

Nach Bild 35 sind trotz der soeben erwähnten Abnahme der Kraftspitzen die höchsten Drehmomentspitzen beim Mähen größer geworden. Die planimetrierten Mittelwerte  $+ \bar{M}_t$  der antreibenden Drehmomente auf der Zapfwelle steigen vom Leerlauf zum Mähen von 7 auf 10 kgm an. Die entsprechenden rücktreibenden Momente  $- \bar{M}_t$  bleiben dabei etwas unter 2 kgm. Der Leistungsverbrauch liegt im Leerlauf bei 4 PS und beim Mähen bei 5 PS.

#### Zusammenfassung

Auch bei einem Mähwerk mit Keilriemenantrieb weichen die Meßwerte der mechanischen Größen im Leerlauf immer sehr stark von den berechneten Werten ab. Zwischen den Meßwerten im Leerlauf und beim Mähen bestehen keine sehr großen Unter-

schiede. In Bezug auf die Antriebsmomente und den Leistungsverbrauch wurden bei den vorliegenden Messungen keine besonderen Unterschiede zwischen dem Mähwerk mit und ohne Umlenkung festgestellt. Als Antriebsleistung für die 4½'- und 5'-breiten Mähwerke wurden im Leerlauf 2 bis 4 PS und beim Mähen 3 bis 5 PS gemessen.

#### Schrifttum

- [1] Thiel, Roman: Kräfte im Schubkurbelgetriebe von Schlepper-Anbaumähwerken. Theoretische Grundlagen und Messverfahren. (In diesem Heft)
- [2] Thiel, Roman: Kräfte und Drehmomente im Schleppermähwerk mit Zahnradantrieb. (In diesem Heft)
- [3] Thiel, Roman: Resonanzerscheinungen im Keilriemen-Mähwerksantrieb. Kautschuck und Gummi 10 (1957) Nr. 1, S. 6/8.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Roman Thiel, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50

## Spitzenkräfte in keilriemengetriebenen Schleppermähwerken bei verschiedenen Betriebszuständen und bei Störungen

Von Roman Thiel

1. 5'-Mähwerk mit kleiner und grosser Schränkung
2. Einfluss des Spieles am Messerkopf mit und ohne Umlenkung
3. 4½'-Mähwerk am grossen und kleinen Schlepper
4. Einfluss des Spieles am Messerkopf
5. Einfluss des Schubstangenwinkels
6. Gewaltspitzen bei Fremdkörpern im Schneidwerk

Bei den vergleichenden Messungen der Kräfte und Drehmomente im Schubkurbelgetriebe von Schleppermähwerken wurde immer wieder festgestellt [1 bis 3], daß die entscheidenden Spitzenwerte dieser mechanischen Größen bereits im Leerlauf des Mähwerkes durch die oszillierende Bewegung der Massen auftreten und die zusätzlichen Schnittkräfte beim Mähen fast immer zu einem Zeitpunkt auftreten, wenn die Massenwirkungen auf diese mechanischen Messgrößen gerade klein sind. Ferner wurde festgestellt, daß – neben den rechnerisch ermittelten Grundschwingungen der mechanischen Größen im Schubkurbelgetriebe – infolge der Elastizität der Konstruktion und des unvermeidlichen Spiels in den Lagerpaarungen zum Teil er-

hebliche Oberschwingungen im Verlauf der Meßgrößen auftreten, die in ihren Spitzenwerten die rechnerischen bei weitem übertreffen.

Um nun einen Einblick in die Schwingungsercheinungen des Systems „Mähwerk-Schlepper“ wie auch in die Grenzbelastungen des Mähwerkes durch systematische Messungen zu gewinnen, wird man deshalb den wechselnden, aber in seiner Auswirkung nicht entscheidenden Schnittwiderstand beim Mähen ausschalten und solche Untersuchungen im Leerlauf des Mähwerkes durchführen.

Nachdem man ferner das Zusammenspiel der Meßgrößen in früheren Untersuchungen kennengelernt hat, kann man sich bei solchen systematischen Versuchen auf einige wenige kennzeichnende Meßgrößen beschränken. Bei den folgenden Versuchen wurde deshalb nur die Messerkopfkraft  $P$  (auf der schrägen Messerkopfrippe) und die Schubstangenkraft  $S$  am oberen Schubstangenende [1, Bild 12] bei verschiedener Kurbelwellendrehzahl (durch Änderung der Motordrehzahl) gemessen. Sämtliche Messungen wurden an linkslaufenden Mähwerken mit Keilriemenantrieb durchgeführt.

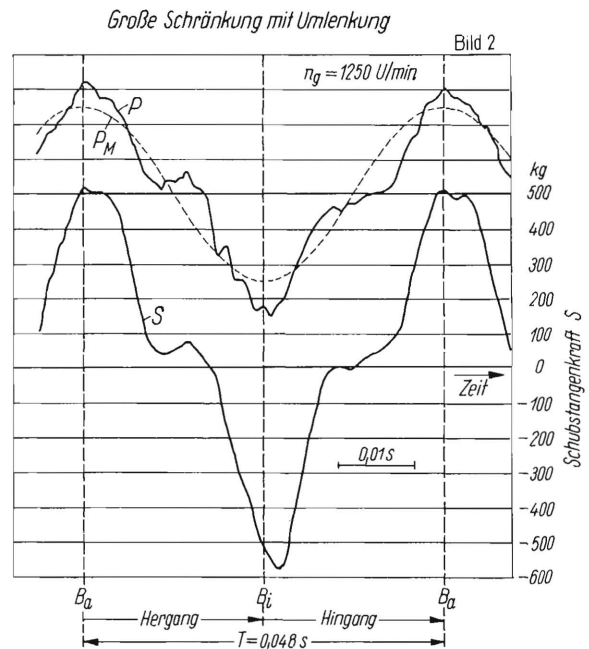
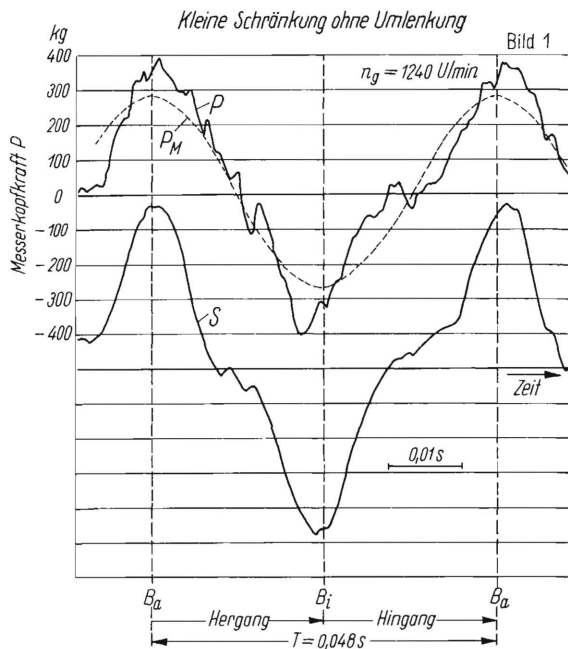


Bild 1 und 2. Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  beim normalen 5'-Mähwerk ohne Umlenkung und mit kleiner Schrängung und beim 5'-Mähwerk mit Umlenkung und grosser Schrängung.

