

DK 621-5:631.354.2

## Stand der Regelungstechnik beim Mähdrescher

Von **Manfred Eimer**, Braunschweig-Völkenrode<sup>1)</sup>

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

Als Entwicklungsziele im Mähdrescherbau deuten sich neben einer Verbesserung der Funktionssicherheit und der Arbeitsqualität der Arbeitsorgane die Vergrößerung der Dreschleistung und die Vereinfachung der Bedienung an. Um den Durchsatz steigern zu können, ist eine optimale Anpassung der Fahrgeschwindigkeit und eine optimale Einstellung der Arbeitsorgane auf die jeweiligen Dreschverhältnisse durch Regeleinrichtungen notwendig. Solche Einrichtungen erleichtern gleichzeitig die Bedienung des Mähdreschers. Es wird über russische und kanadische Versuche anhand von Prototypen, sowie über eigene Versuche zur Schaffung von Grundlagen für die Durchsatzregelung berichtet.

Die Mähdrescherleistung läßt sich bei gleich guter Arbeitsqualität dadurch steigern, daß das Halmgut vom Schneidwerk in optimaler Menge erfaßt und durch eine Fördereinrichtung in gleichmäßigem Fluß den Dreschorganen zugeführt wird. Bei großen Bestandsunterschieden und wechselnden Erntebedingungen kann aber der Fahrer trotz Bedienungshilfen die Maschine nicht mehr rechtzeitig auf die Erfordernisse einstellen, wodurch es leicht zu einer haufenweisen Beschickung kommt. Eine Verminderung der Arbeitsqualität und Verstopfungen einzelner Arbeitsorgane sind die Folge. Das bedeutet für den Landwirt Ertrags- einbußen und Zeitverlust, wenn nicht sogar den Ausfall der ganzen Maschine. Gelingt es, die Arbeit des Mähdreschers auf die jeweiligen Erntegegebenheiten abzustimmen, so kann eine wesentliche Leistungssteigerung des Mähdreschers erzielt werden.

Der Fahrer eines Mähdreschers hat, nachdem die Grundeinstellung der Maschine (Dreschspalt, Dreschtrommeldrehzahl,

Windführung und Siebe) vorgenommen worden ist, mehrere Einstellgrößen der Maschine laufend auf die augenblicklichen Erntegegebenheiten abzustimmen. Er muß den Bestand nach Dichte, Zustand und Grüngutanteil sowie die Bodenunebenheiten vor der Maschine optisch erfassen und beurteilen, um danach Schneidbalken, Haspel und Fahrgeschwindigkeit richtig einzustellen. Außerdem soll er immer die ganze Schnittbreite des Mähdreschers ausnutzen, um eine einseitige Beschickung der Einzugs- und Dreschorgane zu verhindern. Die Gleichmäßigkeit der Beschickung und die Höhe der Belastung kann der Fahrer akustisch nach dem Dreschtrommelgeräusch kontrollieren und gegebenenfalls danach eine Korrektur der Fahrgeschwindigkeit oder auch der Dreschtrommeldrehzahl vornehmen.

Die Änderung der Erntegutmasse, die von einem Mähdrescher bei konstanter Fahrgeschwindigkeit aufgenommen wird, geht aus der Untersuchung eines nahezu unkrautfreien Haferbestandes hervor. Von diesem Feld wurden das Bodenprofil aufgenommen, die Änderung der Bestandhöhe gemessen und der Hafer parzellenweise auf einer Breite von etwa 1 m und in Abschnitten von 0,6 m Länge mit konstanter Stoppelhöhe (150 mm) geerntet und gewogen. Die so ermittelte Kurve der Erntegutmasse, **Bild 1**, weist beachtliche Schwankungen auf, die hauptsächlich auf die schlechten Wachstumsbedingungen für Sommergetreide im Jahr 1965 zurückzuführen sind. Zwar werden diese Schwankungen durch die Zuführorgane eines Mähdreschers etwas ausgeglichen; trotzdem muß damit gerechnet werden, daß die Halmgutmasse, die der Dreschtrommel nach einer Fahrstrecke von 1 m zur Verarbeitung zugeführt wird, weniger als die Hälfte oder mehr als das Doppelte der optimalen Zuführmenge betragen kann.

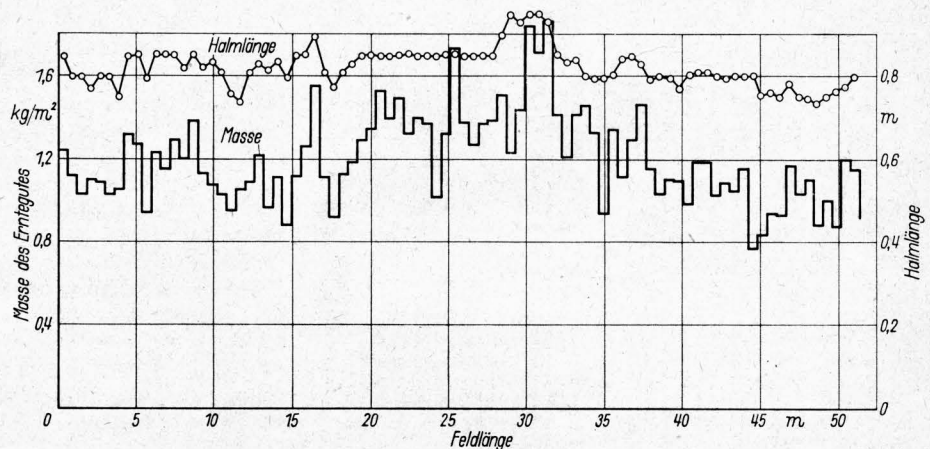
Die Halmlängen dagegen weisen nicht so große Differenzen auf, d. h. für die Lageänderung der Haspel sind bei stehenden

Dipl.-Ing. Manfred Eimer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke, jetzt Universität Göttingen) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

<sup>1)</sup> Vorgetragen auf der 23. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig-Völkenrode am 15. Oktober 1965.

Diese Arbeiten wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird. Für die Bereitstellung der Mittel sei an dieser Stelle gedankt.

**Bild 1.** Halmlänge und Masse des Erntegutes bei einem Haferfeld. Erntejahr 1965  
Erntegut: Hafer (Asches Luxor)  
Probenahme über 6 Drillreihen  $\triangleq$  1,09 m  
Kornfeuchte i. M. 16%  
Strohfeuchte i. M. 36%  
Korn-Stroh-Verhältnis 1:1,44



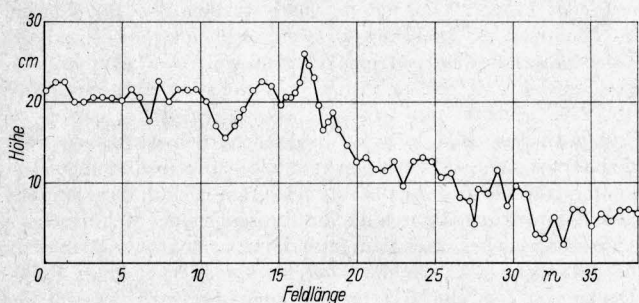
Beständen keine großen Stellgeschwindigkeiten erforderlich. Eine größere Aufmerksamkeit beansprucht die Höhenführung des Schneidbalkens über dem Boden.

In den letzten zehn Jahren wurden Möglichkeiten erprobt, durch Automatisierung einzelner Steueraufgaben die Leistungsfähigkeit von Mähdreschern über den bereits erreichten hohen Stand hinaus weiter zu steigern. Die Untersuchungen erstreckten sich hauptsächlich auf eine selbsttätige Führung des Schneidbalkens in konstantem, aber wählbarem Abstand zum Boden und auf eine Regelung des Durchsatzes durch eine entsprechende Steuerung der Fahrgeschwindigkeit. Darüber hinaus wurden für die Erntearbeit an Hängen Regelanlagen zum Ausgleich der Hangneigung entwickelt, um für die Dreschmaschine normale Arbeitsbedingungen beibehalten zu können.

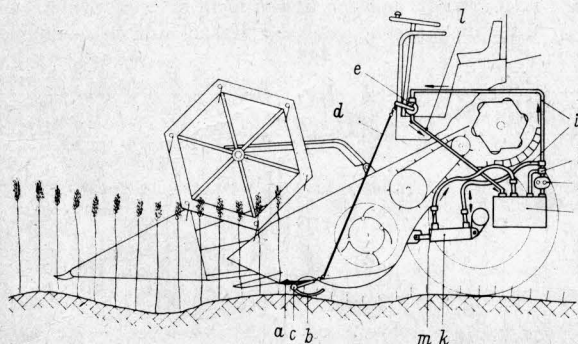
### Höhenführung des Schneidbalkens

Die Einhaltung geringer Stoppelhöhen ist bei lagerndem Erntegut oder bei Sonderfruchtarten mit Fruchtständen dicht über dem Boden von besonderer Bedeutung. Ein Mähdrescherfahrer ist bei den heute bei schwachen Beständen erreichbaren Arbeitsgeschwindigkeiten von bis zu 10 km/h kaum noch in der Lage, eine bestimmte Schnitthöhe mit Hilfe einer hydraulischen Handsteuerung einzuhalten. Mit welchen Unebenheiten auch auf einem eben erscheinenden Feld gerechnet werden muß, läßt sich am Bodenprofil des obigen Versuchsfeldes abschätzen, das ausschnittsweise in **Bild 2** gezeigt ist<sup>2)</sup>. Dieses Feld wurde senkrecht zum aufgenommenen Profil gepflügt und in Richtung des Profils bestellt und abgeerntet. Das Bodenprofil weist mehrere Unebenheiten auf, die auf 1 m Fahrstrecke bis zu 10 cm betragen. Ist man beispielsweise gezwungen, lagerndes Gut aufzunehmen, den Schneidbalken also mit möglichst geringem Abstand vom Boden zu führen, bleibt dem Mähdrescherfahrer bei einer Geschwindigkeit von 4 km/h und einer Schnitthöhe von 50 mm noch nicht einmal eine halbe Sekunde Zeit, den Schneidbalken zur Überwindung der oben angeführten Unebenheiten von 10 cm anzuheben.

