

Eine elektrohydraulische Zwei-Größen-Tiefenregelung für große Schlepperanbaupflüge

Teil 1: Systeme zur Ein- und Zwei-Größen-Tiefenregelung

Von Horst Hesse und Rudolf Möller, Braunschweig*)

DK 62-531.1-523.3:631.312.4.072.3.021

Bei Schlepperanbaupflügen mit großen Abmessungen können vor allem bei den hinteren Pflugkörpern die Abweichungen des Istwerts der Tiefe von ihrem Sollwert unzulässig große Werte annehmen. Der Grund hierfür ist die Tatsache, daß bei den herkömmlichen Systemen zur Tiefenregelung nur eine Meßgröße erfaßt wird. Beim Verwenden solcher Systeme läßt sich eine im Hinblick auf alle Pflugkörper befriedigende Regelgüte nicht erreichen, da Schlepperanbaupflüge mit großen Abmessungen in bezug auf eine vertikal gerichtete Ebene zwei Freiheitsgrade haben. Dies erfordert aber zwei voneinander unabhängig arbeitende Regelkreise und somit das Erfassen von zwei Meßgrößen. Ein System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung läßt sich verwirklichen, wenn die Arbeitstiefe des vorderen und des hinteren Pflugkörpers gemessen und anstatt des üblichen oberen Lenkers im Dreipunktgestänge ein hydraulisch betätigter Zylinder verwendet wird.

1. Einleitung

Bei großen Schlepperanbaupflügen treten in bezug auf eine gleichmäßige Tiefenführung aller Pflugkörper Schwierigkeiten auf. Die zu beobachtenden Schwankungen der Arbeitstiefe werden einerseits durch das unzureichende dynamische Verhalten der Regelungssysteme und andererseits durch das benutzte Regelungsprinzip verursacht.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, vor allem diejenigen Ursachen für die Schwankungen der Arbeitstiefe zu untersuchen, die durch das Regelungsprinzip bedingt sind. Sieht man von den Mischregelungssystemen ab, bei denen die Lage des Pfluges relativ zum Schlepper als eine Art Hilfsgröße dient, dann wird bei den herkömmlichen Systemen nur eine »echte« Meßgröße zum Regeln benutzt. Aus diesem Grund läßt sich der Pflug nur auf einer durch das starre Dreipunktgestänge festgelegten Koppelkurve relativ zum Schlepper bewegen. Deshalb bewirken aber Nickbewegungen des Schleppers und unebene Oberflächen große Schwankungen der Arbeitstiefe vor allem der hinteren Pflugkörper; die Nachgiebigkeit des Anbausystems und des Pfluges sowie das Spiel in den Gelenken des Anbausystems verursachen darüber hinaus noch eine Zunahme dieser Schwankungen. P.A. Cowell und S.C. Len [1] untersuchten auf unebenem Gelände diese Schwankungen am hinteren Pflugkörper eines dreischarigen Anbaupfluges mit einer Oberlenker-Kraft-Regelung; dabei zeigte sich, daß diese Schwankungen unzulässig große Werte hatten.

R. Krause [2] stellte unter günstigeren Bedingungen an einem fünf-scharigen Anbaupflug ebenfalls große Tiefenschwankungen fest und wies darauf hin, daß es nötig sei, die Systeme zu verbessern. Er beobachtete beispielsweise, daß die durch die Nachgiebigkeit und das Gelenkspiel bewirkten Abweichungen des Istwerts der Tiefe von ihrem Sollwert beim hinteren Pflugkörper – bei dem von ihm untersuchten Pflug – bis zu 10 cm betragen können.

Man versucht heute, die Schwankungen der Arbeitstiefe durch ein „Stützrad“ hinten am Pflug herabzusetzen. Ein solches Rad hat aber (im Hinblick auf das Abstützen) nur eine Wirkrichtung und nimmt dabei Kräfte auf, die zur Triebachslasterhöhung benötigt werden. Deshalb muß man dieses Verfahren nur als Notbehelf auffassen.