1. 5'-Mähwerk mit kleiner und großer Schrängung

Die Messungen der Messerkopf- und Schubstangenkraft wurden an einem 5'-Mähwerk ohne und mit Umlenkung, das von einem 20 PS-Schlepper linkslaufend über Keilriemen betrieben wurde, durchgeführt. Bei dem Mähwerk ohne Umlenkung erfolgte der Betrieb am Schlepper mit kleinen Hinterrädern (Reifen 8-24), also mit einer kleinen Schrängung des Schubkurbelgetriebes. Mit Umlenkung zwischen Schubstange und Messerkopf wurde das Mähwerk am Schlepper mit großen Hinterrädern (Reifen 8-32) betrieben. Die Anbaumähwerke mit einem großen Schrängungsverhältnis mit einer „Umlenkung“ zu versehen und Anbaumähwerke mit einem kleinen Schrängungsverhältnis als normales Schubkurbelgetriebe auszuführen, entspricht einer Gepflogenheit der Praxis. Die Mähwerksdaten gehen aus **Tafel 1** hervor.

In **Bild 1** ist der Verlauf der horizontalen Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  für das Mähwerk mit kleiner Schrängung und ohne Umlenkung dargestellt. Über den Kraftverlauf von  $P$  ist

Tafel 1. Die Daten des untersuchten 5'-Mähwerkes.

Schubkurbelgetriebe	ohne Umlenkung	mit Umlenkung
Kurbelradius $r$	mm 38,1	mm 38,1
Schubstangenlänge $l$	mm 1140	mm 1020
Schwerpunktstand $l_1$ vom Messerkopf	mm 450	mm 430
„ $l_2$ vom Kurbelzapfen	mm 690	mm 590
Schrängung $\alpha$	mm 370	mm 410
Schubstangenverhältnis $\lambda$	0,033	0,037
Schrängungsverhältnis $\beta$	0,32	0,40
Mittlerer Schubstangenwinkel $\chi$	Grad 19	Grad 23
Messergewicht $G_M$	kg 3,9	kg 3,9
Schubstangengewicht $G_S$	kg 2,5	kg 2,6
Massenträgheitsmoment der Kurbelscheibe $\theta$	kg cm <sup>2</sup> 0,2	kg cm <sup>2</sup> 0,2

Tafel 2. Spitzenkräfte nach Bild 1 und 2.

	Mähwerk ohne Umlenkung und mit kleiner Schrängung		Mähwerk mit Umlenkung und mit grosser Schrängung	
	kg gemessen	kg errechnet	kg gemessen	kg errechnet
Messerkopfkraft	± 400	± 270	± 350	± 260
Schubstangenkraft	± 470	-	+ 500 - 600	-

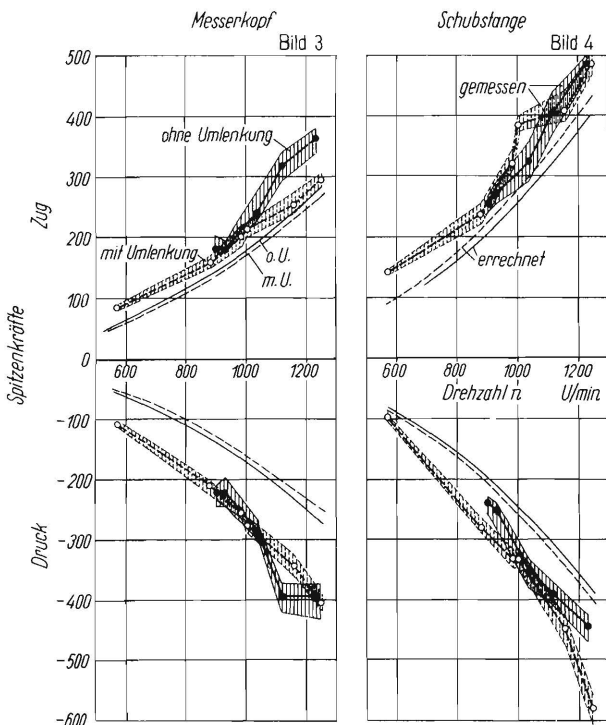
auch der berechnete theoretische Verlauf der reinen Messermassenkraft eingezeichnet. Bei der Messerkopfkraft ergibt sich das bekannte Bild eines sehr oberwellenhaltigen Verlaufes, die maximalen Spitzenkräfte sind mit etwa ± 400 kg um fast 50% größer als die berechneten Scheitelwerte (**Tafel 2**). Die gemessenen Spitzenkräfte  $S$  in der Schubstange betragen etwa ± 470 kg. Der Kraftverlauf in der Schubstange enthält aber weniger Oberwellen als der Kraftverlauf am Messerkopf. Die Schubstangenkraft wurde dabei auf dem oberen Schublech gemessen; es ist unwahrscheinlich, daß evtl. weitergeleitete höhere Frequenzen im Kraftverlauf in der Schubstange durch die Meßmethode verloren gingen.

In früheren Messungen an anderen Mähwerken [2, 3] wurde kein völliger Zusammenhang zwischen den Oberwellen im Verlauf der Messerkopfkraft und den Drehschwingungen in der Kurbelwelle gefunden. Der vorliegende Versuch (**Bild 1**) beweist auch, daß die Oberwellen in der Messerkopfkraft nicht über die Kurbelwelle eingeleitet werden, da die höheren Frequenzen in der Schubstangenkraft nicht enthalten sind. Die Oberwellen in der Messerkopfkraft –

deren Existenz durch Beschleunigungsmessungen neben dem Messerkopf einwandfrei bewiesen ist [2, 3] – müssen also irgendwie im System „Messer-Mähbalken“, vielleicht zum Teil über die Messerreibung, weiter durch Messerschwingungen oder andere Einflüsse entstehen. Durch die hölzerne Schubstange werden die hohen Frequenzen im Verlauf der Messerkopfkraft nach der Kurbelwelle hin abgebaut.

Den Kraftverlauf am Messerkopf und in der Schubstange bei einem Mähwerk mit Umlenkung (leichte Ausführung) und großer Schränkung zeigt **Bild 2**. Der Oberwellengehalt der Messerkopfkraft  $P$  ist gegenüber dem normalen Mähwerk in **Bild 1** etwas kleiner, doch in den Nulldurchgängen von  $P$  und  $S$  entstehen längere Pausen, d. h., das Gelenkspiel im Mähwerkgetriebe scheint größer geworden zu sein, obwohl bei der Messung alle Verbindungen in normaler Weise angezogen waren. Die Spitzenkräfte am Messerkopf sind mit etwa  $\pm 350$  kg um etwa 35% größer als die Höchstwerte der berechneten Massenkraft, aber kleiner als am Mähwerk ohne Umlenkung (**Tafel 2**). Die Schubstangenkraft ist jedoch merklich größer als die entsprechende Kraft am Mähwerk ohne Umlenkung (**Tafel 2**).

In **Bild 3 und 4** ist die Größe der Spitzenkräfte und deren Streubereich für kleine und große Schränkung (bzw. ohne und mit Umlenkung) in Abhängigkeit von der Drehzahl der Kurbelwelle aufgetragen. **Bild 3** enthält die Messerkopfkraft  $P$  und **Bild 4** die Schubstangenkraft  $S$ . In den Diagrammen sind zum Vergleich die entsprechenden Scheitelwerte der



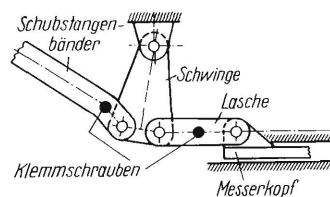
**Bild 3 und 4.** Spitzenkräfte im 5'-Mähwerk ohne und mit Umlenkung (bzw. kleiner und grosser Schränkung) in Abhängigkeit von der Kurbelwellendrehzahl.

berechneten Massenkraften für das Mähwerk ohne und mit Umlenkung eingezeichnet.

