

Gp Masse der Probe  
 Zv Masse des Zylinders plus Masse der Wasserauffüllung bis zur Eichstrichmarkierung  
 Zp + w Masse des Zylinders plus Masse der Probe plus Masse der Wasserauffüllung bis zur Eichstrichmarkierung.

## 2. Ergebnisse

### 2.1. Bestimmung des TS-Gehalts von Grünfütter

Die strukturellen Unterschiede zwischen den einzelnen Futterpflanzen veranlaßten die Verfasser, die Arten einzeln nach dem neuen Verfahren und über Paralleltrocknung im Trockenschrank auf eine Kalibrierkurve hin zu untersuchen.

Die vorliegenden Ergebnisse (Bild 1) weisen eindeutig aus, daß zwischen relativer Dichte und TS-Gehalt ein linearer Zusammenhang besteht.

Im weiteren war zu klären, welchen Einfluß die wichtigsten strukturverändernden Faktoren auf die Gültigkeit der ausgewiesenen Gleichungen haben können. Aus Untersuchungen von Lätsch [3] geht hervor, daß der Schnittzeitpunkt und damit vor allem der Rohfasergehalt den größten Einfluß auf die relative Dichte ausübt. Lätsch überprüfte die ermittelten Gleichungen und kam bei direkter Rücktrocknung der Probensubstanz zu den in Tafel 1 aufgeführten Ergebnissen. Danach sind entsprechend dem Vegetationsstadium und insbesondere dem Rohfasergehalt (Strukturierungseffekt!) differenzierte Gleichungen zu ermitteln. Der Einfluß des Schnitts, der N-Düngung, der Beregnung usw. kann nach vorläufiger Einschätzung für die Belange der Praxis vernachlässigt werden. In Mischkulturen scheint die Methode bei Grünfütterstoffen allerdings kaum anwendbar zu sein.

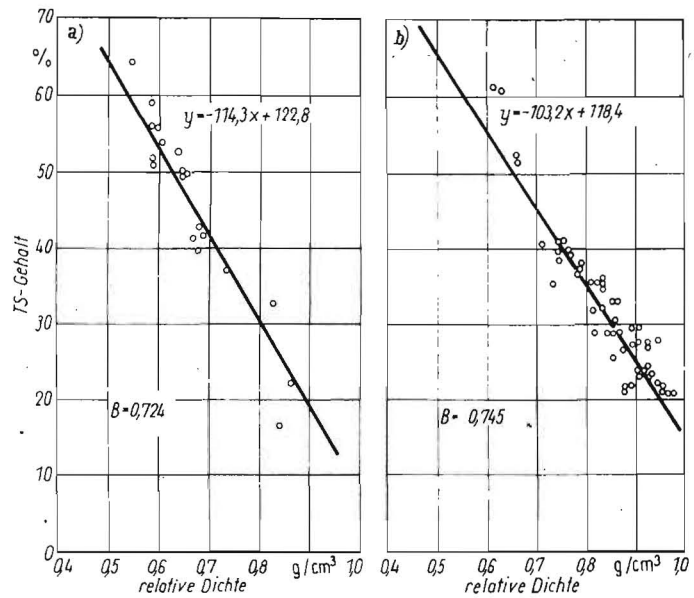
### 2.2. Bestimmung des TS-Gehalts von Silagen

Im Prozeß der Silierung vollziehen sich grundsätzliche strukturelle Veränderungen, insbesondere im Porenvolumen (Preßdruck, Luftentfernung, Gärung usw.). Die Gleichungen weichen deshalb von denen der Ausgangsstoffe erheblich ab.

Lätsch [3] errechnete anhand einer recht umfangreichen Anzahl von Einzelwerten Re-

Bild 2  
 Zusammenhang zwischen relativer Dichte von Futterpflanzen und Trockensubstanzgehalt;

a) Grassilage (Rohrglanzgras)  
 b) Luzernesilage



Tafel 1. Ergebnisse von Kontrollbestimmungen nach Lätsch [3]

Gutart	mittl. Abweichungen im TS-Gehalt gegenüber Trockenschrank in %	Anzahl der Proben
Luzerne (Blüte)	-0,89	20
Luzerne (Knospe)	-3,81	15
Knautgras (frühes Vegetationsstadium, vegetativ, 30 bis 35 Tage Wuchszeit)	-1,73	15

gressionsgleichungen für Luzerne- und Rohrglanzgrassilage (Bild 2). Die Darstellung zeigt, daß die Silierung zu ähnlichen Gutstrukturen und -dichten führt. Inwieweit Gleichungen auf mehrere Arten oder Artgruppierungen beziehbar sind, ist in weiteren Untersuchungen zu klären.

## 3. Schlußfolgerungen

Für eine breite Anwendung der Methode sind weitere umfangreiche Untersuchungen und entsprechende Tabellierungen erforderlich. Der gegenwärtige Qualifizierungsgrad der Methode erlaubt eine Anwendung in Teilbereichen der Prozeßkontrolle und die kurzfristige Ergänzung anderer Verfahren zur Bestimmung des TS-Gehalts. Um für die Praxis hinreichend genaue Ergebnisse zu erhalten, ist mit 3 bis 4 Wiederholungen zu arbeiten. Der Arbeitszeitaufwand für eine Bestimmung ist gering. Nach der Einarbeitung reichen dafür 15 min aus.

## Literatur

- [1] Fiedler, Reißig: Lehrbuch der Bodenkunde. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1964.
- [2] Lecher: Physik für Mediziner und Biologen, 12. Aufl. Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1963.
- [3] Lätsch, H.: Probleme der Mengen- und Qualitätserfassung von Grobfutter in der KAP Tantow, Kreis Angermünde. Humboldt-Universität Berlin, Diplomarbeit 1977 (unveröffentlicht). A 1874

# Messung dynamischer Schnittkräfte bei der Zerkleinerung von Halmgut

Dipl.-Ing. R. Schwedler, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## 1. Problemstellung

Die Produktion und die Aufbereitung von Halmfütter sind von entscheidender Bedeutung für die bedarfs- und qualitätsgerechte Bereitstellung von Futtermitteln zur Steigerung des tierischen Leistungsvermögens. Dies wird durch die Aufgabenstellung des IX. Parteitagess der SED an die sozialistische Landwirtschaft unterstrichen. Bedeutende Intensivierungsfaktoren in der Pflanzenproduktion sind entsprechend der Direktive des IX. Parteitagess die Technische Trocknung und die Pelletierung [1].

