgrößen

Es wurden mit Dehnstreifen induktiv gemessen:

- O_L Längskraft im oberen Lenker
- h_{uL} Hub des unteren Lenkers am Kupplungspunkt
- W_L horizontale Zugwiderstandskraft (rechts und links)
- t_v Pflugtiefe am vorderen Pflugkörper
- t_h Pflugtiefe am hinteren Pflugkörper
- p_{Pu} Öldruck hinter der Hydraulikpumpe
- p_{Kr} Öldruck im Arbeitszylinder des Krafthebers

Zur Kontrolle wurde t_h noch mit einem Handmeßgerät gemessen. Vor Beginn jeder Meßfurche wurden sämtliche Geber im entlasteten Zustand geeicht. Die Meßgrößen wurden über Kabel auf einen Meßwagen übertragen und dort über Verstärker im Oszillografen aufgeschrieben.

4. Ergebnis der Untersuchungen

4.1 Änderung der Furchentiefe

4.1.1 Furchentiefenänderung bei wechselnder Bodenart (System A, B, C)

Die Schwankungen der Furchentiefe sind in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit für jedes Regelsystem aus **Bild 1** ersichtlich. Im einzelnen ist hierzu folgendes zu bemerken: Über den Handhebel der Hydraulik wurde die Tiefe der Furche vor Beginn der Meßfahrten bei den Systemen A und B im mittelschweren Boden auf etwa 22 cm eingestellt. Die entsprechende Stellung wurde bei den nachfolgenden Meßfahrten eingehalten. Bei System C wurde das Tastrad auf etwa 20 bzw. 22 cm Furchentiefe eingestellt.

Nach **Bild 1** verhalten sich die Regelsysteme unterschiedlich:

System A

Die auf Meßstrecke 1 in schwerem Boden gehaltene Furchentiefe von 17 bis 20 cm stieg zum Teil bis auf 25 cm an, hielt sich im mittelschweren Boden zwischen 20 und 24 cm und im mittleren Boden zwischen 27 und 30 cm. Im Durchschnitt änderte sich die Furchentiefe von 22 auf 28 cm beim Durchgang von schwerem zu mittlerem Boden. Auf der Meßstrecke 2 liegt die Furchentiefe bei dem mittelschweren Boden zwischen 20 und 25 cm, im Durchschnitt bei etwa 23 cm, beim schweren Boden nimmt die Furchentiefe bis auf 18 cm ab und pendelt zwischen 18 und 22 cm, im Durchschnitt bei etwa 20 cm liegend. Beim Übergang von mittelschwerem auf sandigem Boden im Meßabschnitt 3 ging der Pflug tiefer und tiefer, der Schlepper wühlte sich ein, so daß über den Handhebel der Hydraulik kurz bevor 30 cm Tiefe erreicht waren, eingegriffen werden mußte, um ein Festfahren des Schleppers zu verhindern. Ein anschließender Versuch mit einer weniger großen Empfindlichkeit der Regelung (erreicht durch eine andere Anlenkung des oberen Lenkers) zeigte, daß der Pflug im sandigen Boden erst recht nicht auf der eingestellten Tiefe zu halten war, wie erwartet werden mußte. Der Schlepper wühlte sich rascher ein als beim vorherigen Versuch.

Im ganzen gesehen, zeigt das System A verhältnismäßig starke Schwankungen in der Furchentiefe gegenüber System B und C bei Böden gleichen Zugwiderstandes.

System B

Ein erster, nicht registrierter Versuch mit größter Empfindlichkeit der Regelung zeigte Furchentiefenänderungen zwischen 18 und 24 cm bei schwerem und mittelschwerem Boden und bis 32 cm bei sandigem Boden, ohne daß über den Handeinstellhebel nachreguliert zu werden brauchte. Beim zweiten Versuch mit einer geringeren Empfindlichkeit der Regelung wurden Abweichungen innerhalb der Meßstrecken 1 und 3 zwischen 16 und 29 cm Tiefe festgestellt, **Bild 1**. Auch hier war ein Eingriff über den Handhebel nicht notwendig. Auf Meßstrecke 1 schwankten die Furchentiefen bei schwerem und mittelschwerem Boden zwischen 16 und 22 cm und zwischen 16 und 27 cm bei schwerem und mittlerem Boden. Auf Meßstrecke 2 änderte sich die Tiefe zwischen mittelschwerem und schwerem Boden von 22 bis 16 cm. Durch Auftreffen auf einen Stein ging die Furchentiefe bis auf 13 cm zurück, nach 4 bis 5 m war die vorhergehende Tiefe wieder erreicht worden. Auf Meßstrecke 3 ging der Pflug im mittelschweren Boden von 20 cm Tiefe auf 29 cm im sandigen Boden. Die Tiefen von 27 bis 29 cm wurden einwandfrei gehalten, ohne daß ein Eingriff über den Handhebel der Hydraulik erforderlich war.

Die Tiefenschwankungen bei gleichem Boden, insbesondere bei dem schweren Boden, sind bei Regelsystem B geringer als bei System A.

System C

Mit diesem System ist — wie zu erwarten — eine Tiefenhaltung mit den geringsten Schwankungen erreicht worden. Es wurden auf Meßstrecke 1 Furchentiefen zwischen schwerem und mittlerem Boden von 19 bis 22 cm, auf Meßstrecke 2 solche von 20 bis 21 cm bzw. 21 bis 24 cm, auf Meßstrecke 3 solche von 18 bis 21 bzw. 23 bis 24 cm gemessen, das sind im Durchschnitt Schwankungen von 2 bis 3 cm. Im sandigen Bodenstück änderte sich die Furchentiefe gegenüber dem mittelschweren Boden praktisch nicht. An keiner Stelle brauchte über den Handhebel eingegriffen zu werden, um ein Einwühlen des Schleppers zu verhindern. Bei Auftreffen auf einen Stein wurde die Tiefenabweichung nach etwa 4 bis 5 m wieder ausgeglichen.

Die folgenden Bilder 2 bis 9 zeigen Ausschnitte aus den Oszillogrammen der Versuche auf dem Acker mit unterschiedlichen Böden. Bemerkenswert ist die sprunghafte Änderung von h_{uL} des Kupplungspunktes der unteren Lenker bei System A gegenüber System B, bedingt durch den verschiedenartigen inneren Aufbau der beiden Regelsysteme. Im allgemeinen folgt der Linienzug der Furchentiefe des vorderen Pflugkörpers (t_v) dem Linienzug von h_{uL} ; der Linienzug des hinteren Pflugkörpers (t_h) entspricht einer Schleppkurve.

Aus **Bild 2** ist zu erkennen, wie der untere Lenker zwischen Meßstelle 3 m und 4 m eine Abwärtsbewegung durchführt, ohne

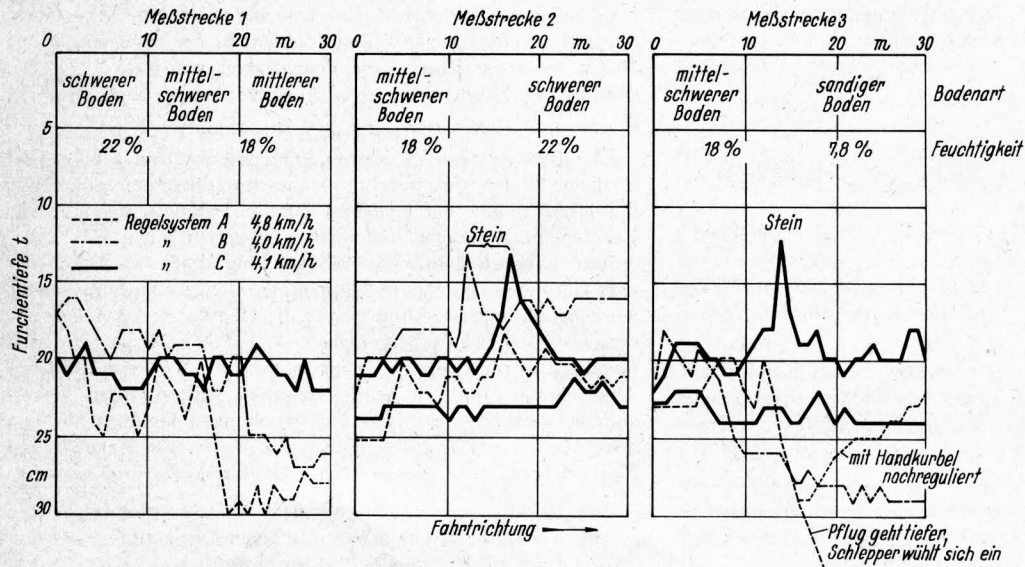


Bild 1. Vergleich von drei verschiedenen Systemen regelnder hydraulischer Kraftheber beim Pflügen auf wechselndem Boden.