Zum Regeln der Lage eines Systems mit n Freiheitsgraden benötigt man n Regelkreise. Systeme mit mehreren Freiheitsgraden, deren Lage geregelt wird, sind beispielsweise Flugzeuge, Hubschrauber und Senkrechtstarter. Auch ein am Schlepper angebaute Pflug, der relativ zum Boden geführt werden soll, ist – wenn man sich auf die Vertikalebene beschränkt – ein System mit zwei Freiheitsgraden, das prinzipiell eine Zwei-Größen-Regelung erfordert. Das bisher benutzte Verfahren der Ein-Größen-Regelung reicht deshalb nur für Pflüge mit hinreichend kleinen Abmessungen aus. Bei großen Anbaupflügen hingegen werden bei einer solchen Regelung die Tiefenschwankungen so groß, daß man eine andere Lösung an-

*) Dipl.-Ing. Horst Hesse ist Abteilungsleiter und Ing. (grad.) Rudolf Möller Versuchingenieur im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

streben muß: Eine Zwei-Größen-Regelung. Sie läßt sich z.B. verwirklichen, wenn die Arbeitstiefe des vorderen und des hinteren Pflugkörpers gemessen und anstatt des starren oberen Lenkers ein hydraulischer Zylinder verwendet wird. Diesen hydraulischen Zylinder kann man als Stellglied für einen von zwei Regelkreisen und den am Schlepper vorhandenen Kraftheberzylinder als Stellglied für den anderen Regelkreis benutzen.

Beim Einsatz eines solchen Regelungssystems wird ein Anbaupflug ähnlich geführt wie ein angehängter Pflug, der sich auf Rädern abstützt. Da jedoch der Schlepper den Anbaupflug „trägt“, bewirkt dieser eine Triebachslasterhöhung; außerdem bleibt beim Verwenden eines solchen Pfluges die leichte Manövrierbarkeit erhalten.

Die Dringlichkeit der Entwicklung wirksamer Regelungssysteme nimmt zu, da bei den bisher üblichen Regelungsverfahren mit steigender Motorleistung der Schlepper (und einer entsprechenden Zunahme der Pflugkörper-Anzahl) auch die Tiefenschwankungen der Pflugkörper eines Pfluges wachsen. Deshalb wurde im Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig ein System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung für Anbaupflüge entwickelt und sein Verhalten im Feldeinsatz untersucht. Über den Aufbau dieses Systems und die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung wird hier berichtet.

2. Tiefenschwankungen bei herkömmlichen Regelungssystemen

Bild 1 zeigt die von P.A. Cowell und S.C. Len [1] gemessenen Tiefenschwankungen bei sinusförmigen Bodenunebenheiten mit einer Wellenlänge von 10 m und einer Amplitude von rd. 10 cm. Diese Tiefenschwankungen, die etwa 12 bis 13 cm betragen, hängen, wie aus Bild 1 hervorgeht, auch von der Empfindlichkeits-einstellung, d.h. von der Kreisverstärkung des Systems ab.

Bild 2 zeigt das Verhalten eines vierscharigen Pfluges mit einer Ein- und einer Zwei-Größen-Tiefenregelung bei sinusförmigen Bodenunebenheiten mit einer Wellenlänge, die dem doppelten Radstand entspricht, und verschiedenen Amplituden. Die Kurven nach Bild 2 wurden auf dem Reißbrett „konstruiert“. Sie beschreiben deshalb nur die durch die Geometrie des Anbausystems bedingten Fehler und erfassen nicht sein dynamisches Verhalten. Bei einer Ein-Größen-Tiefenregelung, bei der der vordere Pflugkörper auf kon-

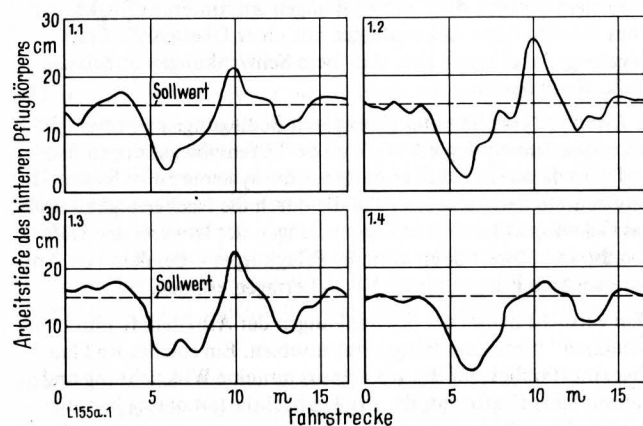


Bild 1. Die Arbeitstiefe des hinteren Pflugkörpers eines dreischarigen Anbaupfluges mit Zugkraftregelung bei sinusförmigen Unebenheiten mit 10 m Wellenlänge und 10 cm Amplitude, nach [1].

Bild 1.1. Verhalten bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4,8 km/h; Einstellung der System-Kreisverstärkung: mittlere Empfindlichkeit.

Bild 1.2. Verhalten bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3,25 km/h; Einstellung der System-Kreisverstärkung: große Empfindlichkeit.

Bild 1.3. Verhalten bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6,9 km/h; Einstellung wie Bild 1.1.

Bild 1.4. Verhalten bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5,5 km/h; Einstellung wie Bild 1.2.

