

1. Aufgabengröße

Als Aufgabengröße einer Regelung gilt diejenige Größe, deren Beeinflussung gemäß der gestellten Aufgabe Ziel der Regelung ist (TGL 14591). Für die Durchsatzregelung bei MD sind es vor allem Kennwerte der Arbeitsgüte, die als Aufgabengröße in Betracht kommen. Wichtigstes Merkmal der Arbeitsgüte dürfte die jeweilige Höhe der Körnerverluste sein. Insbesondere die Körnerverluste am Dreschwerk und hier wiederum die Schüttlerverluste sind es, die die Leistungsfähigkeit des MD begrenzen. Annahme- und Durchlaßvermögen der einzelnen Förder- und Arbeitsorgane sowie die Leistung des Antriebsmotors reichen gewöhnlich aus, jeden MD so hoch zu belasten, daß seine Dreschwerkverluste Werte von 5 bis 10% und darüber erreichen.

Es wäre falsch, in diesem Zusammenhang von einer Überdimensionierung beispielsweise des Antriebs zu sprechen. Bei gleicher Höhe der Dreschwerkverluste kann der mittlere Antriebsbedarf des größten Energieverbrauchers, der Dreschtrommel, je nach Beschaffenheit des Dreschgutes und der dafür erforderlichen Maschineneinstellung, insbesondere der Dreschspaltweite, Unterschiede von ± 10 bis 15% aufweisen. Auch der Fahrtrieb stellt in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit (Ertrag), Bunkerfüllung, Bodenverhältnissen und Geländeneigung unterschiedliche Anforderungen an die Motorleistung. Die für ungünstige Arbeitsbedingungen vorhandene Leistungsreserve des Motors reicht aus, den Durchsatz bei durchschnittlichen Arbeitsbedingungen so weit zu steigern, daß zumindest die Schüttlerverluste unzulässig hohe Werte erreichen (Bild 1). Eine Durchsatzregelung, bei der die Belastung des Mähdreschermotors Regelgröße ist [1] [2], hat daher nur die Bedeutung, bei extrem ungünstigen Arbeitsbedingungen Motorüberlastungen auf dem Wege einer Durchsatzbegrenzung zu vermeiden. Der für die jeweiligen Arbeitsbedingungen optimale Durchsatz und damit der erforderliche Antriebsbedarf lassen sich bei vorgegebener Höhe der zulässigen Körner-

verluste lediglich aus der Arbeitscharakteristik des Dreschwerks bestimmen [3].

Da die Höhe der Dreschwerkverluste vor allem durch die Schüttlerverluste bestimmt wird, stellen die Schüttlerverluste eine geeignete Aufgabengröße dar. Als Regelungsaufgabe ergibt sich daraus, daß der Durchsatz des MD den jeweiligen Arbeitsbedingungen selbsttätig so anzupassen ist, daß die Schüttlerverluste einen bestimmten vorgegebenen Wert einhalten. Im praktischen Betrieb sollte dieser Wert möglichst erreicht werden, um eine genügende Flächenleistung des MD zu garantieren.

2. Regelgröße und Meßort

Eine unmittelbare und stetige oder häufig wiederholte absatzige Messung der Schüttlerverluste ist mit vertretbarem Aufwand kaum zu erreichen. Als Regelgröße ist deshalb eine Größe zu wählen, die mit den Schüttlerverlusten in einem eindeutigen Zusammenhang steht und sich gut messen läßt. Dieser Forderung entspricht die Körnerabscheidung im Endabschnitt des Strohschüttlers [3]. Allerdings ergibt sich bei Verwendung der Schüttlerabscheidung als Regelgröße eine Streckentzeit von 10 bis 12 s, die regelungstechnisch nur schwer lösbare Probleme aufwirft. Um ein günstigeres Verhalten der Strecke zu erreichen, wurde für den versuchsmäßigen Aufbau einer Durchsatzregelung das Antriebsmoment der Dreschtrommel als Regelgröße gewählt. Die Totzeit verringerte sich damit auf rd. 2 s, allerdings auf Kosten der Straffheit des Zusammenhangs zwischen Aufgaben- und Regelgröße. Dieser Nachteil ließe sich durch eine Führungsregelung beseitigen, bei der die Schüttlerabscheidung als Führungsgröße dient. Auf jeden Fall müssen beim Betrieb einer Durchsatzregelung, bei der das Dreschtrommel-Antriebsmoment als Regelgröße dient, die Schüttlerverluste zur Sollwertvorgabe ständig oder in hinreichend kurzen Zeitabständen erfaßt werden.

3. Stellgröße und Stellort

Zur Veränderung des Durchsatzes, wenn Schnitthöhe und Arbeitsbreite konstant bleiben, kommt nur die Änderung der Fahrgeschwindigkeit des MD in Betracht. Stellort ist damit der Keilriemenvariator des Fahrtriebs, Stellgröße der Kolbenweg des Stellzylinders für den Variator.

4. Störgrößen

Als Störgrößen, von denen die Höhe der Schüttlerverluste abhängt, sind einerseits Größen zu nennen, die unmittelbar den Durchsatz beeinflussen und andererseits Größen, die die physikalischen Eigenschaften des Dreschgutes bestimmen. Zu den durchsatzbeeinflussenden Größen gehören Unterschiede in der Bestandsdichte und Änderungen der Schnitthöhe, der Arbeitsbreite sowie der Fahrgeschwindigkeit. Fahrgeschwindigkeitsänderungen können ihre Ursache in unterschiedlicher Motordrehzahl, unterschiedlichem Riemen- und Treibradschlupf sowie in unbeabsichtigter Verstellung des Fahrvariators (Lecköl) haben.

