

# Eine elektrohydraulische Zwei-Größen-Tiefenregelung für große Schlepperanbaupflüge

## Teil 2: Systemverhalten, Versuchsergebnisse

Von Horst Hesse und Rudolf Möller, Braunschweig\*)

DK 631.312.4.072.1.021 – 531.1 – 523.3

Anbaupflüge mit großen Abmessungen, die mit einem neuentwickelten elektrohydraulischen System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung ausgerüstet sind, haben ein wesentlich günstigeres Regelverhalten als Pflüge mit herkömmlichen Regelungssystemen. Wie Versuche zeigten, gilt diese Aussage sowohl für sprungförmige als auch für regellose Störgrößen. Bei regellosen Störgrößen (Zufallsgrößen) beträgt die Verbesserung der Tiefenhaltung des hinteren Pflugkörpers eines vierscharigen Anbaupfluges beim Zwei-Größen-Regelungssystem (gegenüber einem Ein-Größen-Regelungssystem) etwa 60 %, wenn man beim Bewerten den Betragsmittelwert der Regelabweichung als Kriterium benutzt. Mit Hilfe der spektralen Dichten der Störgrößen und der Regelabweichungen läßt sich der Einfluß des dynamischen Systemverhaltens auf die Regelgüte bestimmen.

## 5. Versuchsbeschreibung und Versuchsergebnisse

### 5.1. Verhalten der Zwei-Größen-Regelung bei sprungförmigen Störungen

Bei üblichem Betrieb wirken regellose Störungen auf das Regulationssystem ein. Hierbei ist es schwierig, die Wirkungsweise der Regelung unmittelbar zu erkennen. Deshalb wurden zunächst auf einem geebneten Acker stufenförmige Unebenheiten geschaffen. Sie sollten dazu dienen, das unter definierten Versuchsbedingungen zu beobachtende Verhalten des Systems zur Zwei-Größen-Tiefenregelung zu veranschaulichen. Bild 10 zeigt die Bewegungsbahnen des vorderen und des hinteren Pflugkörpers, die bei einer Ein- und einer Zwei-Größen-Regelung beim Überfahren von 12 cm hohen Stufen („Abwärts“- , „Aufwärts“- sowie „Ab- und Aufwärts“-Stufe) zu beobachten sind. Der dem vorderen Pflugkörper zugeordnete Regelkreis war stets wirksam (eingeschaltet). Die Bewegungsbahnen des hinteren Pflugkörpers wurden sowohl für eine Ein- als auch für eine Zwei-Größen-Regelung aufgenommen. Aus der wegabhängigen Darstellung geht hervor, daß der Regelvorgang am vorderen Pflugkörper und der am hinteren Pflugkörper nahezu am gleichen Ort einsetzen, wenn beide Regelkreise wirken. Wird hingegen nur die dem vorderen Pflugkörper zugeordnete Tiefe geregelt, dann fallen die Bewegungsvorgänge am vorderen und am hinteren Pflugkörper zeitlich zusammen. Ein Vergleich beider Systeme zeigt, daß durch eine Zwei-Größen-Regelung die Tiefenhaltung des hinteren Pflugkörpers (gegenüber der bei einer Ein-Größen-Regelung) wesentlich verbessert wird.

Bei den Versuchen, deren Ergebnis Bild 10 wiedergibt, waren beide Regelkreise auf eine effektive Totzone von 3 cm eingestellt.