Bild 2. Arbeitstiefen der Pflugkörper eines vierscharigen Anbaupfluges mit einer Ein- oder einer Zwei-Größen-Tiefenregelung bei sinusförmigen Unebenheiten mit der Wellenlänge $2B$ und bei verschiedenen Amplituden A .

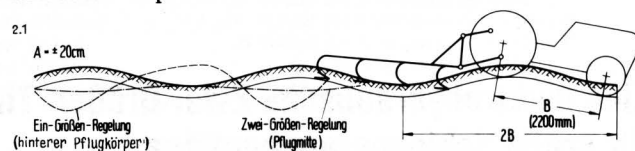


Bild 2.1. Verhalten bei einer Amplitude $A = 20$ cm.

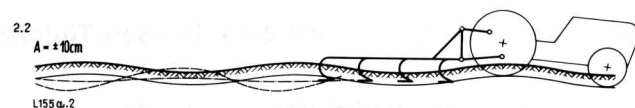


Bild 2.2. Verhalten bei einer Amplitude $A = 10$ cm.

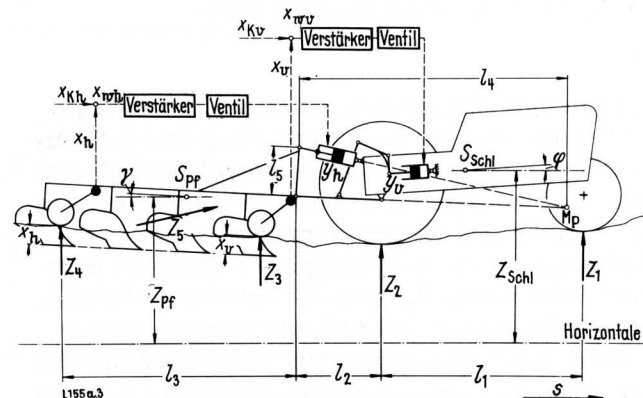


Bild 3. Ebenes Modell für das System Schlepper – Pflug.

Symbole gemäß Tafel 1

stanter Tiefe gehalten wird, verläßt der hintere Pflugkörper bei allen Werten der Unebenheitsamplitude den Boden oder dringt zu tief in ihn ein. Für ein System mit einer Zwei-Größen-Tiefenregelung, bei der die Arbeitstiefe des vorderen und des hinteren Pflugkörpers gemessen und konstant gehalten wird, entspricht die eingezeichnete Kurve der Bewegungsbahn eines in der Mitte des Pfluges gedachten Pflugkörpers, da für ihn die Abweichung des Istwerts der Tiefe vom Sollwert einen Maximalwert annimmt. Aus Bild 2 geht hervor, daß die maximal auftretenden Tiefenschwankungen bei einer Zwei-Größen-Regelung erheblich kleiner als die bei einer Ein-Größen-Regelung sind.

Bild 3 zeigt schematisch das System Schlepper – Pflug, und zwar aufgefaßt als ebenes System; alle konstanten und variablen Größen sowie die auf das System einwirkenden Störgrößen, die eingetragen sind, haben die in Tafel 1 angegebene Bedeutung. Ausgehend von diesem System lassen sich die Größenordnung und die Abhängigkeit der auf den hinteren Pflugkörper eines Pfluges bezogenen Tiefenschwankungen bei einer Ein-Größen-Regelung – bei der die Tiefe am vorderen Pflugkörper gemessen wird – abschätzen. Vernachlässigt man die Lageänderung des Momentanpols bei Bewegungen des Pfluges relativ zum Schlepper und setzt voraus, daß die geregelte Tiefe des vorderen Pflugkörpers konstant bleibt, dann ergibt sich die auf den hinteren Pflugkörper bezogene Regelabweichung x_{wh} zu

$$x_{wh} = Z_1 \frac{l_3}{l_1} \left(1 - \frac{l_2}{l_4} \right) \quad (1)$$

Diese Beziehung gilt für Störungen, die bei sonst völlig ebener Bodenoberfläche auf die Schlepperräder einwirken. Sie zeigt, daß diese Regelabweichung mit dem Radstand l_1 abnimmt und mit der Pfluglänge l_3 zunimmt. Diese Regelabweichung wächst außerdem mit dem Abstand l_4 des Momentanpols und strebt mit $l_4 \rightarrow \infty$ gegen ihren Maximalwert (Parallelstellung der Lenker). Für $l_4 = l_2$ gilt $x_{wh} = 0$ (Schwingpflug).

Tafel 1. Erklärung der benutzten Symbole.