Bei den dreschgutbedingten Einflußgrößen sind es vor allem das Verhältnis von Korn zu Stroh, die Korn- und Strohfuchte und der Grüngutanteil, die sich auf die Schüttlerverluste auswirken. Darüber hinaus ist zu beachten, daß die

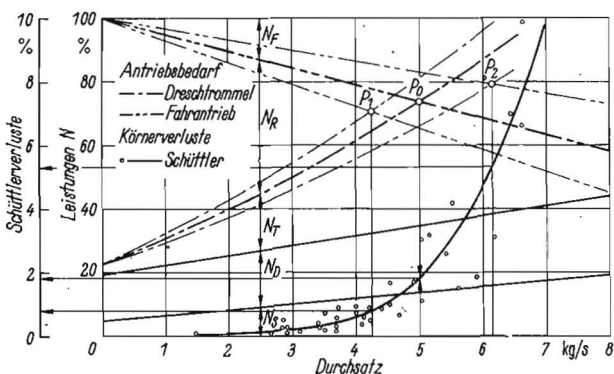


Bild 1. Leistungsbilanz und Schüttlerverluste (Roggen) eines selbstfahrenden MD mit rd. 5 kg/s Nenndurchsatz (100% des Leistungsbedarfs entsprechen rd. 75 PS. Darüber hinaus sind rd. 10 PS für Hilfsantriebe, wie Hydraulikpumpe und Abbunkerschnecke sowie rd. 10 PS zur Deckung der Übertragungsverluste der Antriebe erforderlich).

N_S Schneidwerk; N_D Dreschwerk ohne Dreschtrommel; N_T Dreschtrommel; N_F Fahrwerk; N_R Reserve; P_0 Betriebspunkt bei durchschnittlichen Einsatzbedingungen; P_1 erschwerte Einsatzbedingungen (enger Dreschspalt, hohe Trommeldrehzahl, ungünstige Fahrbahnverhältnisse); P_2 günstige Einsatzbedingungen

Neigung des MD bei Hangarbeit Schüttler- und Reinigungsverluste erheblich ansteigen läßt [4].

Für die Änderung der Bestandesdichte als hauptsächliche Störgröße bei der Durchsatzregelung werden von verschiedenen Autoren Werte angegeben, die Variationskoeffizienten von 15 bis 20% entsprechen [5] [6] [7]. Diesen Ergebnissen liegen zumeist Probengrößen von 1 m × 1 m zugrunde. Bestandesdichteänderungen über Fahrstrecken der Größenordnung von nur 1 m über die Fahrgeschwindigkeit auszu-regeln, ist jedoch kaum möglich. Hierzu wären große Beschleunigungen des MD erforderlich und es würden nur schwierig oder gar nicht lösbare regelungstechnische Probleme auftreten. Bei innerhalb der Maschine zu erfassenden Regelgrößen sind Totzeiten unter 1,5 s kaum zu erreichen. In diesem Fall hat der MD zwischen Eintritt der Störung in das Schneidwerk bis zu ihrer meßtechnischen Erfassung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1,3 m/s bereits eine Fahrstrecke von rd. 2 m zurückgelegt. Hinzu kommt eine weitere Verzögerung des Regelvorgangs durch Totzeiten und Zeitkonstanten bei der Signalübertragung und -verarbeitung sowie durch die Zeitkonstante der Regelstrecke selbst. Während die Verzögerungen bei der Signalübertragung und -verarbeitung durch geeignete Bauglieder gegebenenfalls klein gehalten werden können, ist die Zeitkonstante des MD, hervorgerufen durch die Trägheit der Masse, kaum zu beeinflussen.

Über den Verlauf von Bestandesdichteänderungen über größere Fahrstrecken, wie sie für die Durchsatzregelung von Interesse sind, ist wenig bekannt. Um Anhaltswerte zu finden, wurde der Verlauf des Antriebsmoments der Dreschtrommel untersucht. Unter der berechtigten Voraussetzung, daß Trommelantriebsmoment und Strohdurchsatz einander proportional sind, kann die Meßfunktion des Trommelantriebsmoments bei konstanter Fahrgeschwindigkeit den Verlauf der Bestandesdichte wiedergeben. Störeinflüsse durch unterschiedliche Schnitthöhen wurden bei den Versuchen durch eine selbsttätige Höhenführung des Schneidwerkes weitestgehend ausgeschaltet.

Der Verlauf des Antriebsmoments der Dreschtrommel zeigte erhebliche Schwankungen, die bei größeren Durchsätzen annähernd normal verteilt waren (Bild 2). Der Variationskoeffizient betrug 20 bis 50%. Die Periodendauer der Lastschwankungen war nahezu unabhängig von den Bestandsverhältnissen und lag im Mittel zwischen 1 und 3 s. In einigen Fällen war ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Strohdurchsatz und Periodendauer zu erkennen (Bild 3).

Unterschiede in der Bestandesdichte sind für diese Vorgänge kaum verantwortlich zu machen. Ausgelöst werden die Ungleichförmigkeiten im Materialfluß offenbar an Übergabestellen zwischen aufeinanderfolgenden Förderorganen mit unterschiedlichen Fördergeschwindigkeiten oder Förderrichtung (Bestand/Halmschnecke, Halmschnecke/Schrägförderkette, Schrägförderkette/Dreschtrommel). An diesen Stellen kommt es periodisch zur Anhäufung einer bestimmten Halmgutmenge, woraus sich die Abnahme der Periodendauer mit steigendem Durchsatz erklärt. Eine Bestätigung fand diese Annahme durch Standversuche, bei denen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit des Beschickungsbandes gearbeitet wurde. Während der Variationskoeffizient des Trommelantriebsmoments bei einer Beschickungsgeschwindigkeit von rd. 0,8 m/s 50 bis 65% betrug, ging er bei einer Beschickungsgeschwindigkeit von 2,2 m/s auf 20 bis 30% zurück.

Bei der geringen Geschwindigkeit wurde das auf dem Band liegende Roggenschwad vom Schneckenmittellteil und von der Schrägförderkette zunächst nicht angenommen (beide hatten eine theoretische Fördergeschwindigkeit von rd. 3 m/s), sobald jedoch eine ausreichende Griffigkeit erreicht war, wurde ein größerer Abschnitt des Schwads vom Förderband gezogen und mit der hohen Fördergeschwindigkeit der Schrägförderkette zur Dreschtrommel gebracht. Hierdurch kam es zu einem regelmäßigen Wechsel von hoher Belastung und nahezu Leerlauf der Dreschtrommel. Demgegenüber wurde das Getreideschwad bei der großen Bandgeschwindigkeit auf Grund des geringen Geschwindigkeitsunterschieds an der Übergabestelle nahezu gleichmäßig an die Förderorgane des MD übergeben. Eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten ist u. a. darin zu sehen, daß an Sprungstellen der Fördergeschwindigkeit v der Querschnitt F (Schichtdicke) des Halmgutstroms auf Grund der Verkettung der Halme nicht schnell genug entsprechend der Kontinuitätsbeziehung $q = v \cdot F = \text{const}$ abgebaut werden kann.