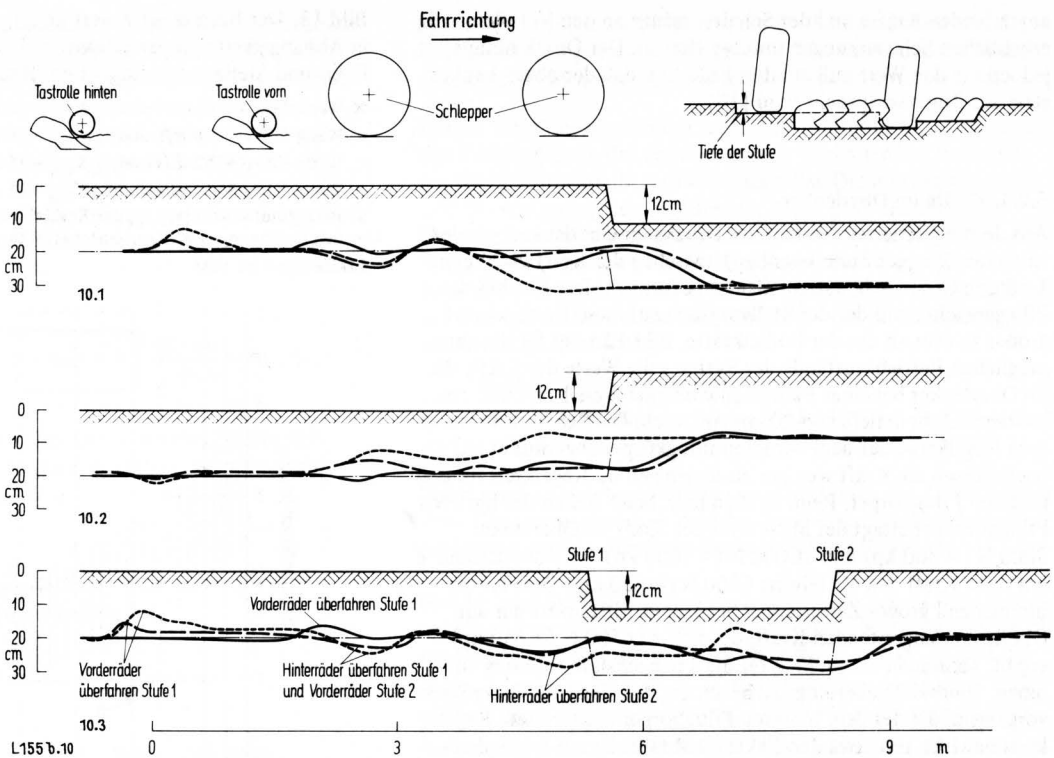
### 5.2. Verhalten der Zwei-Größen-Regelung bei regellosen Störungen

Um das Systemverhalten unter üblichen Betriebsbedingungen beurteilen zu können, wurden Versuche auf einem unvorbereiteten Stoppelacker bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten, Totzonen und Stellgeschwindigkeiten der Zylinder vorgenommen. Zum Aufzeichnen der den Regelgrößen, den Stellgrößen, den Schaltvorgängen in den Magnetventilen und dem Druck im Oberlenkerzylinder zugeordneten Meßwerte diente ein Magnetband.

Bild 11 zeigt den zeitlichen Verlauf einiger dieser Größen während des Betriebs. Im Hinblick auf einen Vergleich der einzelnen Versuchsergebnisse wurden – mit den Bezeichnungen nach Tafel 1 – die Stellgrößen  $y_v$  und  $y_h$  mit den Übertragungsfaktoren  $K_{Gv}$  und  $K_{Gh}$  des Gestänges zwischen dem Stellglied und der Meßstelle multipliziert; dies ermöglicht ein Beurteilen der Auswirkungen der Stellgrößen. Trotz der Zwei-Größen-Regelung sind nach Bild 11 die Tiefenschwankungen am hinteren Pflugkörper größer als die am vorderen Pflugkörper. Dies kann man einerseits dadurch erklären, daß sich Nickschwingungen des Schleppers auf den hinteren Pflugkörper stärker als auf den vorderen Pflugkörper auswirken. Anderer-

Teil 1: Vgl. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 3, S. 75/79.

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



**Bild 10.1.**  
Verhalten beim Überfahren einer „Abwärts“-Stufe.

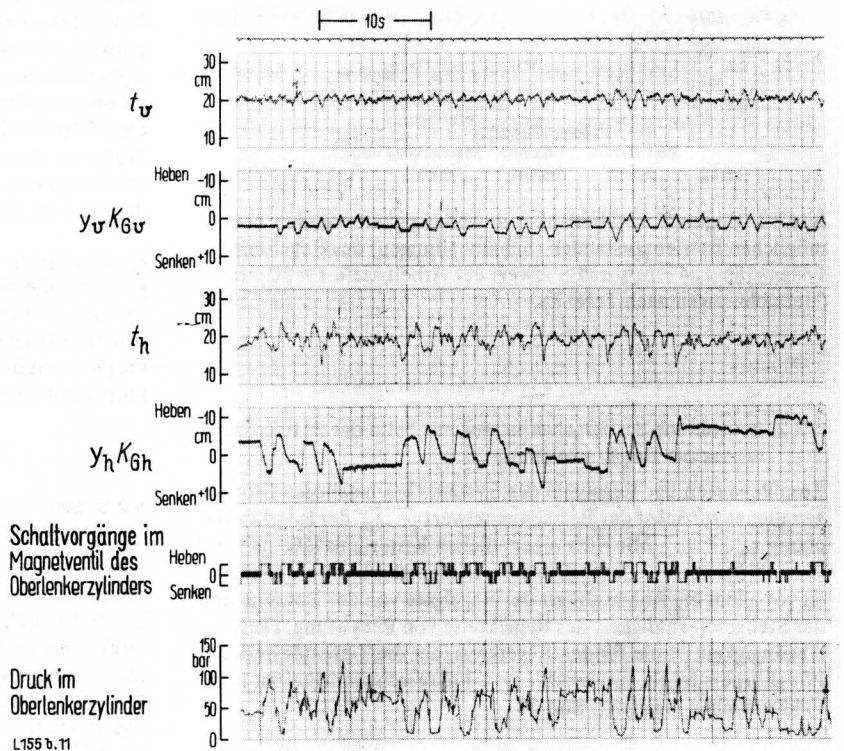
**Bild 10.2.**  
Verhalten beim Überfahren einer „Aufwärts“-Stufe.