A	Amplitude
F_m	Massenkraft
F_R	Reibungskraft
$F(i\omega)$	Frequenzgang, mit i als der imaginären Einheit
K_V	Übertragungsfaktor (Verstärkungsfaktor) eines elektronischen Verstärkers
K_G	Übertragungsfaktor des Gestänges zwischen Stellglied und Meßstelle
K_z	den Vertikalbewegungen des Schleppers zugeordnete Übertragungsfunktion
K_φ	den Nickbewegungen des Schleppers zugeordnete Übertragungsfunktion
K_{vh}, K_{hv}	Koppelfaktoren der Regelkreise
M_p	Momentanpol der Koppel des Dreipunktgestänges in der Vertikalebene
S	Schwerpunkt
T_S	Schaltzeit eines Magnetventils
Z	Störgröße, Indizes gemäß Bild 3
Z_E	Ersatzstörgröße
$2\epsilon / CK_V$	effektive Totzone (mit C als einer Konstanten; Bereich, innerhalb dessen sich die jeweilige Regelgröße ändern kann, ohne daß ein Regelvorgang ausgelöst wird)
$f = \omega / 2\pi$	Frequenz, mit ω als der zugehörigen Kreisfrequenz
l	Länge, Indizes gemäß Bild 3
t	Arbeitstiefe des Pflugkörpers
v, h	vorderem bzw. hinterem Pflugkörper zugeordneter Index
v_F	Fahrgeschwindigkeit
x	Regelgröße (Arbeitstiefe des Pflugkörpers)
x_K	Sollwert der Regelgröße
$x_W = x_K - x$	Regelabweichung
$ x_W _m$	Betragsmittelwert der Regelabweichung
y	Stellgröße (Weg am Stellzylinder)
\dot{y}	Stellgeschwindigkeit
$\Phi(\omega)$	spektrale Dichte, bezogen auf die Zeitfrequenz ω
$\Phi(\Omega)$	spektrale Dichte, bezogen auf die Wegfrequenz Ω
Φ_{Z_E}	spektrale Dichte der Ersatzstörgröße
Φ_{x_W}	spektrale Dichte der Regelabweichung
γ	Neigungswinkel nach Bild 3
2ϵ	Totzone des elektronischen Dreipunktglieds
λ	Wellenlänge
φ	Neigungswinkel nach Bild 3

Bei den Abmessungen, die der untersuchte Pflug hatte, ergibt sich für die Störgröße $Z_1 = 10$ cm die Regelabweichung nach Gl. (1) zu $x_{wh} = 6$ cm. In Wirklichkeit kann dieser Wert infolge des Spiels in den Gelenken sowie der Nachgiebigkeit des Pfluges und des Anbausystems noch größer sein.

Eine ausführliche Analyse zeigt, daß sich das Regelverhalten eines Systems bei „langen“ Anbaupflügen, bei einem Dreipunktgestänge aus Lenkern mit fest vorgegebenen Längen und beim Erfassen nur einer Regelgröße (Meßgröße) grundlegend nicht verbessern läßt.

3. Aufbau eines Systems zur Zwei-Größen-Tiefenregelung

Das Verhalten einer Ein-Größen-Regelung gemäß Bild 2 ist besonders ungünstig, da nach Voraussetzung die Tiefe am vorderen Pflugkörper gemessen wird. Auch bei einer Ein-Größen-Regelung läßt sich das Regelverhalten des Systems verbessern, wenn man die Meßstelle z. B. in die Pflugmitte verlegt. Dadurch gelingt es, die beim hinteren Pflugkörper auftretenden Schwankungen der Tiefe um den Faktor 2 herabzusetzen; allerdings nehmen dann die Schwankungen am vorderen Pflugkörper um den gleichen Faktor zu.

Bild 4 zeigt verschiedene Möglichkeiten, wie man das Systemverhalten in bezug auf das Einhalten eines vorgegebenen Wertes der Pflugkörpertiefe durch direktes oder indirektes Messen der Tiefe bei einer Ein- oder einer Zwei-Größen-Regelung verbessern kann. Eine Zwei-Größen-Regelung läßt sich auch durch Messen der Längskraft am vorderen und der am hinteren Pflugkörper wirklichen [3]. Der für eine solche Regelung erforderliche Aufwand ist aber auf Grund der z.Z. verfügbaren Mittel größer als bei einer Regelung, bei der die Tiefe als Meßgröße dient. Für eine Wahl dieser Meßgröße spricht auch die Aussicht, daß zukünftig neue,

Bild 4. Einige Möglichkeiten der direkten oder indirekten Ein- bzw. Zwei-Größen-Tiefenregelung bei Anbaupflügen. (Kombinationen von direkten und indirekten Tiefenregelungen sind auch möglich, aber hier nicht aufgeführt.)

