

## Meßwertgeber zur Bestimmung der Schneidarbeit bei freiem Schnitt

### 1. Aufgabenstellung

Mechanische Trennvorgänge an biologischen Materialien in der Landwirtschaft können zu einem hohen Energiebedarf führen. Dieser Schneidenergiebedarf ist für die Anwendung des freien bzw. frei-freien Schnittes, wie er bei den meisten Ausführungsformen von Rotationsmähdwerken auftritt, umgleich größer als bei dem Scherenschnitt oszillierender Schneidwerke. Er wird wesentlich von kinematischen, kinetischen und stofflichen Parametern beeinflusst. Die bei einem Trennvorgang nach dem freien Schnitt verbrauchte Schneidenergie setzt sich aus mindestens drei Anteilen zusammen:

- Anteil für das reine Schneiden
- Anteil für die seitliche Auslenkung des Halmes unter Einwirkung der Schnittkraft
- Anteil, der für einen mutmaßlichen Fördervorgang des abgetrennten Stoffteiles verbraucht wird.

Die Höhe des Energieniveaus wird wesentlich durch die Schnittgeschwindigkeit beeinflusst. Sie muß stets höher sein als diejenige Geschwindigkeit, bei der gerade noch ein freier Schnitt stattfindet. Diese als kritische Schnittgeschwindigkeit bezeichnete Größe ist für die verschiedenen biologischen Materialien unterschiedlich. Im praktischen Betrieb führen horizontal rotierende Schneidlemente eine Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit aus, die sich meist mit einer gleichförmigen translatorischen Bewegung überlagert. Dieser Sachverhalt ist bei der Optimierung der realen Schnittgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Weiterhin beeinflussen Klingensform und -stellung den bereitzustellenden Energiebedarf.

(Schluß von Seite 454)

- Für die Verfütterung von Häckselgut sind geeignete mobile Lademaschinen und Verteileinrichtungen vorhanden. Ihre Entnahmelösungen sind von der inneren Gestaltung der hallenartigen Bergeräume abhängig.
- Bedeutenden Einfluß auf die Funktionssicherheit und Leistung der Lademaschinen und Verteileinrichtungen mit Fräsworkzeugen, hat die Häcksellänge des Trockengutes, sie sollte 80 mm nicht übersteigen.
- Die Kombination der Front- und Fräslader mit dem Futterverteilwagen führt zu hohen Verfahrensleistungen.
- Ansauggebläse, gleich welcher Art und Einsatzform, haben für VEG und LPG keine Bedeutung.
- Arbeitszeiteinsparungen und die Beschränkung der Tätigkeit der Arbeitskraft auf Kontrollfunktionen beim Entnehmen des Trockengutes sind durch den Einsatz des Heuturmes in Verbindung mit der BMSR-Technik gewährleistet. Die hohen Kosten beschränken jedoch seinen Einsatzbereich auf Anlagen mit stationären Transport- und Verteileinrichtungen. Für Anlagen mit mobiler Verteilung des Grundfutters haben Heutürme keine Bedeutung.
- Der Einsatz des Heuturmes in VEG und LPG setzt die Vergrößerung des Nutzinhalts, die Senkung der Baukosten und die Befüllung einer Heuturbatterie von einem zentralen Abladepplatz voraus.

### Literatur

- [1] PIATKOWSKI: Mündl. Mitteilung 1969.
- [2] MEHLER, THIELE, POMPLUN: Bericht zur Konzeption für teilautomatisierte Trockengutlagerbehälter. Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Deutschen Bauakademie Berlin 1969; unveröffentlicht.

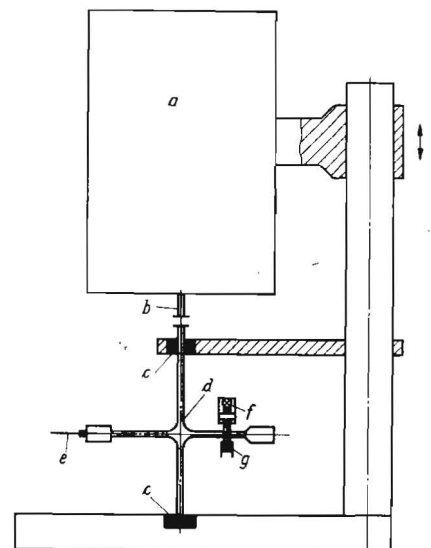
Für die experimentelle Bestimmung der Schneidarbeit an Einzelhalmen bzw. Halmkollektiven ist ein Meßwertgeber zu entwickeln, der eine Variation der Einflußgrößen

- Schnittgeschwindigkeit
  - Schnitthöhe (Stoppelhöhe)
  - Klingenstellung
  - Klingensform und
  - Halmstellung
- gewährleistet.