Bild 2
Regelsystem A
auf schwerem Boden

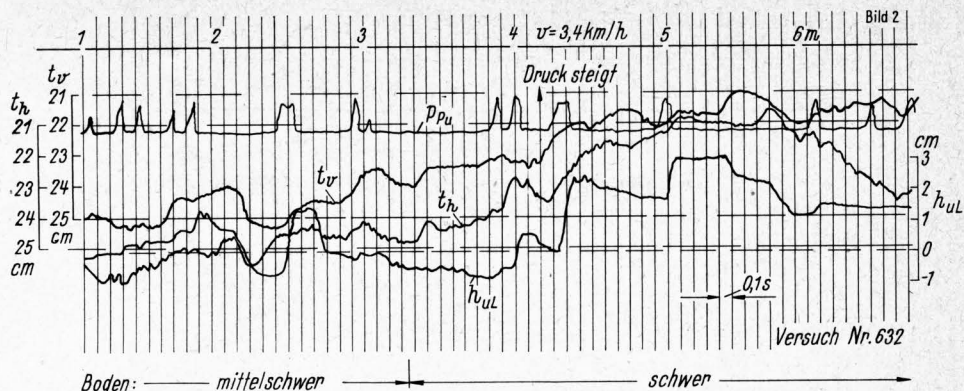


Bild 3
Regelsystem A
auf mittelschwerem
und schwerem Boden

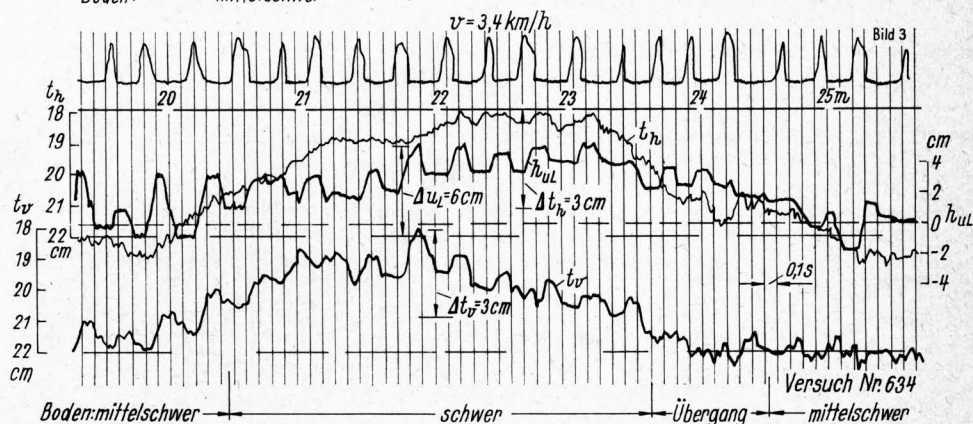


Bild 4
auf sandigem Boden
Regelsystem A

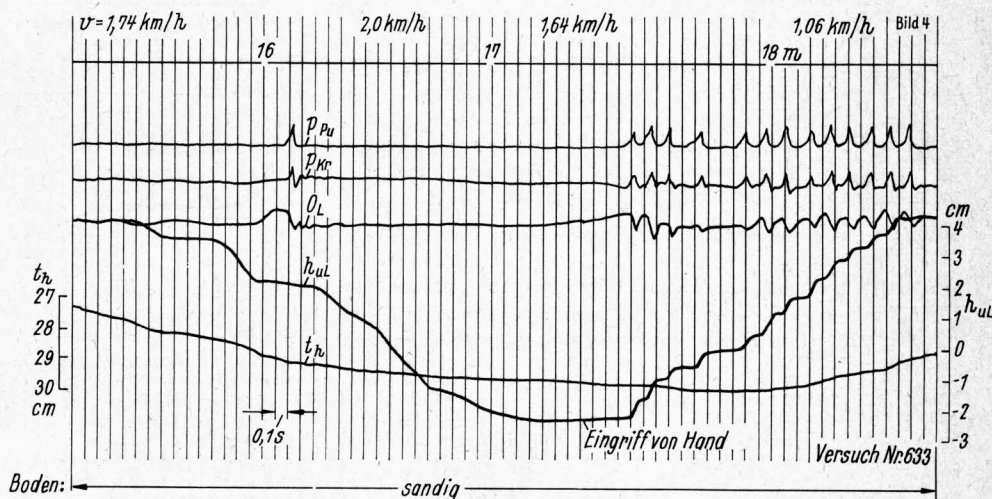


Bild 2 bis 4. Bei Feldversuchen aufgenommene Oszillogramme beim Pflügen mit Regelsystem A auf schwerem, mittelschwerem und sandigem Boden.

zweistufiger Vollandpflug (Lemken)

Meßgrößen:

- v Arbeitsgeschwindigkeit
- O_L Längskraft im oberen Lenker
- o Länge des oberen Lenkers
- h_{UL} Hub des unteren Lenkers am Kupplungspunkt
- t_v Pflugtiefe am vorderen Pflugkörper
- t_h Pflugtiefe am hinteren Pflugkörper
- p_{Pu} Öldruck hinter der Hydraulikpumpe
- p_{Kr} Öldruck am Arbeitszylinder des Krafthebers

daß der hintere und der vordere Pflugkörper folgen, während bei einer Aufwärtsbewegung des unteren Lenkers t_v und t_h sofort kleiner werden. Nach **Bild 3** ist bei System A die Tiefenänderung Δt_h und $\Delta t_v \approx 3$ cm im schweren Boden, beim Übergang von mittelschwerem auf schweren Boden hingegen etwa 4 cm. **Bild 4** zeigt, wie in sandigem Boden wenig oder gar keine Regelimpulse

auftreten bei immer größer werdenden Furchentiefen, bis von Hand eingegriffen wird.

Wie sich das Auftreffen eines Steines auf den vorderen Pflugkörper bei System B auf p_{Pu} (O_L), h_{UL} , t_v und t_h auswirkt, zeigen **Bild 5 und 6**. In schwerem Boden ist $\Delta t_v \approx 2$ cm, $\Delta t_h \approx 1$ cm, in mittelschwerem Boden 0,8 bzw. 0,5 cm.

Tafel 1. Furchentiefenabweichung bei unverdichtetem und verdichtetem Boden.

Regel system	unverdichteter Boden				verdichteter Boden			
	Fahrgeschwindigkeit v km/h	eingestellte Furchentiefe t cm	größte Abweichung $(\Delta t_h)_{max}$ cm	Regelimpulse (Heben) 1/m	Fahrgeschwindigkeit v km/h	eingestellte Furchentiefe t cm	größte Abweichung $(\Delta t_h)_{max}$ cm	Regelimpulse (Heben) 1/m
A	4,2	27	+1 -1	1,3	4,0	28	0 -2	2,5
	7,2	26	+1 -1	1,2	7,0	27	0 -2	1,6
B	3,4	24	+1,5 -2	3	3,2	24	0 -5	3,5
	7,1	25	+2 -2,5	1,9	7,0	25	0 -4	2,1
C	3,2	25	+1 -1	2	3,0	25	+1 0	1,5
	5,5	25	+1 -1	2	5,5	25	0 -1	1,5

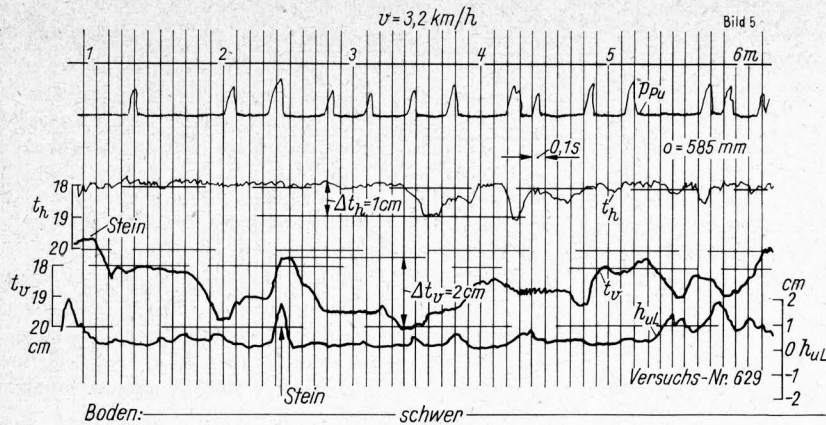


Bild 5 bis 8. Bei Feldversuchen aufgenommene Oszillogramme beim Pflügen mit Regelsystem B und C auf schwerem, mittelschwerem und lockerem, sandigem Boden.