Von der Firma M & W Gear Company (USA) ist für Mähdrescher eine Zusatzeinrichtung zum selbsttätigen Einhalten der Schnitthöhe entwickelt worden, **Bild 3**<sup>3)</sup>. Diese Regelanlage be-



**Bild 2.** Bodenprofil eines Stoppelackers.



**Bild 3.** Regelung der Schnitthöhe beim Mähdrescher [2, 3].

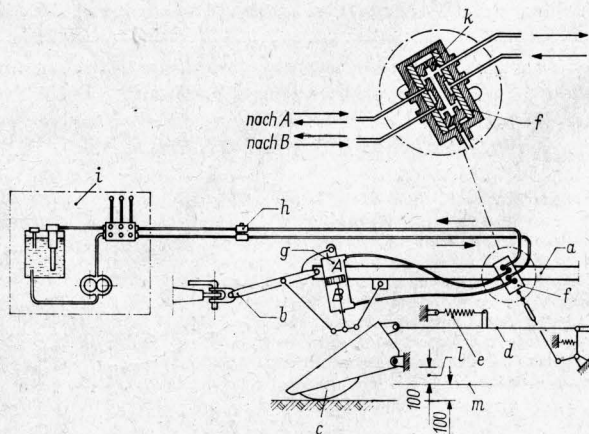
- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| a Schneidbalken                | g Zahnradpumpe           |
| b Tastfinger                   | h Druckbegrenzungsventil |
| c Welle                        | i Druckleitung           |
| d Seilzug                      | k Hydrozylinder          |
| e Steuerventil (Drosselventil) | l Abflußleitung          |
| f Ölvorratsbehälter            | m Leckleitung            |

sitzt als Fühler eine Tasteinrichtung, die unter der Schneidwanne dicht hinter dem Schneidbalken a angeordnet ist. Mehrere Tastfinger b, die im Abstand von 150 mm auf einer Welle c befestigt sind, folgen den Bodenebenenheiten und bewirken damit eine Pendelbewegung der Welle, von der aus über einen Seilzug d ein Steuerventil e betätigt wird. Eine Zahnradpumpe g beaufschlagt durch die Druckleitung i die untere Seite eines Hydrozylinders k an der Schneidwanne. Das Steuerventil verbindet die Druckleitung mit einer Abflußleitung l und stellt je nach Auslenkung der Tastfinger einen bestimmten Öldruck ein, d. h. es arbeitet als Drossel. Durch die Steuerung des Öldrucks wird mit Hilfe des Hydrozylinders die Schneidwanne angehoben oder abgesenkt. Damit die Hydraulikanlage klein gehalten werden kann, ist die Schneidwanne federentlastet, so daß nur ein Restgewicht angehoben werden muß. Nach Angaben der Hersteller erlaubt diese Regelanlage, Schnitthöhen bis herunter auf 50 mm einzuhalten. Sie ist für die gängigen Typen amerikanischer Mähdrescher lieferbar.

Ein Regler zur Einhaltung der Schnitthöhe für gezogene Mähdrescher wurde vom Ukrainischen Wissenschaftlichen Forschungsinstitut für Mechanisierung in der Landwirtschaft (UNIMESCH) und der Landmaschinenfabrik „Petrovski“ gemeinsam entwickelt [4, 5, 6]. **Bild 4** zeigt diese Regelanlage. Ein Schleifschuh c, der am Rahmen a der Maschine angelenkt ist, tastet das Bodenprofil ab. Die Auslenkungen des Schuhs werden durch ein federgedämpftes Hebelsystem d auf den Kolben k eines Wegeventils f übertragen, das entsprechend der Steuerbewegung eine Seite des doppelwirkenden Hydrozylinders g mit der Druckleitung und die andere Seite mit der Abflußleitung oder umgekehrt verbindet. Eine Änderung der Kolbenstellung im Zylinder bewirkt mit Hilfe eines Hebelsystems eine Winkeländerung zwischen der Anhängervorrichtung b und dem Maschinenrahmen a und damit ein Anheben oder Senken des am Rahmen aufgehängten Schneidbalkens. Da der Schleifschuh durch eine Feder e an den Boden gedrückt wird, kehrt nach entsprechender Bewegung des Rahmens der Kolben des Wegeventils in seine neutrale Lage zurück, verbindet die Druck- mit der Abflußleitung und schließt die Leitungen zum Hydrozylinder. Der Schneidbalken behält seine augenblickliche Lage bei, und das Hydrauliköl fließt ohne nennenswerte Drosselverluste in den Ölvorratsbehälter zurück. Das Anheben des Schneidbalkens in die Transportstellung erfolgt vom Schlepper aus. Dazu wird mit Hilfe eines Ventils die Druck- mit der Abflußleitung vertauscht. Das Drucköl strömt in die zentrale Bohrung des Kolbens im Wegeventil. Da die untere Stirnfläche des Kolbens kleiner ist

<sup>2)</sup> Weitere Profile landwirtschaftlicher Fahrbahnen, siehe Wendeborn [1].

<sup>3)</sup> Dieses und die nachfolgenden dem Schrifttum entnommenen Schaltbilder hydraulischer Anlagen werden in der veröffentlichten Darstellungsweise wiedergegeben.



**Bild 4.** Regelanlage zur Höhenführung des Schneidbalkens, System UNIMESCH [6].

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| a Maschinenrahmen          | g Hydrozylinder                        |
| b Anhängervorrichtung      | h Druckbegrenzungsventil               |
| c Schleifschuh             | i hydraulische Anlage des Schleppers   |
| d federgedämpftes Gestänge | k Kolben des Wegeventils               |
| e Rückholfeder             | l Regelbereich                         |
| f Wegeventil               | m untere Grenzstellung der Regelanlage |

als die obere, wird er nach unten gedrückt und damit der Weg für das Drucköl in den Raum A des Hydrozylinders freigegeben. Die Regelanlage wurde an der russischen Maisvollerntemaschine KXX-3 angebracht und erprobt.

Einen Schritt weiter gingen *Kaminski* und *Zoerb* [7] mit der Entwicklung einer „Schneidbalken-Höhenregelanlage für die Getreideernte“. Sie setzten sich zum Ziel, nur den Strohanteil zu ernten, der zur Aufrechterhaltung optimaler Dreschbedingungen erforderlich ist. Dabei stützten sie sich auf Untersuchungen der Minnesota Agricultural Experiment Station. Nach diesen stellten sich die niedrigsten Körnerverluste beim Dreschen ein, wenn die Stoppelhöhe bei strohareichem Getreide und schwadgemähem Erntegut  $\frac{1}{3}$  der Bestandshöhe und bei Getreide mit dünnem und brüchigem Stroh  $\frac{1}{4}$  der Bestandshöhe betrug [7].

Für die Höhenregelung wurde eine Tastanlage mit 8 Elementen an dem Schneidbalken eines Schwadmähers montiert, **Bild 5**. Jedes Tastelement a bis h besteht aus einem Mikroschalter, an dessen Schalthebel ein längerer Tastarm befestigt ist. Beim Einfahren in das Getreide schließt sich der Mikroschalter des Tasters e, der vor und unterhalb der Tastelemente a bis d angeordnet ist und den elektrischen Teil der Regelanlage einschaltet. Die Taster a bis d dienen zur Anpassung der Schnitthöhe an die Bestandshöhe. Die beiden oberen Taster a und b berühren die Ähren normalerweise nicht. Dagegen halten die beiden unteren Taster c und d Kontakt mit dem Bestand. Stellt das obere Tasterpaar Getreide fest, so wird über die zugehörigen Schalter ein elektrischer Stromkreis geschlossen und dadurch ein Wegeventil betätigt; dies bewirkt ein Anheben des Schneidbalkens mit Hilfe eines Hydrozylinders. Taucht das untere Tasterpaar aus dem Bestand heraus, wird ein Absenken des Schneidbalkens veranlaßt. Die elektrische Anlage ist so ausgelegt, daß bei Auslenkung nur eines Tasters der beiden Tasterpaare aus seiner Arbeitsstellung keine Änderung der Schnitthöhe erfolgt.

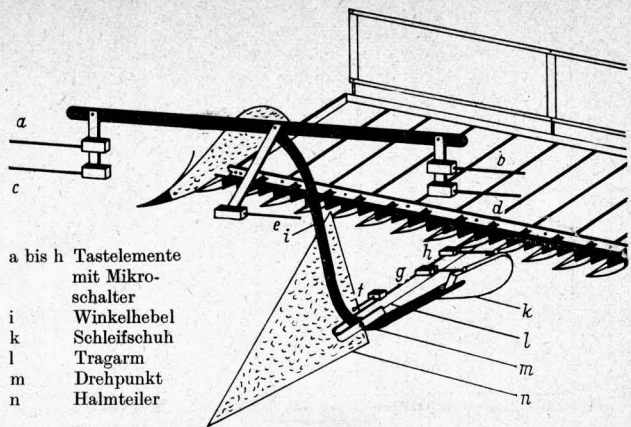
Diese fünf Tastelemente a bis e sind an einem Arm eines Winkelhebels i befestigt, der an einem mit der Schneidwanne verbundenen Tragarm l angelenkt ist. Der andere Arm endet in einem Schleifschuh k, der den Boden abtastet und den Winkelhebel zu Pendelbewegungen veranlaßt. Diese Bewegungen werden von den Schaltelelementen f bis h kontrolliert, die auf dem Tragarm befestigt sind. Mit den Tastern f und g wird die Schnitthöhe nach oben und unten begrenzt. Der Schnitthöhenbereich kann vom Fahrer gewählt werden. Beim Mähen auf unebenem Gelände mit einer Schnitthöhe an der unteren Grenze des eingestellten Höhenbereichs besteht die Gefahr, daß der Schneidbalken in den Boden getrieben wird. Um dies zu verhindern, ist eine Sicherheitsschaltung vorgesehen worden. Wird der Winkelhebel um einen bestimmten Betrag über die Stellung für die gewählte minimale Schnitthöhe hinaus ausgelenkt, so betätigt der Taster h den Sicherheitsschalter, der das Anheben des Schneidbalkens veranlaßt.

Das Arbeitsergebnis der Regelanlage in einem stehenden Haferbestand ist schematisch in **Bild 6** dargestellt [7]. Die erzielte Stoppelhöhe konnte zwischen  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{3}$  Bestandshöhe gehalten werden, abgesehen von den höchsten Bestandsstellen, bei denen die obere Begrenzungsschaltung f ansprach.

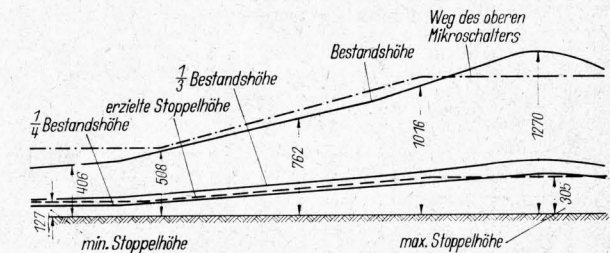
Eine Anlage zur selbsttätigen Höhenführung des Haspels mit einer ähnlichen Tastanlage oder in Kombination mit der beschriebenen Schnitthöhenregelung ist denkbar.