Erwähnt sei noch, daß die Schüttlerverluste bei der großen Zuführgeschwindigkeit und dem damit verbundenen gleichmäßigeren Materialfluß wesentlich geringer waren.

Da sich der Verlauf der Meßfunktionen von Trommelantriebsmoment und Schichtdicke des Halmgutstroms nur wenig voneinander unterscheidet (s. Bild 7), sind die Entstehungsursachen für die Ungleichmäßigkeiten im Halmgutstrom vor allem im Schneidwerk selbst und an der Übergabestelle Halmschnecke/Schrägförderkette zu suchen.

Regelungstechnisch bereiten die starken Schwankungen des als Regelgröße dienenden Trommelantriebsmoments Schwierigkeiten. Damit das Regelungssystem nicht zu unruhig wird, ist die Meßfunktion zu dämpfen und ihr zeitlicher Mittelwert als Istwert aufzugeben. Durch die Zeitkonstante der Dämpfung wird das Regelungssystem ungünstig beeinflusst.

Um bestandesseitig bedingte Laständerungen größerer Periodendauer herauszufinden, wurden die auf Oszillographenschrieben registrierten Meßfunktionen des Trommelantriebsmoments in eine analoge Gleichspannung umgesetzt und nach Filterung erneut aufgezeichnet. Im Verlauf der gedämpften Meßfunktion wurden konstante, ansteigende und abfallende Bereiche der Meßgröße durch Geraden angenähert. Die Länge der Meßstrecken, die für eine derartige Auswertung möglich war, betrug gewöhnlich 40 bis 50 m

Bild 2
Häufigkeitsverteilung des Dreschtrommel-
Antriebsmoments

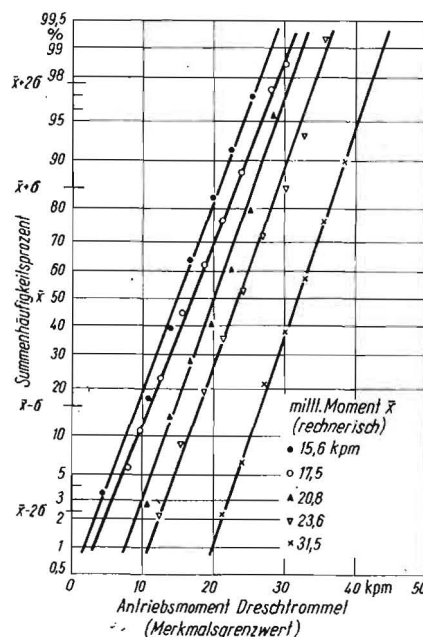
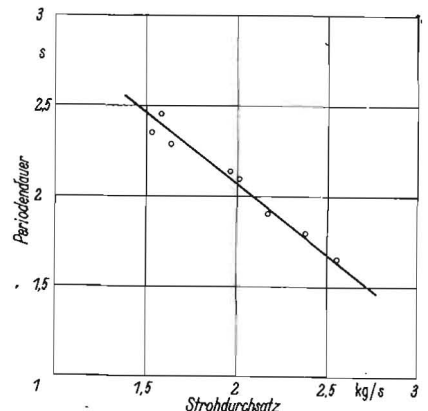


Bild 3
Periodendauer der Belastungsschwankungen an der Dreschtrommel in Abhängigkeit vom Strohdurchsatz (Weizen) (Mittelwert der absoluten Schwankung der Amplituden nahezu konstant ± 6 kpm; relative Schwankung in Prozent des mittleren Trommelmoments mit sinkendem Durchsatz von rd. ± 30% auf rd. ± 40% ansteigend)



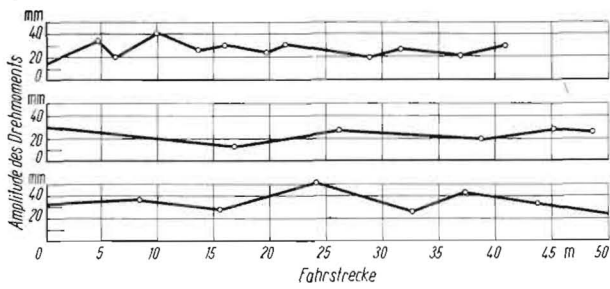
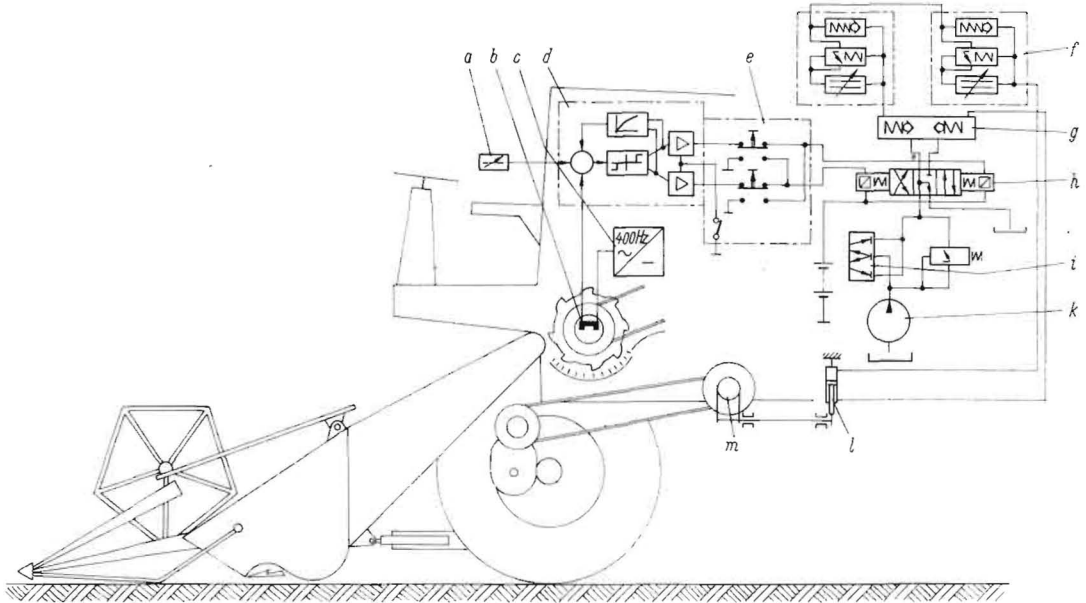