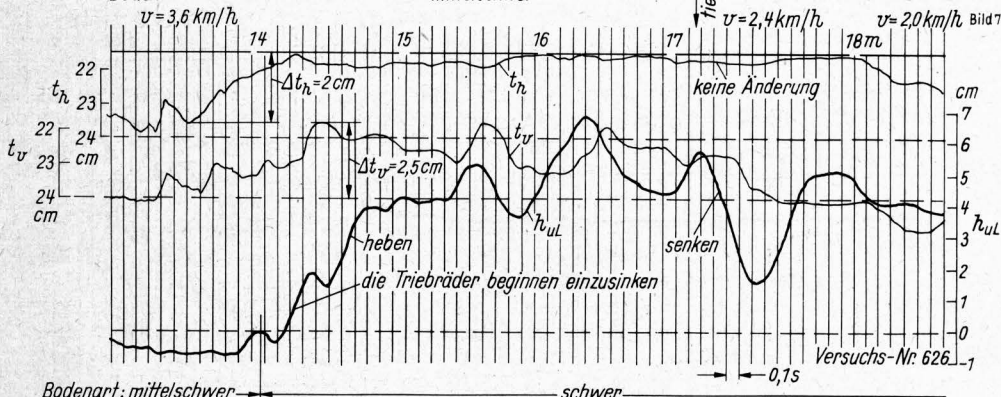
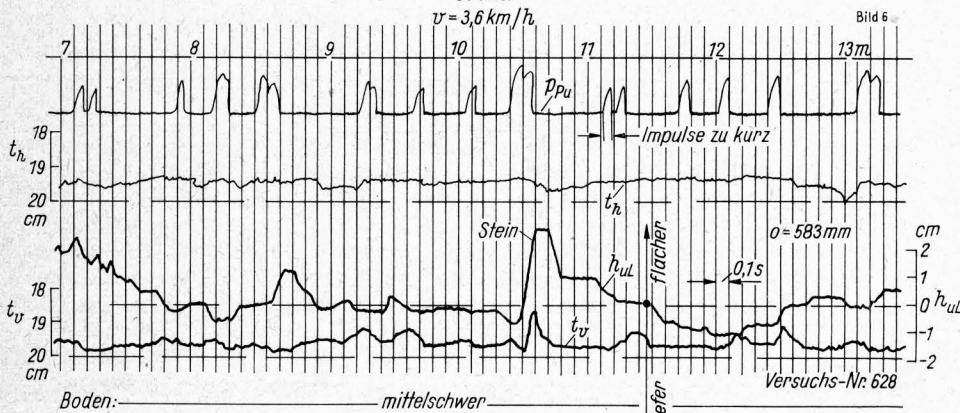
Meßgrößen siehe Bild 2 bis 4.

Bild 5
Regelsystem B auf schwerem Boden

Bild 6
Regelsystem B auf mittelschwerem Boden

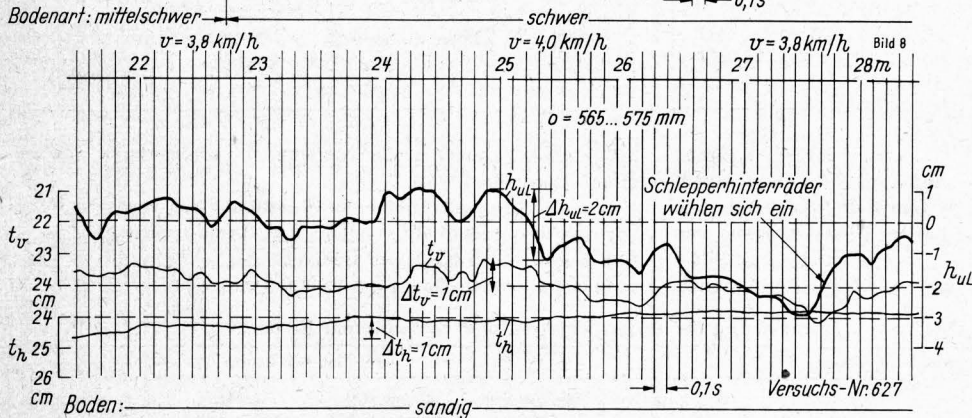
Bild 7
Regelsystem C auf mittelschwerem und schwerem Boden

Bild 8
Regelsystem C auf lockerem, sandigem Boden



4.12 Furchentiefenänderung unter dem Einfluß von verdichteten Fahrzeugspuren (System A, B, C)

Die Schwankungen der Furchentiefe bei normalem und verdichtetem Boden bei den einzelnen Regelsystemen zeigt **Tafel 1**. Bei allen drei Regelsystemen liegen die Abweichungen in der Furchentiefe bei dem unverdichteten Boden innerhalb der allgemein anerkannten Toleranz von $\pm 10\%$ der Furchentiefe von etwa 25 bis 26 cm, wobei System A und C etwa gleich liegen. Bei System B sind die Abweichungen größer als bei System A. Das gleiche gilt auch für den verdichteten Boden, wobei ein Einfluß der Geschwindigkeit nicht festgestellt werden konnte. Einen Ausschnitt aus den Oszillogrammen dieser Feldversuche mit System B stellt **Bild 9** dar.



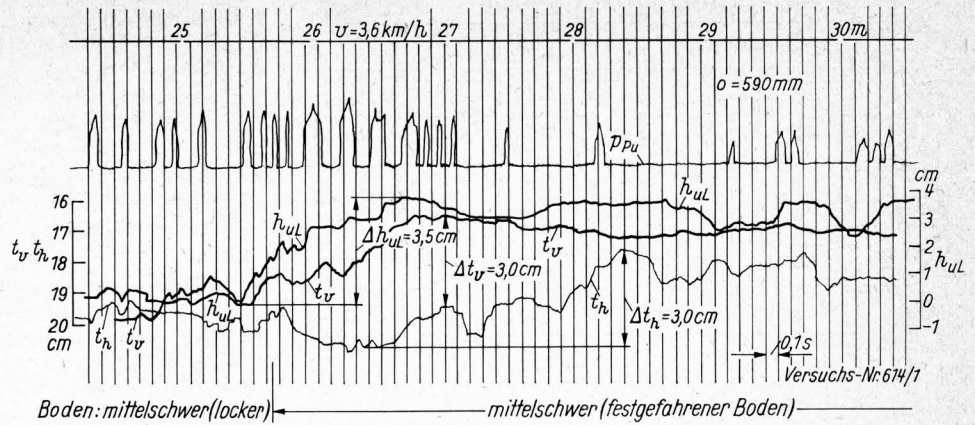
Auf **Bild 7 und 8** ist das Verhalten des Systems C in schweren und sandigen Böden gut zu erkennen. Beim Einsinken der Triebräder auf dem schweren Boden (Bild 7) infolge hohen Schlupfes wird die Furchentiefe um 2 bis 2,5 cm verringert. Während Δt_v den Bewegungen des unteren Lenkers (h_{ul}) annähernd folgt, zeigen sich bei Δt_h praktisch keine Änderungen. Auf sandigem Boden wird bei System C die Furchentiefe mit geringen Abweichungen gehalten (Bild 8). Eine markante Stelle ist bei dem Meßpunkt 27,5 m zu beobachten. Die Schlepperräder beginnen sich einzuwühlen, die Tasträder stellen sofort auf Heben (siehe t_v) und verhindern damit ein Festfahren des Schleppers.

4.13 Furchentiefenänderung bei verschiedenem Feuchtigkeitszustand eines Bodens (System B)

Wie aus **Tafel 2 und 3** ersichtlich ist, liegen die Furchentiefenabweichungen sowohl bei dem lockeren, feuchten als auch bei dem harten, sehr trockenen Boden bei Furchentiefen von etwa 20 bis 25 cm innerhalb der $\pm 10\%$ Toleranz. Bei den Feldstellen mit hartem, trockenem Boden treten mehr Regelimpulse je m Feldstrecke für Heben auf als bei den Stellen mit lockerem, leicht feuchtem Boden, bedingt durch den ungleichmäßigen Schnittvorgang im härteren Boden. Bei gleichem Bodenzustand und gleicher Geschwindigkeit nimmt die Zahl der Regelimpulse je m

Bild 9. Bei Feldversuch aufgenommenes Oszillogramm beim Pflügen mit Regelsystem B auf lockerem und festgefahretem Boden.