**Bild 10.3.**  
Verhalten beim Überfahren einer „Abwärts“- und „Aufwärts“-Stufe.

**Bild 10.** Übergangsvorgänge am vorderen und hinteren Pflugkörper bei einem vierscharigen Anbaupflug; Verlauf bei einer Ein- oder Zwei-Größen-Tiefenregelung und sprungförmigen Störungen für  $2\epsilon/CK_{Vv} = 2\epsilon/CK_{Vh} = 3$  cm und  $v_F \approx 1$  m/s (Bezeichnungen nach Tafel 1).

- Arbeitstiefe des vorderen Pflugkörpers, stets geregelt
- - - Arbeitstiefe des hinteren Pflugkörpers, wenn sie geregelt wird
- · · · Arbeitstiefe des hinteren Pflugkörpers, wenn sie nicht geregelt wird
- - - Sollwert der Arbeitstiefe:  $t = 20$  cm

**Bild 11.** Den Regelgrößen, den Stellgrößen, den Schaltvorgängen in den Magnetventilen und dem Druck im Oberlenkerzylinder zugeordnete, im Feldversuch ermittelte Meßwerte für  $v_F = 1$  m/s,  $2\epsilon/CK_{Vv} = 2\epsilon/CK_{Vh} = 3$  cm und  $y_v K_{Gv} = y_h K_{Gh} = 15$  cm/s (Bezeichnung nach Tafel 1).



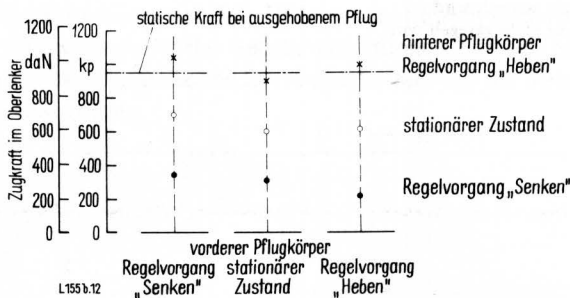
seits ist hierbei auch die Größe der Koppelfaktoren  $K_{vh}$  und  $K_{hv}$  wichtig: Da die Ungleichung  $K_{vh} > K_{hv}$  gilt, greift ein Regelvorgang in dem Regelkreis, der dem vorderen Pflugkörper zugeordnet ist, stärker in den dem hinteren Pflugkörper entsprechenden Regelkreis ein als umgekehrt. Ein Vergleich der beiden Stellgrößen zeigt,

daß der dem hinteren Pflugkörper zugeordnete Regelkreis sehr viel größere Wege als der dem vorderen Pflugkörper zugeordnete Regelkreis ausregeln muß. Trotzdem wird nicht die gleiche Regelgüte erreicht. Aus dem Oszillogramm geht hervor, daß der Druck im Oberlenkerzylinder – infolge der veränderlichen, am Pflug

angreifenden Kräfte und der Schaltvorgänge an den Ventilen – erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Der Druck nimmt jedoch nie den Wert null an; dies bedeutet, daß der obere Lenker stets auf Zug beansprucht wird [10].