### Regelanlagen zum Ausgleich von Hangneigungen

Nur kurz soll an dieser Stelle auf die Regelanlagen zum Ausgleich von Hangneigungen eingegangen werden. Bei Längs- und Querneigungen eines Mähdreschers, wie sie bei der Erntearbeit an Hängen auftreten, wachsen mit zunehmenden Neigungswinkel die Reinigungs- und Schüttlerverluste stark an. Zum Ausgleich der Querneigungen sind mehrere Regelanlagen entwickelt worden [6 bis 10], von denen vollständigshalber eine gezeigt werden soll, **Bild 7**. Die auftretenden Neigungswinkel stellt hier ein am Rahmen der Dreschmaschine a angelenktes, ölgedämpftes Pendel b fest, das den Kolben eines Wegeventils d betätigt. Dieses steuert den Ölstrom zu einem doppelwirkenden Hydrozylinder e so, daß die Schräglage der Dreschmaschine durch Verstellen der Querlenkerachse f ausgeglichen wird. Mit



**Bild 5.** Am Schneidbalken befestigte Tastanlage nach *Kaminski* und *Zoerb* [7].



**Bild 6.** Schematische Darstellung der Nachführung des Schneidbalkens bei unterschiedlichen Bestandshöhen nach *Kaminski* und *Zoerb* [7].

dieser Anlage können Neigungswinkel bis zu  $17^\circ$  kompensiert werden.

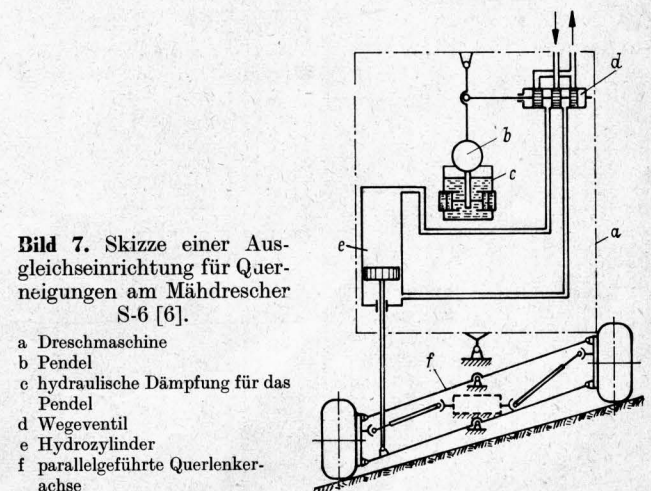
Darüber hinaus ist es vorteilhaft, neben den Querneigungen auch die Längsneigungen eines Mähdreschers auszugleichen. Eine solche Regelanlage wurde vom Allunions-Forschungsinstitut für den landwirtschaftlichen Maschinenbau (VISCHOM) für eine Gemüseerbsen-Vollerntemaschine entwickelt [11, 12]. Als Lagen-Meß- und Schaltelelemente wurden quecksilbergefüllte U-Rohre verwendet, in deren Schenkel die elektrischen Schaltkontakte hineinragen. Die Regelanlage erlaubt es, Vorwärtsneigungen bis  $4^\circ$ , Rückwärtsneigungen bis  $3^\circ$  und Querneigungen bis  $15^\circ$  auszugleichen.

### Regelung des Durchsatzes von Erntegut

#### Einfluß des Durchsatzes auf die Ernteverluste

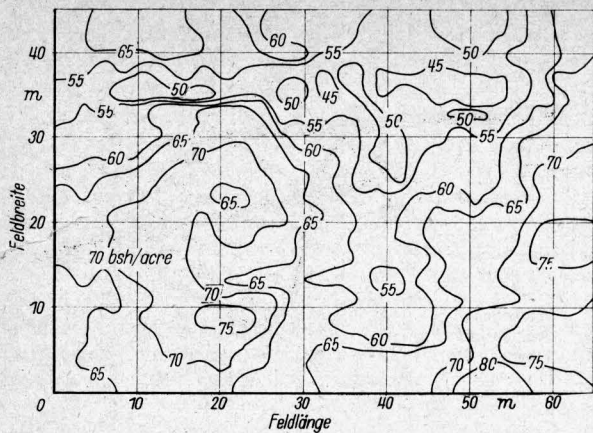
Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Durchsatzregelung mit Hilfe der Fahrgeschwindigkeitssteuerung. Zur Demonstration der möglichen Bestandsunregelmäßigkeiten sei noch einmal auf **Bild 1** verwiesen. Aus den Kurven geht hervor, daß die Schwankungen in der Bestandshöhe kaum Aufschluß über die zu erntende Getreidemasse geben.

Einen guten Überblick über die möglichen Ertragsschwankungen auf einem ganzen Feld geben die von *Johnson* und

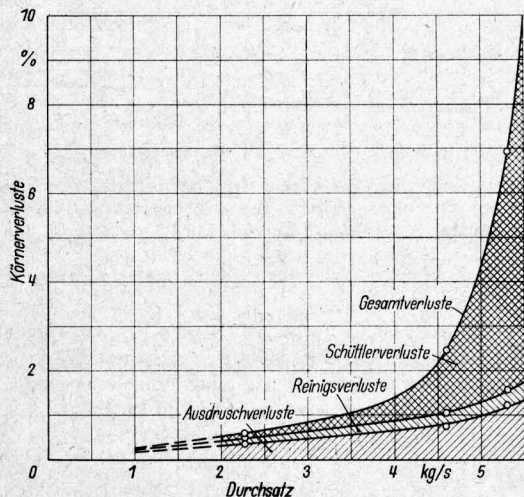


**Bild 7.** Skizze einer Ausgleichsrichtung für Querneigungen am Mähdrescher S-6 [6].

- a Dreschmaschine
- b Pendel
- c hydraulische Dämpfung für das Pendel
- d Wegeventil
- e Hydrozylinder
- f parallelgeführte Querlenkerachse

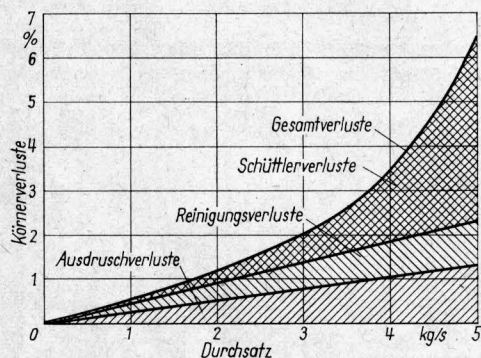


**Bild 8.** Kurven gleichen Ertrages eines Haferversuchsfeldes nach Johnson und Murphy [13].  
1 bsh/acre  $\triangleq$  36 kg/ha



**Bild 9.** Verluste beim Mähdrusch in Abhängigkeit vom Durchsatz [14].

Erntejahr 1962  
Ort: Kreis Wolfenbüttel  
Erntegut: Sommerweizen (Strubes Grano)  
Korn-Stroh-Verhältnis 1:1,35  
Kornfeuchte 22,8%  
Schnittbreite 3040 mm (3060)  
Dreschtrommel: Durchmesser 450 mm  
Breite 1250 mm



**Bild 10.** Verluste beim Mähdrusch in Abhängigkeit vom Durchsatz nach Michailow [15].

Erntejahr 1957  
Ort: KNIITIM, UdSSR  
Erntegut: Winterweizen (Novoukrainka 84)  
Korn-Stroh-Verhältnis 1:1,5  
Mähdröschler SK-3  
Schnittbreite 3200 mm  
Dreschtrommel: Durchmesser 550 mm  
Breite 865 mm

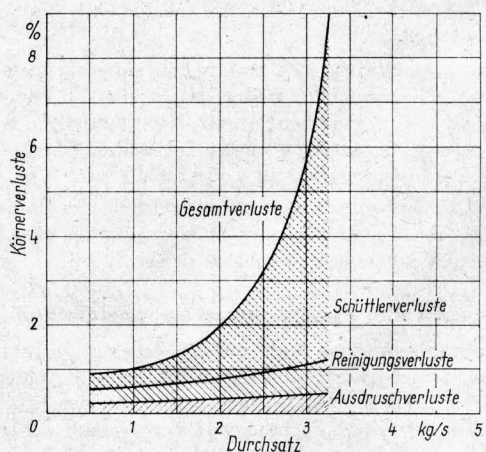
Murphy [13] ermittelten Kurven gleichen Ertrages eines Haferversuchsfeldes, **Bild 8**, die hauptsächlich auf die Heterogenität des Bodens zurückzuführen waren. Das Feld wurde dazu in Parzellen von  $8 \times 8$  Fuß abgeerntet und deren Erträge festgestellt. Da gewisse Relationen zwischen Korn- und Strohertrag bestehen, erlauben die in der Darstellung gezeigten Ertragskurven auch einen Rückschluß auf die Schwankungen in der Masse des Erntegutes.

Bei der Aufnahme des Erntegutes ist also mit Schwankungen sowohl in als auch quer zur Fahrtrichtung zu rechnen. Die Bestandsschwankungen quer zur Fahrtrichtung, die zwar etwas durch die Einzugsorgane auf dem Wege zur Dreschtrommel ausgeglichen werden, wurden bisher nicht berücksichtigt. Als Bezugsgröße für die Belastung der Schneid-, Förder- und Dreschorgane dient allgemein die Masse des aufgenommenen Erntegutes oder der geernteten Körner.

Mit welchen Ertragseinbußen bei Überlastung eines Mähdreschers zu rechnen ist, wird an Hand von **Bild 9** gezeigt. Zur Charakterisierung der Belastung wurde hier und in allen folgenden Bildern der gesamte Durchsatz an Erntegut gewählt, d. h. Stroh, Körner und Grünstanteil. Nimmt man für die Gesamtverluste beim Mähdrusch gemäß den DLG-Prüfregeln 1% als obere Grenze an, so bewältigt der geprüfte Mähdrescher unter den gegebenen Erntebedingungen 3,3 kg Erntegut in der Sekunde, **Bild 9**. Bereits bei etwas höheren Durchsätzen steigen die Verluste progressiv stark an. Muß man innerhalb eines Bestandes mit zeitweiligen Bestandszunahmen von beispielsweise 50% rechnen, was einem Durchsatz von etwa 5 kg/s entspricht, so stellen sich für diese Belastung nach **Bild 9** Körnerverluste von etwa 4,4% ein. Wie aber aus **Bild 1** hervorgeht, können die Bestandsschwankungen auch 100% betragen.

Für annähernd gleich große Mähdrescher und ebenfalls für Weizen sind die Verlustkurven aus der Sowjetunion, **Bild 10**, und Kanada, **Bild 11**, in Diagrammen dargestellt. Die Verluste wachsen auch hier mit höherem Durchsatz progressiv an. Der abweichende Verlauf der Kurven ist sowohl auf die andersartigen Erntebedingungen als auch auf die konstruktive Auslegung der Arbeitsorgane zurückzuführen.