### 2. Meßmethodik

Dominierender Grundgedanke bei der Wahl des Meßprinzips war, den Bedingungen der Praxis mit dem Meßwertgeber nachzukommen, um möglichst aussagekräftige und verallgemeinerungsfähige Ergebnisse zu erzielen. Daraus resultierend wurde die in Bild 1 dargestellte Meßanordnung gewählt. Sie besteht im Prinzip aus einem Rotationskörper, der das Schneidmesser trägt, einem ausklinkbaren Motor und der optischen Abtastvorrichtung. Der gut gelagerte Rotationskörper mit bekanntem Trägheitsmoment wird mit Hilfe des Motors auf die vorgegebene Drehzahl beschleunigt. Ist diese erreicht, so trennt die mechanische Kupplung das rotierende Schneidwerk vom Antriebsmotor. Gleichzeitig setzt ein Magnetschalter den Motor außer Betrieb, um koppelnde Störeinflüsse über das trennende Lüftpulster zu vermeiden. Aufgrund der vorhandenen geringen Lager- und Luftreibung nimmt die Drehzahl allmählich ab. Die Drehzahl und deren Schwankungen werden mit Hilfe eines elektronischen Drehzahlschwankungsmessers bestimmt, der für einen Impulsfrequenzbereich von 0,6 bis 5,6 kHz ausgelegt ist. Die Abtastvorrichtung besteht aus einer 4-Volt-Kleinstlampe und einer Fotodiode. Die rotierende Scheibe, die auf dem Abtastumfang mit äquidistanten Bohrungen versehen ist, unterbricht den auf die Foto-

Bild 1. Prinzip des Meßgerätes für Schneidarbeit; a Motor (vertikal verschiebbar), b Kupplung (ausklinkbar), c Lager, d Rotationskörper, e Messer (Schnittwinkel verstellbar), f Lampe, g Fotodiode



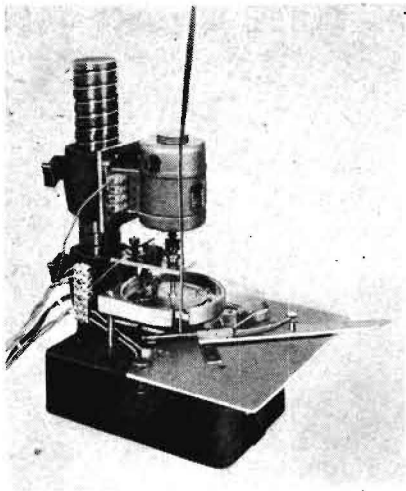


Bild 2. Ansicht des betriebsbereiten Meßgerätes

diode gerichteten Lichtstrahl und erzeugt so eine ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit proportionale Impulsfolge. Diese wird an den Eingang des Drehzahlswankungsmessers gegeben und in ein Gleichspannungssignal umgeformt. Die Kalibrierung erfolgt mit Hilfe eines RC-Generators und eines Universalzählers.

Bild 2 zeigt den konstruktiven Aufbau des Meßgerätes. Der Rotationskörper, die Abtastvorrichtung, der Kupplungs- und Schaltmechanismus und der Antriebsmotor sind an einer Stativsäule befestigt. Eine Einspannvorrichtung hält den Probehalm. Dieser wird zur Messung der Schneidarbeit durch einen Einführhebel vor das frei rotierende Messer gebracht. Der Schneidvorgang bewirkt eine sprunghafte Verringerung der kinetischen Energie des Rotationskörpers.

Die für das Durchschneiden des Halmes aufgebrauchte Arbeit ist gleich dem Abfall der Rotationsenergie und ergibt sich zu

$$A = \Delta W_k = \frac{J}{2} (\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad \text{mit } \omega_1 = 2\pi\nu_1 \quad (1) \\ \omega_2 = 2\pi\nu_2$$

Hierbei bedeuten:

- A Schneidarbeit
- $W_k$  Rotationsenergie
- J Trägheitsmoment des Rotationskörpers
- $\nu_1, \nu_2$  Frequenz des Rotationskörpers unmittelbar vor und nach dem Schnitt.