### 5.2.1. Kräfte im Oberlenker

Aus dem registrierten Verlauf des Drucks im Oberlenkerzylinder ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Kraft im oberen Lenker und der Arbeitstiefe nicht zu erkennen. Der Einfluß des Pfluggewichts und der der Stellvorgänge auf diese Kraft scheint größer zu sein als der der Bodenkräfte. Bild 12 zeigt für die neun möglichen Betriebszustände des Systems die Werte der Kraft, die im Oberlenker bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s und einer mittleren Arbeitstiefe von 20 cm auftreten. Die Schaltzustände in dem Regelkreis, der dem vorderen Pflugkörper zugeordnet ist, beeinflussen die Kraft weniger als diejenigen im Regelkreis für den hinteren Pflugkörper. Beim Senken bzw. beim Heben des hinteren Pflugkörpers beträgt der Mittelwert der Kraft im Oberlenker 3000 N ( $\approx 300$  kp) und 10000 N ( $\approx 1000$  kp); im Ruhezustand hat diese Kraft den Mittelwert 6500 N ( $\approx 650$  kp). Den auf ein hinreichend großes Zeitintervall bezogenen Mittelwert der am Oberlenker angreifenden Kraft, der sich zu 6500 N ( $\approx 650$  kp) ergibt, kann man als ein Maß für die Triebachslasterhöhung ansehen. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß diese Kraft bei Senk- und Hebevorgängen, die der dem hinteren Pflugkörper zugeordnete Regelkreis bewirkt, um etwa den Faktor 2 abfällt. Da solche Senk- und Hebevorgänge nur in einem Zeitintervall auftreten, dem rd. 25 % der gesamten Betriebszeit entsprechen, haben sie für eine Gesamtbilanz hinsichtlich der Triebachslasterhöhung keine große Bedeutung.



**Bild 12.** Zugkraft im Oberlenker in Abhängigkeit von den neun möglichen Betriebszuständen (Schaltstellungen) des Regelungs-systems für  $v_f = 1$  m/s und Sollwert der Arbeitstiefe  $t = 20$  cm (Bezeichnungen nach Tafel 1).

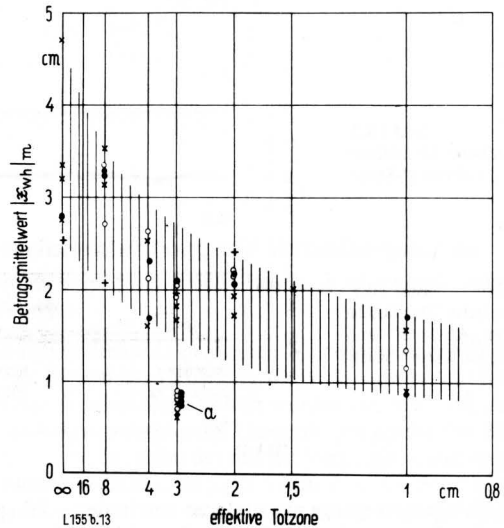
### 5.2.2. Beurteilung des Regelverhaltens mit Hilfe des Betragsmittelwertes der Regelabweichung

Zum Bewerten der Regelgüte des Systems bei regellosen Störungen diene zunächst der Betragsmittelwert  $|x_w|_m$  der Regelabweichung  $x_w$  [7; 11]. Mit Hilfe eines solchen Kriteriums läßt sich der Einfluß der verschiedenen Systemvariablen abschätzen. Hierbei ist vor allem die Abhängigkeit der Regelgüte von der Totzone und der Stellgeschwindigkeit der Regelkreise von Bedeutung. Diese Abhängigkeit wurde für den Regelkreis, der die Tiefe des hinteren Pflugkörpers regelt, für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten in Feldversuchen ermittelt, Bild 13.

Nach Bild 13 werden die Tiefenschwankungen mit abnehmender Totzone kleiner. Ein ausgeprägtes Minimum wird allerdings nicht erreicht; es scheint jedoch möglich zu sein, die Tiefenschwankungen noch weiter herabzusetzen, wenn man die effektive Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} < 1$  cm macht. Gegenüber der Ein-Größen-Regelung – der eine effektive Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} = \infty$  entspricht – wird der

**Bild 13.** Der Betragsmittelwert  $|x_{wh}|_m$  der Regelabweichung  $x_{wh}$  in Abhängigkeit von der effektiven Totzone bei verschiedenen Fahr- und Stellgeschwindigkeiten (Bezeichnungen nach Tafel 1).