Alle gemessenen Spitzenkräfte sind größer als die berechneten Scheitelwerte der Massenkraften, beide ändern sich mit der Kurbelwellendrehzahl etwa proportional dem Quadrat der Drehzahl. Die Tendenz des Anstieges der Meß- und Rechnungswerte mit der Drehzahl stimmt – abgesehen von Unstetigkeiten der gemessenen Werte – beim Betrieb ohne und mit Umlenkung überein. Die Messerkopfkraften sind mit Umlenkung (großer Schränkung) kleiner als ohne, weil durch die Umlenkung – die man sich näherungsweise durch eine Rolle ersetzt denken kann [1] – der Messerhub verkleinert wird. Bei der Schubstangenkraft ist es umgekehrt; hier sind die Kräfte mit Umlenkung (großer Schränkung) größer als ohne. Gegenüber dem Mähwerk ohne Umlenkung beträgt beim Betrieb mit Umlenkung die Vergrößerung der Massen durch die zusätzlich zu bewegenden Massen der Umlenkung etwa 25% der Messermasse; die Verringerung des Messerhubes beträgt aber nur 8%. Somit überwiegt der Einfluß der Massenvergrößerung gegenüber der Hubverkleinerung.

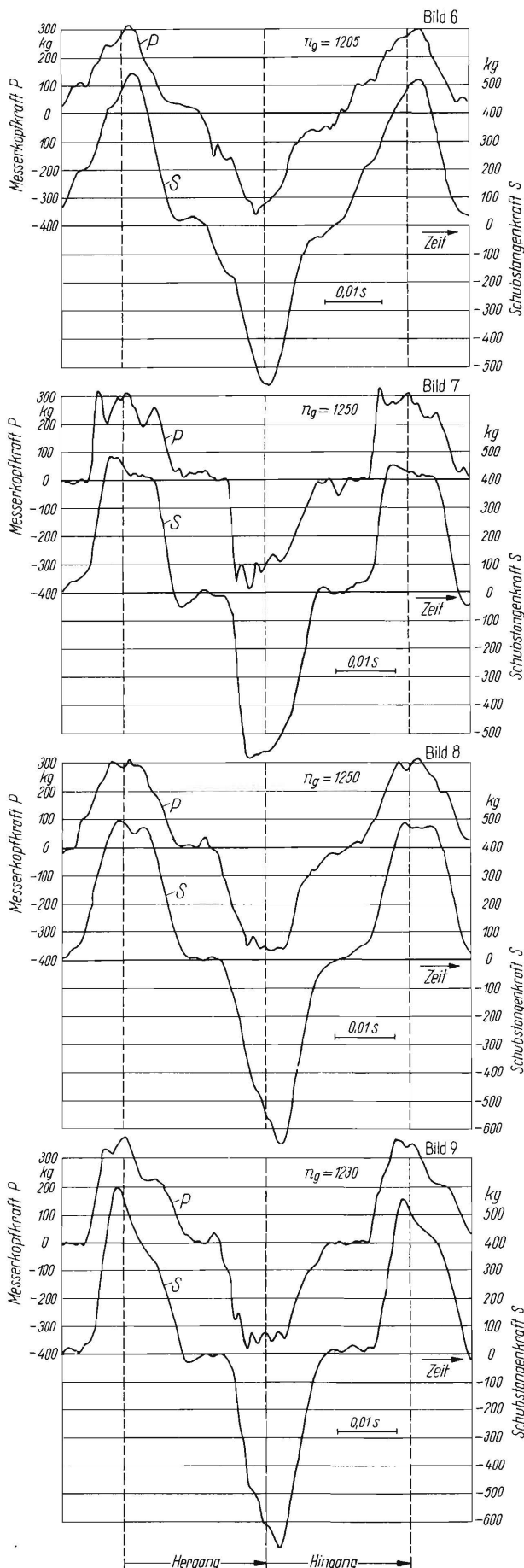
## 2. Einfluß des Spieles am Messerkopf mit und ohne Umlenkung

Die Wirkung von lockeren Verbindungen zwischen Schubstange und Messerkopf auf den Kraftverlauf soll wegen der größeren Anzahl der Einflußmöglichkeiten zuerst am Mähwerk mit Umlenkung (einer schweren Ausführung) gezeigt werden. In **Bild 6 bis 9** ist der Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und Schubstangenkraft  $S$  für folgende Betriebszustände wiedergegeben: Die Schubstangenbänder und die Messerkopflaschen zwischen Umlenkung und Messerkopf (s. **Bild 5**) normal festgespannt (**Bild 6**), die Laschen um eine Ganghöhe der Klemmschrauben gelockert (**Bild 7**), die Bänder um  $1\frac{1}{2}$  Ganghöhen der Klemmschraube gelockert (**Bild 8**) und schließlich die Laschen und Bänder wie vorher gelockert (**Bild 9**).



**Bild 5.** Die Kugelpfpaarungen der Umlenkung des untersuchten Mähwerkes.

Bei fester Verbindung (**Bild 6**) zeigt der Kraftverlauf das bekannte Bild, die Spitzenkräfte haben am Messerkopf Werte von etwa  $\pm 350$  kg und in der Schubstange etwa  $\pm 500$  kg. Beim Lockern irgendeiner Verbindung zwischen Schubstange und Messerkopf ändert sich der Verlauf der Kraft sehr stark. Beim Nulldurchgang entsteht wegen des Spieles



in den Gelenken eine kleine Pause und nachher entsteht jeweils ein sehr steiler Kraftstoß. Bei lockeren Laschen (Bild 7) löst der Stoß in der Messerkopfkraft eine Schwingung von etwa 400 Hz aus. Ähnliche Frequenzen wurden im Messerkopfverlauf auch schon bei anderen Versuchen festgestellt. Die Größe der Messerkopfkraft wie auch die Größe der Schubstangenkraft hat sich bei loser Verbindung gegenüber der festen kaum verändert.

Lockere Schubstangenbänder (Bild 8) haben noch weniger Einfluß auf den Kraftverlauf als lockere Laschen. Auch das Lockern von Laschen und Bändern gleichzeitig (Bild 9) verschlechtert die Kraftverhältnisse nur wenig. Die Messerkopfkraft  $P$  zeigt dabei wieder deutlich die Pause im Nulldurchgang, den darauf folgenden Kraftstoß und die ausgelöste Kraftschwingung. Die Spitzenkraft beträgt am Messerkopf dabei etwa  $\pm 400$  kg. Die Schubstangenkraft  $S$  steigt aber durch den steilen Stoß auf etwa  $\pm 650$  kg an.

Noch besser sind die Einflüsse von lockeren Verbindungen in **Bild 10 und 11** zu erkennen, worin die Spitzenwerte der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  über der Kurbelwellendrehzahl aufgetragen sind. Zum Vergleich sind auch die berechneten Scheitelwerte für die reine Massenkraft am Messerkopf und in der Schubstange (bei fester Verbindung) eingetragen. Die Größe der Spitzenkräfte bei lockeren Verbindungen in Abhängigkeit von der Drehzahl ist ziemlich un stetig, sie sind um 10 bis 100% größer als bei fester Verbindung. Auch die Streubereiche sind breiter.