Entscheidenden Einfluß auf den technologischen Ablauf der Halmfuttermittelverarbeitung und auf die Qualität des Endprodukts hat die Häckselqualität, die vor allem durch den erreichten Zerkleinerungsgrad charakterisiert wird. Die geforderte Häcksellängenzusammensetzung für die entsprechende Gutart und Aufbereitungstechnologie ist streng durch die Agrotechnische Forderung (ATF) fixiert [2]. Die Einhaltung der ATF wird wesentlich durch die Zerkleinerungseinrichtung des Feldhäckslers bestimmt [3].

Theoretische und praktische Untersuchungen zeigen, daß der Feldhäckslers die gestellten Anforderungen nur erfüllt, wenn die Abnutzung einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet [3] [4] [5] [6]. Mit der Verschlechterung des Zerkleinerungsgrades kommt es gleichzeitig zu einer Erhöhung des Energieaufwands für die Zerkleinerung des Halmgutes. Um den Zusammenhang zwischen Abnutzung der Schneid-elemente und dem Zerkleinerungsergebnis (Zerkleinerungsgrad und Energieaufwand) zu quantifizieren und bekannte Defekte zu redu-

zieren, sind umfangreiche Untersuchungen unter Praxis- und Laborbedingungen erforderlich. Diese Forderung ergibt sich aus dem Einfluß der Stoffparameter des zu zerkleinernden Halmgutes, der beim heutigen Stand der Erkenntnisse eine rein theoretische Lösung des Problems unmöglich macht.

Für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen ist u. a. die meßtechnische Ermittlung der beim Schnittvorgang auftretenden Kräfte erforderlich. Im vorliegenden Beitrag werden eine Methode zur Messung der Schnittkräfte unter Laborbedingungen sowie erste Erfahrungen mit der dazu verwendeten Meßtechnik dargestellt.

## 2. Grundlegende theoretische Betrachtungen zum Schnittvorgang

Die Analyse des Erkenntnisstandes zur Zerkleinerung von Halmgut hat ergeben, daß nur Zerkleinerungsmaschinen, die die Teilfunktion Schneiden realisieren, eingesetzt werden [3]. Die praktische Realisierung dieses Prinzips mit den entsprechend der geometrischen Zuordnung der Schneidelemente auftretenden Schnittkraftkomponenten beim Eindringen der Schneide in das Halmgut ist im Bild 1 am

Beispiel des Trommelhäckslers schematisch dargestellt. Als Folge der Abnutzung der Schneidelemente ist eine Veränderung der Schnittbedingungen und damit der einzelnen Schnittkraftkomponenten festzustellen (Bild 2). Durch das Einziehen des Gutstranges zwischen Schneide und Gegenschneide infolge des Verschleißes wird vor allem eine Vergrößerung der Schnittkraftkomponente  $F_{sx}$  hervorgerufen.

## 3. Meßtechnische Ermittlung der Schnittkraft

### 3.1. Stand der Technik

Ausgehend von der Tatsache, daß alle beim Schnittvorgang wirkenden Widerstandskräfte durch das Antriebsdrehmoment der Häckseltrommel überwunden werden müssen, wird der Drehmomentenverlauf als Parameter für die Ermittlung des Energiebedarfs benutzt. Die Messung des Drehmoments mit Hilfe der Dehnungsmeßtechnik ist gegenwärtig die einzige Meßmethode unter Praxisbedingungen. Unter Laborbedingungen wurden bereits von Grimm [7] Druckmeßdosen zur Ermittlung der Schnittkraft verwendet. Bei dieser Meß-

methode wurde die Gegenschneide auf eine Druckmeßdose gelagert und so die beim Schnittvorgang senkrecht auf die Gegenschneide übertragene Schnittkraftkomponente durch die Druckmeßdose in ein analoges Meßsignal umgewandelt. Dieses Prinzip läßt, wie leicht zu erkennen ist, lediglich die Ermittlung einer Schnittkraftkomponente zu. Sowohl die Drehmomentenmessung wie auch die letztgenannte Meßmethode geben keine umfassende Information über den eigentlichen Schnittvorgang.

### 3.2. Ermittlung der Schnittkraft durch Messung der auftretenden Schnittkraftkomponenten an der Gegenschneide

Wie schon ausgeführt, gibt das Drehmoment lediglich eine Aussage über die beim Schnittvorgang insgesamt wirkenden Widerstandskräfte. Besonders unter dem Aspekt der sich verändernden Schnittbedingungen infolge der Abnutzung und der sich daraus ergebenden Änderung der wirkenden Schnittkraftkomponenten ist die Information aus dem Drehmoment unzureichend. Die Theorie, daß sich alle Kräfte, unter Vernachlässigung der Trägheitskräfte des Halmgutes selbst, auf der Gegenschneide abstützen müssen, bietet die einzige Möglichkeit, die wirkenden Schnittkraftkomponenten meßtechnisch zu erfassen. Unter dem Aspekt der Abnutzung kommt es vor allem auf die Ermittlung der Schnittkraftkomponenten  $F_{sx}$  und  $F_{sy}$  (Bild 1) an.