Das Trägheitsmoment wird am einfachsten experimentell mit Hilfe eines Torsionsdrahtes und eines geometrisch leicht ausmeßbaren Körpers (z. B. Zylinder) aus der Schwingungsdauer bestimmt. Hierfür gilt

$$J = J' \frac{\tau^2}{(\tau'^2 - \tau^2)} \quad (2)$$

mit

- $J'$  Trägheitsmoment des Normals
- $\tau$  Schwingungsdauer von J
- $\tau'$  Schwingungsdauer von J und  $J'$  bei gleichem Torsionsdraht.

Wie aus (1) zu ersehen ist, sind zur Bestimmung der Schneidarbeit nur die Frequenzen  $\nu_1$  und  $\nu_2$  zu ermitteln. Diese ergeben sich aus den Auslaufkurven (Bild 3). Bei Bild 3a wurde der zeitliche Verlauf der Frequenz des frei rotierenden Schneidwerkes aufgenommen. Wie bereits erläutert, nimmt die kinetische Energie aufgrund der Reibungsverluste ständig ab, was der Abfall der Auslaufkurve deut-

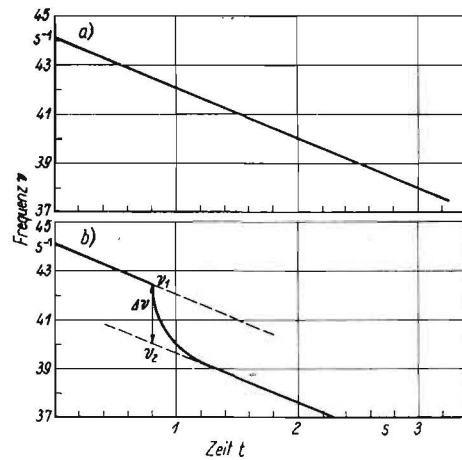


Bild 3. Auslaufkurven des Rotationskörpers  
a) ... ohne Schnitt, b) ... mit Schnitt

lich zeigt. Der Verlauf ist in guter Näherung geradlinig. Dies steht im Einklang mit der Theorie der Reibung, wonach die hier primär wirksame Lagerreibungskraft bereichsweise unabhängig vom Betrag der Geschwindigkeit ist.

In Bild 3b wurde der eigentliche Schneidvorgang aufgenommen. Der obere Teil der Kurve zeigt wieder die typische Auslaufgerade, während der Knick bei  $\nu_1$  den Schnittbeginn aufzeigt. Der durch den Schnitt stärker verzögerte Rotationskörper läuft dann gemäß des unteren geradlinigen Kurventeils weiter aus. Die Auslaufgeraden vor und nach dem Schnitt verlaufen in dem betrachteten Geschwindigkeitsbereich parallel, falls  $\Delta\nu$  nicht zu groß ist (das heißt  $\nu_1$  und  $\nu_2$  müssen in dem Linearitätsbereich bleiben) und sind um den Betrag  $\Delta\nu$  verschoben, woraus sich die Frequenz  $\nu_2$  zu  $\nu_1 - \Delta\nu$  errechnet.

Bei dem aufgenommenen Schnitt handelt es sich um einen Futterroggenhalm. Die Schnittarbeit ergab sich zu  $0,141 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$ . Anschaulich entspricht dieser Betrag etwa der potentiellen Energie einer Masse von  $14,1 \text{ g}$ , die um  $1 \text{ m}$  gegen die Schwerkraft verschoben wurde oder der kinetischen Energie einer Masse von  $14,1 \text{ g}$  im Auftreffpunkt, die aus  $1 \text{ m}$  Höhe fällt. Fehlerbetrachtungen auf der Basis des totalen Differentials von (1) und Eliminieren von J durch (2) ergeben bei Berücksichtigung aller Störeinflüsse einen relativen Fehler von etwa 3 Prozent.

Um einen möglichst breiten Anwendungsbereich für die verschiedenen Halmfutterarten auch in Abhängigkeit vom Reifezustand zu erzielen, können verschiedene Messer und Rotationskörper unterschiedlichen Trägheitsmoments eingesetzt werden. Weiter besteht die Möglichkeit, das Trägheitsmoment des jeweils eingebauten Schneidwerkes durch das Anbringen von Zusatzmassen mit bekanntem Trägheitsmoment zu vergrößern.

