

Bild 9. Durchsatz  $D$  und Steinabscheidungsgrad  $\eta_A$  in Abhängigkeit von der spezifischen Schwadmasse. Gutart Gras, mittlere Halmlänge 23 cm, Variationsbreite 12...36 cm, mittlerer TS-Gehalt 34%, Zuführungsgeschwindigkeit des Schwades 1,67 m/s, Anpreßkraft der Walzen je cm Walzenlänge  $p_1 = 1,58$  kp/cm,  $p_2 = 2,58$  kp/cm,  $p_3 = 3,58$  kp/cm, Umfangsgeschwindigkeit der Walzen  $v_{u1} = 4,20$  m/s,  $v_{u2} = 6,33$  m/s

Ein derartiger Effekt bildet den Ausgangspunkt für Verstopfungen der Trenneinrichtung. Der Stein wird aber an nachgeschaltete Arbeitsorgane des Verfahrens nicht weitergeleitet.

Bei relativ kurzem und trockenem Halmgut zerriß der den Stein umschließende Futterstrang, so daß es zu keiner Unterbrechung des Arbeitsflusses kam.

Unabhängig von den verschiedenen Wirkungen, die ein in einem Futterstrom an die Trenneinrichtung herangeführter Stein zur Folge hat, wurde für alle anstellbaren technischen Einflußgrößen im untersuchten Durchsatzbereich ein Steinabscheidungsgrad  $\eta_A = 1$  erreicht (Bild 9).

### 3.3. Antriebsleistungsbedarf

Das ermittelte Antriebsdrehmoment und die Antriebsleistung sind in Bild 10 dargestellt.

Nahzu unabhängig von der Umfangsgeschwindigkeit und der Anpreßkraft der Trennwalzen lassen sich die ermittelten Ergebnisse den zugeführten Schwaden mit und ohne Steinbesatz zuordnen. Während Schwade ohne Steine ein Antriebsdrehmoment im Bereich von 15 bis 20 kpm erfordern, treten bei Schwaden mit Steinen etwa Werte mit vierfacher Höhe auf.

### 4. Folgerungen

Wegen des unzureichenden Steinabscheidungsgrades  $\eta_A$  und der hohen Futterverluste scheiden die zu einer Batterie angeordneten Aufnehmertrömmeln, die auf der Grundlage der

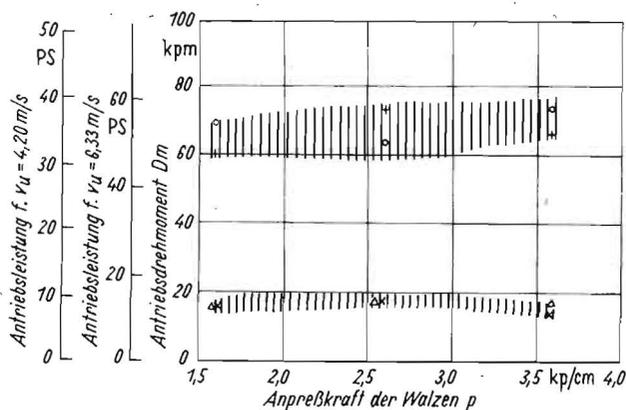


Bild 10. Mittleres Antriebsdrehmoment und mittlere Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Anpreßkraft der Walzen; Gutart Gras-welk, TS-Gehalt 39%, spezifische Schwadmasse 14 kg/m, Zuführungsgeschwindigkeit des Schwades 1,67 m/s, Durchsatz 84 t/h, Durchmesser der Walzen 216 mm;

Meßpunkt	Umfangsgeschw. m/s	Steinbesatz
+	6,33	mit
×	6,33	ohne
o	4,20	mit
Δ	4,20	ohne

Trennkriterien Dichte und Form arbeiten, für die Verwendung in modernen leistungsfähigen Verfahren der Halmfutterproduktion aus.

Das Walzenpaar als Trennkriterien genutzt werden, kann nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen als Trennorgan sowohl in mobilen als auch stationären Häckselverfahren den Anforderungen genügen.

Die Untersuchungen sind auf das Ausscheiden von anderen Fremdkörpern (z. B. metallischen) weiterzuführen.