#### 3.2.1. Auswahl des Meßprinzips

Aus der Meßaufgabe ergeben sich bestimmte Anforderungen an das Meßprinzip. Insbesondere sind dies die zeitgleiche Messung von zwei Komponenten, die zeitliche Aufeinanderfolge der Schnittvorgänge und die Zeitdauer für einen Schnittvorgang. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Schnittvorgänge ist gekennzeichnet durch die Schnittfrequenz  $f_s$ , die sich aus der Anzahl der Messer, die auf der Trommel angeordnet sind, und aus der Trommeldrehzahl ergibt. Die Zeitdauer  $t_s$  für einen Schnittvorgang wird aus dem Reziprokwert der Schnittfrequenz  $f_s$ , dem Umfang der Messertrommel  $u_T$  und der Höhe  $h$  des Gutzuführenkanals ermittelt:

$$t_s = \frac{h}{u_T f_s} \quad (1)$$

Im konkreten Fall besteht die Aufgabe, definierte Meßsignale bei einem Schnittfrequenzbereich von 8 Hz bis 32 Hz aufzuzeichnen. Für die Schnittfrequenz  $f_s = 32$  Hz ergibt sich unter den gegebenen Bedingungen die Zeitdauer für einen Schnittvorgang zu  $t_s = 1$  ms. Diese hohen Anforderungen gelten für die gesamte Meßkette (Meßwertgeber, Meßverstärker, Registriereinrichtung). Zur Realisierung der Zielstellung — Messung der Schnittkraft an der Gegenschneide in zwei Richtungen — wurden Versuche mit Hilfe der Dehnungsmeßtechnik durchgeführt. Zur Anwendung kamen zwei Oktagonalringe, ausgerüstet mit Halbleiterdehnungsmeßstreifen, auf denen die Gegenschneide beidseitig befestigt wurde [8]. Das Ergebnis der Versuche führte zu der Erkenntnis, daß es sich um ein dynamisches Meßproblem handelt, das mit der verwendeten Dehnungsmeßtechnik nicht beherrscht werden kann. Der Schnittvorgang zeigte sich auf dem Meßschrieb als eine Ausschwingkurve, die Antwort eines mechanischen Schwingensystems bei stoßförmiger Erregung. Die Auswertung der Spezialliteratur [9] [10] [11] [12] ergab, daß die Antwort eines linearen Einmassen-Schwingensystems bei Erregung durch einen Halbsinus- oder

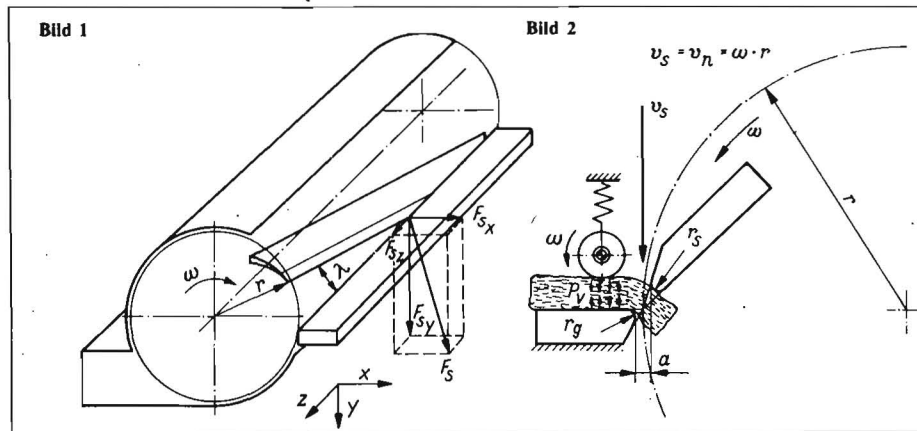
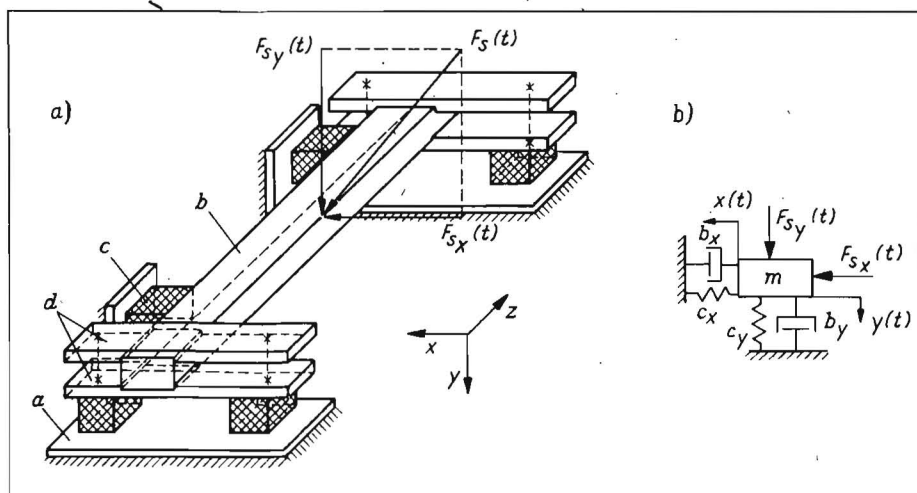


Bild 1. Prinzip des Trommelhäckslers mit den beim Schnittvorgang auf die Gegenschneide übertragenen Schnittkraftkomponenten  $F_{sx}$ ,  $F_{sy}$  und  $F_s$ .  
Bild 2. Schematische Darstellung der Veränderung der Schnittbedingungen infolge von Verschleiß;  $\omega$  Winkelgeschwindigkeit,  $v_s$  Schnittgeschwindigkeit,  $r$  Radius der Schneidtrommel,  $p_v$  Gutvorpreßdruck,  $r_s$  Schneidenradius als Verschleißparameter,  $r_g$  Radius der Gegenschneide als Verschleißparameter,  $a$  Abstand Schneide-Gegenschneide

Bild 3. Konstruktive Lösung der Befestigung der Gegenschneide (a) und daraus abgeleitetes dynamisches Modell (b) zur Bestimmung der Schnittkraftkomponenten  $F_{sx}(t)$  und  $F_{sy}(t)$ ; a Gestellpunkt, b Gegenschneide, c Gummifeder, d Spannbacken



Dreieckstoß, einer transienten Zeitfunktion, das gleiche Aussehen hat. Da für Stoßmessungen piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer in Verbindung mit dem Schwingungs- und Stoßmeßsystem (SM-System) geeignet sind [9] [10] [13], wurde dieses Meßprinzip für die gestellte Aufgabe ausgewählt. Die erforderlichen theoretischen Grundlagen für die Ermittlung der Schnittkraft aus der Stoßbeschleunigung werden im folgenden Abschnitt kurz dargelegt.