Man kann demnach sagen, daß eine wenn auch nur vorübergehende Überlastung eines Mähdreschers mit beachtlichen Verlusten verbunden ist. Diese Tatsache unterstreicht die Forderung nach einer Durchsatzbegrenzung. Der Einsatz einer Regelanlage kann sowohl zu hohe Durchsätze mit großen Körnerverlusten als auch eine schlechte Auslastung des Mähdreschers, die bei einigen Fruchtarten zu hohen Körnerbruchanteilen führt, verhindern. Sieht man von den Aufnahmeverlusten ab, so ist die Dreschtrommel das erste Arbeitsorgan, dessen Arbeitsqualität



**Bild 11.** Verluste beim Schwaddrusch in Abhängigkeit vom Durchsatz [16].

Erntejahr 1964  
Ort: Regina, Saskatchewan (Kanada)  
Erntegut: Weizen (Selkirk)  
Korn-Stroh-Verhältnis 1:1,14  
Breite der Aufnahmeeinrichtung 2400 mm  
Schnittbreite 2971 mm (3124)  
Dreschtrommel: Durchmesser 457 mm  
Breite 994 mm

maßgeblich von der Art und Masse der Beschickung abhängt und bei dem Körnerverluste infolge unvollständigen Ausdrusches in größerem Umfang auftreten können. Gelingt es mit Hilfe einer Regelanlage, den Erntegutstrom so zu steuern, daß für die Dreschtrommel optimale Arbeitsbedingungen vorliegen, dann arbeiten auch die nachgeschalteten Arbeitsorgane eines Mähdreschers unter günstigen Bedingungen.

#### Anforderungen an eine Messung des Durchsatzes

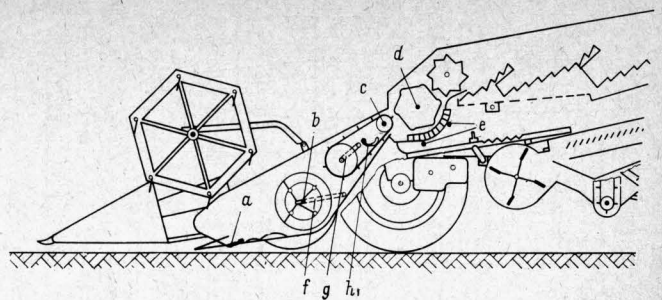
Für eine Regelanlage wäre es günstig, den Bestand an Erntegut direkt vor dem Schneidbalken meßtechnisch zu erfassen, um daraufhin die Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers richtig einzustellen. Von dieser Möglichkeit wurde bisher anscheinend wegen der mit ihr verbundenen Schwierigkeiten kein Gebrauch gemacht, da es einfacher ist, den Durchsatz an Erntegut indirekt durch Messung der Antriebsdrehmomente der Schneid-, Einzugs- oder Dreschorgane, der Auslenkung einer pendelnd aufgehängten Einzugs- oder Schnecke oder der Schwinde des Schrägelevators, der Änderung des Kettendurchhanges am Schrägelevator sowie der Auflagerreaktionen des Dreschkorb festzustellen, **Bild 12**. An den Einzugs- und Dreschorganen ist eine Durchsatzmessung insofern nachteilig, als bereits Erntegut vom Mähdrescher aufgenommen ist, das nicht der optimalen Zufuhrmasse entspricht, bevor eine Durchsatzänderung gemessen wird.

Entscheidend für die Wirksamkeit einer Regeleinrichtung ist es, daß der gemessene Wert eine deutliche Abhängigkeit vom Durchsatz aufweist, die sich vom Leerlauf des Mähdreschers bis zu den höchst möglichen Belastungen erstrecken muß. Der Meßwert sollte darüber hinaus möglichst frei von Störeinflüssen sein, die an Mähdreschern, hervorgerufen durch die Fahrzeugbewegungen beim Fahren auf unebenem Gelände, und Schwingungen, die von den verschiedenen Arbeitsorganen einschließlich ihrer Antriebe verursacht werden, in vielfältiger Art auftreten. Außerdem wäre es für eine optimale Beschickung der Dreschorgane von Vorteil, wenn bei der Durchsatzmessung die unterschiedliche Dreschbarkeit des Erntegutes nach Art und Zustand miterfaßt würde, da ein Zusammenhang zwischen Drehmomentbedarf an der Dreschtrommelwelle und Arbeitsqualität des Dreschprozesses sowohl hinsichtlich der Ausdruschverluste als auch der Kornabscheidung durch den Dreschkorb besteht [17].

Zur Veranschaulichung der deutschen Verhältnisse wurden vom Verfasser in der Erntesaison 1965 die Reaktionen an Schneid-, Einzugs- und Dreschorganen auf Durchsatzänderungen gemessen, da die veröffentlichten Untersuchungen nur für russische und nordamerikanische Erntebedingungen gültig sind und sich nicht auf alle Arbeitsorgane erstrecken. Für die Messungen wurde ein von der Industrie zur Verfügung gestellter, serienmäßig gefertigter Mähdrescher mit 2150 mm Schnittbreite etwas abgeändert und mit elektrischen Meßwertgebern ausgerüstet. Die Angaben über das mähgedroschene Erntegut sind in **Tafel I** zusammengestellt.

#### Zeitmessungen über die Erntegutförderung zur Dreschtrommel

Für eine erfolgreiche Durchsatzregelung über eine Fahrgeschwindigkeitssteuerung ist neben der Ermittlung einer eindeutigen Abhängigkeit der Meßgröße vom Durchsatz die Zeit zu berücksichtigen, die vom Zeitpunkt der Aufnahme des Erntegutes durch den Mähdrescher bis zum Erreichen der erwünschten



**Bild 12.** Für eine Durchsatzermittlung mögliche Meßstellen an den Schneid-, Einzugs- und Dreschorganen.

- a Drehmoment des Mähmesserantriebes
- b Drehmoment an der Einzugs- oder Schneckenwelle
- c Drehmoment an der Schrägelevatorwelle
- d Drehmoment an der Dreschtrommelwelle
- e Druck auf den Dreschkorb
- f Auslenkung der pendelnd aufgehängten Einzugs- oder Schnecke
- g Auslenkung der Schrägelevatorschwinge
- h Auslenkung der Schrägelevatorkette

Fahrgeschwindigkeit verstreicht. Von diesem Gesichtspunkt aus ist es vorteilhaft, die Messung des Durchsatzes möglichst weit vorn, d. h. am Antrieb des Mähmessers oder, wenn dies nicht möglich ist, am ersten Förderorgan, der Einzugs- oder Schnecke, vorzunehmen. Damit wird erreicht, daß die Fahrgeschwindigkeitsverstellung sich zeitig durch die veränderte Aufnahme von Dreschgut auf den Durchsatz auswirkt und die bereits erfaßte, durch eine andere Fahrgeschwindigkeit nicht mehr zu beeinflussende Erntegutmasse klein bleibt.

Um Anhaltswerte zu bekommen, in welcher Zeit nach der Aufnahme eine Bestandsänderung von den Einzugs- und Dreschorganen registriert wird, wurden besondere Versuche angestellt. Der Mähdrescher fuhr mit konstanter Geschwindigkeit über einen Stoppelacker hinweg in einen stehenden Bestand, d. h. der Mähdrescher wurde stoßartig, gemäß einer Sprungfunktion belastet. Dabei zeichnete ein Oszillograph die Drehmomentenanstiege der Einzugsorgane und der Dreschtrommel auf. Die Versuchsvariante war hierbei die Fahrgeschwindigkeit. Versuche wurden in einem Sommerweizen- und einem Haferbestand durchgeführt. Das zeitliche Ansprechen der Arbeitsorgane auf einen Belastungsstoß ist in **Bild 13** und **14** über dem gestreckten Förderweg des Erntegutes aufgetragen. Es fällt auf, daß die Fahrgeschwindigkeit kaum Einfluß auf die Transportgeschwindigkeit vom Schneidbalken zur Einzugs- oder Schnecke hat. Entscheidend bestimmt die Einzugs- oder Schnecke durch unterschiedliche Annahme des Erntegutes den Weitertransport zur Dreschtrommel. Bei Sommerweizen scheint nach **Bild 13** eine bei höherer Fahrgeschwindigkeit aufgenommene, dickere Strohschicht schlechter von der Schnecke erfaßt zu werden. Sie wird anscheinend abgefräst, während dünnere Strohschichten leichter eingezogen werden. Dagegen nahm die Einzugs- oder Schnecke Hafer unabhängig von der Schichtdicke gleichmäßig gut an, **Bild 14**. Ist das Gut erst einmal erfaßt worden, so wird bei beiden Getreidearten die größere Halmgutmasse schneller zur Dreschtrommel gefördert als ein dünner Film Erntegutes. Die Unterschiede sind allerdings nicht groß. Die Förderzeit für den Weg vom Schneidbalken bis zur Dreschtrommel bewegt sich je nach Durchsatz und Getreideart bei diesem Mähdrescher zwischen 1,3 und 1,9 s.

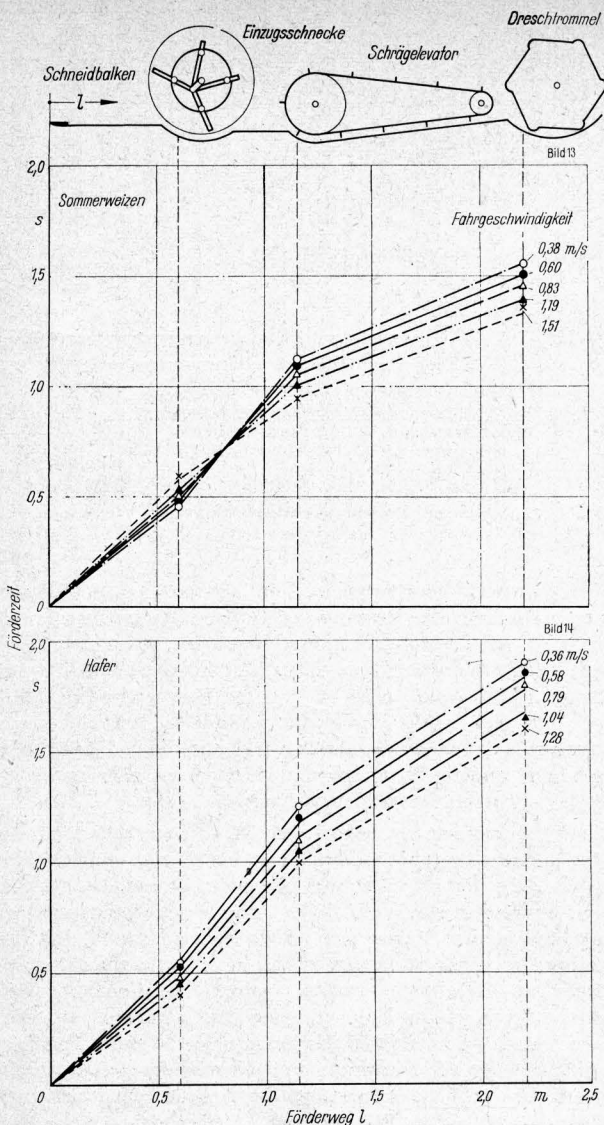
**Tafel I.** Art und Zustand des Versucherntegutes.