- × Werte für  $v_f = 1$  m/s und  $\dot{y}_h K_{Gh} = 15$  cm/s
  - Werte für  $v_f = 1,6$  m/s und  $\dot{y}_h K_{Gh} = 15$  cm/s
  - + Werte für  $v_f = 2,2$  m/s und  $\dot{y}_h K_{Gh} = 15$  cm/s
  - Werte für  $v_f = 1,6$  m/s und  $\dot{y}_h K_{Gh} = 25$  cm/s
- a Betragsmittelwert  $|x_{wv}|_m$  der Regelabweichung  $x_{wv}$  unter den angegebenen Bedingungen bei konstanter effektiver Totzone (3 cm)



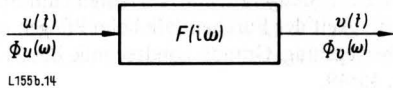
Betragsmittelwert durch die Zwei-Größen-Regelung bei einer effektiven Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} = 1$  cm auf etwa 40 % reduziert; der Betragsmittelwert ergibt sich bei einer solchen effektiven Totzone im Mittel zu 1,3 cm. Bezogen auf eine Solltiefe von 20 cm entspricht dies einem Fehler von nur 6,5 % gegenüber 16 % bei der Ein-Größen-Regelung. Außerdem geht aus den eingetragenen Meßpunkten hervor, daß die Regelgüte mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit abnimmt. Die Gründe hierfür sind die Zunahme der Störgrößen-Amplituden mit steigenden Fahrgeschwindigkeiten und das Tiefpaßverhalten der Regelungssysteme. Auf Grund der vorliegenden Versuchsergebnisse läßt sich aber kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Stellgeschwindigkeit des Oberlenkerzylinders und der Regelgüte nachweisen.

Zum Vergleich wurden auch die Betragsmittelwerte  $|x_{wv}|_m$  eingetragen, die sich bei einer konstanten effektiven Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} = 3$  cm ergaben. Aus Bild 13 geht hervor, daß sogar bei einer effektiven Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} = 1$  cm am hinteren Pflugkörper nicht die Regelgüte erreicht wird wie am vorderen Pflugkörper mit einer effektiven Totzone  $2\epsilon/CK_{vh} = 3$  cm.

### 5.2.3. Bewertung des Regelungsverhaltens mit Hilfe der spektralen Dichte der Störung und der Regelabweichung

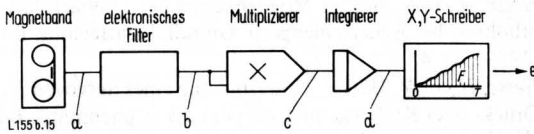
Wenn man das Regelungsverhalten (die Regelgüte) von Pflug-Regelungssystemen unter der Einwirkung regelloser Störgrößen beurteilen will, dann muß unbedingt auch das (bisher nicht beachtete) dynamische Systemverhalten berücksichtigt werden. Eine Darstellung der Regelgüte mit Hilfe von Mittelwerten vermittelt keinen direkten Einblick in das dynamische Verhalten von Systemen. Der Einfluß des dynamischen Verhaltens, der bei regellosen Einflußgrößen zu beobachten ist, läßt sich nur dann ermitteln, wenn man durch eine Frequenzanalyse die spektralen Eigenschaften sowohl der auf die Systeme einwirkenden Störgrößen als auch der beim Regeln auftretenden Regelabweichungen bestimmt. Eine solche Analyse der Störgrößen und der Regelabweichungen wurde vorgenommen. Hierzu war es erforderlich, zunächst für die Ersatzschaltung nach Bild 9 die Störgrößen zu ermitteln. Beim

Berechnen dieser Störgrößen mit einem Analogrechner wurde die gegenseitige Beeinflussung der Regelkreise berücksichtigt, und zwar unter der Annahme, daß die Koppelfaktoren konstant sind. Die so bestimmten Störgrößen entsprechen den Unebenheiten einer Bodenoberfläche, auf der sich der Schlepper als starr gedachtes System bewegt. Den ermittelten Störgrößen entspricht die Summe aller Einflußgrößen, die während des Betriebs die Tiefe der Pflugkörper beeinflussen. Deshalb kann man diese Störgrößen bei einer Simulation des – vom Schlepper getrennten – Regelsystems benutzen.



**Bild 14.** Zusammenhang zwischen der spektralen Dichte der Eingangsgröße und der der Ausgangsgröße bei einem linearen (linearisierten) Übertragungsglied.