### 3.2.2. Mathematisches Modell

zur Beschreibung der Meßaufgabe

Bei der Modellfindung wird von der Theorie ausgegangen, daß die sich beim Schnittvorgang auf der Gegenschneide abstützende Schnittkraft  $F_s$  derselben eine Stoßbeschleunigung erteilt. Ist diese Stoßbeschleunigung meßtechnisch exakt ermittelt, so läßt sich die real wirkende Schnittkraft  $F_s(t)$  wie folgt bestimmen (Bild 3):

$$m\ddot{x}(t) + b_x \dot{x}(t) + c_x x(t) = F_{sx}(t) \\ m\ddot{y}(t) + b_y \dot{y}(t) + c_y y(t) = F_{sy}(t). \quad (2)$$

Das dynamische Modell gilt unter folgenden Voraussetzungen:

- Die Gegenschneide ist ein starrer Körper.
- Das Schwingungssystem verhält sich voneinander unabhängig in x- und y-Richtung wie ein lineares Einmassensystem mit einem Freiheitsgrad.

Wie aus dem Ansatz zu sehen ist, handelt es sich um ein mechanisches Schwingssystem 2. Ordnung, das durch die Systemparameter Masse  $m$ , geschwindigkeitsproportionale Dämpfung  $b$  und Federkonstante  $c$  eindeutig bestimmt ist. Die Ausdrücke auf der rechten Seite der Differentialgleichung sind im mathematischen Sinn als Störfunktionen zu betrachten. Die Bestimmung der Systemparameter bereitet keine Schwierigkeiten. Wird die Masse  $m$  durch einfache Wägung der Gegenschneide exakt bestimmt, so werden durch Aufnahmen der Ausschwingkurve (nach stoßförmiger Erregung des Systems) die Eigenfrequenz  $f_0$ , über das logarithmische Dekrement der Dämpfungsgrad  $D$  und dann nach bekannten Beziehungen  $c$  und  $b$  ermittelt. Hinsichtlich der Dämpfung wird an das System die Forderung gestellt, daß es in der Zeit  $\Delta t$  zwischen zwei Schnittvorgängen abgeklingen ist:

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} - t_s \quad (3)$$

Als weitere Systemeigenschaft muß die Zeitinvarianz erfüllt sein. Ausgehend von der zu Beginn dieses Abschnitts dargelegten Theorie und dem Ansatz für die x-Richtung des dynamischen Modells (vgl. Bild 3), erhält die Differentialgleichung folgendes Aussehen:

$$m\ddot{x}(t) + b_x \dot{x}(t) + c_x x(t) = F_{sx}(t) \quad (4)$$

Meßtechnisch wird durch Anbringen eines piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers an der Gegenschneide die Beschleunigung  $\ddot{x}(t)$  als Antwort der durch den Schnittvorgang erzeugten Schnittkraftkomponente  $F_{sx}(t)$  ermittelt.

In [10] [11] sind umfangreiche Untersuchungsergebnisse über das Verhalten linearer Einmassensysteme bei stoßförmiger Erregung dargestellt. Sie zeigen, daß eine datenreduzierende Analyse von Stoßvorgängen sinnvoll ist, die sich nur noch auf die Spitzenwerte der Antwortzeitfunktion in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz  $f_0$  und der Stoßdauer  $\tau$  bezieht. Für die Realisierung der gestellten Meßaufgabe ist lediglich die quantitative Ermittlung des Maximalwertes  $\hat{x}$  der Antwortzeitfunktion  $\ddot{x}(t)$  erforderlich. Die Umformung der Gleichung (4) zu

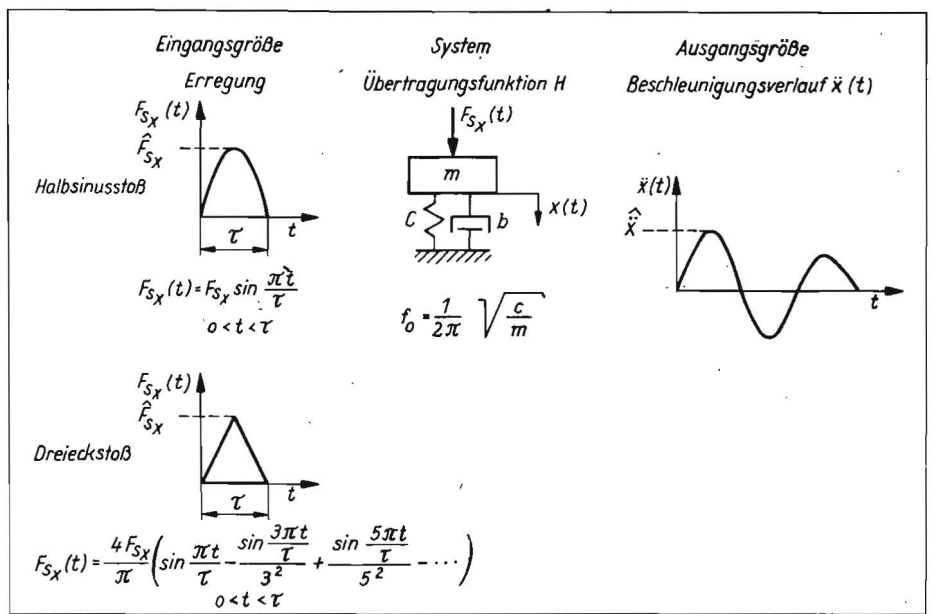


Bild 4. Qualitative Darstellung der Ermittlung der Übertragungsfunktion  $H$  des dynamischen Systems

$$m\ddot{x}(t) = F_{sx}(t) - b_x \dot{x}(t) - c_x x(t) \quad (5)$$

läßt erkennen, daß der Meßwert  $\hat{x}$ , multipliziert mit der Masse  $m$ , nur dann der real wirkenden maximalen Schnittkraft  $\hat{F}_{sx}$  entspricht, wenn die Ausdrücke  $b_x \dot{x}(t)$  und  $c_x x(t)$  Null werden. Es muß also die Übertragungsfunktion  $H$  des Systems ermittelt werden. Als Übertragungsfunktion soll in Anlehnung an die Systemtheorie das Verhältnis zwischen dem Maximalwert der Antwortzeitfunktion (Ausgangsgröße) und dem Amplitudenwert der transienten Erregerfunktion (Eingangsgröße) definiert werden.