Bild 4. Verlauf des gedämpften Dreschtrommel-Antriebsmoments als Maß für Bestandesdichteänderungen

Bild 5. Schema der Durchsatzregelung mit dem Dreschtrommel-Antriebsmoment als Regelgröße und elektrischer Betätigung des hydraulischen Wegeventils.

a Sollwertgeber, *b* induktiver Meßwertgeber, *c* Transverter, *d* Regler, *e* Handbetätigung mit Schalter-Automat. „Ein/Aus“, *f* Strombegrenzungsventil, *g* entsperres Rückschlagventil, *h* elektro-hydratisch gesteuertes Wegeventil, *i* hydraulische Lenkung, *k* Hydraulikpumpe, *l* Stellzylinder, *m* Fahrvariator



bei 4,2 m Mähbreite. Bei Versuchen in einem recht ausgeglichenen Weizenbestand von 45 bis 50 dt/ha Ertrag war oftmals über Fahrstrecken von 10 bis 25 m eine gleichmäßige Zu- oder Abnahme der Bestandesdichte zu erkennen (Bild 4). Die maximalen Abweichungen der Beschickungsmenge vom Mittelwert betragen 15 bis 25%, so daß eine selbsttätige Durchsatzregelung durchaus als sinnvoll angesehen werden kann. Bei rd. $\frac{1}{3}$ aller Versuche war allerdings keine Änderung des mittleren Trommelantriebsmoments zu erkennen. Bei Versuchen in Roggen wurden ähnliche Ergebnisse gefunden.

Die auf diese Weise ermittelten Werte zur Charakterisierung der Störgröße „Bestandesdichteänderungen“ dürften als Ausgangspunkt für die vorliegende regelungstechnische Aufgabe geeignet sein. Der Verlauf der gefilterten Meßfunktion entspricht weitestgehend dem tatsächlichen Verlauf des mittleren Durchsatzes, der letzten Endes für die Höhe der Körnerverluste am Dreschwerk maßgebend ist. Neben Änderungen der Bestandesdichte werden gleichzeitig stets vorhandene unkontrollierbare Veränderungen der Schnitthöhe und der Fahrgeschwindigkeit mit erfaßt.

5. Auswahl des Reglers

Das als Regelgröße gewählte Antriebsmoment der Dreschtrommel wurde mit Hilfe eines induktiven Drehmomentgebers (Differentialtransformator) gemessen, so daß ein

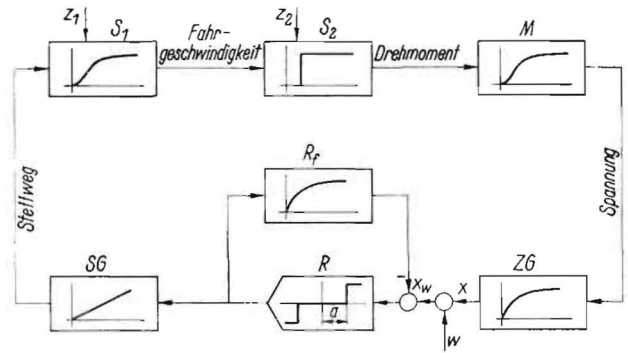


Bild 6. Signalflußplan zur Durchsatzregelung (vereinfacht); S_1 Fahrwerk; S_2 Schneidwerk und Zuführorgane, z_1 Störgrößen Δn Motordrehzahl, Riemen- und Treibradschlupf, z_2 Störgrößen Änderung von Bestandesdichte, Schnitthöhe und Arbeitsbreite, M Drehmomentgeber, ZG Zeitglied, R Regler, a Ansprechwert, w Führungsgröße (Sollwert), x_w Regelabweichung, R_f Rückführung, SG Stellglied (Arbeitszylinder Fahrvariator)

analoges kontinuierliches Signal vorlag. Zunächst wurde deshalb ein Stetigregler in Erwägung gezogen. Da jedoch kein für den vorliegenden Anwendungsfall geeignetes stetig arbeitendes elektrohydraulisches Wegeventil zur Steuerung des Stellantriebs zur Verfügung stand, kam eine derartige Lösung nicht in Betracht.

Nach sowjetischen Untersuchungen läßt sich bei der Durchsatzregelung mit Hilfe unstetiger Reglersysteme eine den Stetigreglern nahezu gleichwertige Regelgüte erreichen [8]. Da Kosten und Betriebssicherheit zugunsten unstetiger Regler sprechen, wurde für die eigenen Untersuchungen ein Dreipunkt-Regelsystem auf der Grundlage eines transistorbestückten Schaltverstärkers mit Rückführung aufgebaut.

6. Gerätetechnischer Aufbau und Arbeitsweise des Regelkreises

Die Spannung von 48 V/400 Hz zur Speisung des Meßfühlers *b* (Bild 5) und des Sollwertgebers *a* wurde von einem Transverter *c* erzeugt. Der Regler *d* erhielt seine Speisung vom 12-V-Netz des Mähdreschers, wobei eine zusätzliche 12-V-Batterie in Reihe geschaltet werden mußte. Im Reglerausgang lagen ein Hand-Automatikschalter und ein Drucktastenschalter für Handbetätigung *e*.

Den Druckölstrom erzeugte die Hydraulikpumpe *k*, er gelangte über die hydraulische Lenkung *i* oder über ein Um-

gehungsventil zum elektromagnetisch betätigten Wegeventil h , dem ein hydraulisch entsperbares Rückschlagventil g nachgeschaltet war. In einer Zylinderleitung des Arbeitszylinders l zum Betätigen des Fahrvariators m befanden sich Strombegrenzungsventile f zum Regulieren der Stellgeschwindigkeit.