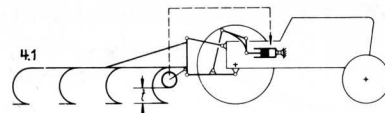


Bild 4.1. Direkte Ein-Größen-Tiefenregelung, ein Tastrad.

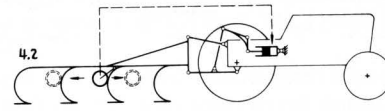


Bild 4.2. wie Bild 4.1.

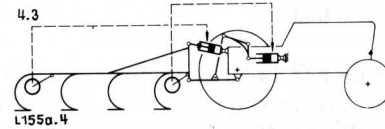


Bild 4.3. Direkte Zwei-Größen-Tiefenregelung, zwei Tasträder.

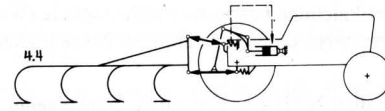


Bild 4.4. Indirekte Ein-Größen-Tiefenregelung, Ober- oder Unterlenker-Kraftregelung.

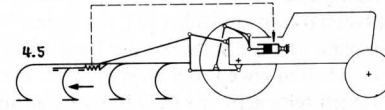


Bild 4.5. Indirekte Ein-Größen-Tiefenregelung, Längskraftregelung.

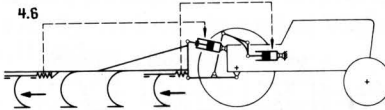


Bild 4.6. Indirekte Zwei-Größen-Tiefenregelung, Längskraftregelung. Erklärungen im Text

möglicherweise berührungslose Verfahren zum Messen der Pflugtiefe benutzt werden können; dann ließe sich das Regelungssystem in konstruktiver Hinsicht wesentlich vereinfachen, da kein Tastrad erforderlich wäre. Vor allem die Verfahren, bei denen Ultraschallwellen oder ein Laserstrahl als Informationsträger dienen – und die man bereits zum Messen von Längen (Abständen, Entfernungen) verwendet [4; 5] –, würden sich dazu eignen, Meßsysteme zu schaffen, die den zu stellenden Forderungen genügen; allerdings sind (sowohl in preislicher als auch in funktioneller Hinsicht) noch mehrere Schwierigkeiten zu überwinden, bevor man solche Systeme auch an Landmaschinen einsetzen kann.

Für ein System zur direkten Tiefenregelung spricht auch der zu erwartende Übergang zu höheren Arbeitsgeschwindigkeiten. Außerdem können sich bei lenkerkraftgeregelten Systemen die durch bewegte Massen verursachten Kräfte als Störgrößen auswirken; diese Kräfte nehmen mit der Fahrgeschwindigkeit zu. Es wird schwierig sein, solche Systeme bei ausreichender Dynamik für den praktischen Betrieb zu stabilisieren bzw. die nicht erwünschten, durch bewegte Massen hervorgerufenen Kräfte zu kompensieren [6]. Der Grund hierfür ist vor allem die Tatsache, daß mit wachsender Arbeitsgeschwindigkeit die Kreisverstärkung im Hinblick auf die Stabilität herabgesetzt, im Hinblick auf eine möglichst gute Tiefenführung jedoch erhöht werden muß.

Ausgehend von diesen Überlegungen und aufbauend auf den Erfahrungen, die über ein elektrohydraulisches System zur Ein-Größen-Tiefenregelung [7] bereits vorliegen, wurde ein elektrohydraulisches System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung entwickelt. Es umfaßt zwei Regelkreise; je ein Tastrad am vorderen und am hinteren Pflugkörper dienen zum Messen der Regelgrößen. Zu dem Regelkreis, der dem hinteren Pflugkörper zugeordnet ist, gehört – anstatt

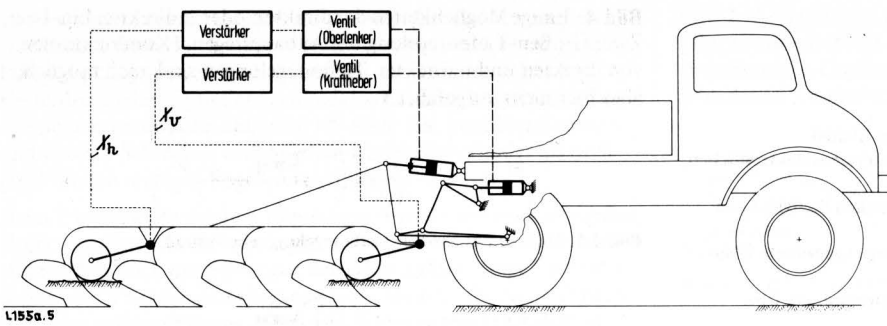


Bild 5. Elektrohydraulische Zwei-Größen-Tiefenregelung bei einem vierscharigen Anbaupflug.
Symbole gemäß Tafel 1

des oberen Lenkers im Dreipunktgestänge – ein elektrohydraulisch gesteuertes Stellglied, **Bild 5**.