### 3.2.3. Simulation des mathematischen Modells auf einem Digitalrechner

Die Notwendigkeit der Berechnung des mathematischen Modells mit Hilfe der EDV ergibt sich aus der Forderung nach der Bestimmung der Übertragungsfunktion  $H$ . Ziel der mathematischen Modellierung dynamischer Systeme ist es, die zwischen den Eingangs- und Zustandsgrößen des Systems bestehenden Zusammenhänge mit Hilfe der Mathematik in quantitativer Form darzustellen [12].

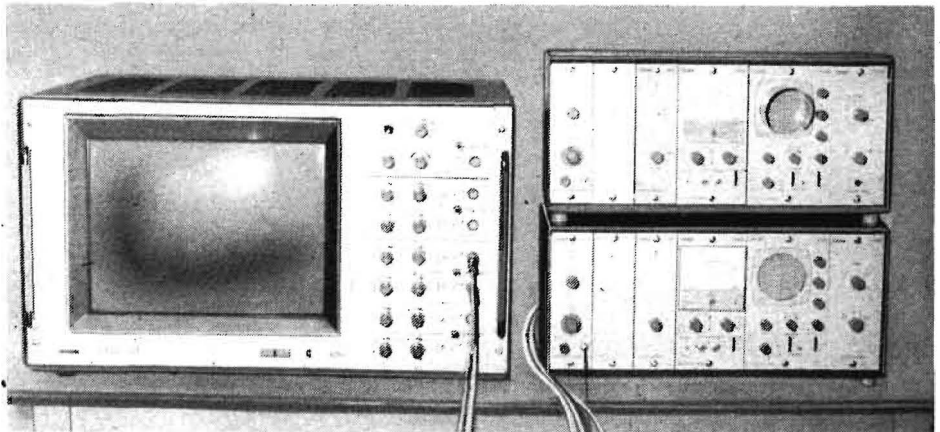
Ausgehend von der Tatsache, daß das gewählte dynamische Modell (vgl. Bild 3) Elemente mit Speicherwirkung ( $m$ ,  $c$ ) sowie ein dissipatives Verknüpfungselement ( $b$ ) zwischen den Spei-

chern enthält, ist zu erwarten, daß die Übertragungsfunktion

$$H = \frac{m\hat{x}}{\hat{F}_{sx}} \quad (6)$$

nur im Sonderfall den Betrag Eins annimmt. Im Bild 4 ist qualitativ die Bestimmung der Übertragungsfunktion  $H$  dargestellt. Die Begründung für die gewählten Eingangsgrößen Halbsinusstoß und Dreieckstoß ist im Abschnitt 3.2.1. gegeben worden. Somit sind, wenn die Stoßdauer  $\tau$  gleich der Zeit  $t_s$  für einen Schnittvorgang gesetzt wird, alle Größen zur Berechnung des mathematischen Modells bekannt und die Bestimmung der Übertragungsfunktion  $H$  mit Hilfe der EDV möglich. Um die Abhängigkeit des Maximalwertes  $\hat{x}$  der Antwortzeitfunktion von der Stoßdauer  $\tau$  und der Amplitude  $F_{sx}$  der transienten Erregerfunktion zu bestimmen, wurden Rechnungen mit drei unterschiedlichen Werten für  $\tau$  und jeweils sechs verschiedenen Amplitudenwerten je vorgegebener Stoßdauer durchgeführt. Für die Stoßdauer wurden 1 ms, 2 ms und 3 ms entsprechend den unter Versuchsbedingungen auftretenden Zeiten  $t_s$  für einen Schnittvorgang festgelegt.

Bild 5. Meßplatz zur meßtechnischen Ermittlung der Stoßbeschleunigung  $\hat{x}$  und  $\hat{y}$  unter Verwendung des Stoßmeßgeräts SM 311



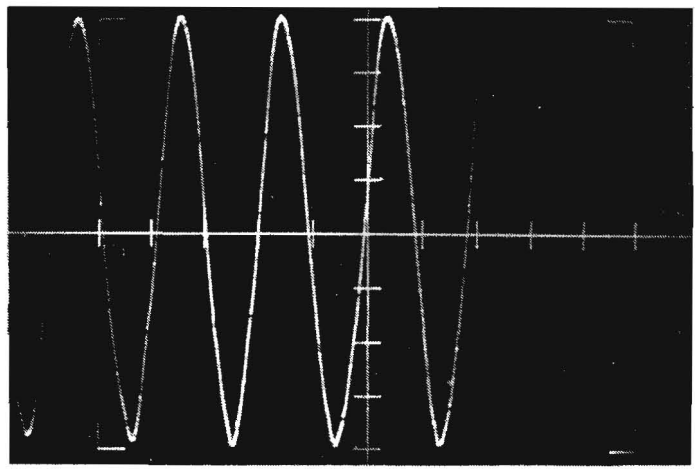
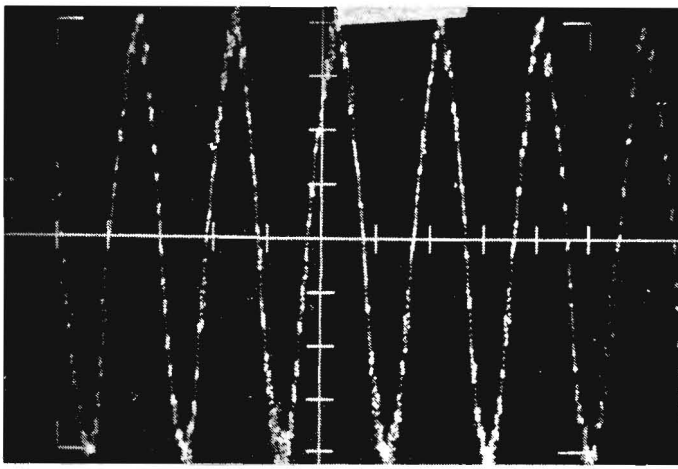