- $u(t)$  Eingangsgröße
- $v(t)$  Ausgangsgröße
- $\Phi_u(\omega)$  spektrale Dichte von  $u(t)$
- $\Phi_v(\omega)$  spektrale Dichte von  $v(t)$
- $F(i\omega)$  Frequenzgang des Übertragungsglieds
- $t$  Zeit
- $\omega$  Kreisfrequenz (Zeitfrequenz)
- $i$  imaginäre Einheit



**Bild 15.** Schaltung zum Ermitteln der spektralen Dichte einer regellosen Größe (Zufallsgröße).

- a auf einem Magnetband gespeichertes Zufallssignal  $r(t)$ , das im Zeitbereich Frequenzen im Intervall  $0 \leq \omega < \infty$  enthält
- b Zufallssignal  $r(t)_{\Delta\omega}$ , das dem Bandpaß entsprechend, nur noch Frequenzen aus dem Intervall  $\Delta\omega$  enthält
- c Signal, dem die Größe  $[r(t)_{\Delta\omega}]^2$  entspricht
- d Signal, das dem Integral  $F = \int_0^T [r(t)_{\Delta\omega}]^2 dt$  entspricht, mit  $T$  als der Integrationszeit
- e die dem Intervall  $\Delta\omega$  zugeordnete spektrale Dichte  $\Phi(\Delta\omega) = F/T$

Mit Hilfe der spektralen Dichten, die für die Störgrößen und die Regelabweichungen ermittelt wurden, läßt sich der Einfluß des dynamischen Systemverhaltens auf die Regelgüte bestimmen.

Für ein Regelungssystem mit regellosen Einflußgrößen kann man den Frequenzgang, der das dynamische Verhalten des linearisierten Systems beschreibt, aus den spektralen Dichten der Eingangs- und der Ausgangsgröße bestimmen; dabei geht allerdings die Phaseninformation verloren. Im hier zu betrachtenden Fall ist der Eingangsgröße die jeweilige Störgröße und der Ausgangsgröße die Regelabweichung zugeordnet. Der Frequenzgang läßt sich, **Bild 14**, aus den spektralen Dichten der Eingangs- und der Ausgangsgröße auf Grund der Beziehung

$$\Phi_v(\omega) = |F(i\omega)|^2 \Phi_u(\omega) \quad (2)$$

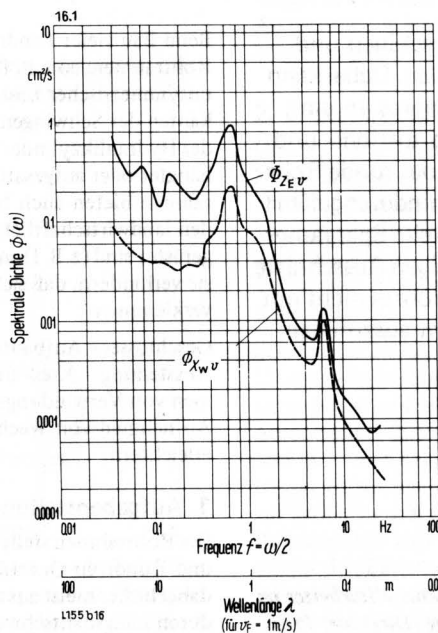
berechnen. Zum Bestimmen der spektralen Dichten der Störgrößen und der Regelabweichungen diente das Verfahren nach **Bild 15**.

Dabei ergeben sich beide Größen als Funktionen der Zeitfrequenz; diese kann man aber, bei Vorgabe der Fahrgeschwindigkeit des Schleppers, auf die Wegfrequenz umrechnen [12 bis 14].