Meßgrößen siehe Bild 2 bis 4.



Feldstrecke mit zunehmender Furchentiefe zu. Die Zahl der Regelimpulse je m Feldstrecke (bis zu 4/m) ist für einen ebenen und sehr gleichmäßigen Boden (mit geringfügig wechselndem Pflugwiderstand) verhältnismäßig hoch. Die Hydraulikpumpe wird unnötig oft und hoch belastet. Die Regelung spricht auch bei der Anlenkung des oberen Lenkers auf geringste Empfindlichkeit noch zu oft an. Bei einer Furchentiefe von 21 cm z. B. genügt eine Erhöhung der Kraft im oberen Lenker von 150 kp auf 175 kp, um einen Regelimpuls auszulösen, der den Druck

in der Pumpe von 10 auf 80 bis 100 atü erhöht, ohne daß dabei die hinter dem zweiten Pflugkörper gemessene Furchentiefe wesentlich beeinflusst wird.

4.14 Furchentiefenänderung, Längszugkraft und spezifischer Bodenwiderstand bei verschiedenen schweren Böden (System A und B)

In Bild 10 und 11 sind über der Furchentiefe die gemessenen Werte des Zugwiderstandes W_L und die aus diesem und dem Furchenquerschnitt errechneten Werte des spezifischen Bodenwiderstandes p_z aufgetragen worden. Bei unveränderter Handhebelstellung (also konstanter Kraft O_L im oberen Lenker) fällt mit zunehmender Furchentiefe sowohl bei Regelsystem A als auch bei B die horizontale Zugwiderstandskraft W_L etwas ab. Für den mittelschweren Boden wurden bei 20 cm Furchentiefe ein Zugwiderstand von etwa 800 bis 1000 kp bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 3,6 bis 4,2 km/h gemessen, woraus sich ein spezifischer Bodenwiderstand von etwa 60 bis 80 kp/dm² errechnet. Als allgemein gültige Richtlinie kann gelten, daß bei einer Änderung des spezifischen Bodenwiderstandes von etwa 10 kp/dm² eine Furchentiefenänderung von etwa 2,5 cm festgestellt worden ist. Das würde bedeuten, das beim Übergang vom schweren auf sandigen Boden, also von $p_z = 100$ auf $p_z = 40$ kp/dm², eine Tiefenänderung von 13 bis 14 cm zu erwarten ist.

Tafel 2. Furchentiefenabweichung bei System B auf gleichmäßigem, ebenem Boden ($v = 3,6$ km/h).

eingestellte Furchentiefe t cm	Furchenbreite b cm	größte Abweichung $(\Delta t)_{max}$ cm	größter Ausschlag $(h_{uL})_{max}$ cm	größter Regel federweg mm	Regelimpulse (Heben) 1/m	Bodenbeschaffenheit	Einstellung des Reglers
17	59—61	+1 -1	4,5	6	3,4	hart, sehr trocken	
29	60—61	+1 -2	5	5,5	4		
18	55—56	+1 -1	5,9	3,5	1,4	feucht-locker	größte Empfindlichkeit (oL-Anlenkung 1/5)
21	62—64	+1,5 -1,5	6	3	2,7		
24	65—69	+2 -2	7	3	2,5		
27	59—60	+2 -2	4,7	3,5	3,2		
22	60—63	+1 -1	1,5	2	1,9	feucht-locker	geringste Empfindlichkeit (oL-Anlenkung 2/4)
26	57—59	+1 -1	2,5	2	1,8		

Tafel 3. Furchentiefenabweichung bei System B auf gleichmäßigem, ebenem Boden ($v = 7,2$ km/h).

eingestellte Furchentiefe t cm	Furchenbreite b cm	größte Abweichung $(\Delta t)_{max}$ cm	größter Ausschlag $(h_{uL})_{max}$ cm	größter Regel federweg mm	Regelimpulse (Heben) 1/m	Bodenbeschaffenheit	Einstellung des Reglers
22	59—61	+1,5 -1	4	3	1,9	feucht-locker	größte Empfindlichkeit (oL-Anlenkung 1/5)
22	61—63	+1,5 -1	4	2,5	2,4		
22	65—67	+1,5 -1	4	3,3	2,4		
22	63—65	+2 -1	4	3,5	2,5		
23	61—62	+1,5 -1	2,5	2,6	1,8	feucht-locker	geringste Empfindlichkeit (oL-Anlenkung 2/4)
24	61—63	+1 -1	2	2,1	1,7		

4.15 Furchentiefenänderung und Hubbewegung des unteren Lenkers

Regeltechnisch gesehen, wird ein Regelsystem nach dem Verhalten der Ausgangsgröße zur Eingangsgröße beurteilt. Die über den oberen Lenker gegebenen Regelimpulse sind die Ein-

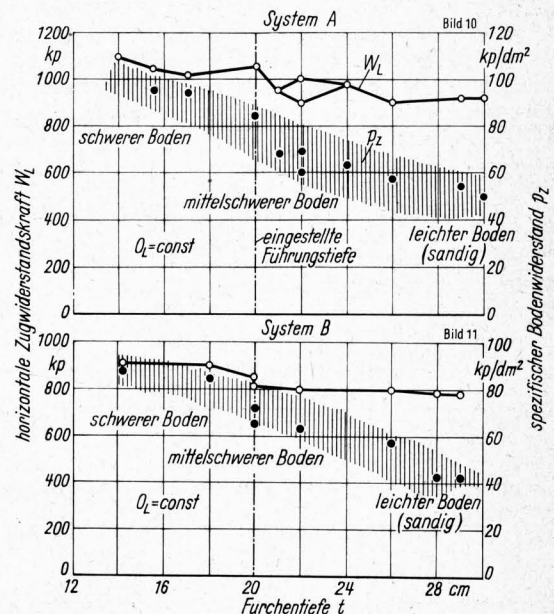


Bild 10 und 11. Beziehungen zwischen der Zugkraft W_L , dem spezifischen Bodenwiderstand p_z und den durch die Regelung bedingten Furchentiefenabweichungen von der eingestellten Führungstiefe von 20 cm bei dem Regelsystem A und B und einem zweifurchigen Vollerdpflug (Lemken).

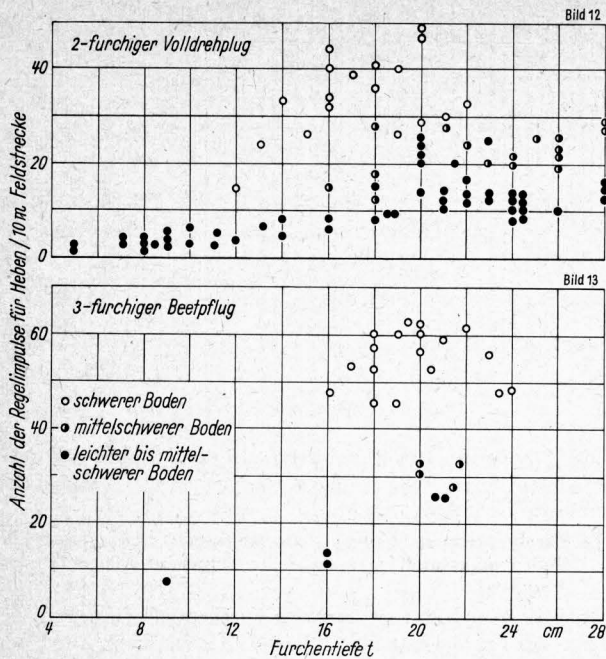


Bild 12 und 13. Einfluß der Furchentiefe auf die Häufigkeit der Regelimpulse von Krafthebern nach Regelsystemen A und B bei einem 2- und einem 3furchigen Pflug auf verschiedenen Böden.