Bild 6. Wirkung des Stoßfilters SM 20;  
a) frequenzunbewertetes Meßsignal

b) frequenzbewertetes Meßsignal ( $f_g = 125$  Hz)

Für die Amplitudenwerte der Störfunktion  $F_{sx}(t)$  wurden Werte von  $F_{sx} = 20$  (40) 220 N verwendet.

Die Testrechnungen ergaben folgende Ergebnisse: Die Übertragungsfunktion  $H$  ist kleiner Eins und bei konstanter Stoßdauer  $\tau$  unabhängig vom Amplitudenwert und Zeitverlauf der eingegebenen Störfunktion  $F_{sx}(t)$  entsprechend Bild 4. Dies gilt natürlich nur für den Vergleich der beiden Maximalwerte  $\hat{F}_{sx}$  und  $\hat{x}$ . Für die Übertragungsfunktion  $H$  bei den vorgegebenen Stoßdauern  $\tau$  gilt:

$$H = \frac{m\hat{x}}{\hat{F}_{sx}} \quad \begin{array}{l} 0,91 \text{ für } \tau = 1 \text{ ms} \\ 0,92 \text{ für } \tau = 2 \text{ ms} \\ 0,94 \text{ für } \tau = 3 \text{ ms} \end{array}$$

Wie die Rechenergebnisse weiter zeigen, ist der Betrag der maximalen Wegauslenkung in den beiden Richtungen  $x(t)$  und  $y(t)$  kleiner gleich 0,05 mm.

Das rechtfertigt die vorgenommene Linearisierung des dynamischen Modells trotz Verwendung von Gummifedern (vgl. Bild 3) im realen System, die bekanntlich keine lineare Federkennlinie aufweisen.

### 3.3. Realisierung der Meßaufgabe unter Verwendung des Stoßmeßgeräts SM 311

Das Stoßmeßgerät SM 311 gehört zu den Standardgeräten des SM-Systems [13]. Es handelt sich um ein 1-Kanal-Stoßmeßgerät, das in Verbindung mit einem piezoelektrischen

Beschleunigungsaufnehmer zur Messung mechanischer Schwingungen sowie einmaliger oder wiederholter Stöße eingesetzt wird. Es gestattet, die Schwingbeschleunigung  $a$ , die Schwinggeschwindigkeit  $v$  und den Schwingweg  $\xi$  im Frequenzbereich von 2 Hz bis 10 kHz zu messen.

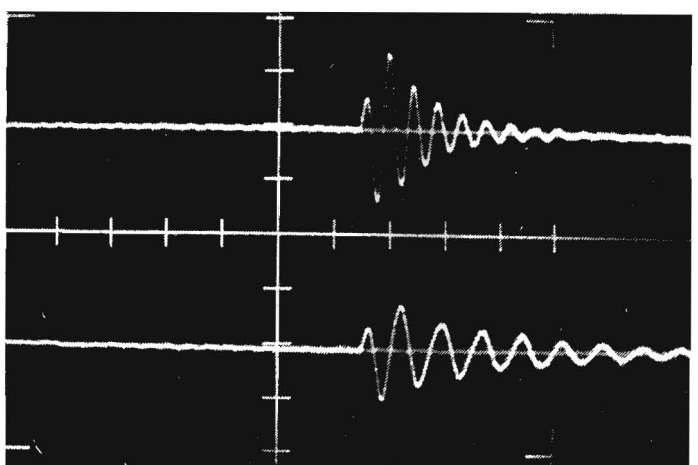
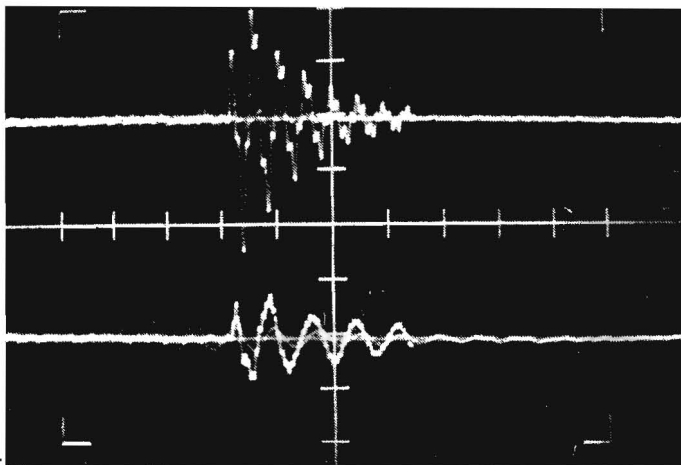
Entsprechend der Meßaufgabe, zeitgleiche Messung von zwei Komponenten, ist der Einsatz von zwei Stoßmeßgeräten erforderlich. Im Bild 5 ist der Meßplatz zur Aufnahme der Stoßbeschleunigung in  $x$ - und  $y$ -Richtung dargestellt. Die Auswertung der Meßsignale ist nur mit dem internen Oszilloskop oder mit extern angeschlossenen Sichtgerät (z. B. 6-Kanal-Universalsichtgerät USG-101) möglich. Vom Bildschirm des USG-101 erfolgt die fotografische Registrierung der Meßsignale. Die Kalibrierung des Meßsystems bereitet keine Probleme. Durch Aufschrauben des piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmers auf den mechanischen Eichstisch ET 101, der einen definierten maximalen Beschleunigungswert  $\hat{a}_0$  durch harmonische Unwuchterregung aufbringt, wird die gesamte Meßstrecke mechanisch kalibriert. Die Wirkung des Stoßfilters zeigt Bild 6. Dargestellt sind der durch den mechanischen Eichstisch erzeugte Beschleunigungsverlauf  $a_0(t)$  bei der Stellung „linear“ des Filterwahlschalters (Bild 6a) und bei einer oberen Grenzfrequenz von 125 Hz (Bild 6b).