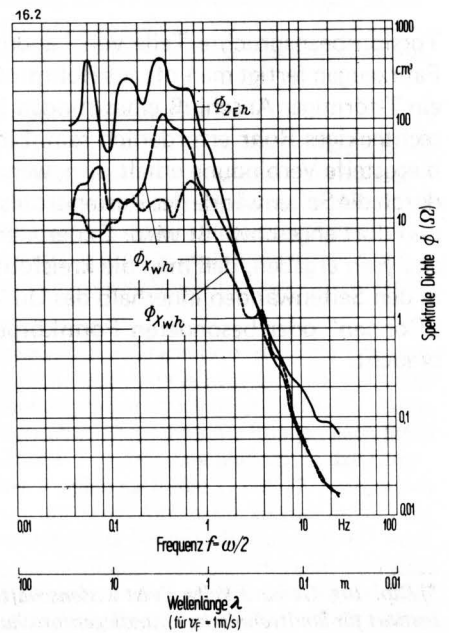
**Bild 16** zeigt die Ergebnisse eines Feldversuchs für die dem vorderen Pflugkörper (Index v) und dem hinteren Pflugkörper (Index h) zugeordneten Regelkreise. Die Größen  $\Phi_{Z_{E_v}}$  und  $\Phi_{Z_{E_h}}$  sind die spektralen Dichten der am jeweiligen Meßort angreifenden Störgrößen. Die Größen  $\Phi_{x_{w_v}}$  und  $\Phi_{x_{w_h}}$  sind die spektralen Dichten der jeweiligen Regelabweichungen. Alle spektralen Dichten haben ein Maximum bei einer Frequenz von 0,7 Hz. Dies entspricht der Eigenfrequenz des Systems Schlepper – Pflug. Der Leistungspegel der dem hinteren Pflugkörper zugeordneten Störgröße liegt über dem der Störgröße, die am vorderen Pflugkörper auftritt. Deshalb weichen auch bei gleicher Einstellung beider Regelkreise in den beiden Regelabweichungen zugeordneten Leistungspegel voneinander ab. Die Wirksamkeit der Regelung drückt sich dadurch aus, daß die spektralen Dichten der beiden Regelabweichungen für Frequenzen unter 4 Hz einen wesentlich kleineren Leistungspegel haben als die entsprechenden Störgrößen; das Verhältnis dieser beiden Leistungspegel beträgt hier etwa 1 : 10. In einem jeweils bestimmten Frequenzbereich, in dem Störungen ausgeregelt werden sollen, nimmt die Wirksamkeit einer Regelung mit dem Faktor zu, um den der Leistungspegel der Regelabweichung gegenüber dem der zugehörigen Störgröße herabgesetzt wird. Die erziel-

**Bild 16.** Spektrale Dichten der Ersatzstörung  $Z_E$  und der Regelabweichung  $x_w$  als Funktionen der Zeitfrequenz  $\omega$  und der Wegfrequenz  $\Omega$  in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$  bzw. der Wellenlänge  $\lambda$  für  $v_F = 1$  m/s (Bezeichnungen nach Tafel 1).

Die spektrale Dichte  $\Phi_{x_{w_h}}$ , die sich für eine effektive Totzone von 1 cm ergibt, wurde aus Vergleichsversuchen ermittelt.



**Bild 16.1.** Spektrale Dichten am vorderen Pflugkörper.



**Bild 16.2.** Spektrale Dichten am hinteren Pflugkörper.

bare Verbesserung nimmt wegen des Tiefpaßcharakters der benutzten Systeme mit steigender Frequenz ab [15].

Bild 16.2. zeigt für den Regelkreis, der dem hinteren Pflugkörper zugeordnet ist, die spektrale Dichte der Regelabweichung für zwei verschiedene Werte der Totzone. Man sieht, daß der Leistungspegel der Regelabweichung mit der Totzone abnimmt. Wenn die den beiden Regelkreisen entsprechenden spektralen Dichten der Regelabweichung der Beziehung  $\Phi_{x_{wv}} \approx \Phi_{x_{wh}}$  genügen sollen, dann muß für die effektiven Totzonen die Ungleichung  $2\epsilon/CK_{vh} < 2\epsilon/CK_{vv}$  erfüllt sein. Beim untersuchten System ist  $\Phi_{x_{wv}} \approx \Phi_{x_{wh}}$  für  $2\epsilon/CK_{vh} = 1$  cm und  $2\epsilon/CK_{vv} = 3$  cm.

\* \* \*

Anbaupflüge mit großen Abmessungen, die mit dem beschriebenen System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung ausgerüstet sind, haben ein wesentlich besseres Regelverhalten als Pflüge mit herkömmlichen Regelungs-Systemen. Eine Untersuchung zeigte, daß dies sowohl für sprungförmige als auch für regellose Störungen gilt. Bei regellosen Störungen beträgt die Verbesserung der Tiefenhaltung des hinteren Pflugkörpers eines vierscharigen Anbaupfluges – bei einem System zur Zwei-Größen-Regelung gegenüber einem solchen zur Ein-Größen-Regelung – etwa 60%, wenn man beim Bewerten den Betragsmittelwert der Regelabweichung als Kriterium benutzt. Die Dynamik der Regelungs-systeme reichte für die bei den Feldversuchen gewählten Fahrgeschwindigkeiten aus; diese müßte jedoch noch verbessert werden, wenn man auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten eine befriedigende Regelgüte erreichen will.