Gewicht des zweifurchigen Vollandpfluges 400 kg
Gewicht des dreifurchigen Beetpfluges 390 kg
Arbeitsgeschwindigkeit $v = 3,6$ km/h

gangsgrößen, die Bewegungen des Hubarmes des Krafthebers bzw. die Hübe der Kupplungspunkte der unteren Lenker sind die Ausgangsgrößen. Der Landwirt beurteilt aber die Wirkungsweise des regelnden Krafthebers nicht nach den Hüben des Kupplungspunktes der unteren Lenker, sondern nach der Änderung der Furchentiefe des letzten Pflugkörpers, bei den vorliegenden Untersuchungen also der des zweiten Pflugkörpers. Es ist daher wichtig, an Hand der Messungen zu untersuchen, wie sich die Hübe des Kupplungspunktes der unteren Lenker auf die Änderung der Furchentiefe des zweiten Körpers auswirken. Die Unterschiede in den Furchentiefen des ersten und zweiten Pflugkörpers sind Gegenstand einer weiter unten folgenden Betrachtung. Wieweit die Änderungen der Furchentiefe des zweiten Pflugkörpers den Bewegungen des Kupplungspunktes der unteren Lenker entsprechen, hängt bei allen drei Regelsystemen neben dem Spiel in den Gelenken sehr vom Boden ab. Bei allen Böden wirken sich die Bewegungen der Kupplungspunkte der unteren Lenker nicht immer bis auf den zweiten Pflugkörper aus, bei sandigem Boden in geringerem Maße als bei schwerem Boden. Insbesondere folgt der zweite Pflugkörper beim über den Regler eingeleiteten Senkvorgang nicht oder nur zum Teil den Bewegungen des Kupplungspunktes der unteren Lenker. So ist z. B. bei Regelsystem C in Bild 7 auf der Meßstrecke zwischen 17 m und 18 m im schweren Boden ein markanter Punkt zu beobachten. Obwohl die unteren Lenker sich um etwa 4,5 cm

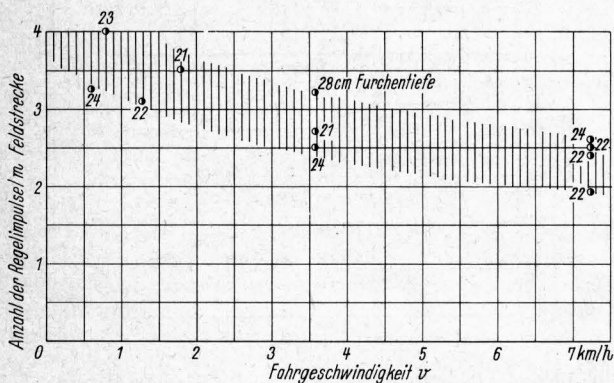


Bild 14. Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Häufigkeit der Regelimpulse für Heben.

Boden: mittelschwer, feucht, eben abgeerntetes Erbsenfeld
Pflügen mit zweifurchigem Vollandpflug ($G = 400$ kg)

in Richtung Senken bewegen, bleibt die Furchentiefe des zweiten Pflugkörpers fast unverändert, während der erste Pflugkörper um etwa 2 cm tiefer geht. Ähnliches war zu beobachten in lockerem, sandigem Boden, wie aus Bild 8 hervorgeht. Auch bei System B in Bild 9 folgt t_v der Bewegung h_{uL} der unteren Lenker ziemlich rasch, während t_h erst nach etwa 2 m Feldstrecke im festgefahrenen Stück die neue Furchentiefe von etwa 18 cm erreicht hat. Bei Regelsystem A (Bild 2—4) hingegen folgen t_v und t_h den Bewegungen der Kupplungspunkte der unteren Lenker.

Die Messungen haben gezeigt, daß aus den Änderungen der Pflugtiefe des zweiten Körpers keine Rückschlüsse auf das Verhalten des Reglers gemacht werden können, sondern nur aus den Bewegungen der Kupplungspunkte der unteren Lenker. Im groben Durchschnitt kann man für die untersuchten Regelsysteme A und B sagen, daß einer Hubbewegung von x cm des Kupplungspunktes der unteren Lenker eine Tiefenänderung des zweiten Pflugkörpers von $x/2$ cm entsprechen hat. Annähernd trifft dies auch für Regelsystem C zu.

4.2 Furchentiefenunterschiede zwischen erstem und zweitem Pflugkörper

Wesentliche Unterschiede der mittleren Pflugtiefen des ersten gegenüber dem zweiten Pflugkörper sind bei allen drei Regelsystemen nicht festgestellt worden, **Tafel 4**; Voraussetzung ist natürlich eine genaue Pflugeinstellung über die obere Lenkerlänge, wobei häufig — wie aus den Bildern ersichtlich — bei Änderung des Bodens der zweite Pflugkörper längere Zeit braucht, bis er sich auf die neue vom Regler vorgeschriebene Tiefe eingestellt hat. Das wird z. B. deutlich in Bild 9 für Regelsystem B, wo der erste Pflugkörper sich nach 1 m, der zweite Pflugkörper erst nach etwa 3 m auf die neue Tiefe eingestellt hat. Ähnlich ist es bei Regelsystem A beim Übergang vom mittelschweren auf schweren Boden (Bild 2). Erst nach etwa 3 m Feldlänge hat sich

Tafel 4. Unterschiede in der Furchentiefe zwischen erstem und zweitem Pflugkörper.

Regel-system	Boden	1. Pflugkörper		2. Pflugkörper	
		$(\Delta t)_{\max}$ cm	t_{mittel} cm	$(\Delta t)_{\max}$ cm	t_{mittel} cm
A	schwer	4,3	23,2	4,2	23,3
	schwer	3,8	20,2	3,5	20
	sandig	4,0	26	5,0	26
B	schwer	2,0	18,8	1,0	18,5
	mittelschwer	0,8	19,5	0,7	19,5
	mittelschwer (fest)	0,7	17,5	1,4	18,5
C	schwer	2,3	23,0	0,4	21,7
	sandig	1,5	24,0	1,0	24,1

der zweite Pflugkörper auf die neue, geringere Tiefe eingestellt, während der erste Pflugkörper diese Tiefe nach etwa 1,5 m erreicht hatte.

4.3 Regelimpulszahl je m Feldlänge in Beziehung zu Boden, Furchentiefe und Arbeitsgeschwindigkeit

Die ermittelte Anzahl der Regelimpulse ist sehr unterschiedlich, sie hängt ab von der Fahrgeschwindigkeit, von der Furchentiefe bzw. dem Furchenquerschnitt und vor allem von der Bodenbeschaffenheit. Die Zahl der Regelimpulse ist aus der in den Diagrammen gut erkennbaren Änderung des Öldruckes p_{Pu} hinter der Hydraulikpumpe bei einem Hebevorgang entnommen. Die Regelvorgänge bei einem Senkvorgang sind aus dem Verlauf der Öldrücke der Hydraulikpumpe nicht erkennbar, jedoch aus dem Verlauf des Druckes p_{KR} im Arbeitszylinder; sie sind bei der vorliegenden Auswertung nicht ermittelt worden.

Die Zahl der Regelimpulse ist bei System A und B nach Tafel 1 in verdichtetem Boden größer als im unverdichteten, bei System C ist — wie zu erwarten — fast kein Unterschied zu erkennen. Die häufigsten Regelimpulse je m Feldlänge sind bei Regelsystem B ermittelt worden, gleich, ob im unverdichteten oder verdichteten Boden gepflügt worden ist. Sie liegen bei etwa 2 bis 3,5 Impulse/m Feldlänge. Bei der höheren Geschwindigkeit sind bei beiden Regelsystemen A und B die Anzahl der Regelimpulse je m geringer als bei der kleineren Geschwindigkeit.

Das Pflügen mit dem Regelsystem B auf dem in der Bodenbeschaffenheit gleichmäßigen, ebenen Boden hat ähnliche Ergebnisse gebracht. Aus Tafel 2 geht hervor, daß bei gleicher Furchentiefe von 17 bis 18 cm bei dem harten, sehr trockenem Zustand 3, 4 Regelimpulse/m Feldlänge und bei dem feuchten, lockeren Zustand nur 1,4 Impulse festgestellt wurden. Bei größeren Furchentiefen von 27 bis 29 cm waren die entsprechenden Regelimpulse 4 bzw. 3,2. Die Zahl der Regelimpulse nahm bei gleichem Bodenzustand und etwa gleicher Pfluggeschwindigkeit mit größerer Pflugtiefe zu, **Bild 12 und 13**.

Der Einfluß höherer Geschwindigkeit beim Pflügen in feuchtem, lockerem Boden ist aus Tafel 2 und 3 erkennbar. Wenn auch die Unterschiede gering sind, sind im Durchschnitt bei der größeren Geschwindigkeit weniger, bei der geringeren Geschwindigkeit mehr Regelimpulse/m Feldlänge ermittelt worden, **Bild 14**. Wie zu erwarten, nehmen nach Tafel 2 und 3 bei Anlenkung des oberen Lenkers für geringste Empfindlichkeit die Regelimpulse ab gegenüber Anlenkung für die größte Empfindlichkeit.