Bei dem System nach Bild 5 wird das Dreipunktgestänge nicht, wie beispielsweise beim System nach Bild 2, zwangsgeführt. Vielmehr ist sowohl dem Kraftheber als auch dem zusätzlichen Stellglied jeweils ein Freiheitsgrad zugeordnet. Deshalb hat auch der Pflug zwei auf eine Vertikalebene bezogene Freiheitsgrade (Winkel und Höhe), die sich in jeweils einem bestimmten Bereich ändern lassen.

Die beiden Tastrollen betätigen kapazitive Winkelgeber, deren Ausgangsgröße jeweils ein der Meßgröße proportionaler Gleichstrom ist. Die Ausgangssignale der beiden Geber werden elektronischen Dreipunktverstärkern zugeführt [8]. An diesen Verstärkern lassen sich die Totzonen und die Sollwerte der Regelgrößen einstellen. Die Verstärker schalten jeweils ein Magnetventil. Der strukturelle Aufbau der Regelkreise geht aus dem Blockschaltbild nach **Bild 6** hervor.

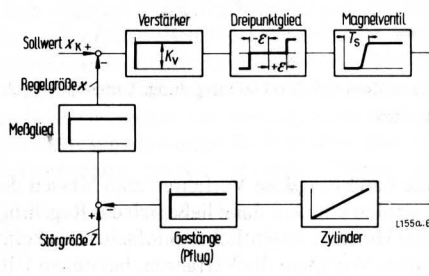


Bild 6. Blockschaltbild der elektrohydraulischen Regelkreise.
Symbole gemäß Tafel 1

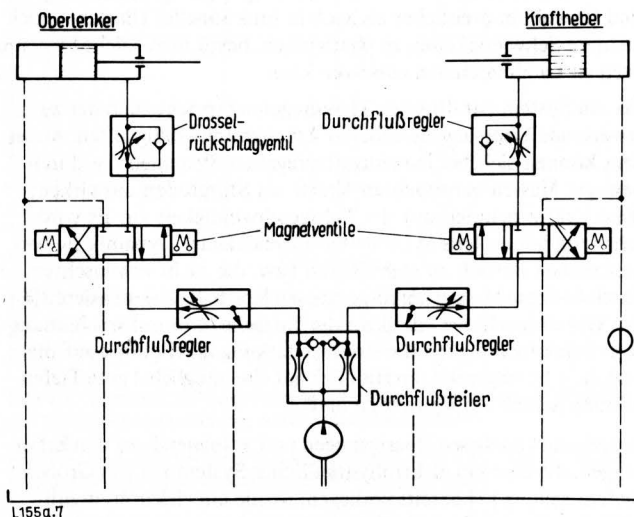


Bild 7. Hydraulische Anlage für das elektrohydraulische System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung nach Bild 6.
Erklärungen im Text

Bild 7 zeigt das zugehörige hydraulische System. Dieses mußte so ausgelegt werden, daß beide Regelkreise gleichzeitig und unabhängig voneinander arbeiten können. Der von der Hydraulik-Anlage des Schleppers gelieferte Ölstrom wird einem Stromteiler zugeführt; er teilt ihn im Verhältnis 2 : 1. Der größere Ölstrom ist dem Kraftheber, der kleinere Ölstrom dem Oberlenkerzylinder zugeordnet. Beide Zylinder werden einseitig beaufschlagt. Mit Hilfe von Drei-Wege-Stromreglern und einstellbaren Drosselrückschlagventilen lassen sich die Hub- und Senkgeschwindigkeiten der Zylinder einstellen.

4. Systemanalytische Betrachtungen

Bild 8 zeigt das Blockschaltbild des Systems zur Zwei-Größen-Regelung; dieses wurde, ausgehend vom System gemäß Bild 3, entwickelt. Die beiden Regelkreise sind sowohl über die beiden Koppelglieder mit den Übertragungsfaktoren K_{vh} und K_{hv} als auch über das Gesamtsystem miteinander verkoppelt. Die direkte Kopplung über die Koppelglieder hängt nur von den Abmessungen des Pflugs und denen des Dreipunktgestänges ab. Sie läßt sich deshalb, wenn man ihr Verhalten linearisiert, durch einfache Proportionalglieder ohne Verzögerung beschreiben. Die Struktur der Kopplung beider Regelkreise über das Gesamtsystem ist weitaus komplizierter.