In **Bild 12 und 13** ist noch die Wirkung von lockeren Verbindungen auf die Spitzenkräfte im Mähwerk ohne Umlenkung gezeigt. Die theoretischen Scheitelwerte der entsprechenden Massenkraft sind zum Vergleich ebenfalls mit eingetragen. Hier sind die Spitzenwerte bei lockerer Verbindung zwischen Schubstange und Messerkopf gegenüber der festen Verbindung nur etwa 10 bis 50% größer.

Lockere Verbindungen im Schubkurbelgetriebe von Schleppermähwerken haben also auf die Größe der Kraftamplituden einen verhältnismäßig geringen Einfluß, weil sie sich in der Hubmitte beim Nulldurchgang des Kraftverlaufs auswirken. Die Größe der im Betrieb auftretenden Überhöhungen der Kraftspitzen durch lockere Verbindungen zwischen Schubstange und Messerkopf kann für bestimmte

**Bild 6 bis 9.** Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  bei dem 5'-Mähwerk mit Umlenkung in Abhängigkeit vom Spiel zwischen Messerkopf und Schubstange.

Bild 6. Normale, spiellose Befestigung der Schubstangenbänder und der Messerkopflaschen.

Bild 7. Die Laschen um eine Ganghöhe der Klemmschraube (gezählt von Beginn des Klemmens) gelockert.

Bild 8. Die Bänder um  $1\frac{1}{2}$  Ganghöhen der Klemmschraube gelockert.

Bild 9. Laschen und Bänder wie bei Bild 7 und 8 gelockert.

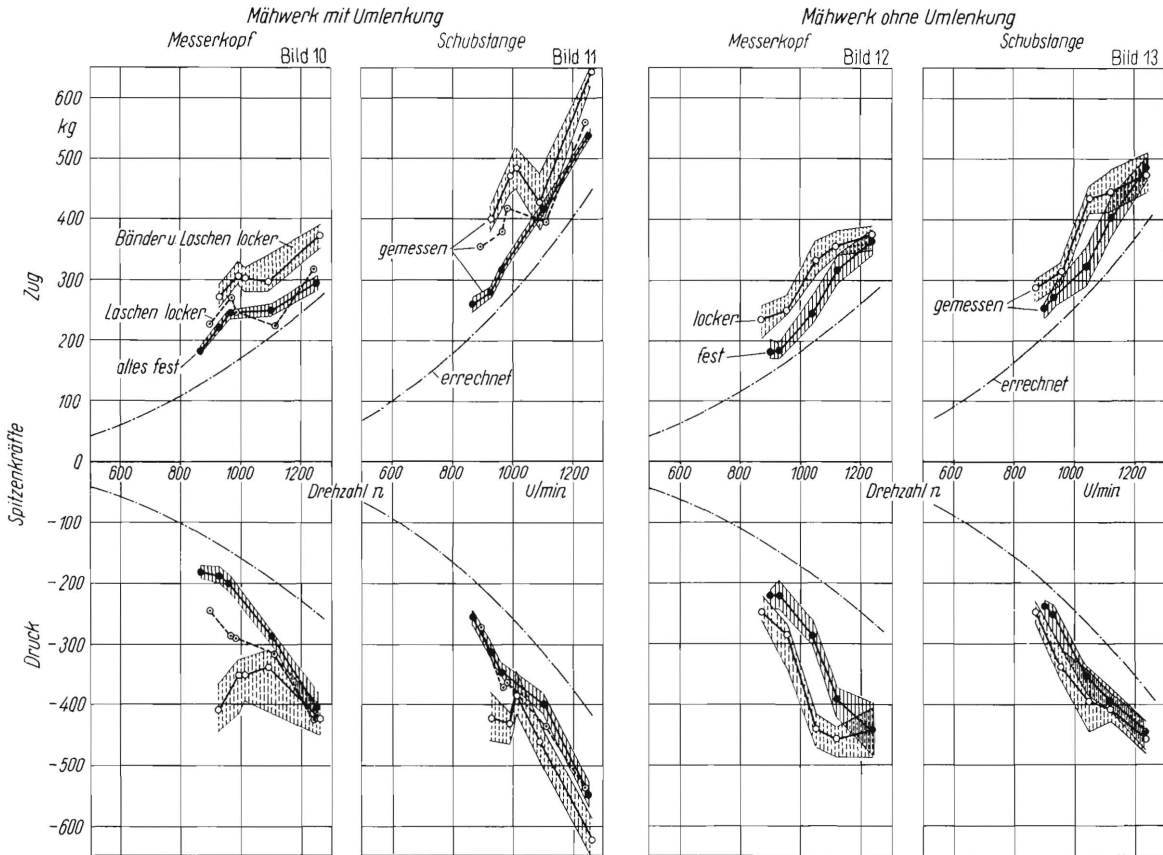


Bild 10 bis 13. Spitzenwerte der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  im 5'-Mähwerk mit und ohne Umlenkung bei festen und gelockerten Verbindungen.

Betriebszustände allgemein nicht angegeben werden. Der Einfluß von lockeren Verbindungen auf den Verschleiß der Verbindungsstellen ist durch diese Messungen nicht erfaßt und müßte durch Dauerversuche ermittelt werden.

### 3. 4½'-Mähwerk am großen und kleinen Schlepper

Während der Mähwerkuntersuchungen wurde immer wieder festgestellt, daß das Schwingungssystem „Mähwerk-Schlepper“ einen sehr großen Einfluß auf den zeitlichen Verlauf der Messerkopfkraft hat. Zur Klärung dieser Erscheinung wurden Vergleichsmessungen mit demselben 4½'-Mähwerk sowohl an einem großen 20 PS-Schlepper (mit kleinen Hinterradreifen 8–24) als auch an einem kleinen 12 PS-Schlepper gemacht. Bei der Versuchsdurchführung wurde der Mähbalken mit demselben Messer abwechselnd an den beiden verschiedenen Schleppern mit ihrer zugehörigen Mähwerkaufhängung und Schubstange linkslaufend über Keilriemen betrieben. Die wichtigsten Mähwerkdaten sind in **Tafel 3** zusammengestellt.