Bild 6 zeigt einen vereinfachten Signalflußplan für den Wirkungsablauf im geschlossenen Regelkreis, wobei die Regelstrecke Mähdrescher in zwei Bereiche aufgliedert ist: Auf das Fahrwerk S_1 wirken die Störgrößen z_1 : lastabhängige Motordrehzahl, Riemen- und Treibradschlupf und Variatorverstellung infolge von Lecköl. S_1 kann in erster Näherung als Proportionalglied 1. Ordnung mit einer Zeitkonstante (je nach Fahrgeschwindigkeit, Bodenzustand und Geländeneigung) von $T_S = 0,5$ bis $1,1$ s aufgefaßt werden [9]. Nach eigenen Untersuchungen ist dieser Abschnitt (einschließlich Variator) durch ein Proportionalglied 3. Ordnung mit Totzeit zu beschreiben, wobei die Summenzeitkonstante für die 2. Geschwindigkeitsstufe auf ebener Fahrbahn $0,95$ s beträgt. S_2 umfaßt das Schneidwerk und die Zuführgänge zum Dreschwerk, die von der Störgröße z_2 „Bestandesdichteänderungen“ beeinflusst werden. Dieser Abschnitt ist durch eine reine Totzeit $T_t = 1,5$ bis 2 s gekennzeichnet, die der Laufzeit einer Mengenänderung im Halmgutstrom vom Eintritt in das Schneidwerk bis zur Dreschtrommel entspricht. Das Meßglied M ist ein Proportionalglied 2. Ordnung mit den Zeitkonstanten $T_1 = 0,09$ s und $T_2 = 0,05$ s. Das als elektrische Spannung vorliegende Meßsignal (Istwert x der Regelgröße) gelangt über ein Zeitglied ZG mit einstellbarer Zeitkonstante zum Soll-Istwert-Vergleich und die dort gebildete Regelabweichung x_w in den Eingang des Schaltverstärkers. Der Verstärker ist ein Dreipunktglied mit dem Ansprechwert a . Überschreitet die Regelabweichung x_w den Ansprechwert a , schaltet je nach Vorzeichen der Abweichung der eine oder der andere Zweig des Verstärkers das hydraulische Wegeventil für den Arbeitszylinder des Fahrvariators SG . Der Arbeitszylinder verstellt daraufhin als integral wirkendes Glied das Übersetzungsverhältnis des Fahrvariators und damit die Fahrgeschwindigkeit des MD solange, bis die Regelabweichung wieder kleiner als der Ansprechwert geworden ist.

Bei einem derartigen Regelkreis können zur Anpassung des

Reglers an die Strecke und an den Störgrößenverlauf nur die Größen Ansprechwert und Stellgeschwindigkeit verändert werden. Die obere Grenze des Ansprechwertes ist durch die Regelgüte vorgegeben. Wird ein zulässiger statischer Fehler von $\pm 10\%$ zugrundegelegt, darf der Ansprechwert bei einem mittleren Antriebsmoment der Dreschtrommel von beispielsweise 18 kpm nicht größer als rd. 2 kpm sein.

Die Totzeit der Strecke setzt im Interesse der Stabilität des Regelkreises relativ kleine Stellgeschwindigkeiten voraus, die ihrerseits ein Ausregeln größerer Bestandesdichteänderungen über kurze Fahrstrecken ausschließen.

Durch die zur Verbesserung der dynamischen Eigenschaften des Regelkreises eingefügte Rückführung R_f bekommt der Regler ein PI-ähnliches Verhalten. Der Stellvorgang wird durch die gegengekoppelte Ausgangsgröße des Schaltverstärkers jeweils vorzeitig abgebrochen und erst nach einer bestimmten einstellbaren Zeit fortgesetzt, sofern die Regelabweichung noch größer als der Ansprechwert ist.

7. Experimentelle Untersuchung des Regelkreises

Für die Felduntersuchungen standen nur Roggenflächen mit stark entwickelter Kleeuntersaat zur Verfügung. Auf Grund des hohen Grünanteils kam es zu ausgeprägten periodischen Materialansammlungen im Schneidwerk, die ungewöhnlich starke Lastschwankungen an der Dreschtrommel zur Folge hatten und zum Vermeiden von Trommelverstopfungen nur geringe Durchsätze zuließen.

Entsprechend der zu fordernden Regelgüte lagen bei den meisten Versuchen die gewählten Ansprechwerte unter 10% . Zunächst wurde das Meßsignal nahezu ungedämpft auf den Reglereingang gegeben und für die Stellgeschwindigkeit des Arbeitszylinders für den Fahrvariator ein relativ hoher Wert von 7 mm/s gewählt. Der Gesamtstellweg betrug 80 mm und entsprach in der ersten Fahrgeschwindigkeitsstufe des MD einer Änderung der Fahrgeschwindigkeit von $1,2$ bis $3,4$ km/h. Bei diesen Einstellparametern ergab sich eine sehr hohe Schalthäufigkeit ($2,3$ s $^{-1}$) des Schaltverstärkers (Bild 7A), und das Verhältnis der Einschaltdauer der drei möglichen Schaltzustände — „Neutral“ (0), „Schneller“ (+), „Langsamer“ (−) — betrug etwa $1/3 : 1/3 : 1/3$. Die Hydraulikpumpe hatte also $2/3$ der Betriebsdauer unter Vollast zu