Am schwingungsfähigen System Schlepper – Pflug greifen sowohl die äußeren Störgrößen Z_1 , Z_2 und Z_5 als auch Kräfte an, die durch Stellvorgänge in den Regelkreisen bedingt sind. Die stellgrößenabhängigen Kräfte werden durch bewegte Massen oder durch Reibung verursacht. Die räumliche Lage des ebenen Systems Schlepper – Pflug ist dann mit den beiden Koordinaten z_{Schl} und φ_{Schl} eindeutig bestimmt, wenn keine Relativbewegung zwischen dem Schlepper und dem Pflug auftritt. Die durch diese Koordinaten beschriebenen Bewegungen des Systems werden durch Proportionalglieder auf die Regelungs-systeme übertragen. Eine translatorische Bewegung in vertikaler Richtung greift über das Glied mit der Übertragungsfunktion K_z in gleicher Weise in beide Regelkreise ein. Die Auswirkung einer Nickbewegung auf einen der beiden Regelkreise hingegen weicht von der auf den anderen Regelkreis ab; dies wird durch die voneinander verschiedenen Übertragungsfunktionen K_{φ_v} und K_{φ_h} von zwei Übertragungsgliedern erfaßt.

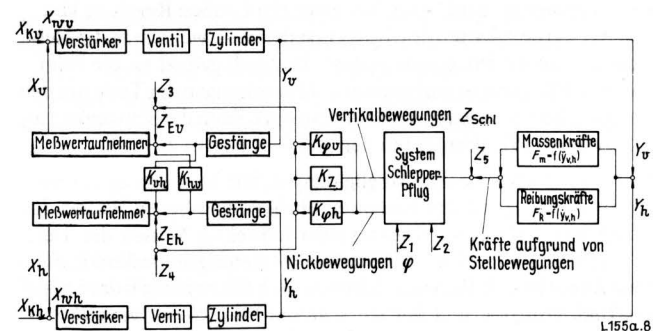
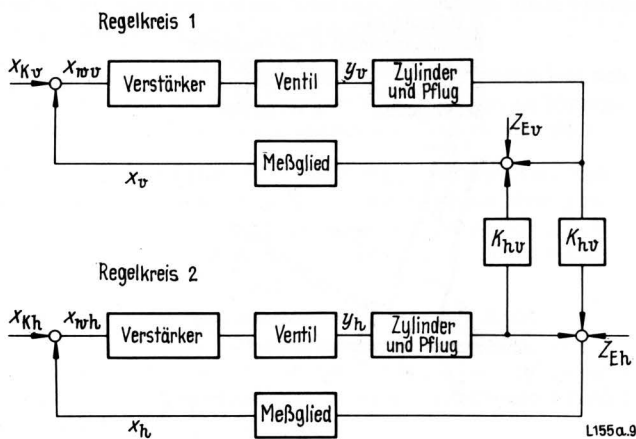


Bild 8. Blockschaltbild des gesamten Systems „Schlepper – Pflug – Regelkreise“.
Symbole gemäß Tafel 1

Bild 9. Vereinfachtes Blockschaltbild des Systems zur Zwei-Größen-Tiefenregelung.

Symbole gemäß Tafel 1



Für eine angenäherte Analyse kann man diese Einflüsse in zwei Anteile zerlegen. Einen der beiden Anteile verursachen die Störgrößen Z_1, Z_2 und Z_5 , die von außen auf das System einwirken. Dieser Anteil läßt sich, jeweils zusammen mit den Störungen Z_3 bzw. Z_4 , als Ersatzstörgrößen auffassen; dann ergibt sich, **Bild 9**, ein vereinfachtes Blockschaltbild eines Systems, das man zum Simulieren und Optimieren verwenden kann. Der andere, durch Stellvorgänge in den Regelungssystemen verursachte Anteil muß bei einer exakten Ersatzschaltung durch komplizierte Übertragungsfunktionen für die Koppelglieder und das Gestänge berücksichtigt werden. Die Auswirkungen dieses Anteils sind aber nicht so wesentlich wie die der anderen Einflüsse; er läßt sich nur mit Hilfe von Kreiseln und anschließenden Korrelationsrechnungen genau ermitteln [9]. Da entsprechende Meßeinrichtungen nicht zur