Für die manuelle Auswertung der Messungen wäre ein erheblicher personeller Aufwand erforderlich, zumal je Parametereinstellung mehrere hundert Messungen durchgeführt werden. Deshalb haben wir, den Erfordernissen einer rationalen Forschung entsprechend, für die Auswertung unseren Digitalrechner vom Typ SER 2 d eingesetzt. Hierzu ist jedoch eine Aufbereitung der Daten erforderlich, das heißt, es gilt, die Meßkurve auf Lochstreifen in einem für den Rechner verständlichen Code zu speichern.

Anhand von Bild 4 sei das entsprechende Meßwertverarbeitungsschema kurz erläutert. Den eigentlichen Kern des Meßplatzes bildet der Tiefstfrequenzumsetzer TFU 1 vom VEB Funkwerk Dresden. Er besteht aus drei Geräten, einem Analog-Digital-Umsetzer, einem Ferritkernspeicher und einem Steuergerät mit Anzeigevorrichtung, dem Taktgeber. Der eigentliche Meßvorgang, das heißt die Einspeicherung

der Meßwerte, läuft vollautomatisch ab. Am Ausgang des Drehzahlchwankungsmessers liegt ein analoges Gleichspannungssignal an. Dieses wird an den Eingang des AD-Umsetzers gegeben. Der Start zur Meßwertaufnahme erfolgt von Hand am Taktgeber. Von diesem Zeitpunkt ab übernimmt der Taktgeber die automatische Steuerung des Meßplatzes. Insgesamt können 255 Meßwerte aufgenommen werden. Diese Zahl wird ausschließlich von der Kapazität des Ferritkernspeichers bestimmt. Er besitzt insgesamt 256 Adressen, wobei die erste als Festwertspeicher grundsätzlich mit dem Bezugswert 0 belegt ist. Der Zeitabstand zwischen der Aufnahme zweier Meßwerte beträgt 1 ms im schnellsten Bereich und 65,6 s im langsamsten.

Wenn ein Zeitimpuls vom Taktgeber abgegeben wird, beginnt der Meßvorgang des AD-Umsetzers. Seine Arbeitsgeschwindigkeit gestattet 1000 Umsetzungen je Sekunde. Dabei wird der Meßwert in 8 Binärschritten bewertet, deren höchste Wertigkeitsstufe dem Vorzeichen entspricht. Der Eingangsspannungsbereich liegt bei  $\pm 6,4$  Volt und der kleinste Bewertungsschritt beträgt  $\pm 50$  mV.

Hat der AD-Umsetzer seine Messung beendet, gibt er ein Schlußsignal ab. Dieses ist gleichzeitig das Startsignal zur Meßwertübernahme für den Ferritkernspeicher. Ist die Meßwertaufnahme beendet, so können die im Speicher eingetragenen Meßwerte der Weiterverarbeitung zugeführt werden. Des weiteren läßt sich der Verlauf der aufgenommenen Meßfolge für Kontrollzwecke an einem Bildschirm als Punktfolge sichtbar machen. Die Ausgabe wird ebenfalls wieder vom Taktgeber gesteuert. Im Speicher liegen die Meßwerte als rein binärkodierte Informationen vor. Für die Weiterverarbeitung dieser Informationen ist jedoch eine Codeumsetzung erforderlich; denn die gebräuchlichen Ausgabegeräte, wie die handelsüblichen Zählbetragsdrucker beziehungsweise hier die Streifenlocheinheit vom VEB Funkwerk Erfurt, arbeiten im Dezimalcode. Die Codeumsetzung wird vom Binär-Dezimal-Umsetzer vorgenommen, der die rein binärkodierte Information in eine binärkodierte Dezimalziffer (BCD-Code) umsetzt. Diese im BCD-Code verschlüsselte Information locht die Ausgabereinheit auf einen Streifen ab, so daß am Ende der Meßwertaufbereitung die gesamte Meßkurve auf dem Lochstreifen gespeichert vorliegt. Der