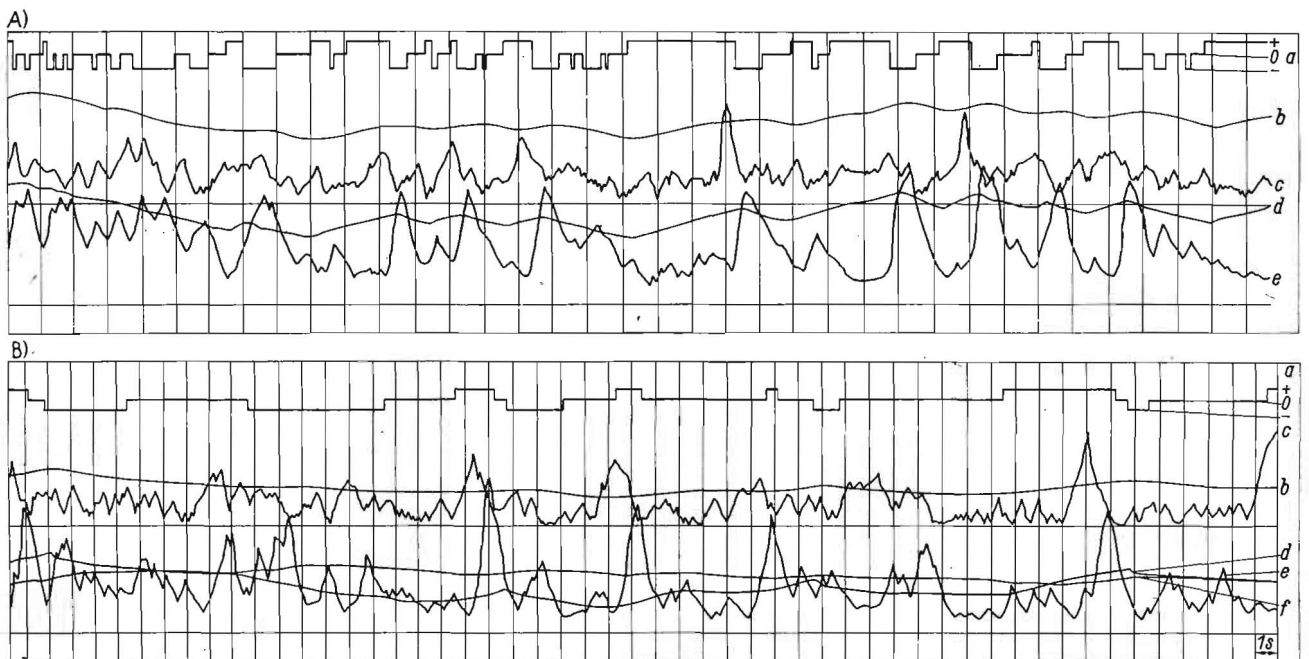


Bild 7. Regelvorgang bei unterschiedlichen Einstellparametern des Reglers;

A) Stellgeschwindigkeit ± 7 mm/s, Zeitkonstante der Meßsignaldämpfung praktisch 0;

B) Stellgeschwindigkeit $\pm 4,2$ mm/s, Zeitkonstante $1,5$ s; a) Schaltzustand, b) Fahrgeschwindigkeit, c) Auslenkung der Schrägförderkette, d) Kolbenweg des Fahrvariators, e) Antriebsmoment Dreschtrommel, f) Antriebsmoment der Dreschtrommel gedämpft

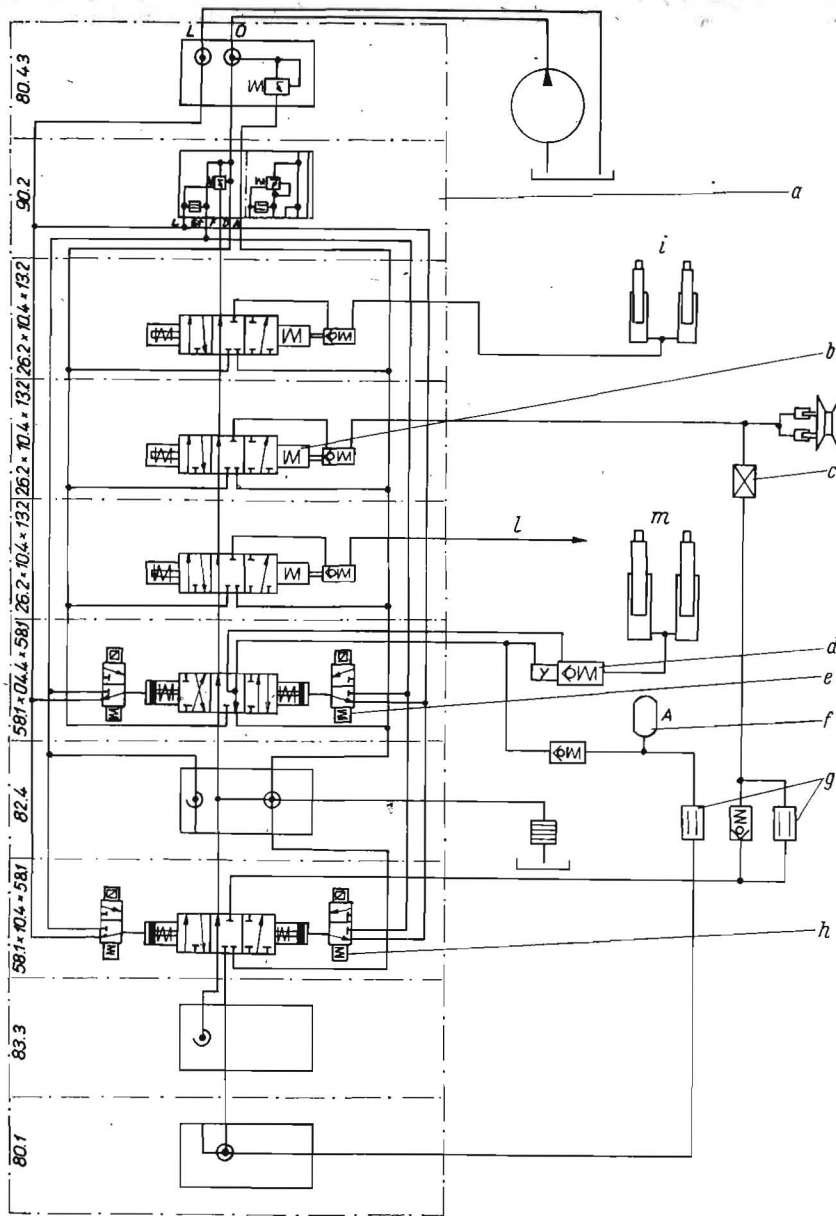


Bild 8
Hydraulikschaltplan zur Durchsatzregelung (einschließlich Höhenführung Schneidwerk) unter Verwendung eines Druckölspeichers;
a Wegeventilkombination, b handbetätigtes Wegeventil (Fahrvariator), c Absperrventil, d entsperresbares Rückschlagventil, e elektrohydrostatisch gesteuertes Wegeventil (Schneidwerk), f Druckölspeicher, g Drossel, h elektrohydrostatisch gesteuertes Wegeventil Fahrvariator, i Haspel, k Variator, l Ausleger, Lenkautomat, m Schneidwerk

lich ist, um den Fahrvariator von einer Extremelage in die andere zu fahren, die Bedingung

$$T_v = \frac{T_s + T_t}{2a}$$

T_s Zeitkonstante der Strecke
 T_t Totzeit
abgeleitet [8].