Erntetag	Getreide	Sorte	mittlere Kornfeuchte <sup>4)</sup>	mittlere Strohfeuchte	mittleres Korn-Stroh-Verhältnis <sup>5)</sup>	mittlerer Masseanteil an Grüngut <sup>6)</sup>
a) Messung der Drehmomente und Auslenkungen in Abhängigkeit vom Durchsatz						
4. 8.	Wintergerste	Hauters	18 %	22%	1:1,12	2 % Unkraut
12. 8.	Sommergerste	Heines Amsel	16,5%	18%	1:1,72	4,5% Unkraut
17./18. 8.	Roggen	Petkuser Kurzstroh	19,5%	25%	1:2,20	23 % Rotklee
19. 8.	Winterweizen	Heine VII	13 %	26%	1:1,90	—
30. 8.	Hafer	Asches Luxor	16 %	36%	1:1,44	3 % Unkraut
b) Ermittlung der Ansprechzeiten der Arbeitsorgane auf einen Belastungsstoß						
8. 9.	Hafer	Asches Luxor	18,1%	40,6%	1:1,62	3,5% Unkraut
8. 9.	Sommerweizen	Heines Koga II	23,4%	35,5%	1:2,30	—

<sup>4)</sup> Die Kornproben wurden dem Korntank entnommen.

<sup>5)</sup> Als Stroh wurden Stroh und Grüngutbeimengungen gewertet.

<sup>6)</sup> Das Grüngut wurde auf die Getreidemasse bezogen.



**Bild 13 und 14.** Zeitliches Ansprechen der Arbeitsorgane auf einen Belastungsstoß bei Sommerweizen und Hafer (ermittelt nach Drehmomentanstieg).

	Bild 13	Bild 14
Erntejahr:	1965	1965
Ort:	Lamme	Völknerode
Erntegut:	Sommerweizen (Heines Koga II)	Hafer (Asches Luxor)
Schnittbreite:	2150 mm	2150 mm
Masse des Erntegutes:	1,43 kg/m <sup>2</sup>	0,775 kg/m <sup>2</sup>
Korn-Stroh-Verhältnis:	1:2,30	1:1,62
Kornfeuchte:	23,4%	18,1%
Strohfeuchte:	35,5%	40,6%

**Ergebnisse der Durchsatzmessung**

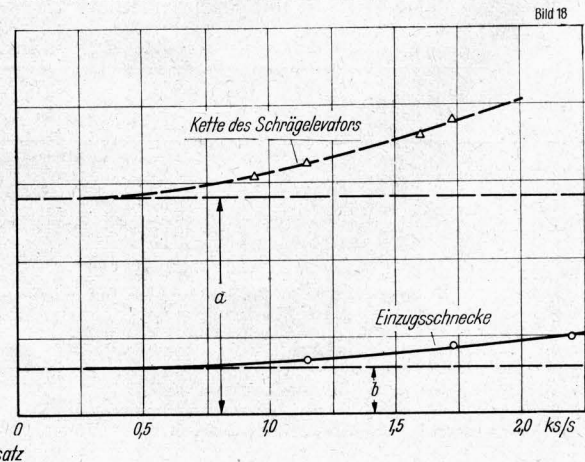
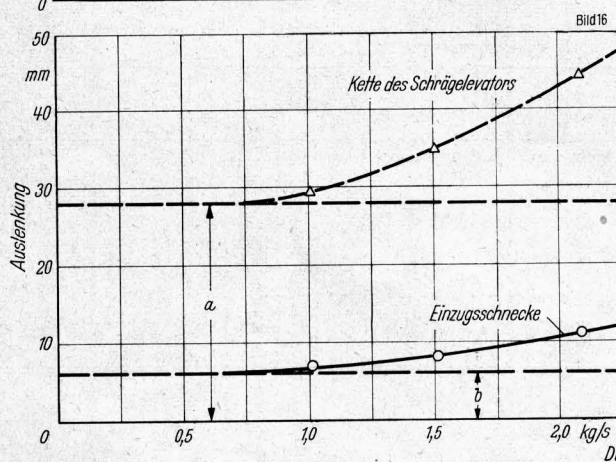
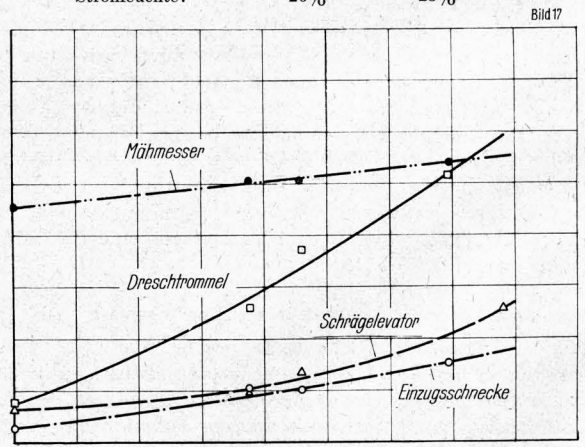
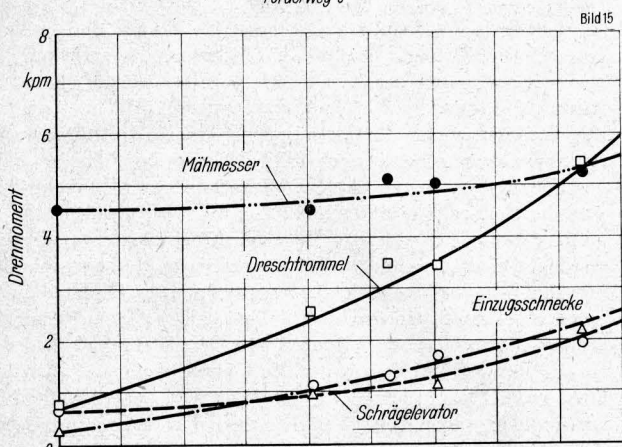
Die durchgeführten Messungen an den verschiedenen Arbeitsorganen eines Mähdreschers während der letzten Ernte sollten zur Klärung beitragen, in welchen Grenzen eine Durchsatzermittlung möglich ist. Obwohl die Ausbildung der Arbeitsorgane vieler Mähdreschertypen ähnlich ist, unterscheiden sie sich doch hinsichtlich ihrer Ausführung, vorwiegend aus fertigungstechnischen Gründen. Die ermittelten Beziehungen zwischen Durchsatz und Meßwerten dürfen aber nicht als allgemein gültig angesehen werden, zumal das Ergebnis der Messung maßgeblich von der Wahl der Meßstelle und den vorliegenden geometrischen Verhältnissen abhängt.

Die gemessenen Drehmomente und Auslenkungen der Schneid-, Einzugs- und Dreschorgane sind beim Mähdresch von Winterweizen in **Bild 15 und 16** und von Roggen in **Bild 17 und 18** aufgetragen. Die deutlichste Abhängigkeit vom Durchsatz weist das

**Bild 15 bis 18.** Drehmomente und Auslenkungen der Schneid-, Einzugs- und Dreschorgane beim Mähdresch von Winterweizen und Roggen.

a Mindestabstand zwischen Mitnehmerleisten und Kanalboden  
b Mindestabstand zwischen Schnecke und Schneidwanne

	Bild 15 und 16	Bild 17 und 18
Erntejahr:	1965	1965
Erntegut:	Winterweizen (Heine VII)	Roggen (Petkuser Kurzstroh)
Korn-Stroh-Verhältnis:	1:1,90	1:2,20
Kornfeuchte:	13%	19,5%
Strohfeuchte:	26%	25%



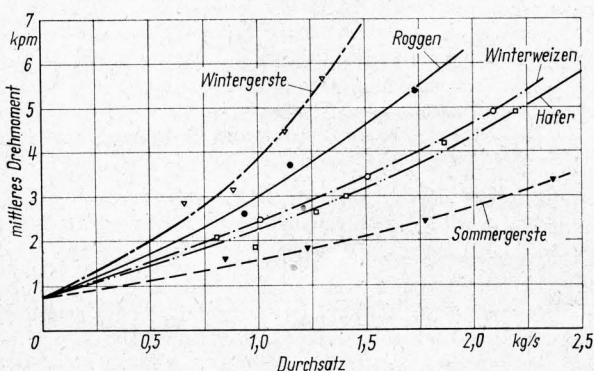
Antriebsdrehmoment für die Dreschtrommel auf. Dagegen beträgt die Differenz am Mähmesserantrieb zwischen dem Leerlaufmoment und dem Moment bei höchstem Durchsatz nur 20%. Die beiden Einzugsorgane, Einzugschnecke und Schrägelevator, weisen zur Schneidwanne bzw. zum Kanalboden einen Mindestspalt auf, der aus konstruktiven und auch funktionellen Gründen nicht beliebig klein gehalten werden kann. Bei kleinen Fördermengen, d. h. bei kleinen Durchsätzen, bleiben beide Organe in ihrer tiefsten Stellung, da durch den Nullspalt eine bestimmte Masse gefördert werden kann, bis die mit wachsendem Durchsatz immer höher verdichtete Halmgutmasse genügend Tragfähigkeit besitzt, um die Organe auszulocken. Auf die Antriebsdrehmomente wirkt sich diese Tatsache nicht aus, was aus dem stetigen Anstieg der Drehmomentenkurven für beide Einzugsorgane abzulesen ist.

Wie oben bereits erwähnt, wäre es vorteilhaft, wenn die gewählte Regelgröße für den Regelprozeß und der Drehmomentenbedarf an der Dreschtrommelwelle die gleiche oder eine ähnliche Abhängigkeit von der Art und Zustand des Ernteguts aufweisen würde. Der Einfluß verschiedener Getreidearten auf das Antriebsdrehmoment der Dreschtrommel zeigt **Bild 19**. Im Erntejahr 1965 erforderte die Wintergerste beim Dreschen den größten Leistungsaufwand. Ihr folgen in der Dreschbarkeit Roggen, Weizen und Hafer. Die Sommergerste ließ sich am leichtesten dreschen mit fast nur einem Drittel des Energieaufwandes, der für Wintergerste benötigt wurde.

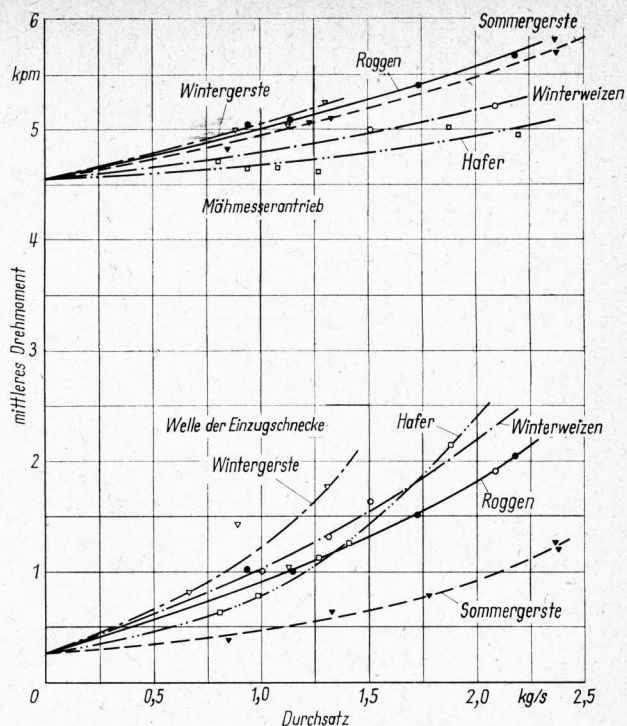
Der Meßort, an dem eine Bestandsänderung zuerst festgestellt wird, ist der Mähmesserantrieb. Die Messungen ergaben eine brauchbare Abhängigkeit des Drehmomentes, vom Durchsatz bei leider recht hohem Leerlaufdrehmoment, **Bild 20**. Der Einfluß der verschiedenen Getreidearten ist deutlich zu erkennen. Eine günstigere Charakteristik hat *Sturis* [18] an einem russischen Mähdrescher gemessen, die wohl hauptsächlich auf die andersartigen Erntebedingungen in der UdSSR zurückzuführen ist. In **Bild 21** sind die von ihm ermittelten Drehmomente und Drehzahlen am Antrieb der Dreschtrommel und des Mähmessers aufgetragen. Hierin weisen beide Drehmomentenkurven hinsichtlich ihres Verlaufs eine ähnliche Tendenz auf. Das Mähmesserantriebsmoment wurde in diesem Fall als Regelgröße für die Durchsatzregelung gewählt.