Nicht alle Regelimpulse wirken sich bis auf den unteren Lenker aus, weil sie zeitlich zu kurz sind, **Bild 6**. Die große Empfindlichkeit des Regelsystems B kommt durch die zahlreichen Impulse beim Übergang von dem lockeren auf den festgefahrenen Boden gut in **Bild 9** zum Ausdruck.

4.4 Innere Vorgänge im Regelkreis

4.4.1 Öldruck im Arbeitszylinder des Krafthebers in Beziehung zur Furchentiefe

In **Bild 15 und 16** ist über der Furchentiefe t bzw. über dem Furchenquerschnitt F der Öldruck p_{KR} als Mittelwert (= Zentralwert aus der Häufigkeitsverteilung) aufgetragen. Es handelt sich hierbei um den Feldversuch in Abschnitt 4. 11. In **Bild 15 und 16** sind die Furchentiefen identisch mit der Bodenart. Geringe Furchentiefe entspricht schwerem Boden, größere entspricht leichtem, sandigem Boden. Nach diesen Bildern ist eine gewisse Tendenz festzustellen: größerer Arbeitsdruck bei schwerem Boden, geringerer Arbeitsdruck bei leichtem Boden. Das kommt auch zum Ausdruck bei Regelsystem C, wobei sich die Furchentiefe bei den verschiedenen Böden in nur geringfügigem Maße ändert, was bei Regelsystem A und B nicht der Fall ist.

In **Bild 17 und 18** sind die Spitzenwerte der Öldrücke im Arbeitszylinder aufgetragen, die bei dem schweren Boden bis an den Einstelldruck des Überdruckventils heranreichen. In **Bild 19** ist der Druck im Arbeitszylinder der Systeme A und B bei verschiedenen Furchentiefen bei einem sehr gleichmäßigen Boden aufgetragen worden. Hier ist eine mit der Furchentiefe fallende Tendenz von p_{KR} festzustellen.

Die Drücke im Arbeitszylinder der einzelnen Regelsysteme A, B und C lassen sich erst dann vergleichen, wenn die Kinematik zwischen Arbeitskolben und unterem Lenker und die unterschiedliche Dimensionierung der Hydrauliksysteme berücksichtigt werden. Immerhin lassen **Bild 15 bis 18** erkennen,

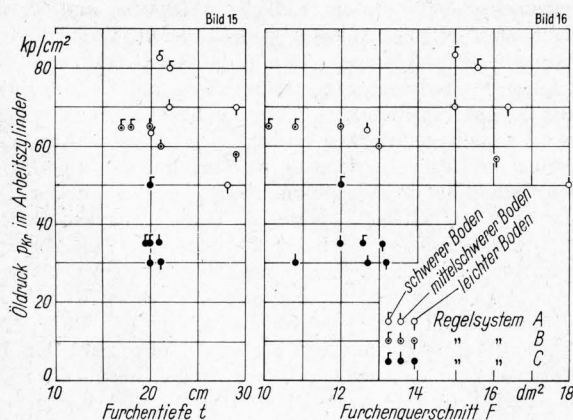


Bild 15 und 16. Öldruck im Arbeitszylinder des Krafthebers (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Furchentiefe bzw. dem Furchenquerschnitt eines zweifurchigen Voldrehpfluges bei den Regelsystemen A, B und C.

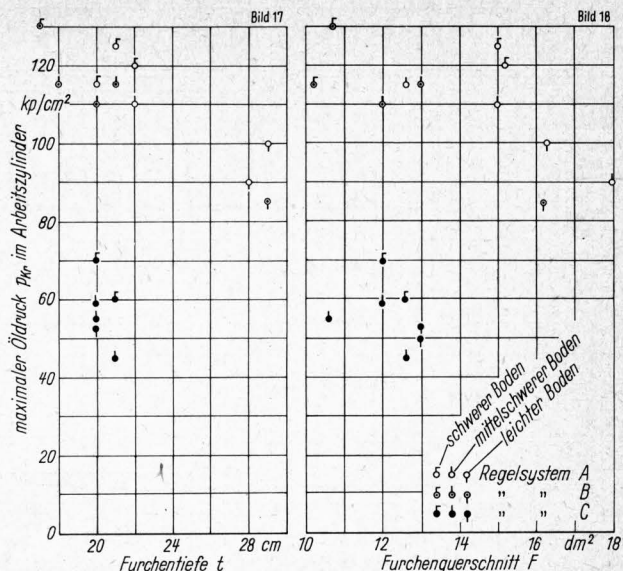


Bild 17 und 18. Spitzenwerte des Öldruckes im Arbeitszylinder des Krafthebers in Abhängigkeit von der Furchentiefe bzw. dem Furchenquerschnitt eines zweifurchigen Voldrehpfluges bei den Regelsystemen A, B und C.

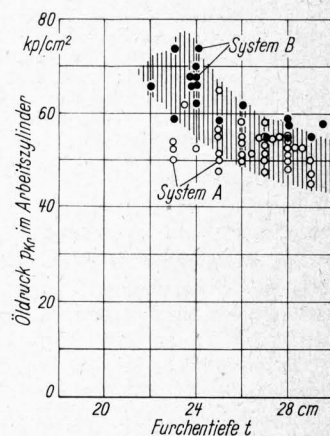


Bild 19. Öldruck (Mittelwerte) im Arbeitszylinder der Kraftheber nach System A und B in Abhängigkeit von der Furchentiefe auf gleichmäßigem mittelschwerem Boden beim Pflügen mit einem zweifurchigen Voldrehpflug (Lemken).

daß die Arbeitsdrücke bei den einzelnen Systemen sehr unterschiedlich sein können, bei derselben Bodenart und annähernd gleicher Furchentiefe. Sie schwanken bei diesen Feldversuchen zwischen 30 und 85 kp/cm², die Spitzenwerte zwischen 45 und 130 kp/cm². Daraus können Rückschlüsse auf Beanspruchung und Lebensdauer der Hydraulikpumpen gezogen werden.

4.4.2 Öldruck im Arbeitszylinder in Beziehung zum Pumpendruck bei Regelsystem B

Bei den Versuchen auf dem mittelschweren, sehr gleichmäßigen Boden hat sich ergeben, daß der Pumpendruck p_{PU} mit größer werdender Fahrgeschwindigkeit und zunehmender Furchentiefe (bzw. Furchenquerschnitt) zunimmt. Die Häufigkeitsverteilung des Pumpendruckes bei verschiedenen Versuchen zeigt **Bild 20**.

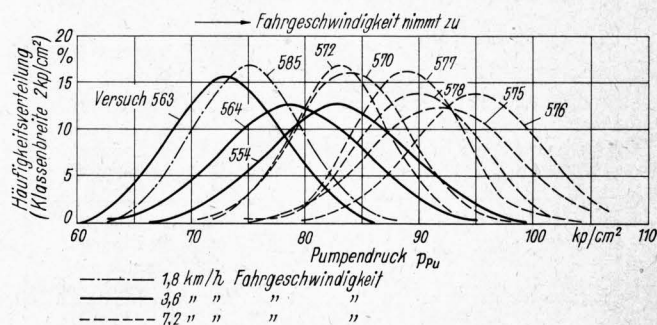


Bild 20. Häufigkeitsverteilung der Pumpendrucke bei Regelsystem B in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Bodenart: mittelschwer, feucht, eben abgeerntetes Erbsenfeld. Pflügen mit zweifurchigem Voldrehpflug.