Unter Berücksichtigung der Zeitkonstante der Meßsignaldämpfung ergeben sich hieraus für die Stellgeschwindigkeit Werte von 4 bis 6 mm/s, die sich auch bei eigenen Versuchen als günstig erwiesen haben.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß mit dem verwendeten Zweilaufregler auch unter ungünstigen Einatzbedingungen ein stabiles und hinreichend genaues Arbeiten des Regelsystems zu erreichen ist.

8. Gesamtanlage

Zur regelungstechnischen Gesamtanlage gehörte eine selbsttätige Höhenführung des Schneidwerks. Die hydraulischen Wegeventile wurden in einer batterieverketteten Kombination eingesetzt. Diese Ausführung ließ nur eine elektrische Betätigung der Ventile zu, so daß die Handregelung und das Verstellen der Haspel über elektrische Drucktastenschalter vorzunehmen waren. Die Stellgeschwindigkeiten blieben bei selbsttätiger Regelung und bei Handbetätigung jeweils gleich. Für den Fahrvariator wirkte sich das nachteilig aus. An den Schlagenden wäre eine stärkere Beschleunigung oder Verzögerung des MD² wünschenswerter gewesen als es die für die Durchsatzregelung erforderliche geringe Stellgeschwindigkeit zuließ. Durch eine zusätzliche handbetätigte Ventileinheit, deren Zylinderleitungen parallel zu den Leitungen des vom Regler geschalteten Ventils unge-drosselt auf den Arbeitszylinder des Fahrvariators gelegt werden, ließe sich dieser Nachteil beseitigen.

Die erforderliche Ölmenge zum Betätigen des Fahrvariators ist relativ gering. Demgegenüber sind die Stellzeiten anteilmäßig groß. Zur Entlastung der Hydraulikanlage wäre es daher zweckmäßig, für das System der Durchsatzregelung entweder einen gesonderten Ölkreislauf geringer Mengenerleistung vorzusehen oder den erforderlichen Druckölstrom einem Druckölspeicher zu entnehmen.

Ein Druckölspeicher könnte beispielsweise an die zweite, bisher nur zum Entsperren eines Halteventils genutzte Zylinderleitung des Schneidwerk-Wegeventils gelegt werden (Bild 8). Beim Senken des Schneidwerks arbeitet die Hydraulikpumpe ohnehin gegen das Überdruckventil, so daß der Ölstrom über ein Rückschlagventil dem Druckspeicher

arbeiten. Während der Schaltverstärker derartige Betriebsverhältnisse zuläßt, dürfte die Hydraulikanlage diesen Anforderungen auf die Dauer kaum gewachsen sein. Die hohe Schalthäufigkeit führt zu einem vorzeitigen Verschleiß der Ventile, und die große Einschaltdauer verursacht eine unzulässig starke Überwärmung (Energieverlust). Auch der Fahrtrieb, insbesondere der Keilriemenvariator, ist für derartige Beanspruchungen nicht geeignet. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß ein hydrostatischer Fahrtrieb günstige Voraussetzungen für die Durchsatzregelung schaffen würde.

Relativ günstige Ergebnisse wurden mit den Einstellparametern Ansprechwert rd. 5%, Zeitkonstante der Meßsignaldämpfung 1,5 s und Stellgeschwindigkeit $\pm 4,2$ mm/s erreicht (Bild 7B). Die Schalthäufigkeit betrug nur noch rd. $0,4 \text{ s}^{-1}$ und das System befand sich während rd. 55% der Betriebsdauer in Ruhe. Der Verlauf des gedämpften Antriebsmoments der Dreschtrommel war nahezu konstant. Die maximalen Abweichungen vom Mittelwert dürften $\pm 5\%$ nicht überschritten haben.

Aus regelungstechnischen Untersuchungen eines in den Parametern des Fahrtriebs, insbesondere des Fahrvariators, im Vergleich zur vorliegenden Versuchsmaschine ähnlichen Mähreschers wurde für die Stellzeit T_v , die erforder-

zugeführt werden kann. Bei einer selbsttätigen Höhenführung des Schneidwerks ist durch die damit verbundene größere Schalthäufigkeit des Schneidwerk-Wegeventils ein ständiger Ölvorrat im Druckspeicher garantiert.

Bei Betätigen des zum schnellen Verstellen des Fahrvariators vorgesehenen Wegeventils oder der Fahrkupplung müßte das Ventil des Regelkreises selbsttätig durch ein Absperrventil vom Variator getrennt werden. Hierdurch ließe sich ein Hochregeln der Fahrgeschwindigkeit bei geringer oder fehlender Beschickung des MD vermeiden.

Untersuchungen der Schichtdicke des Halmgutstroms innerhalb des MD ergaben, daß die Schichtdicke im Schrägförderschacht, gemessen als Auslenkung der Kettenstränge des unteren Trums der Schrägförderkette, einen annähernd gleich strengen Zusammenhang zu den Schüttlerverlusten aufweist wie das Antriebsmoment der Dreschtrommel. Damit stellt diese Meßgröße eine dem Antriebsmoment der Dreschtrommel gleichwertige Regelgröße dar. Infolge ihrer um 0,4 bis 0,6 s geringeren Totzeit ist sie hinsichtlich der Stabilität des Regelkreises sogar günstiger zu bewerten. Außerdem ist die Meßwertfassung im Vergleich zur Drehmomentmessung an der Dreschtrommel bedeutend einfacher zu lösen. Auf Grund der nur geringfügigen Abweichungen im Verlauf der Meßfunktionen dürfte sich ein Regelkreis mit der Schichtdicke als Regelgröße ähnlich verhalten wie der Regelkreis mit dem Dreschtrommel-Antriebsmoment als Regelgröße. Gerätetechnisch würden sich beide Regelkreise nur im Aufbau und in der Anordnung des Meßfühlers voneinander unterscheiden, wobei die Schichtdicke vorteilhafterweise ebenfalls über einen induktiven Weggeber zu erfassen wäre.