Die vom Verfasser gemessenen Drehmomente an der Einzugschneckenwelle gibt **Bild 20** wieder. Die Kurvenschar zeigt einen günstigen Verlauf. Die Messungen von *Sergyj* [19] an einer russischen Maschine ergaben eine ganz andere Drehmomentenkurve, die für eine Durchsatzregelung als ungeeignet bezeichnet werden muß, **Bild 22**.

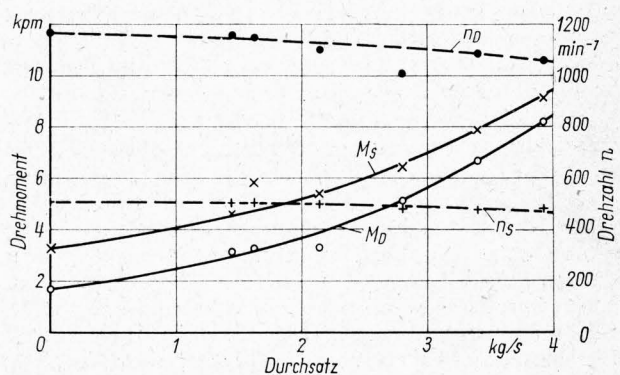
Ein weiteres Maß für den Durchsatz an Erntegut ist die Auslenkung der Schrägelevatorkette. Allgemein weisen serienmäßig hergestellte Mähdrescher einen beachtlichen Nullspalt zwischen Kanalboden und Mitnehmerleisten auf, **Bild 22** und **23**, so daß kleinere Durchsatzmassen nicht immer meßtechnisch erfaßt werden können. Außerdem hat die Kettenspannung der Elevators einen wesentlichen Einfluß auf den Verlauf der ermittelten Kurven. Nach den Versuchsergebnissen von *Sergyj* ergab sich ein degressiver Kurvenverlauf, **Bild 22**, während die Meßergebnisse des Verfassers eine progressive Kennung zeigen, **Bild 23**.



**Bild 19.** Drehmomente an der Dreschtrommelwelle.

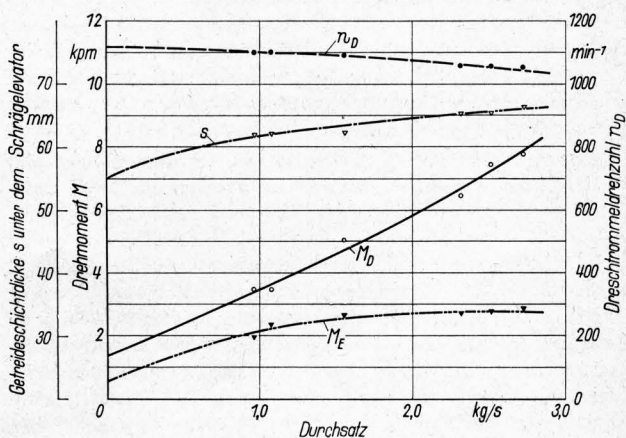


**Bild 20.** Drehmomente am Mähmesserantrieb und an der Welle der Einzugschnecke.



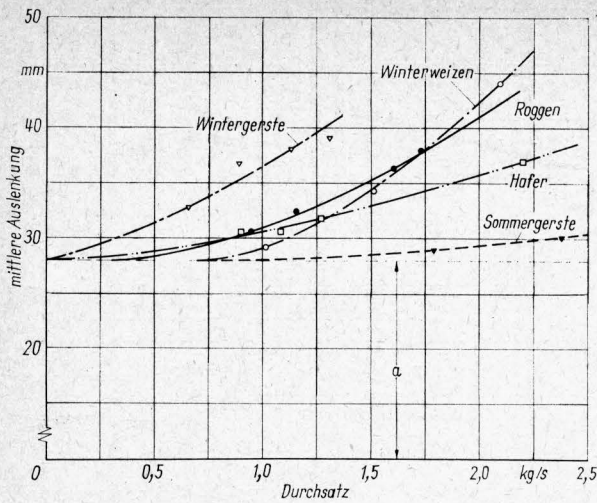
**Bild 21.** Antriebsdrehmomente und Drehzahlen von Dreschtrommel und Schneidwerk nach *Sturis* [18].

$M_D$  Drehmoment an der Dreschtrommelwelle  
 $M_S$  Drehmoment am Schneidwerktrieb  
 $n_D$  Drehzahl der Dreschtrommel  
 $n_S$  Drehzahl des Schneidwerktriebes  
 Erntejahr: 1965 Kornfeuchte: 12,1%  
 Erntegut: Winterroggen Strohfeuchte: 8,2%



**Bild 22.** Meßgrößen an den Einzugs- und Dreschorganen nach *Sergyj* [19].

$M_D$  Drehmoment an der Dreschtrommelwelle  
 $M_E$  Drehmoment an der Welle der Einzugschnecke

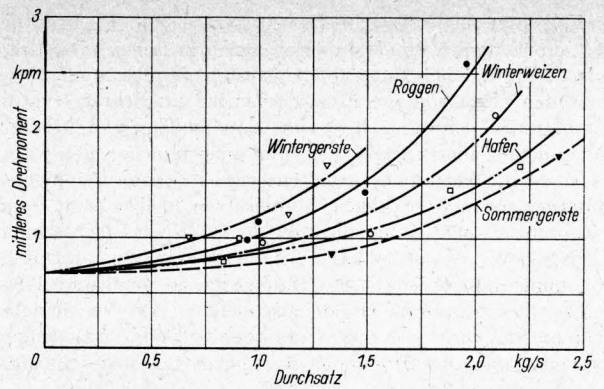


**Bild 23.** Auslenkung der Kette des Schrägelevators.  
a Mindestabstand zwischen Mitnehmerleisten und Kanalboden

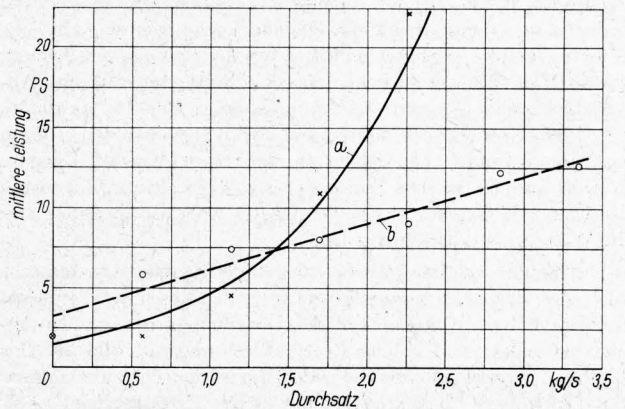
Auch das Antriebsdrehmoment des Schrägelevators kann zur Messung des Durchsatzes benutzt werden. Die in **Bild 24** aufgetragene Kurvenschar weist ebenso wie die an der Welle der Einzugschnecke gemessene, **Bild 20**, eine deutliche Abhängigkeit vom Durchsatz auf. Darüber hinaus ist der Einfluß verschiedener Getreidearten auf das Antriebsdrehmoment ähnlich dem an der Dreschtrommelwelle. Das Drehmoment an der Schrägelevatorwelle bietet sich daher für diesen Mähdrescher als geeignete Regelgröße an. Da der Elevator das letzte Organ der Zwangsfördereinrichtung ist, muß als Nachteil in Kauf genommen werden, daß etwa nach  $\frac{2}{3}$  der Zeit, die für den Transport vom Mähbalken zur Dreschtrommel benötigt wird, erst die Messung einer Durchsatzänderung erfolgen kann.

Die Abhängigkeit zwischen Durchsatz und erforderlicher Antriebsleistung für die Dreschtrommel bei unterschiedlichen Beschickungsarten klärte **Arnold** [20] durch grundsätzliche Untersuchungen auf einem Versuchs-dreschstand. Bei Mähdreschern ist es üblich, daß der Schrägelevator mit konstanter Umfangsgeschwindigkeit die Dreschtrommel beschickt. Eine Änderung des Durchsatzes wird durch unterschiedliche Schichtdicken des Erntegutstromes erreicht. Für diesen Beschickungsfall erhält man eine progressive Abhängigkeit zwischen Durchsatz und Antriebsleistung, wie es die ausgezogene Kurve in **Bild 25** zeigt. Günstiger wäre es, wenn man die gestrichelt eingezeichnete, lineare Abhängigkeit verwirklichen könnte. **Arnold** erreichte dies durch Variation der Zuführungsgeschwindigkeit bei konstanter Schichtdicke. Auch in diesem Fall ist die Relation zwischen Leistungsbedarf an der Dreschtrommelwelle und Arbeitsqualität des Dreschprozesses hinsichtlich der Ausdruschverluste und der Kornabscheidung durch den Dreschkorb ähnlich wie bei der herkömmlichen Beschickung [17]. Die Leistungsdifferenz zwischen den beiden Beschickungsarten ist daher auch ein Maß für den Unterschied in der Arbeitsqualität oder für die mögliche Durchsatzserhöhung bei gleich hohen Verlusten. Diese dünn-schichtige Beschickung konnte aber bisher konstruktiv noch nicht verwirklicht werden.