Bei der Stellung „linear“ des Filterwahlschalters wird das Meßsignal frequenzunbewertet übertragen, dem eigentlichen Meßsignal sind höherfrequente Schwingungen überlagert. Diese höherfrequenten Schwingungen rühren vom mechanischen Unwuchtertrieb des Eichstisches her, der besonders in den Umkehrpunkten großes Spiel zwischen Kurvenbahn und Stößel des Nockengetriebes aufweist. Diese Oberschwingungen werden bei einer frequenzbewerteten Übertragung des Meßsignals (Bild 6b) nicht aufgezeichnet. Ein Vergleich der Amplituden  $\hat{a}_0$  zeigt, daß sie sich, benutzt man logischerweise den Mittelwert der in den Umkehrpunkten auftretenden Oberschwingungen (Bild 6a), nicht unterscheiden. Dies ist ein Beweis dafür, daß das Stoßfilter SM 20 im Durchlaßbereich den eigentlichen Stoßvorgang verzerrungsfrei wiedergibt. Die mechanische Kalibrierung bietet außerdem die Möglichkeit, die Kalibrierung in der Filterstufe durchzuführen, die während der Messung benutzt wird. Die Ausschwingkurven in  $x$ - und  $y$ -Richtung nach stoßförmiger Erregung in Richtung  $F_s(t)$  (vgl. Bild 3), aufgenommen am realen System, sind im Bild 7 dargestellt. Ohne eine umfassende Auswertung vorzunehmen, sollen einige grundlegende Erkenntnisse diskutiert werden. Vorangestellt sei, daß ein quantitativer Vergleich der Amplitudenwerte in den Bildern 7a und 7b aufgrund der quantitativen

Bild 7. Antwortzeitfunktionen  $x(t)$  und  $y(t)$  bei Erregung durch einen Stoß mit Stoßdauern  $\tau_1$  und  $\tau_2$ ;

a) Erregung mit Stoßdauer  $\tau_1$  ( $\tau_1 < \tau_c$ )

b) Erregung mit Stoßdauer  $\tau_2$  ( $\tau_2 > \tau_c$ )



ungleichen Erregung nicht vorgenommen werden kann. Die Ausschwingkurven wurden bei einer oberen Grenzfrequenz des Stoßfilters SM 20 von 125 Hz aufgenommen, trotzdem kommt es im Bild 7a zu Oberschwingungen. Die Begründung kann wie folgt gegeben werden: Bei aufmerksamer Betrachtung der Aufnahmen ist zu erkennen, daß bei Erregung des Systems im Bild 7a eine geringere Stoßdauer  $\tau$  der Erregerfunktion im Vergleich zum Bild 7b vorliegt, was zu einer härteren Erregung des Systems führt. Das heißt, es tritt ein Kontinuum auf, das von der Gegenschneide selbst herrührt und das eigentliche Meßsignal überlagert. Eine Berechnung des Kontinuums der Gegenschneide bei den gegebenen Einspannbedingungen ergab, daß die auftretenden Oberschwingungen, die durch das Filter natürlich gedämpft und verzerrt sind, innerhalb des möglichen Kontinuums liegen. Weiterhin ergab eine Auswertung des Bildes 7a, daß die Systemparameter  $c$ ,  $b$  und  $f_0$  im Vergleich mit Bild 7b den gleichen Betrag haben. Dies beweist, daß sich das System wie ein lineares Einmassen-Schwingsystem mit einem Freiheitsgrad verhält. Weiterhin ist leicht zu erkennen, daß der Maximalwert der im Bild 7 dargestellten Antwortzeitfunktionen entgegen den Erwartungen nicht bei der ersten positiven Halbwelle erscheint. Die Ursache hierfür liegt im Meßsystem begründet. Durch die Bestimmung der Funktion für die Hüllkurve des Ausschwingvorgangs wird mit Hilfe der Extrapolation der Maximalwert der ersten positiven Halbwelle ermittelt.

Die Fortführung der Arbeit mit dem Stoß-

meßgerät SM 311 zur Lösung der gestellten Meßaufgabe wird zeigen, ob die vorgestellte Meßmethode bei ähnlichen Meßproblemen, z. B. in der Werkstoffprüftechnik, anwendbar ist.

#### 4. Zusammenfassung

Ausgehend von der Notwendigkeit experimenteller Untersuchungen des Schnittvorgangs bei der Zerkleinerung von Halmgut, wird eine Methode zur Messung dynamischer Schnittkräfte unter Laborbedingungen dargestellt. Wie theoretische und experimentelle Untersuchungen ergaben, muß der Schnittvorgang bei einem Trommelhäcksler mit hoher Schnittfrequenz als Stoß definiert werden. Die bei diesem Stoßvorgang auftretende Kraft wird durch Aufnehmen der an der Gegenschneide auftretenden Stoßbeschleunigung infolge der Schnittkraft ermittelt. Zum Aufnehmen der Stoßbeschleunigung werden piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer in Verbindung mit dem Stoßmeßgerät SM 311 verwendet. Um Aussagen über die sich verändernden Schnittbedingungen infolge der Abnutzung der Schneidelemente zu erhalten, wird eine Methode zur Messung von zwei Schnittkraftkomponenten mit der dazu erforderlichen Meßtechnik vorgestellt.

#### Literatur

- [1] Sindermann, H.: Direktive des IX. Parteitag der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1976—1980. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [2] Agrotechnische Forderungen (ATF) an den Feldhäcksler (unveröffentlicht).
- [3] Höhn, K.; Schwedler, R.: Untersuchungen zur Zerkleinerung von Halmgut. Wilhelm-Pieck-

Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1975 (unveröffentlicht).