Bei Anbaupflügen mit großen Abmessungen muß vor allem eine Verbesserung der Tiefenführung der hinteren Pflugkörper angestrebt werden. Bei Aufsattelpflügen hingegen ist das Erreichen

einer optimalen Triebachslasterhöhung – die ein Anbaupflug ohnehin bewirkt – besonders wichtig. Deshalb werden gegenwärtig im Institut für landtechnische Grundlagenforschung Systeme untersucht, die dazu dienen, bei Aufsattelpflügen eine optimale Triebachslasterhöhung zu erreichen [16; 17].

### Schrifttum

- [10] *Skalweit, H.*: Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 14 (1964) Nr. 20, S. 53/57.
- [11] *Kuczewski, J.*: Meßgeräte und Verfahren zum Beurteilen der Gleichmäßigkeit der Furchentiefe beim Pflügen ohne und mit Kraftheberregelung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 2, S. 45/49.
- [12] *Giloi, W., u. R. Lauber*: Analogrechner. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1963.
- [13] *Wendeborn, J.O.*: Ein Beitrag zur Verbesserung des Fahrkomforts auf Ackerschleppern. *Fortschr.-Ber. VDI-Z.* Reihe 14 Nr. 8. Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.
- [14] *Braun, H.*: Untersuchungen von Fahrbahnunebenheiten und Anwendung der Ergebnisse. Diss. TH Braunschweig 1969.
- [15] *Özemir, Y., u. R. Möller*: Ermittlung des dynamischen Verhaltens eines nichtlinearen elektrohydraulischen Regelungs-systems. *Grundl. Landtechnik* Bd. 19 (1969) Nr. 6, S. 197/201.
- [16] *Hesse, H., u. R. Möller*: Möglichkeiten der Triebachslasterhöhung bei Ackerschleppern. *Grundl. Landtechnik* Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 119/22.
- [17] *Hesse, H., u. R. Möller*: Untersuchung eines Servoventils für Druck- oder Kraftregelung. *ölydraulik u. pneumatik* Bd. 15 (1971) Nr. 3, S. 104/07. L 155b

## Beitrag zur Konstruktion eines T-förmigen Anschlusses eines Rundrohres an ein Rechteckrohr mit Torsionsbelastung

Von Gerhard Vellguth, Braunschweig-Völkenrode\*)

DK 531.232:539.414.014.1:629.118.7.011.38:631.3

Torsionsbeanspruchte Teile von Landmaschinen und Fahrzeugen fertigt man oft aus Rohrprofilen. Dabei kann ein T-förmiger Anschluß eines runden Rohres an ein rechteckiges Rohr erforderlich sein. Eine torsions- und biegesteife Verbindung erhält man, wenn das runde Rohr durch die Seitenwände des Kastenprofils hindurchgeführt und dort angeschweißt wird. Experimentelle Spannungsanalysen ergaben, daß man die kreisförmigen Ausschnitte in den Seitenwänden innerhalb des Querrohres nicht mit „Ronden“ oder besonderen Formkörpern auszufüllen braucht.

Beim Bau vieler Landmaschinen verwendet man Rohrprofile und Rohrrahmen, so z.B. für die Schwingen von Frontladern (um bei unsymmetrischer Last oder schiefer Stellung des Laders ein Verkippen der Schwingenlager zu vermeiden und um den Gleichlauf der Hydraulikzylinder zu unterstützen) oder für die Rahmen angehängter oder aufgesattelter Werkzeuge. Verwindungssteife Rohrrahmen bieten auch bei selbstfahrenden Landmaschinen und bei den landwirtschaftlichen Anhängern, die mit Arbeitsorganen ausgerüstet sind (z.B. Dungstreuern, Pickup, Rollboden) Vorteile, weil sie verhindern, daß sich Lager und Führungen dieser Arbeitsgeräte verklebmen.

Geschlossene Aufbauten von Möbel-, Sanitäts-, Funk-, Konferenz-, Ausstellungs-, Kühl- und Tankwagen kann man durch solche Rahmen von Verwindungskräften entlasten, und das Absetzen und Aufnehmen von Wechselaufbauten auf unebenen Standflächen erleichtern.

### 1. Aufgabenstellung

Die Rohrrahmen stellt man vielfach aus Rechteckrohr-Längsträgern und Rundrohr-Querträgern her. Das Rechteck-Rohrprofil wird dabei bisher meist aus zwei gepreßten oder kaltgewalzten U-Profilen durch Längsnahtschweißung gebildet. Solche Rohre gestatten es, den Querschnitt, z.B. über dem Drehschemel von Anhängern, zu verjüngen oder ihn in Gebieten erhöhter Belastungen zu vergrößern.

\*) Dipl.-Ing. Gerhard Vellguth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.