Der serienmäßige Mähdrescher, der uns in diesem Erntejahr zur Verfügung stand, besitzt einen konventionellen Schrägelevator, der mit konstanter Umfangsgeschwindigkeit umläuft. Die im **Bild 19** gezeigte Kurvenschar für das Antriebsdrehmoment an der Dreschtrommelwelle für verschiedene Durchsätze und mit der Getreideart als Parameter weist daher auch diese progressive Abhängigkeit auf. Eine Durchsatzmessung an dieser Stelle kann eine Verstopfungsgefahr von Arbeitsorganen nur verringern, aber nicht ausschließen, da eine veränderte Durchsatzmasse erst nach Verstreichen der gesamten Transportzeit festgestellt wird. Bei stehenden Beständen dürfte dieser Meßort keine wesentlichen Nachteile haben, da die Förderorgane Bestandsschwankungen etwas ausgleichen. Bei stark wechselnden Erntebedingungen oder beim Mähdrusch von verfilztem Gut würden sich aber Schwierigkeiten ergeben. In diesem Fall müßte eine Durchsatz-



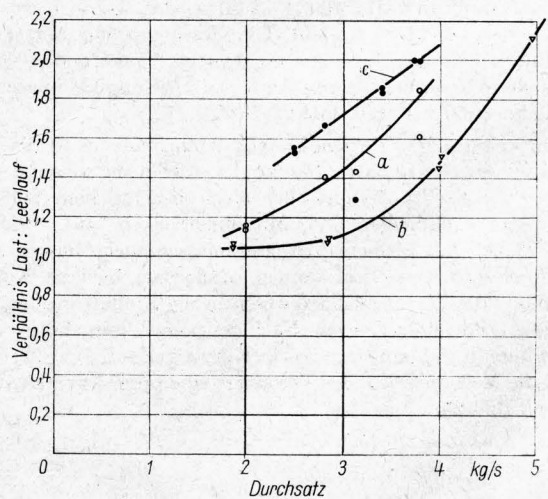
**Bild 24.** Drehmomente an der Welle des Schrägelevators.



**Bild 25.** Einfluß der Dreschtrommelbeschickung auf die Antriebsleistung nach **Arnold** [20].

a Zuführungsgeschwindigkeit konstant, Dicke der Getreideschicht wird variiert  
b Dicke der Getreideschicht konstant, Zuführungsgeschwindigkeit wird variiert.

Erntejahr: 1963  
Ort: Silsoe/England  
Erntegut: Sommerweizen (Opal)  
Korn-Stroh-Verhältnis: 1:1,2  
Kornfeuchte: 14,6%  
Strohfeuchte: 12,2%



**Bild 26.** Meßgrößen am Schrägelevator und am Dreschkorb nach **Bogdanova** u. a. [21].

a Antriebsdrehmoment des Schrägelevators  
b Dicke der Getreideschicht unter dem Schrägelevator  
c Auflagerreaktion am Dreschkorb

messung weiter vorne, günstigstenfalls vor oder am Schneidwerk erfolgen.

Der Durchsatz kann auch anhand der Auflagerreaktionen am Dreschkorb bestimmt werden. Dies zeigen die Messungen von **Bogdanova** u. a., **Bild 26**. Es ist hier über dem Durchsatz das Verhältnis Last zu Leerlauf aufgetragen. Da es sich um Belastungskurven handelt, beginnen sie mit dem Verhältniswert 1 und weisen bei wachsendem Durchsatz nur Werte  $> 1$



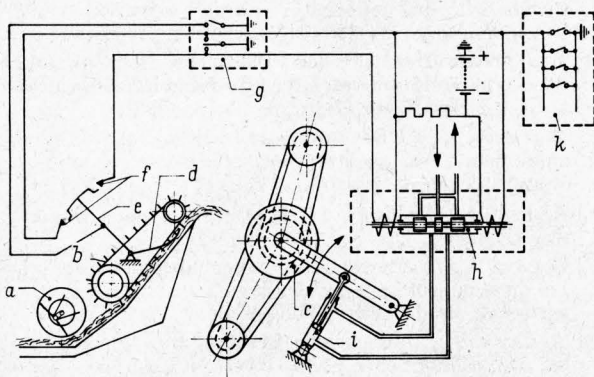
auf. In dem Diagramm sind die Kennlinien für das Antriebsdrehmoment am Schrägelevator, die Dicke der Getreideschicht unter dem Schrägelevator und die Auflagerreaktion am Dreschkorb aufgetragen.

#### Ausgeführte Regelanlagen

Einige der für den Feldeinsatz entwickelten Durchsatzmeß- und Regelanlagen, die bisher nur an bereits serienmäßig gefertigte Mähdrescher angebaut wurden, werden anhand der nächsten Bilder erklärt. Da eine Durchsatzermittlung auf Messung der Auslenkung oder des Antriebsdrehmomentes eines Arbeitsorganes beruht, ist für jeden dieser Fälle ein typisches Beispiel einschließlich seiner Varianten ausgewählt worden.

Die durch die Dicke der Getreideschicht hervorgerufene Auslenkung der Schrägelevatorkette, die mit einem Tastmechanismus festgestellt wird, dient bei mehreren Regelanlagen als Regelgröße. Auf dieser Grundlage wurden in der Sowjetunion für den Mähdrescher SK-3 mehrere un stetig und stetig arbeitende Regelsysteme entwickelt und erprobt, von denen zwei als Beispiele für die Durchsatzermittlung durch eine Wegmessung beschrieben werden.

Ein un stetig arbeitender, elektrohydraulischer Belastungsregler ist in **Bild 27** dargestellt [6, 22]. Mit Hilfe eines Tasters **d** wird hier eine Durchsatzänderung festgestellt. Erst wenn eine bestimmte Abweichung des Durchsatzes vom Sollwert auftritt, schließt sich der Stromkreis über einen Kontakthebel **e** und einen der Festkontakte **f**, wodurch einer der Elektromagnete eingeschaltet wird, der den Kolben eines Wegeventils **h** betätigt. Der Hydrozylinder **i** wird so mit Hydrauliköl beaufschlagt, daß durch eine andere Stellung der Schwinde am Regeltrieb des Fahrvariators **c** eine Korrektur des Übersetzungsverhältnisses vorgenommen wird. Es handelt sich hier also um einen 3-Punkt-



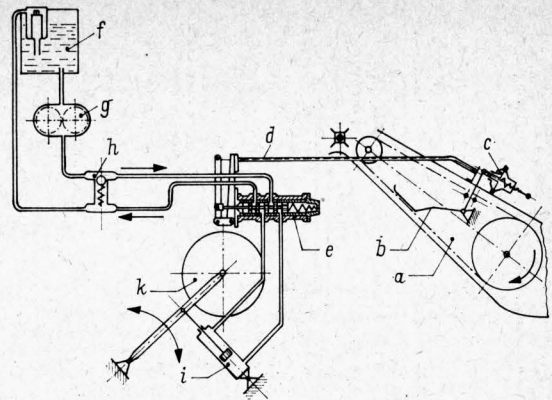
**Bild 27.** Elektrohydraulischer Belastungsregler für den Mähdrescher SK-3, System VISCHOM [6].

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| a Einzugschnecke                | f Festkontakte                                |
| b Schrägelevator                | g Schalter                                    |
| c Fahrvariator                  | h Wegeventil                                  |
| d Taster an der Getreideschicht | i Hydrozylinder                               |
| e Kontakthebel                  | k Überlastschalter an mehreren Arbeitsorganen |

regler mit den Stellungen: schneller — konstant — langsamer. Der Fahrvariator an diesem Mähdrescher, der in Westeuropa nicht allgemein bekannt sein dürfte, entspricht der Bauform, die vorwiegend an russischen und auch amerikanischen Mähdreschermodellen zu finden ist. Er besteht aus einer antreibenden Keilriemenscheibe, einem in einer Schwinde gelagerten, dreiteiligen Scheibenpaket mit axial verschiebbarer Mittellamelle und einer angetriebenen Keilriemenscheibe. Das Verstellen der Schwinde führt zu anderen Achsabständen für die Keilriementriebe und damit zu einer Änderung der Übersetzungsverhältnisse.

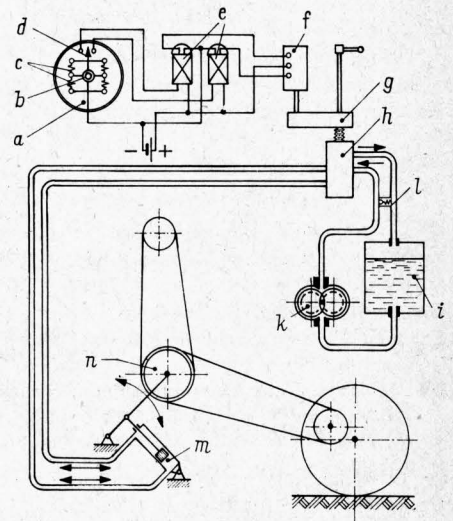
Eine kontinuierlich arbeitende, hydraulische Regelanlage ist in **Bild 28** dargestellt. Die Tasteinrichtung **b**, die hier mit einer Dämpfungseinrichtung **c** versehen ist, betätigt über einen Seilzug **d** direkt das Wegeventil **e**, das eine Fahrgeschwindigkeitsänderung durch entsprechende Beaufschlagung des Hydrozylinders **i** bewirkt.

Regelanlagen, bei denen das Antriebsdrehmoment an einem Arbeitsorgan die Regelgröße ist, zeigen die nächsten Bilder. Für



**Bild 28.** Hydraulischer Belastungsregler „Autotechnolog“ für den Mähdrescher SK-3, System VISCHOM [23].

- |                        |   |
|------------------------|---|
| a Schrägelevator       | f Ölvorratstank                               |
| b Tasteinrichtung      | g Zahnradpumpe                                |
| c Dämpfungseinrichtung | h Druckbegrenzungsventil                      |
| d Seilzug              | i Hydrozylinder                               |
| e Wegeventil           | k Schwinde zum Regelbetrieb des Fahrvariators |



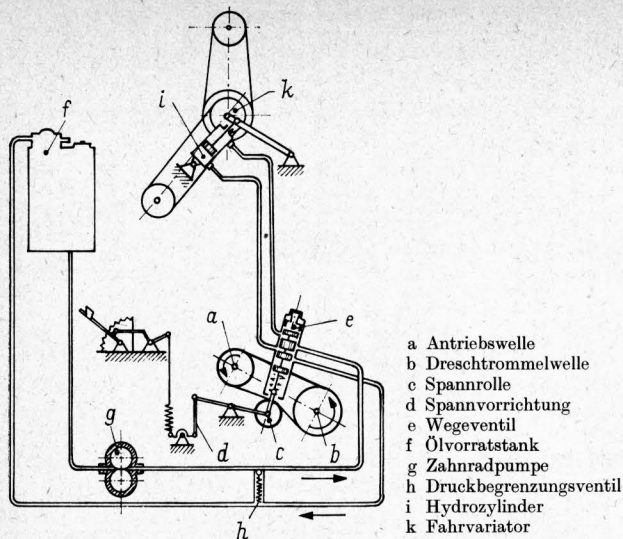
- |                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| a Keilriemenscheibe              | d Schaltelement           |
| b Dreschtrommelwelle             | e Schaltrelais            |
| c Federn zur Momentenübertragung | f elektrischer Stellmotor |
| d Schaltelement                  | g Getriebe                |
| e Schaltrelais                   | h Wegeventil              |
| f elektrischer Stellmotor        | i Ölvorratstank           |
| g Getriebe                       | k Zahnradpumpe            |
| h Wegeventil                     | l Druckbegrenzungsventil  |
| i Ölvorratstank                  | m Hydrozylinder           |
| k Zahnradpumpe                   | n Fahrvariator            |
| l Druckbegrenzungsventil         |                           |
| m Hydrozylinder                  |                           |
| n Fahrvariator                   |                           |

**Bild 29.** Elektrohydraulischer Belastungsregler für den Mähdrescher SK-3, System VIM [6].

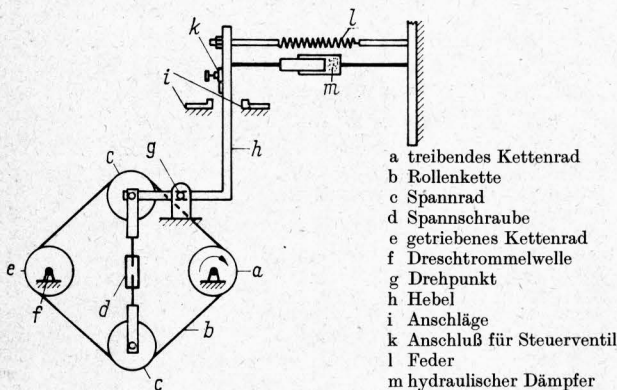
das Beispiel wurde die Durchsatzmessung an der Dreschtrommelwelle gewählt. Prinzipiell können die Drehmomentmeßeinrichtungen dieser Art auch zur Messung des Durchsatzes an den Antrieben der Schneid- und Förderorgane verwendet werden.