- [4] Plötner, K.; Schwedler, R.; Höhn, K.: Zur Zerkleinerung von Halmgut. *agrartechnik* 25 (1975) H. 12, S. 610—613.
- [5] Johne, D.: Bestimmung des Zusammenhanges zwischen Häcksellängenzusammensetzung des Erntegutes, Durchsatz, Schneidspaltgröße und Verschleißzustand der Schneidorgane am Feldhäcksler. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1976 (unveröffentlicht).
- [6] Dworek, R.: Technologisch-ökonomische Untersuchungen zur Verfahrensentwicklung in der Getreideernte. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsabschlußbericht 1976 (unveröffentlicht).
- [7] Grimm, K.: Schneid- und Wurfvorgänge in Trommelfeldhäckslern. Aus den Arbeiten der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik Weihenstephan 1965.
- [8] Plötner, K.: Zur Ermittlung räumlich wirkender Kräfte in der Landtechnik. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe*, 20 (1971) H. 3/4, S. 281—292.
- [9] Holzweißig, F.; Meltzer, G.: *Meßtechnik der Maschinendynamik*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973.
- [10] Lenk, A.; Rehnitz, J.: *Schwingungsprüftechnik*. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [11] Lorenz, G.: *Experimentelle Bestimmung dynamischer Modelle. Reihe Automatisierungstechnik, Band 172*. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [12] Brack, G.: *Dynamik technischer Systeme — Verfahrenstechnik*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974.
- [13] Dokumentation zum Schwingungsmeßgerät SM 231 und Stoßmeßgerät SM 311. VEB RFT Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden 1976

A 1854

## Landtechnische Arbeitsmittel zur Strohpelletierung

Dipl.-Ing. H. Ritscher, Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim  
Dozent Dr.-Ing. P. Jakob, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

### 1. Einführung

Die Entwicklung chemischer und mechanischer Aufbereitungsprozesse für das Veredeln von Stroh zu einem hochwertigen Futtermittel bildet die Grundlage für den Einsatz dieses Rohstoffs in der Tierfütterung.

Die Aufbereitungsprozesse stellen gleichzeitig eine echte Intensivierungsmaßnahme in der Landwirtschaft dar. Die Aufbereitung des Strohs unter Zugabe flüssiger Chemikalien mit mechanischer Bearbeitung des Strohs wird als Trockenaufschluß bezeichnet. Für den Strohaufschluß auf trockenem Wege sind verschiedene Verfahren bekannt, die sich hauptsächlich nach dem Einsatz der Aufschlußmittel unterscheiden. Die bekanntesten Aufschlußmittel sind Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstoff und Ammoniumbikarbonat.

Zur Realisierung der Verfahren der Strohkompaktierung gibt es verschiedene Technologien. Technologische Prozeßstufen der Strohkompaktierung sind Annehmen, Vorzerkleinern, Trocknen, Dosieren, Zerkleinern, Mischen, Pressen, Kühlen, Klassieren und Abgeben.

Die Vervollkommnung der Technologien zur Kompaktierung von Stroh erfolgt dabei in mehreren Richtungen. Unter Berücksichtigung der ökonomischen Effektivität findet das Kompaktieren mit mobilen und stationären

Anlagen Anwendung. Faktoren für die Anwendungsform der Anlagenvarianten sind Erntezeitraum, Ertrag, Klima und Bodenbedingungen.

Die Vorteile der stationären Anlagen sind die kontinuierliche witterungsunabhängige Produktion und der Einsatz von leistungsstarken Maschinen.

Die Verfahren der Strohkompaktierung kann man in das Pelletieren und Brikettieren aufteilen. In der DDR wird vorwiegend das Pelletieren angewendet, das mit stationären Anlagen erfolgt. Im Jahr 1976 produzierten die Betreiber der Anlagen 1,4 Mill. t Strohpellets [1].

Um die hohen Ziele der Trockenfutterproduktion, die der IX. Parteitag der SED der Landwirtschaft stellte, zu erfüllen, ist das Nutzen aller vorhandenen Reserven durch Industrie und landwirtschaftliche Praxis notwendig.

Eine große Reserve liegt auf dem Gebiet der Entwicklung der landtechnischen Arbeitsmittel. Dazu gehören in einer Pelletieranlage Dosierer, Zerkleinerungsmaschinen, Pressen und Kühlaggregate. Sie beeinflussen entscheidend den Durchsatz und den spezifischen Energieverbrauch der Anlage sowie die Qualität der Preßprodukte. In [2] [3] [4] [5] [6] waren Ausführungen zum technischen Stand der

landtechnischen Arbeitsmittel enthalten, insbesondere über Dosierer und Zerkleinerungsmaschinen für Stroh.

### 2. Stand der Technik

#### 2.1. Pressen

Das Pelletieren des Strohs wird vorwiegend durch Matrizenpressen realisiert. Die Matrizenpressen arbeiten nach dem Prinzip der Reibungspressung. Das Preßgut wird mit Hilfe von Preßrollen durch eine mit Bohrungen ausgestattete Matrize gedrückt, so daß es in Form zahlreicher Stränge austritt.

Die Matrizenpressen unterteilt man nach der Form der Matrize in Scheiben- bzw. Flachmatrizenpressen und Ringmatrizenpressen.

Die Wirkprinzipien der Pressen rufen verschiedene Bewegungsabläufe während des Preßvorgangs hervor, die sich je nach Komponenten, und Rezepturzusammensetzung in unterschiedlichem Preßverhalten äußern. Nach der Bewegungsform lassen sich die Matrizenpressen in Pressen mit umlaufender Matrize und feststehenden Preßrollen und Pressen mit feststehender Matrize und umlaufenden Preßrollen unterteilen.

Die Anzahl der Preßrollen der Matrizenpressen beträgt zwei bis vier Stück. Die Preßrollen der Scheibenmatrizen sind zylindrisch oder konisch