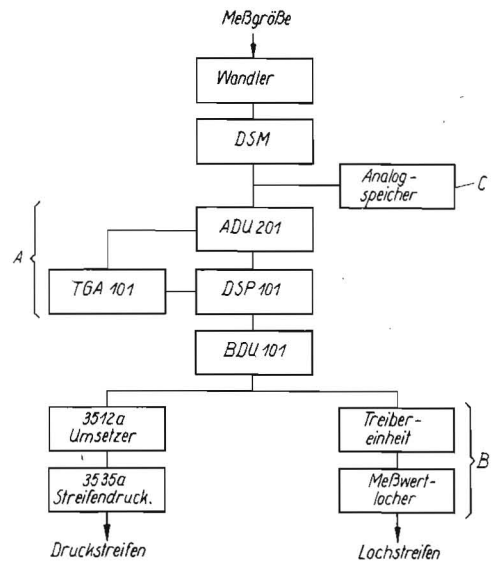


Bild 4. Verarbeitung der mit dem Modellschneidwerk gewonnenen Meßwerte; A Tiefstfrequenzumsetzer TFU 1, B Meßwertlocher-system 3518, C Speicheroszilloskop, DSM Drehzahlchwankungsmesser, ADU 201 Analog-Digital-Umsetzer, DSP 101 Ferritkernspeicher (Digitalwertspeicher), BDU 101 Binär-Dezimal-Umsetzer, TGA 101 Taktgeber und Anzeigeteil für Speicherinhalt der DSP

Lochstreifen, noch zusätzlich mit Versuchsnummern und Versuchsparametern versehen, wird in unserem instituts-eigenen Digitalrechner ausgewertet. Wir erhalten am Ende den Zahlenwert für die beim Schnitt aufgebrachte Arbeit direkt ausgedruckt und sparen damit umfangreiche zeitraubende manuelle Arbeit bei der Erfassung und Auswertung der Meßkurven. Der Einsatz des automatischen Meßwertaufbereitungssystems sowie der maschinellen Rechen-technik ermöglicht es erst, den Anforderungen einer modernen Forschung zu genügen und hier speziell die komplexe Aufgabe der Bestimmung der Schneidarbeit in Abhängigkeit von den Schnittparametern zu realisieren. A 8095

Dipl.-Ing. D. SPIEWOK

## Über die Biegesteifigkeit von Futterhalmen

### 1. Aufgabenstellung

Mit zunehmender Verwirklichung industrieller Produktionsmethoden in der Landwirtschaft ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Mähwerke hinsichtlich ihrer Mähleistung, Funktionssicherheit und Arbeitsqualität. Diese Anforderungen konnten bislang mit Schneidwerken, die nach dem Prinzip des Scherenschnittes arbeiten, nicht vollauf befriedigt werden. Das ist als eine der Hauptursachen für die Entwicklung eines anderen Schneidprinzips, dem Schneiden ohne Gegenschneide oder auch freier Schnitt genannt, anzusehen. Die Arbeitsweise der weitaus meisten Rotationsmähwerke beruht auf diesem Schneidprinzip.

Während bei den oszillierenden Schneidwerken die kinematischen und kinetischen Verhältnisse als hinreichend geklärt angesehen werden können, sind derartige Kenntnisse für die nach dem Prinzip des freien Schnittes arbeitenden Schneidmechanismen noch unvollständig. Das erfordert zunächst mehr Informationen über die Beziehungen und Abhängigkeit zwischen biologischen Materialien und dem durch verschiedene technische Einflußgrößen beeinflussbaren Schneidvorgang.

Ziel ist, durch die Erforschung der biophysikalisch-mechanischen Wirkmechanismen die Entwicklung neuer sowie die

Verbesserung bzw. Optimierung bereits vorhandener Schneidwerkkonstruktionen und -werkzeuge voranzubringen. Ein wesentliches Kriterium hierfür ist die Bestimmung der Schneidarbeit, die nach einer von LEHMANN [1] ausgearbeiteten Meßmethode vorgenommen wird. Erste Ergebnisse haben erkennen lassen, daß eine Deutung dieser Meßergebnisse die Kenntnis des quantitativen Einflusses stofflicher und technischer Einflußgrößen voraussetzt. Eine dieser biomechanischen Einflußgrößen ist die Biegesteifigkeit  $EI$ , zu deren Bestimmung einige Untersuchungen angestellt wurden, über die nachfolgend berichtet wird.

### 2. Bestimmung der Biegesteifigkeit $EI$

#### 2.1. Methodik

Zur Bestimmung biomechanischer Einflußgrößen sind bisher noch keine allgemeingültigen Untersuchungsverfahren und Meßmethoden bekannt. Die verschiedenen Versuchsansteller benutzen unterschiedliche Methoden, die sich oft an die in den jeweiligen Ländern gültigen Werkstoffprüfverfahren anlehnen. Es wurde daher ein eigenes Meßverfahren ausgearbeitet, bei dem der zu untersuchende Halm als