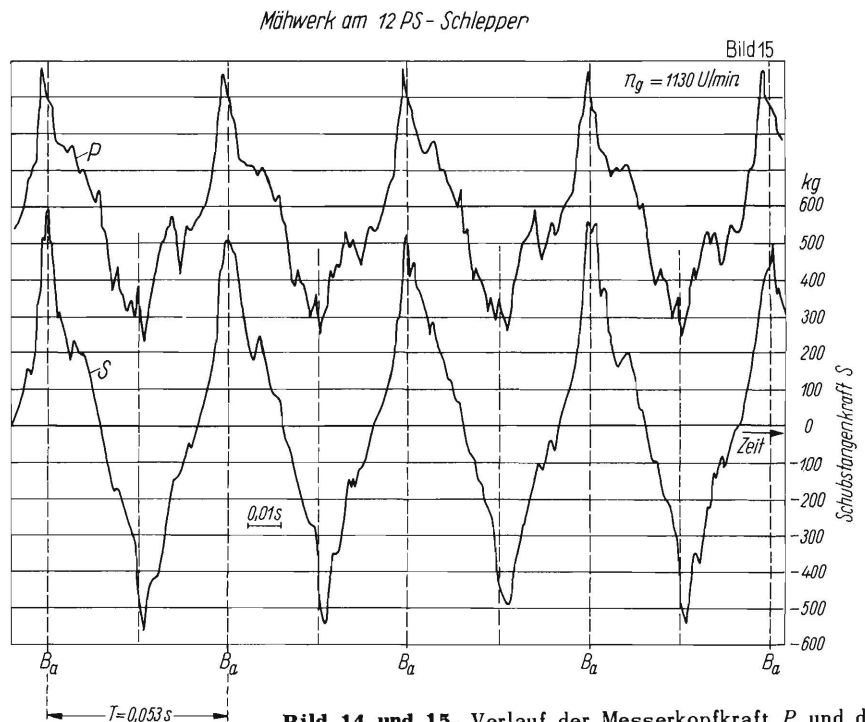
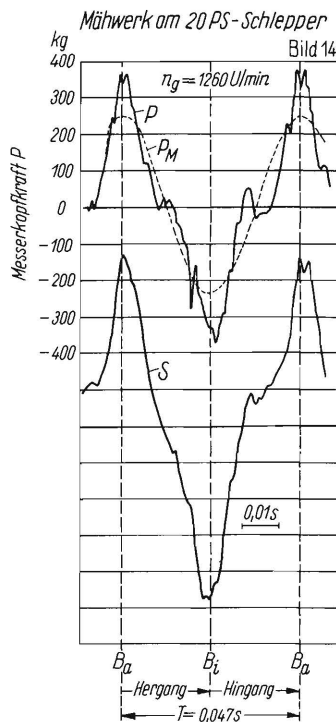
Den Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  für die Mähwerkankordnung am 20 PS-Schlepper zeigt **Bild 14**. Über den gemessenen Messerkopfkraftverlauf ist zum Vergleich auch die berechnete Messermassenkraft eingezeichnet. Der

zeitliche Verlauf der gemessenen Kräfte zeigt wieder das bekannte Bild mit vielen Oberwellen. Die Messerkopfspitzenkraft von etwa  $\pm 350$  kg übersteigt den berechneten Scheitelwert um ungefähr 40%. Die Schubstangenkraft verläuft wieder ohne Oberwellen zwischen den Spitzenwerten von etwa  $\pm 500$  kg.

In **Bild 15** ist der zeitliche Verlauf von  $P$  und  $S$  von vier Messerdoppelhuben für die Mähwerkankordnung am 12 PS-Schlepper wiedergegeben. In diesem Bild fällt auf, daß die Spitzenkräfte größer sind als vorher, und außerdem enthält beim Betrieb des Mähwerkes am kleinen Schlepper auch die Schubstangenkraft einige Oberwellen. Beim Betrieb des gleichen Messers in einem bestimmten Mähbalken an verschiedenen Schleppern wird somit der Kraftverlauf durch die verschiedenen Systeme „Mähwerk-Schlepper“ stark verändert.

Tafel 3. Die Daten des untersuchten 4½'-Mähwerkes.

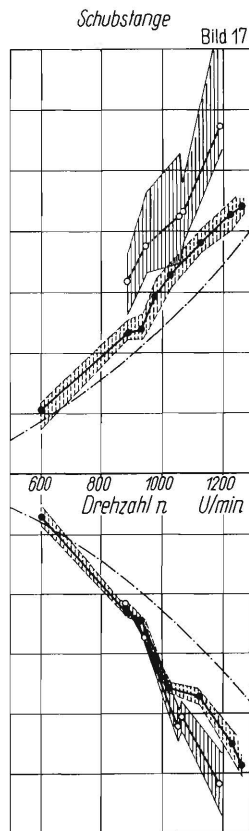
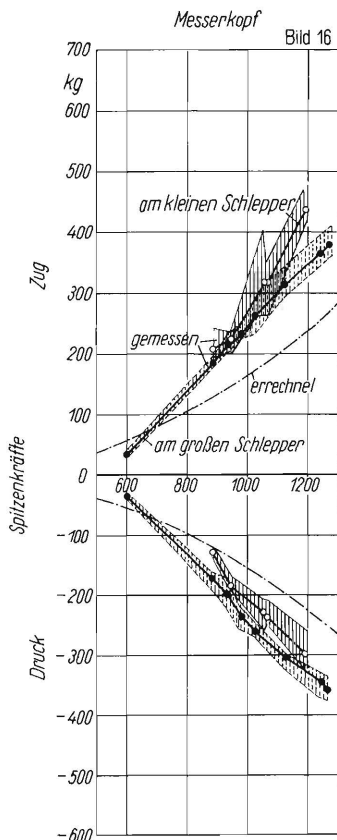
Schubkurbelgetriebe		am 20 PS-Schlepper	am 12 PS-Schlepper
Kurbelradius $r$	mm	38,1	38,1
Schubstangenlänge $l$	mm	1140	1000
Schwerpunktabstand $l_1$ vom Messerkopf	mm	450	440
„ $l_2$ vom Kurbelzapfen	mm	690	560
Schrägung $a$	mm	375	345
Schubstangenverhältnis $\lambda$		0,033	0,038
Schrägungsverhältnis $\beta$		0,33	0,35
Mittlerer Schubstangenwinkel $\chi$	Grad	19,5	20
Messergewicht $G_M$	kg	3,5	3,5
Schubstangengewicht $G_S$	kg	2,5	2,5
Massenträgheitsmoment der Kurbelscheibe $\theta$	kg cm <sup>2</sup>	0,2	0,1



**Bild 14 und 15.** Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  bei dem  $4\frac{1}{2}'$ -Mäherwerk am grossen und am kleinen Schlepper.

Außerdem ist hier beim Betrieb des Mäherwerkes am kleinen Schlepper der Verlauf von aufeinander folgenden Perioden nicht grundsätzlich gleich, sondern ein gewisser typischer Gehalt an Oberwellen wechselt von einer Periode zur anderen, so daß

erst jede zweite Schwingung wieder den gleichen Schwingungscharakter zeigt. Diese Erscheinung wurde bisher an keinem anderen Mäherwerk so deutlich beobachtet und läßt auf eine gewisse Schwebung im Schwingungszustand des Mäherwerkes am Schlepper schließen.



**Bild 16 und 17.** Spitzenwerte der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  bei dem  $4\frac{1}{2}'$ -Mäherwerk am grossen und am kleinen Schlepper.

Der Unterschied der Meßwerte von einem Mäherwerk an zwei verschiedenen Schleppern kommt eindrucksvoll bei der Auftragung der Spitzenkräfte über der Kurbelwellendrehzahl zum Ausdruck. Dies wurde in **Bild 16 und 17** durchgeführt, wo die Spitzenkräfte am Messerkopf  $P$  und in der Schubstange  $S$  mit den berechneten Werten der Scheitelwerte der Massenkräfte aufgetragen sind. Die Spitzenkräfte am Messerkopf sind beim Betrieb des Mähbalkens am kleinen Schlepper durchweg größer als beim Betrieb am großen Schlepper. Besonders deutlich sichtbar ist dieser Unterschied bei der Schubstangenkraft zu erkennen. Dieses Ergebnis bestätigt weiterhin die bereits ausgesprochene Erkenntnis, daß die Größe der Spitzenkräfte am Messerkopf und in der Schubstange sehr stark vom gesamten System „Mäherwerk-Schlepper“ bestimmt wird. Der Betrieb eines Mäherwerkes an einem kleinen (leichten) Schlepper kann sich – wie im vorliegenden Falle – infolge von Resonanzerscheinungen ungünstig auf die Spitzenkräfte auswirken.