Verfügung standen, wurden aus den gemessenen Größen x_w und y die auf das System einwirkenden Ersatzstörgrößen Z_{Ev} und Z_{Eh} mit dem Analogrechner berechnet. Hierzu diente das im vereinfachten Blockschaltbild nach **Bild 9** erfaßte System, bei dem die Koppelglieder und das Gestänge konstante Übertragungsfaktoren haben. L 155 a

Schrifttum

- [1] Cowell, P.A., u. S.C. Len: Field performance of tractor draught control systems. J. agric. Engng. Res. (1967) Nr. 12 (3), S. 205/21.
- [2] Krause, R.: Die Zug- und Lenkfähigkeit schwerer Radschlepper mit Regelhydraulik beim Arbeiten mit Anbau- und Aufsattel-pflügen sowie die Tiefen- und Seitenführung der Pflüge. Grundl. Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 4, S. 132/42.
- [3] Cowell, P.A.: Automatic control of tractor mounted implements. Pap. No. 12 of the Conference on Agricultural and Allied Industrial Tractors. London, October 1970.
- [4] Bohnen, H.D.: Verfahren der Ultraschallortung in Luft, im Straßenverkehr, Bergbau und Hüttenbetrieb. Diss. TH Aachen 1966.
- [5] Optoelektronischer Entfernungsmesser mit GaAs-Diode. Elektronik Bd. 19 (1970) Nr. 8, S. 266.
- [6] Dwyer, M.: The dynamic performance of tractor implement combinations. Pap. No. 8 of the Conference on Agricultural and Allied Industrial Tractors. London 1970.
- [7] Hesse, H., u. R. Möller: Experimentelle und simulierte Untersuchung eines elektrohydraulischen Pflugregelungssystems. Grundl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 5, S. 177/84.
- [8] Hesse, H., u. R. Möller: Ein elektrohydraulisches System zur Regelung der Arbeitstiefe von Schlepperanbaupflügen. ölhydraulik u. pneumatik Bd. 13 (1969) Nr. 9, S. 425/30.
- [9] Schlitt, H.: Systemtheorie für regellose Vorgänge. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1960.

Die Breitsaat des Getreides mit pneumatisch beschickten Säscharen

Von Jürgen Mahlstedt und Hermann J. Heege, Bonn*)

DK 631.331.1.024.032.2.001.5

Die Breitsaat des Getreides ergibt eine gleichmäßigere Kornverteilung über die Fläche als die bisher übliche Drillsaat. Daher sind im Vergleich zu Drillsaaten Mehrerträge zu erwarten, wenn durch die Breitsaat zugleich eine genaue Tiefenablage der Körner erreicht wird. Verwendet man für die Breitsaat pneumatisch beschickte Gänsefußschare, so kommt die Genauigkeit der Tiefenablage derjenigen von Drillmaschinen mit Schleppscharen gleich.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg, stellte dankenswerterweise die Mittel für diese Arbeit zur Verfügung.

*) Dr. agr. Jürgen Mahlstedt war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik der Universität Bonn und ist jetzt wissenschaftlicher Angestellter der Abteilung Beratung Pflanzenschutz der Farbenfabriken Bayer AG in Leverkusen; Prof. Dr. agr. Hermann J. Heege, MSAE, ist am Institut für Landtechnik der Universität Bonn tätig.

1. Einführung

Die bisher vorherrschende Drillsaat liefert eine ungünstigere Kornverteilung über die Fläche als eine Breitsaat. Sofern keine wesentlichen Unterschiede in der Gleichmäßigkeit der Kornbedeckung mit Erde vorliegen, erbringt eine Breitsaat deshalb höhere Erträge als die Drillsaat. In eigenen Feldversuchen lieferten Breitsaaten unter dieser Voraussetzung im Durchschnitt gegenüber Drillsaaten mit 15 cm Reihenweite einen Kornmehrertrag von 7,6% [1]. Gleichartige Feldversuche in verschiedenen Ostblockländern [2 bis 4] ergaben noch größere Kornmehrerträge.

Bei den derzeit sporadisch angewandten Breitsaatverfahren wird das Saatgut mit Fräsen, Wälzegenen oder Zinkenegenen in den Boden eingerührt. Dies führt zu einer wesentlich ungleichmäßigeren Tiefenlage der Körner als die Ablage durch Drillschare. Die oben genannte Voraussetzung ist somit nicht erfüllt. Im Vergleich zu Drillsaaten erhält man bei eingerührten Breitsaaten einen geringeren Aufgang [1] und zudem noch einen ungleichmäßigeren Pflanzenbestand, da die Körner wegen der ungleichmäßigen Tiefenlage in einer längeren Zeitspanne auflaufen. In eigenen Feldversuchen mit Sommergetreide lieferten eingerührte Breitsaaten im Vergleich zu Drillsaaten mit