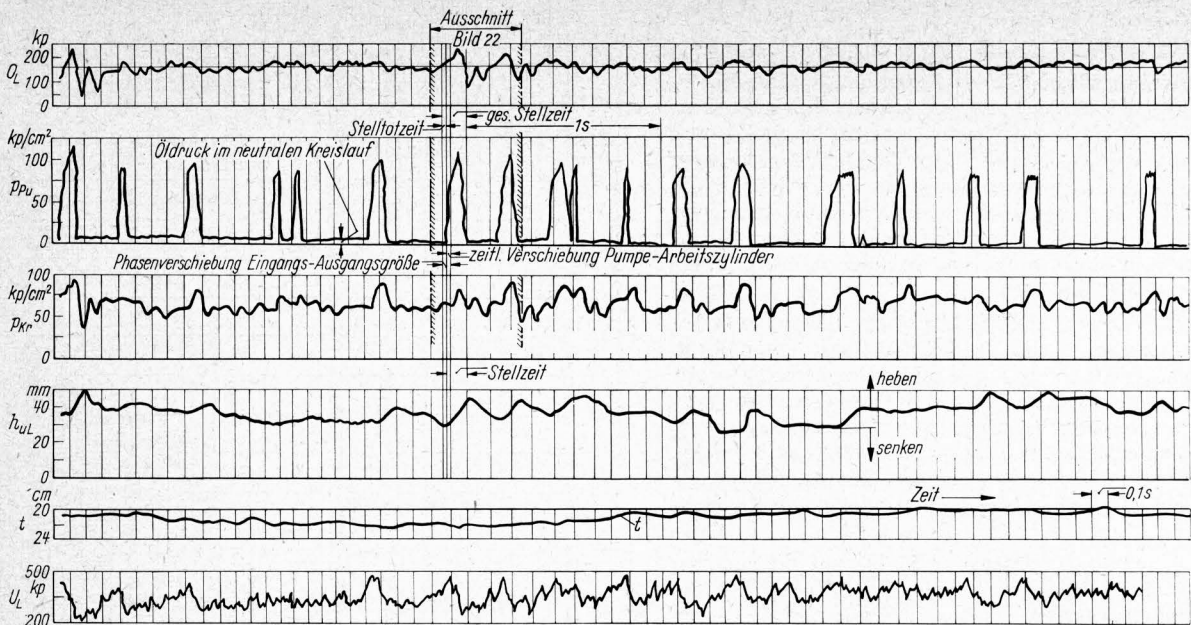


Bild 21. Oszillogrammausschnitt aus einem Feldversuch mit Regelhydraulik B und zweifurchigem Volldrehpflug. Zeitlicher Verlauf des Pumpendruckes p_{Pu} und des Öldruckes p_{Kr} im Arbeitszylinder bei einer Tiefeneinstellung von 20 bis 21 cm.

- O_L Längskraft im oberen Lenker (Eingangsgröße einstellen nach Handhebel)
- h_{uL} Hub des unteren Lenkers am Kupplungspunkt (Ausgangsgröße)
- p_{Kr} Öldruck im Arbeitszylinder des Krafthebers
- p_{Pu} Öldruck hinter der Hydraulikpumpe
- t Furchentiefe
- U_L Längskraft im Kupplungspunkt des unteren linken Lenkers.

Aus **Bild 21** ist der Verlauf des Pumpendruckes und des Druckes im Arbeitszylinder bei Regelsystem B ersichtlich. Zur Überwindung der inneren Widerstände im neutralen Kreislauf sind etwa 10 atü aufzubringen. Bei einer Tiefeneinstellung von etwa 21 bis 22 cm ist im oberen Lenker eine Druckkraft von 150 kp vorhanden. Sobald diese Kraft kleiner wird, gibt der Steuerschieber die Abströmöffnung aus dem Arbeitszylinder frei. Bei sehr großem Öffnungsquerschnitt müßte p_{Kr} Null werden. Nach Diagramm **Bild 21** ist aber p_{Kr} hier noch etwa 50 atü; das kann bedeuten, daß u. a. noch innere Rücklaufwiderstände zu überwinden sind. Andererseits würde Drucklosigkeit im Arbeitszylinder bewirken, daß die zusätzliche Belastung der Schleppertriebräder kleiner wird und sich der Belastung bei Schwimmstellung des Pfluges nähert.

4.43 Regelfederweg, Stellgeschwindigkeit und Stellzeit (System B)

Um die Vorgänge im Regelkreis des Krafthebers beim Pflügen zu erforschen, war ein völlig ebener Acker mit gleichmäßigem Boden erforderlich. Diese Vorbedingung war bei dem Versuch

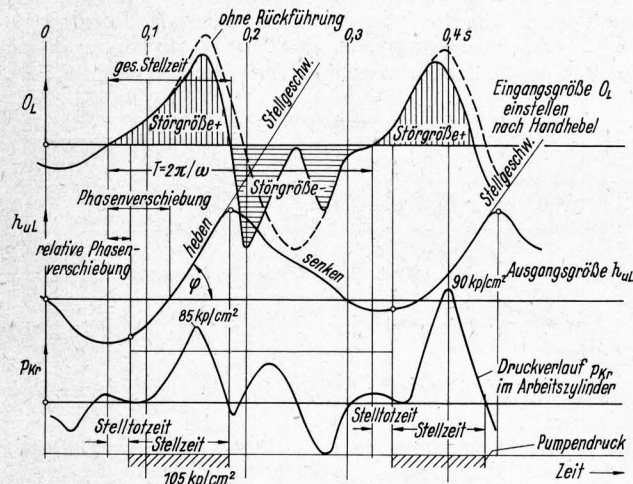


Bild 22. Vergrößerter Ausschnitt aus **Bild 21**.

mit Regelsystem B auf dem Feld mit mittelschwerem Boden in feuchtem und trockenem Zustand erfüllt. Regeltechnisch gesehen, vermittelt die Übergangsfunktion ein Bild über den zeitlichen Ablauf der Ausgangsgröße bei sprunghafter Änderung der Eingangsgröße. Sie gibt auch Aufschluß darüber, ob wir es mit einem P- oder I-Regler zu tun haben. Die Eingangsgröße ist hierbei der Betrag der Änderung der Kraft im oberen Lenker, die durch die Stellung des Handhebels des Krafthebers gegeben ist. Als Ausgangsgröße gilt die Hubbewegung der Kupplungspunkte der unteren Lenker.

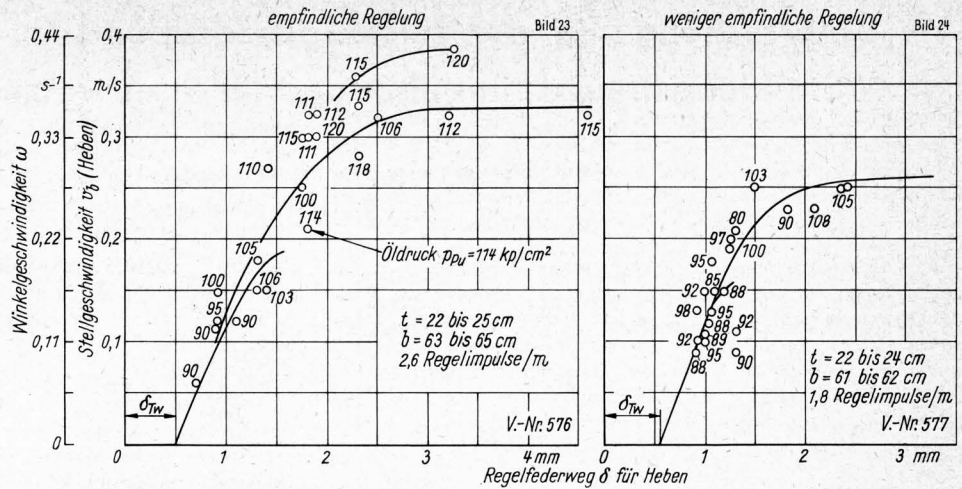
Aus **Bild 21** und **22** können der Verlauf der Eingangs- und Ausgangsgröße verfolgt werden. Aus diesen beiden Systembildern lassen sich eine Reihe von Daten erkennen, welche für die Kenntnis des Ablaufes der inneren Vorgänge im hydraulischen Kraftheber von Wichtigkeit sind.

Jeder Regelimpuls für Heben ist — wie schon gesagt — durch eine scharfe Druckänderung hinter der Hydraulikpumpe zu erkennen, während die Regelimpulse bei dem Senkvorgang über p_{Kr} zu ermitteln sind. Die Dauer der Kraftänderung im oberen Lenker ist die gesamte Stellzeit des Steuerschiebers. Sie setzt sich zusammen aus Stelltotzeit und echter Stellzeit über die Hydraulikpumpe. Zwischen Eingangsgröße (Kraftänderung im oberen Lenker) und Ausgangsgröße (Änderung der Bewegung der unteren Lenker) tritt eine Phasenverschiebung ein, die durch die Stelltotzeit und die inneren Widerstände zwischen Pumpe und Arbeitszylinder des Krafthebers bedingt ist. Aus der Größe der Hübe der Kupplungspunkte der unteren Lenker über der Zeit läßt sich die Stellgeschwindigkeit v_b (m/s) für die Hub- und Senkbewegung ermitteln.