Einen un stetig arbeitenden Belastungsregler für einen russischen Mähdrescher [6,24] zeigt **Bild 29**. Das Drehmoment wird hier dynamometrisch mit Hilfe von mehreren Federn **c** gemessen, die auf einer Seite an der auf der Welle gelagerten Keilriemenscheibe **a** und auf der anderen Seite an der Dreschtrommelwelle **b** befestigt sind. Die Verdrehung zwischen Keilriemenscheibe und Dreschtrommelwelle ist ein Maß für das übertragene Drehmoment. Wird ein bestimmter Winkelbetrag über- oder unterschritten, so schließt das Schaltelement **d** einen Stromkreis, der mit Hilfe einer elektrischen Stelleinrichtung **e/f** und über ein Getriebe **g** das Wegeventil **h** betätigt. Es handelt sich hier wieder um einen 3-Punktregler, der nur die drei Schaltstellungen: langsamer — konstant — schneller besitzt. Die Fahrgeschwindigkeit wird auf hydraulischem Wege wie bei den zuvor gezeigten Anlagen verändert.

Eine Drehmomentmessung kann auch an dem üblicherweise vorhandenen Hülltrieb des Dreschtrommelantriebs vorgenommen werden, **Bild 30**. Die Auslenkung einer Spannrolle **c** durch den ziehenden Trum des Hülltriebes wird hier benutzt, um den Kolben des Wegeventils **e** direkt zu betätigen. Damit ist die Drehmomentenmessung auf eine Wegmessung zurückgeführt worden. Die Spannung der Rolle kann an einer Spannvorrichtung **d** auf die Erntebedingungen abgestimmt werden. Prinzipiell ist es



**Bild 30.** Hydraulischer Belastungsregler für den Mähdrescher SK-3, System UNIMESCH [25].



**Bild 31.** Schema der Drehmomentenmeßeinrichtung am Dreschtrommelantrieb nach Friesen, Zoerb und Bigsby [26].

auch möglich, die Drehmomentmessung auf diese Art an jedem Hülltrieb — also Flachriemen-, Keilriemen- und Kettentrieb — durchzuführen.

In Kanada wurde eine ähnliche Drehmomentenmeßeinrichtung entwickelt, **Bild 31**. Hier wird der Hülltrieb, in diesem Fall ein Kettentrieb, durch ein vorgespanntes Rollenpaar gespreizt. Wächst das Drehmoment an, so drückt der ziehende Trum das Rollenpaar nach unten und lenkt damit den oberen Teil des Winkelhebels nach links aus. Diese Auslenkung des Hebels wird auf ein Steuerventil übertragen.

### Zusammenfassung

Die Bodenunebenheiten und Ertragsschwankungen auf Feldern erschweren einem Fahrer die laufende Anpassung des Mähdreschers an die augenblicklichen Gegebenheiten. Dabei gelingt es ihm nicht immer, vor allem bei schwierigen Ernteverhältnissen, das Erntegut mit geringen Verlusten aufzunehmen und den Durchsatz durch den Mähdrescher konstant zu halten. In den letzten Jahren wurden Regelanlagen entwickelt, die eine Höhenführung des Schneidbalkens im wählbaren Abstand zum Boden oder einen bestimmten Erntegutdurchsatz durch den Mähdrescher aufrecht zu erhalten erlauben. Die Möglichkeiten, die solche Regelanlagen bieten, wurden anhand von Meßergebnissen und an Beispielen ausgeführter Anlagen aufgezeigt.

Mit den hauptsächlich von Forschungsinstituten entwickelten Regelanlagen für Mähdrescher sind teilweise bessere Arbeitsergebnisse und beachtliche Leistungssteigerungen erzielt worden. Bisher wurden Regelanlagen nur an bereits serienmäßig gefertigte Mähdrescher angebaut. Bessere Voraussetzungen für die Arbeit eines Reglers können durch eine die Anforderungen einer Regelung berücksichtigende, konstruktive Auslegung der für die Messung einer Regelgröße gewählten Arbeitsorgane und der nötigen Stellglieder geschaffen werden.

### Schrifttum

- [1] *Wendeborn, J. O.*: Die Unebenheiten landwirtschaftlicher Fahrbahnen als Schwingungserreger landwirtschaftlicher Fahrzeuge. *Grundl. Landtechn.* **15** (1965) Nr. 2, S. 33/46.
- [2] *M & W Robot Header Control*. Prospekt der Firma M & W Gear Company, Anchor, Illinois (USA).
- [3] *Wright, P. M.*: Automatic header control means. USA-Patent Nr. 2 750 727.
- [4] *Nastenko, N. N.* und *L. A. Borošok*: Die automatische Höhenregelung der Arbeitsorgane landwirtschaftlicher Maschinen. *Traktory i sel'chozmašiny* **33** (1963) Nr. 8, S. 26/30, russ.
- [5] *Borošok, L. A.*: Höhenregelung der Arbeitsorgane an Maschinen. *Mechanizacija i Elektrifikacija* (1964) Nr. 2, S. 19/23, russ.
- [6] *Nastenko, N. N.* und *Borošok, L. A.*: Automation der Produktionsprozesse in der Landwirtschaft. Moskau Masgiz 1963.
- [7] *Kaminski, T. L.* und *G. C. Zoerb*: An automatic header height control for grain crops. ASAE-Paper Nr. 63—648.
- [8] *Heitshu, D. C.*: The self-propelled hillside combine. *Agric. Engng.* **37** (1956) Nr. 3, S. 182/83, 187.
- [9] *Pool, S. D.*: Controls for full-leveling hillside combine. *Agric. Engng.* **37** (1956) Nr. 4, S. 245/48.
- [10] *Šmyglevskij, N.*: Vorrichtung zum Mähdrescher S-6 für die Arbeit an steilen Hängen. *Technika v sel'skom chozjastve* **19** (1959), H. 6, S. 52/54.
- [11] *Tesnowskij, Ju. V.* und *Ju. A. Nikolaev*: Automatisches Ausgleichssystem am Mähdrescher KBK-1,0. *Traktory i sel'chozmašiny* **30** (1960) Nr. 9, S. 23/26, russ.
- [12] *Tesnowskij, Ju. V.* und *Ju. A. Nikolaev*: Automatisches System zur Stabilisierung der Lage von Landmaschinen. *Technika v sel'skom chozjastve* **20** (1960) Nr. 11, S. 70/74.
- [13] *Johnson, I. J.* und *H. C. Murphy*: Lattice and lattice square designs with oat uniformity data and in variety trials. *J. Am. Soc. Agronomy* **35** (1943) Nr. 4, S. 291/305.
- [14] Maschinenprüfbericht der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Prüfungsabteilung für Landmaschinen, Frankfurt/M.: Ber.-Nr. 880; Gruppe 7b/18 (1963).
- [15] *Michajlov, M. V.*: Die automatische Regelung der Halmgutzufuhr zum Dreschwerk eines selbstfahrenden Mähdreschers. *Vestnik sel'skochozjajstvennoj nauki* **7** (1962) H. 3, S. 117/25.
- [16] Agricultural Machinery Administration, Regina, Saskatchewan (Kanada). Test Nr. 2164 (1965).
- [17] *Caspers, L.*: Interne Forschungsergebnisse des Instituts für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.
- [18] *Sturis, A. I.*: Automatische Regelung des Arbeitsprozesses bei dem Mähdrescher SK-3. *Izvestija Timirjzewskoj sel'skochozjajstvennoj akademii* (1962) Nr. 3, S. 118/24, russ.
- [19] *Seryj, G. F.*: Automatische Beschickung der Dreschvorrichtung des Mähdreschers. *Moskovskaja ordena Lemina sel'skochozjajstvennaja akademija imeni K. A. Timirjzewa* (1962) Nr. 73, S. 23/30, russ.
- [20] *Arnold, R. E.* und *I. R. Lake*: Experiments with rasp bar threshing drums (III. Power Requirement). *J. Agric. Engng. Res.* **9** (1964) Nr. 4, S. 348/55.
- [21] *Bogdanova, L. I.*; *Lebedev, V. N.*, und *K. D. Paradeženko*: Untersuchung der Veränderlichkeit der Parameter von Arbeitsorganen am Mähdrescher in Abhängigkeit von der Belastung. *Elektrifikacija sel'skogo chozjajstva, Nauenye trudy* **10** (1961) S. 141/46.
- [22] *Nachamkin, G. G.*, und *M. V. Michajlov*: Der automatische Belastungsregler für Mähdrescher. *Traktory i sel'chozmašiny* **30** (1960) Nr. 12, S. 19/20, russ.
- [23] *Alferov, S. A.*; *G. S. Ioffe*; *I. I. Nakonečnyj* und *V. D. Šepovalov*: Über die Stabilität und die Eigenschwingungen automatischer Regelsysteme zur Regelung der technologischen Prozesse von Mähdreschern. *Traktory i sel'chozmašiny* **31** (1961) Nr. 4, S. 18/22, russ.
- [24] *Guljaev, G. A.*: Automatische Regelung der Halmgutzufuhr zum Dreschwerk des Mähdreschers. *Mechanizacija i Elektrifikacija* **19** (1961) H. 5, S. 18/23.
- [25] *Nastenko, N. N.* und *I. M. Gurarij*: Untersuchung einer Belastungsregelung der Drescheinrichtung für einen Mähdrescher. *Naučn Trudy* **5** (1964) S. 121/28.
- [26] *Friesen, O. H.*; *Zoerb, G. C.*, und *F. W. Bigsby*: Automatic feed-rate control of combines. ASAE-Paper Nr. 65-167.