#### 4. Einfluß des Spieles am Messerkopf

Das soeben festgestellte Verhalten eines bestimmten Mäherwerkes an verschieden großen Schleppern bleibt grundsätzlich auch bei gelockerten Verbindungen im Mäherwerkgetriebe erhalten. In **Bild 18**

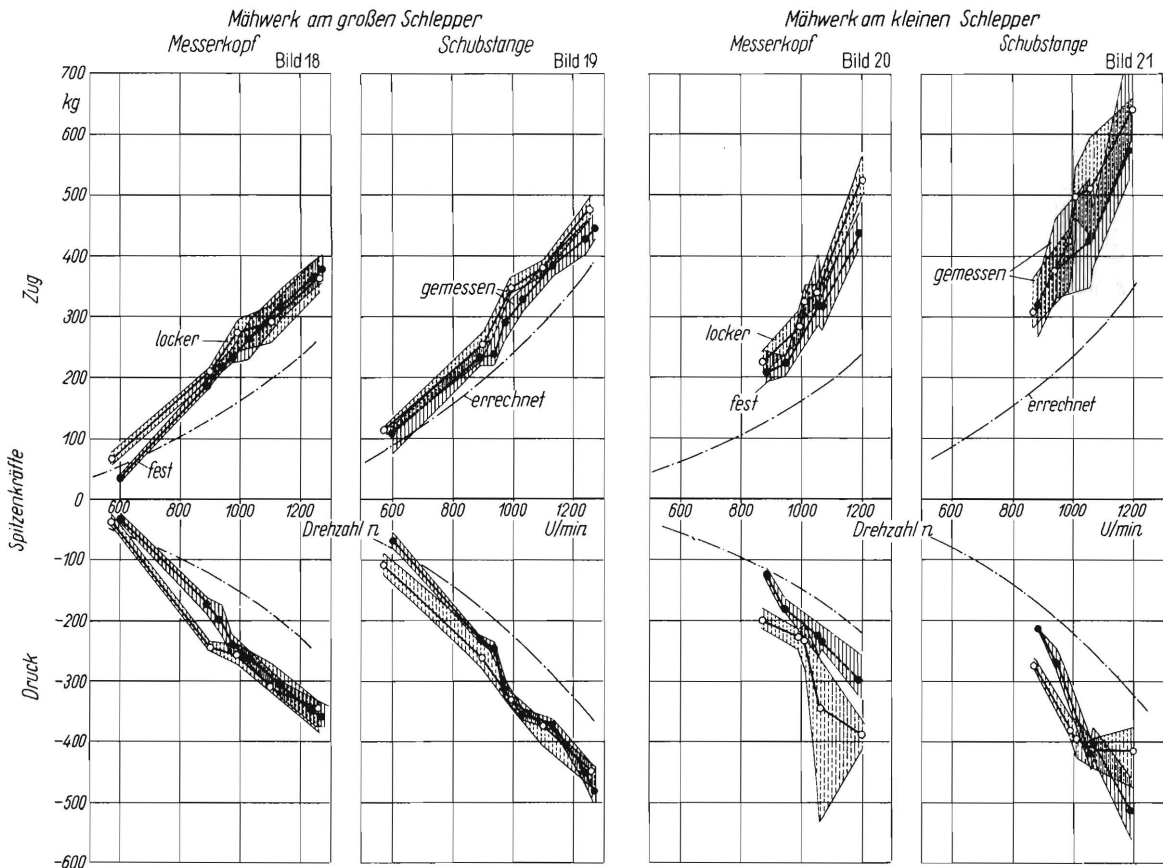


Bild 18 bis 21. Spitzenwerte der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  bei dem  $4\frac{1}{2}'$ -Mähwerk am grossen und am kleinen Schlepper bei festen und gelockerten Verbindungen am Messerkopf.

und 19 zeigen für den Betrieb des Mähwerkes am grossen Schlepper die Spitzenwerte der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  bei festen und bei lockeren Verbindungen einen ähnlichen Verlauf über der Kurbelwellendrehzahl. Bei lockeren Verbindungen sind die Spitzenkräfte etwas grösser. Die Streubereiche der Spitzenkräfte sind in beiden Fällen sehr schmal.

Beim Betrieb des Mähbalkens am kleinen Schlepper verbreitert sich der Streubereich der Spitzenkräfte bei gelockerten Verbindungen noch mehr gegenüber dem schon breiten Streubereich der festen Verbindungen (Bild 20 und 21). Dies läßt wieder auf ein besonders starkes Schwingen des Mähbalkens am kleinen Schlepper schließen. Durch ergänzende Schwingungsmessungen konnte dieses Problem noch weiter geklärt werden.

### 5. Einfluß des Schubstangenwinkels

Bei dem am 20 PS-Schlepper arbeitenden Mähwerk wurde versuchsweise der mittlere Einfallwinkel  $\chi$  der Schubstange (bzw. die Schränkung) variiert, indem der Mähbalken auf eine dicke Holzbohle aufgelegt (für den kleinsten Einfallwinkel) und dann durch Unterstützen am Balkenende zur Erzielung von größeren Winkeln schräg gelagert wurde.

Die bei einer Kurbelwellendrehzahl von 1240 U/min ermittelten Spitzenkräfte sind in Bild 22 und

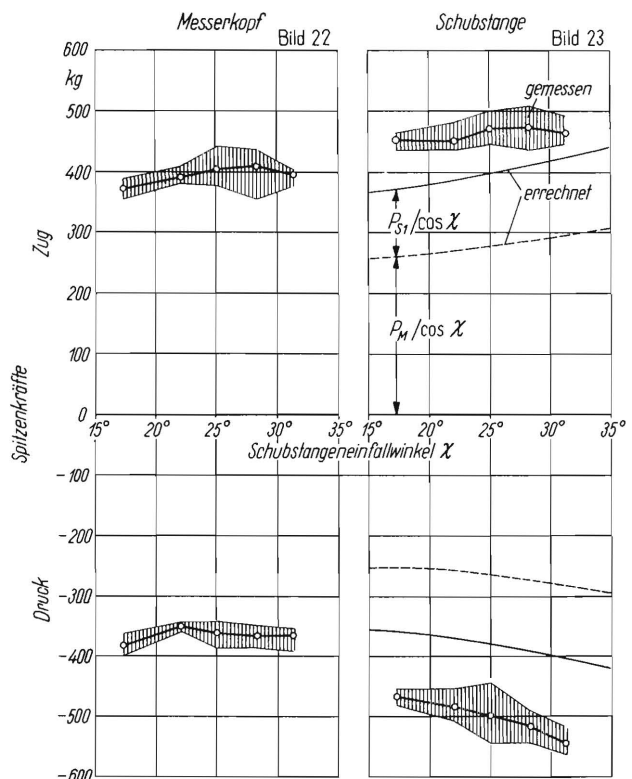
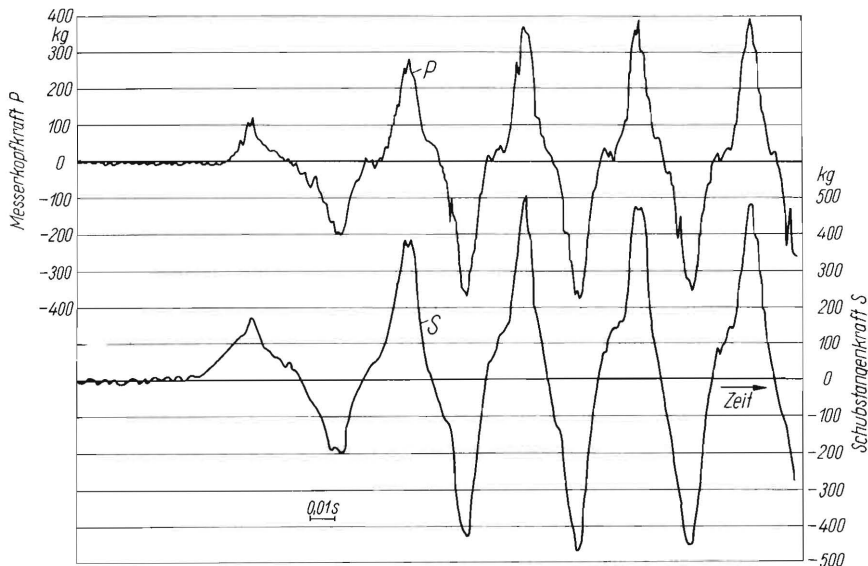


Bild 22 und 23. Spitzenkräfte im  $4\frac{1}{2}'$ -Mähwerk am grossen Schlepper in Abhängigkeit vom Schubstangenwinkel  $\chi$ .