Zusammenfassung

Die Durchsatzregelung soll vor allem dazu beitragen, daß die Körnerverluste am Dreschwerk einen bestimmten Wert nicht überschreiten und der MD bezüglich seiner Mengenleistung stets optimal ausgelastet wird. Als Regelgröße eignen sich das Antriebsmoment der Dreschtrommel oder die Schichtdicke des Halmgutstroms im Schrägförderschacht. Da beide Größen bei wechselnden Arbeitsbedingungen, insbesondere bei unterschiedlicher Beschaffenheit des Dreschgutes, einen nur lockeren Zusammenhang zu den Dreschwerkverlusten aufweisen, sind zur SollwertEinstellung die Schüttlerverluste ständig oder in hinreichend kurzen Zeitabständen zu erfassen.

Der als Maß für den momentanen Durchsatz zu wertende Verlauf des Antriebsmoments der Dreschtrommel weist er-

hebliche Schwankungen auf (Variationskoeffizient 20 bis 50%). Die Periodendauer der Laständerungen liegt zwischen 1 und 3 s. Damit scheidet ein Ausregeln dieser Durchsatzschwankungen über die Fahrgeschwindigkeit aus, unabhängig von ihrer Entstehungsursache.

Die über Strecken von 10 bis 25 m gemessenen Abweichungen der Bestandesdicke vom Mittelwert von 15 bis 25% lassen eine Durchsatzregelung als möglich und sinnvoll erscheinen. Die Anforderungen an Stabilität und Regelgüte einer Durchsatzregelung sind mit den im Vergleich zu Stetigreglern einfachen und billigen Dreipunktreglern zu erfüllen. Bei elektrischer Messung der Regelgröße bieten sich als Dreipunktschalter kontaktlos arbeitende Transistor-Schaltverstärker an, deren Ausgangsleistung zur unmittelbaren Betätigung elektro-hydraulischer Wegeventile ausreicht. Zur Einschränkung der durch kurzzeitige Schwankungen der Regelgröße bedingten hohen Schalthäufigkeit ist das Eingangssignal des Schaltverstärkers zu dämpfen.

Um die Hydraulikanlage des MD nicht unnötig zu belasten, sollten für die selbsttätige Durchsatzregelung entweder ein gesonderter Hydraulikkreislauf geringer Mengenleistung vorgesehen oder der erforderliche Druckölstrom einem Druckölspeicher entnommen werden.

Literatur

- [1] JOFINOV, S. A. / W. W. MIROSCHNICHENKO: Der abgedrosselte Verdichtungsdruck des Motors als Regelgröße der Beschickung eines Mähdreschers. Mechanisierung und Elektrifizierung der sozialistischen Landwirtschaft, Moskau 24 (1966) H. 5, S. 34 bis 36
- [2] MIROSCHNICHENKO, W. W.: Untersuchung der Betriebsparameter und Mittel zur Optimierung der Belastung selbstfahrender Mähdrescher. Diss. Leningrad 1966
- [3] KÜHN, G.: Gründe und Möglichkeiten für die Anwendung der Regelungstechnik an Mähdreschern. Deutsche Agrartechnik, Berlin 18 (1968) H. 6, S. 280 bis 285
- [4] GUBSCH, M.: Ergebnisse der Körnerverlustermittlungen beim Hangeinsatz des Mähdreschers E 512. Deutsche Agrartechnik, Berlin 18 (1968) H. 6, S. 296 bis 298
- [5] EIMER, E.: Stand der Regeltechnik beim Mähdrescher. Grundlagen der Landtechnik. Bd. 16 (1966) Nr. 2, S. 41 bis 50
- [6] FEIFFER, P., u. a.: Die Impulssteuerung des Vorschubs — eine Möglichkeit durchgreifender Verlustsenkung an Trommeln und Schüttlern. Deutsche Agrartechnik, Berlin 14 (1964) H. 6, S. 257 bis 261
- [7] HIERONIMUS, K.: Einfluß der Regelung einiger Arbeitsprozesse am Mähdrescher auf Leistungsfähigkeit und Kosten. Großer Beleg, Technische Universität Dresden 1968
- [8] SCHEPOWALOW, W. O.: Vergleichende Analyse einiger Regelertypen. Arbeiten des WISCHOM, Bd. 43, Moskau 1963, S. 83 bis 107
- [9] MICHAJLOW, M. W. / G. G. NACHAMKIN: Automatische Regelung des Arbeitsprozesses von Mähdreschern. Arbeiten des WISCHOM Bd. 35, Moskau 1962, S. 3 bis 74 A 7664

Erfahrungen mit einer Temperaturregelungsanlage nach dem Mehrkanalprinzip

Dr. CH. FÖRTSCH, KDT*

Ende 1967 wurde in der GPG „Berlin-Treptow“ vom VEB GRW Teltow, Zentraler Anlagenbau, Betriebsteil Berlin, eine Temperaturregelanlage nach dem Mehrkanalprinzip (Bild 1) in Betrieb genommen. Da bisher noch keine Erfahrungen über den Einsatz derartiger Regelanlagen zur Temperaturregelung von Gewächshäusern veröffentlicht wurden, sollen hiermit einige neue Erkenntnisse vermittelt werden.

1. Aufbau der Mehrkanalregelung

Wie bereits mitgeteilt, werden Meßfühler und Stellglieder der einzelnen Regelstrecken nacheinander mit einem un stetigen Regler gekoppelt. Die Kopplung erfolgt durch Regelkreisumschalterbausteine. Nach dem jeweiligen Soll-Istwert-Vergleich im Regler werden die zugehörigen Stellglieder entsprechend der Regelabweichung betätigt. Dieser Regelbefehl bleibt, von

einem Halteglied gespeichert, bis zur nächsten Abtastung dieser Meßstelle erhalten [1].

Die vorhandene 1,2 ha große Gewächshausanlage vom Typ MZG 0/55 wurde so in einzelne Regelkreise aufgeteilt, daß insgesamt 10 Regelkreise entstanden (Bild 2) und alle Blöcke mit einer Größe über 1400 m² zwei Regelkreise erhielten, die über die Gewächshausluft miteinander gekoppelt sind. Die Aufteilung der Blöcke in Regelkreise erfolgte so, daß jeweils die Lüftheizer an der Außenwand und die Lüftheizer am Verbinder zu je einem Regelkreis zusammengefaßt wurden. Die Aufteilung der Lüftungsmechanismen erfolgte im gleichen Sinne. Eine derartige Aufteilung wurde gewählt, da entsprechend der gärtnerischen Erfahrungen die Zonen im Gewächs-

* GPG „Berlin-Treptow“, Berlin-Altglienicke