In **Bild 23** und **24** ist die Stellgeschwindigkeit v_b über dem Regelfederweg δ für die empfindliche Anlenkung und für die weniger empfindliche Anlenkung des oberen Lenkers beim Regelsystem B aufgetragen. Daraus läßt sich erkennen, daß eine Linearität zwischen Steuerschieberweg und Stellgeschwindigkeit bei höheren Pumpendruckten nur bis zu einem Wert von etwa 1,5 mm Regelfederweg erreicht werden kann. Eine Vergrößerung des Regelfederweges über 2,5 mm hinaus hat praktisch keinen Einfluß auf eine Erhöhung der Stellgeschwindigkeit. Der Regler wirkt nur zeitweilig als stetiger Regler. Aus dem Anstieg der Stellgeschwindigkeit über dem Regelfederweg läßt sich entnehmen, daß es sich hier um einen Integral-Regler handelt, bei dem die Geschwindigkeit der zurückführenden Regelbewegung proportional der Regelgrößenänderung ist. Die größte gemessene Stellgeschwindigkeit für den Hubvorgang lag bei 0,35 bis 0,40 m/s bei hohen Öldrücken, bei geringeren Öldrücken niedriger. Die Stellgeschwindigkeit für den Senkvorgang des Pfluges ist nach den Versuchsergebnissen für das Regelsystem B um die Hälfte bis ein Drittel geringer als beim Hebevorgang. Hier sind von Einfluß Gegendruck des ablaufenden Öles, Einzugsvermögen des Pfluges, Länge des oberen Lenkers u. a.

Bild 23 und 24. Stellgeschwindigkeitskennlinien für Hebevorgang eines nach Zugwiderstand regelnden Krafthebers (System B) beim Pflügen mit zweifurchigem Voldrehpflug (Lemken).

p_{Pu} Öldruck hinter der Hydraulikpumpe
 δ_{TW} Steuerschiebertotweg
 $v = 7$ km/h Arbeitsgeschwindigkeit
 t Furchentiefe
 b Furchenbreite.



Die aus den Feldversuchen mit Regelsystem B gewonnenen Stelltotzeiten lagen zwischen 0,02 bis 0,08 s, mit größerer Häufigkeit bei 0,04 bis 0,05 s. Der Anteil der Stelltotzeit an der gesamten Stellzeit lag zwischen 20 und 40%.

5. Erkenntnisse und Folgerungen aus den Versuchen

Das Ergebnis der ersten Untersuchungsreihe mit den drei Regelsystemen auf dem Felde mit den verschiedenen Bodenarten bestätigt Teilergebnisse und Erfahrungen früherer Untersuchungen, wonach ein Regelsystem nach Zugwiderstand mit großer Empfindlichkeit einem solchen mit geringerer Empfindlichkeit überlegen ist, wenn es bei den Bodenübergängen (mittel auf schwer oder mittel auf sandig) ein Einwühlen des Schleppers verhindert, wobei nicht über den Handhebel eingegriffen werden soll. Ein solcher Eingriff, der regeltechnisch eine Änderung der Führungsgröße ist, kann zweifellos von einem aufmerksamen Schlepperfahrer rechtzeitig vorgenommen werden, da die Bodenübergänge nicht plötzlich erfolgen und von weitem sichtbar sind. Doch sollte grundsätzlich durch den Fahrer ein solches Eingreifen während der Arbeit nicht erfolgen; bei höheren Fahrgeschwindigkeiten beim Pflügen bedeutet es zweifellos eine Belastung. Das würde bedeuten, daß die Einschaltung der größeren Empfindlichkeit im Bedarfsfalle automatisch erfolgen müßte, z. B. über die Bewegung der Hubarme, quasi durch einen Eingriff über die Lageregelung.

Eine große Empfindlichkeit des Regelsystems gleicht die Wirkung kleiner und mittlerer Nickschwankungen zwischen Schlepper und Pflug rascher aus als bei einer geringeren Empfindlichkeit. Infolge der Stelltotzeit der Regelorgane und Phasenverschiebung zwischen Kraftänderung im oberen Lenker und Bewegung der unteren Lenker trat jedoch eine merkbare Wirkung auf die Furchentiefeänderung durch solche Nickschwankungen bei diesen Versuchen nicht auf.

Ein Regelsystem mit großer Empfindlichkeit ist bei gleichmäßigem und annähernd ebenem Boden jedoch nicht notwendig, da es die Hydraulikpumpe zu oft unnötig belastet. Ein Regelsystem mit geringerer Empfindlichkeit bringt außerdem erwünschte kleinere Abweichungen in der Furchentiefe.

Das Regelsystem C (nach Furchentiefe) ist bei Schwankungen des Bodens (Zustand und Bodenoberfläche) der Zugwiderstandsregelung über den oberen Lenker nach System A und B — was die Änderung der eingestellten Arbeitstiefe anbelangt — überlegen.

Der Senkvorgang erfolgt — regeltechnisch gesehen — im Gegensatz zum Hebevorgang nicht zwangsläufig, weil der Kraftheber nicht drücken kann und der Senkvorgang von den Stützflächen am Pflug, vom Untergriff des Pfluges, von der Scharfschärfe u. a. beeinflußt wird. Da hohe Stellgeschwindigkeit beim Senkvorgang zum Teil erwünscht, zum Teil nicht erwünscht ist, sollte sich eine Einstellung hoher und geringer Empfindlichkeit auch auf den Senkvorgang auswirken (z. B. Einstellung der Senkdrossel).

Für normale ebene Ackerböden wäre zur Entlastung der Öldruckpumpe 1 Regelimpuls/m Feldstrecke bei Geschwindigkeiten bis zu etwa 8 km/h erwünscht.

Nach den im Arbeitszylinder des Krafthebers nach Regelsystem A und B gemessenen Arbeitsdrücken zu urteilen, ist großemäßig mit zunehmender Furchentiefe eine fallende Tendenz festgestellt worden. Daraus kann gefolgert werden, daß auch die zusätzliche Triebachsbelastung diesem Trend unterliegt. Die während des Senkvorganges gemessenen Arbeitsdrücke, die sich nach dem Einzugsvermögen des Pfluges und der Lage des Momentanpols richten, sind wesentlich höher als bisher angenommen wurde. Das deutet darauf hin, daß dann noch eine verhältnismäßig hohe zusätzliche Belastung der Triebachse vorhanden ist.

Zusammenfassung

Mit drei Systemen hydraulischer Kraftheber an Acker-schleppern (zwei Systeme nach Zugwiderstand mit verschiedener Empfindlichkeit in der Regelung, ein System nach Furchentiefe) wurden Felduntersuchungen auf wechselnden schweren und leichten Böden durchgeführt, um ihren Einfluß auf die Schwankungen in der Furchentiefe zu untersuchen. Darüber hinaus ergaben sich aus den Messungen Unterlagen zur Beurteilung äußerer und innerer Regelvorgänge, so z. B. Zahl der Regelimpulse in Beziehung zu Boden, Furchentiefe und Arbeitsgeschwindigkeit, der Druck im hydraulischen Arbeitszylinder in Beziehung zur Furchentiefe, der Pumpendruck in Beziehung zum Druck im Arbeitszylinder, Einfluß des Regelfederweges auf Stellgeschwindigkeit und Stellzeit während des Regelvorganges.

Das Regelsystem nach Furchentiefe ist bei Schwankungen des Bodens der Zugwiderstandsregelung über den oberen Lenker hinsichtlich Einhaltung möglichst kleiner Furchentiefe-schwankungen und des Nichteinwühlens des Schleppers überlegen. Das Regelsystem nach Zugwiderstand mit größerer Empfindlichkeit ist dann einem solchen mit geringerer Empfindlichkeit vorzuziehen, wenn bei den Bodenübergängen ein Einwühlen des Schleppers durch die Regelung verhindert werden soll. Ein Regelsystem mit großer Empfindlichkeit ist jedoch bei gleichmäßigem und annähernd ebenem Boden nicht notwendig, da die Hydraulikpumpe zu oft unnötig belastet wird. Es ergibt sich daraus die Notwendigkeit der Vorwahl der Empfindlichkeit durch den Schlepperfahrer.

Schrifttum

- [1] Skälweit, H.: Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Anbaupflug in zwei Meßstellen. Landtechn. Forsch. **11** (1961) H. 6, S. 151/58.
- [2] Skälweit, H.: Bestimmung der Kräfte an Schlepper und Pflug bei regelndem Kraftheber. Landtechn. Forsch. **12** (1962) H. 2, S. 53/60.
- [3] Skälweit, H.: Feldmessungen an Schleppern mit Dreipunkt-anbau und regelnden Krafthebern. Landtechn. Forsch. **14** (1964) H. 1, S. 1/5.
- [4] Skälweit, H.: Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. Grndl. Landtechn. Heft 20 (1964) S. 53/57.
- [5] Seifert, A.: Der neue hydraulische Kraftheber des Fordson Dexta Schleppers und sein Vergleich mit anderen Systemen. Landtechn. Forsch. **9** (1959) H. 2, S. 34/41.