**Bild 24.** Verlauf der Kräfte im  $4\frac{1}{2}$ '-Mähwerk am grossen Schlepper beim plötzlichen Einkuppeln.

23 über dem mittleren Einfallwinkel der Schubstange aufgetragen. Die Messerkopfkraft nimmt mit vergrößertem Schubstangenwinkel nur verhältnismäßig wenig zu. Diese Zunahme ist durch die Vergrößerung der Messerbeschleunigung bei größerer Schränkung und durch die größeren Führungskräfte des Messerkopfes (Reibung) bedingt.

Die Schubstangenkraft zeigt bei größerem Einfallwinkel eine etwas stärkere Zunahme. Zum Vergleich mit den gemessenen Spitzenkräften wurden in dieses Diagramm, ausgehend von der Massenkraft  $P_M$  des normalen Mähwerkes bei  $\chi = 19^\circ 30'$  i.M. (also für die Scheitelwerte der horizontalen Beschleunigung von  $+68\text{ g}$  und  $-71\text{ g}$ ), die Werte der Kraftamplituden von  $P_M/\cos\chi$  und  $P_{S1}/\cos\chi$  [1] in Bild 23 eingetragen. Die gemessenen Werte der Schubstangenkraft sind um etwa 25 bis 40% größer als diese rechnerischen Werte, ihr Verlauf über dem Schubstangenwinkel zeigt aber in beiden Fällen eine ähnliche Tendenz. Da die gemessenen Schubstangen- und Messerkopfspitzenkräfte bei der Änderung des mittleren Schubstangeneinfallwinkels von  $17^\circ$  bis  $32^\circ$  nur um etwa 10% zunehmen, wären im Hinblick auf diese Kräfte auch große Schubstangenwinkel zu vertreten. Es wäre aber noch zu untersuchen, ob sich diese Winkelvergrößerung auf den Verschleiß in der Messerkopfführung und auf die Schwingungserregung im Mähwerk auswirkt.

## 6. Gewaltspitzen bei Fremdkörpern im Schneidwerk

Beim Abscheren von Messerklingen oder beim Festfahren des Mähmessers durch ein Hindernis im Mähbalken können große Kraftspitzen am Messerkopf und in der Schubstange auftreten. Normalerweise wird das Abscheren von Messerklingen einem Überlastungsschutz gleichkommen. Da aber das vollkommen plötzliche Stillsetzen der Messerbewegung durch klemmende Hindernisse immerhin

möglich ist, wurden auch für diesen Fall Messungen durchgeführt.

Keine besondere Kraftüberhöhung gibt es beim Einschalten des Mähwerkes durch plötzliches Einlegen der Schlepperkupplung sowohl bei einem über Zahnräder als auch bei einem über Keilriemen angetriebenen Mähwerk. Als Beispiel für den Anlauf eines Mähwerkes mit Keilriemenantrieb ist in Bild 24 der Verlauf der Messerkopfkraft  $P$  und der Schubstangenkraft  $S$  für einige Messerdoppelhübe im Leerlauf für das  $4\frac{1}{2}$ '-Mähwerk am 20 PS-Schlepper gezeigt. Das Messer läuft hier und in ähnlichen Fällen verhältnismäßig schnell an und hat nach spätestens 2 bis 5 Doppelhüben die volle Drehzahl (im vorliegenden Fall  $n = 1260\text{ U/min}$ ) erreicht. Auch beim Mähen wurde beim Anfahren keine Kraftüberhöhung festgestellt, da ja das Messer normalerweise vor dem Einsetzen in das Schnittgut bereits im Leerlauf hochgelaufen ist.

Die Größe der Kraftspitzen, die durch ein Hindernis im Mähwerk entstehen, hängt von sehr vielen Faktoren ab. Ausschlaggebend ist dabei, in welchem Augenblick während des Messerhubes der Stoß eintritt, wie groß die Drehzahlen, die bewegten Massen usw. sind. Beispiele für solche Gewaltspitzen im Messerkopf- und Schubstangenkraftverlauf zeigen Bild 25 und 26 beim Abscheren von jeweils einer Messerklinge durch einen Aluminiumstab, der schnell zwischen die Finger des Mähbalkens eingeschlagen wurde. Bei diesem Versuch lief das Mähwerk am 20 PS-Schlepper mit einer Kurbelwellendrehzahl  $n = 1240\text{ U/min}$ . Das eine Mal wurde die Messerklinge während des Herganges durch Zugkräfte (Bild 25), das andere Mal während des Hinganges durch Druckkräfte (Bild 26) abgesichert. Die Zugkraftspitzen betragen am Messerkopf 650 kg und in der Schubstange 550 kg, die Druckkraftspitzen im zweiten Fall erreichten 1 050 kg bzw. 850 kg. Angeregt durch den Stoß ent-



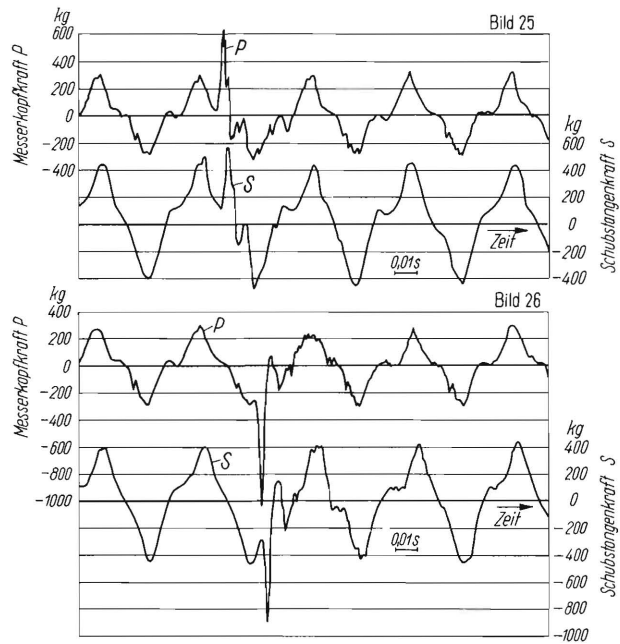
stehen besonders im Verlauf der Messerkopfkraft sehr starke Oberwellen, die nach ein bis zwei Doppelhüben wieder abgeklungen sind, dann läuft das Messer normal weiter. Eine überschlägige Berechnung ergibt für die beiden Nieten einer Messerklinge eine Scherkraft von etwa 800 kg. Die wahre Größe der Abscherkraft läßt sich aber kaum berechnen, da beim Abschern die Angriffslinie der Kraft auf die Klinge nicht durch die Verbindungslinie der Nietmittelpunkte geht und ihre genaue Lage nicht bekannt ist, weiter kein reines Abschern der Nieten erfolgt, sondern zusätzliche Biegung oder Abstützung auftritt, u. a. mehr. So ist es nicht verwunderlich, wenn die Meßwerte vom theoretischen Wert abweichen. Durch das Abschern von Messerklingen infolge eines Hindernisses im Mähbalken wird aber die Kraft am Messerkopf und in der Schubstange in gewissem Sinne nach oben hin begrenzt.

Beim völligen Abbremsen des Messers entstehen größere Kraftspitzen. Bild 27 und 28 zeigen den Kraftverlauf eines solchen Versuches. Hierbei wurde ein Aluminiumstab bei der Kurbelwellendrehzahl  $n = 1260$  U/min zwischen das Messerende und den äußeren Mähbalkenschuh gesteckt. Das Messer konnte also nur beim Hingang voll abgestoppt werden. Dabei trat am Messerkopf eine maximale Druckkraftspitze von 2200 kg und in der Schubstange von 900 kg auf. Der Kraftstoß klang sehr rasch ab und das Messer blieb stehen. Beim plötzlichen Abstoppen eines Mähwerkes sind die Kräfte an den verschiedenen Stellen des Mähwerkgetriebes sehr unterschiedlich. Bei den hierbei wirkenden Massenkräften ist für die Größe der Kräfte im Getriebe die Massenverteilung innerhalb des Getriebes ausschlaggebend.

#### Zusammenfassung

Bei den üblichen Schlepperanbaumähwerken stellt das System „Mähwerk-Schlepper“ infolge der verschieden verteilten Massen und Elastizitäten ein verwickeltes mechanisches Schwingungssystem dar. Durch die Massenkräfte und deren meist ungenügenden Ausgleich werden in diesem System Eigenschwingungen erregt, wobei durch Oberwellen die Betriebswerte der mechanischen Größen im Schubkurbelgetriebe gegenüber ihrem theoretischen Wert oft sehr viel größer werden. Zur Verhinderung dieser Schwingungserscheinungen wäre zu empfehlen, den ganzen Mähwerktrieb mit einer kurzen Schubstange und einer großen Kurbelscheibe in einer gedrungenen Ausführung direkt neben das Messer zu setzen und mit einem guten Massenausgleich zu versehen. Diesem Prinzip entspricht z. B. der von Elfes beschriebene amerikanische Vorschlag [4].

Auf Grund verschiedener beim Mähen gewonnener Meßergebnisse [2, 3] ist es günstig, die Schnitt-

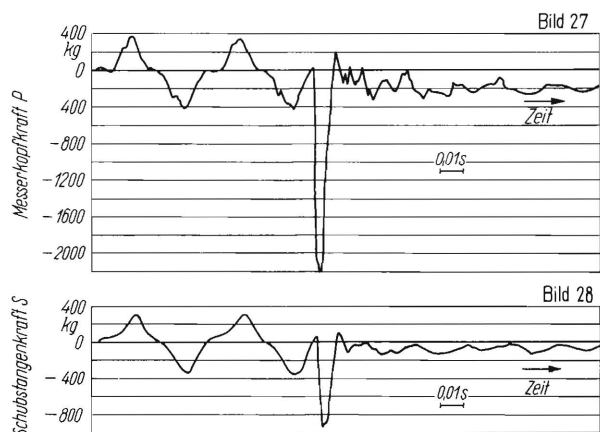


**Bild 25 und 26.** Druck- bzw. Zugkraftspitzen im Messerkopf und in der Schubstange beim gewaltsamen Abschern einer Messerklinge durch einen Fremdkörper im Schneidwerk.

Drehzahl der Kurbelwelle  $n = 1240$  U/min

verhältniszahl und auch das Verhältnis von Massenkraft zur Schnittkraft bzw. den kinetischen Energieinhalt des bewegten Messers groß zu machen. Zu der dafür nötigen Vergrößerung der Messergeschwindigkeit wäre zu empfehlen, die Messerfrequenz zu erhöhen. Nach früheren Tastversuchen liegt die Geschwindigkeit für den freien Schnitt von Gras in der Größenordnung von etwa 15 bis 20 m/s. Entsprechend dieser Geschwindigkeitsgrenze könnte bei ausreichend hoher Messerfrequenz der Messerhub gegenüber dem jetzt üblichen verkleinert werden.

Für eine verlustarme Energiependelung und eine einfache Konstruktion wäre ein Feder-Masse-System zweckmäßiger als das jetzt übliche Schubkurbelgetriebe mit Schwungrad. Das Mähwerk einer



**Bild 27 und 28.** Gewaltspitzen im Kraftverlauf beim plötzlichen, völligen Abstoppen des Mähmessers.  
 $n = 1260$  U/min

derartigen Ausführung könnte z.B. zwei Messer besitzen [5]. Jedes Messer bildet ein Schwingungssystem, dessen Federn gegen den Mähbalken abgestützt sind. Die beiden Messer werden gegeneinander schwingend jedes für sich in Resonanz betrieben. Dabei gibt es nach außen hin einen vollkommenen Massenausgleich, die Energie pendelt nur innerhalb des Systems, die Abstützkräfte wirken nur innerhalb des Mähbalkens als Gestell. Die dabei auftretenden Probleme des Resonanzbetriebes müßten noch geklärt werden.

Für den Antrieb von Schwingungssystemen mit hoher Frequenz und kleiner Amplitude könnten auch Schwingmagnete verwendet werden, die entweder mit Wechselstrom (z.B. von einem Drehstromgenerator auf dem Schlepper) direkt oder über Gleichrichter erregt oder aber mit Gleichstrom (z.B. aus

einem Gleichstromgenerator evtl. mit Batteriepufferung) über einen Unterbrecher gespeist werden.

Für den Grasschnitt kommt wohl hauptsächlich eine hin- und hergehende Messerbewegung in Frage. Bei gleichsinnig bewegter Schneide kann ein Grassalm unter ungünstigen Bedingungen in der Bewegungsrichtung beschleunigt und weggebogen werden, bevor er geschnitten wird. Beim hin- und hergehenden Messer würde aber bei einem genügend raschen Wechsel ein durchgebogener Halm beim nächsten Hub sehr viel wahrscheinlicher geschnitten werden, als bei einer gleichsinnigen Bewegungsrichtung der Schneide. Ob man auch bei Mähwerken zu extrem hohen Frequenzen bei extrem kleinem Hub wie in ähnlich gelagerten, anderen technischen Nutzenanwendungen übergehen wird, wird die Zukunft weisen.

#### Schrifttum

- [1] *Thiel, Roman*: Kräfte im Schubkurbelgetriebe von Schlepper - Anbaumähwerken. (In diesem Heft)
- [2] *Thiel, Roman*: Kräfte und Drehmomente im Schleppermähwerk mit Zahnradantrieb. (In diesem Heft)
- [3] *Thiel, Roman*: Kräfte und Drehmomente im Schleppermähwerk mit Keilriemenantrieb. (In diesem Heft)
- [4] *Elfes, L.W.*: Design and Development of a High-Speed Mover. *Agricult. Engng.* 35 (1954) 147/153.
- [5] *Kepner, R.A.*: Analysis of the Cutting Action of a Mover. *Agricult. Engng.* 33 (1952) 693/697.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung  
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c.W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Roman Thiel, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50