### Zusammenfassung

Es wurden Funktionsprinzipien von Trenneinrichtungen und deren technischer Aufbau dargelegt, die auf der Grundlage der Stoffeigenschaften Form, Härte, Dichte und Reibungszahlen der zu trennenden Komponenten — Halmfutter und Steine — zu anderen Stoffen arbeiten. Erste Untersuchungsergebnisse werden mitgeteilt.

### Literatur

- [1] OTTO, G.: Die Abscheidung von Fremdkörpern aus Halmfutterschüttungen. Abschlußbericht des IML Potsdam-Bornim 368021-8-530 unveröffentlicht
- [2] WUNSCH, G.: Der Steinbesatz auf Feldfutterflächen und sein Einfluß auf den Einsatz von Schwadwendern. Abschlußbericht des IML Potsdam-Bornim 368021-8-530 unveröffentlicht A 8082

## Untersuchungen zur Durchsatzsteigerung bei der Silageentnahme aus Hochsilos

Dipl.-Ing. E. SCHERPING

### 1. Aufgabenstellung

Bei der mechanischen Entnahme von Silage aus Hochsilos unterscheidet man zwischen Oben- und Untenentnahmemaschinen.

Die Obenentnahmemaschinen lösen die Silage vom Futterstock und fördern sie zu einem inneren oder über ein Gebläse zu einem außerhalb des Silos liegenden Abwurfschacht. Die Arbeitswerkzeuge für das Lösen sind vorzugsweise an Schnecken oder Ketten befestigt.

In der DDR eingesetzte Entnahmemaschinen entnehmen die Silage von der Futterstock-Oberfläche und besitzen Schnecken als Werkzeugträger. Der Vorschub der Fräswerkzeuge erfolgt im allgemeinen über ein Antriebsrad auf der Futterober-

fläche, seltener über einen Ringträger mit Triebstockverzahnung. Durchsatz, Funktionssicherheit und vorhandene Lösungen für die Automatisierung der Entnahme entsprechen noch nicht den Anforderungen.

Das Ziel laufender Untersuchungen ist es, Berechnungsgrundlagen für Entnahmemaschinen zu schaffen. In diesem Beitrag wird über einige Beziehungen zwischen Einsatzkennwerten der Entnahmemaschinen und technischen Veränderlichen berichtet. Die mit einer Doppelschnecken-Entnahmemaschine ermittelten Ergebnisse werden mit den theoretisch berechneten verglichen. Aus den Ergebnissen sind Schlußfolgerungen für die weitere Erhöhung des Durchsatzes und der Funktionssicherheit von Entnahmemaschinen abzuleiten.

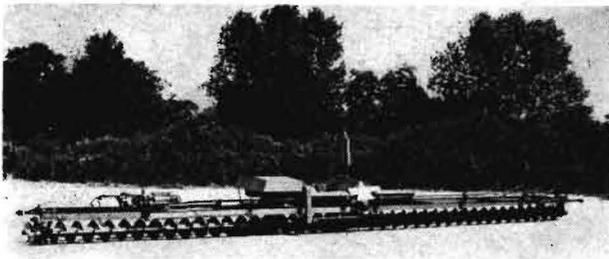


Bild 1. Versuchsmaschine

## 2. Das Durchsatzvermögen von Entnahmemaschinen

Der Durchsatz  $\dot{m}_{th}$  der Entnahmemaschinen ist nach folgender Formel berechenbar:

$$\dot{m}_{th} = \frac{D}{4} \cdot s \cdot v_R \cdot \varrho_L \cdot k \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- $\dot{m}_{th}$  Massendurchsatz
- $D$  Silodurchmesser
- $s$  Spandicke
- $v_R$  Umlaufgeschwindigkeit der Werkzeugträger an der Siloperipherie
- $\varrho_L$  Lagerungsdichte
- $k$  Anzahl der radial angeordneten Fräsarme

In welchem Umfang der nach Gleichung (1) zu berechnende Durchsatz tatsächlich erreicht wird, ist vor allem von der Wirkung der Antriebswerkzeuge auf den Futterstock, der der Schneidkraft entgegenwirkenden Kraft (im wesentlichen durch die Maschinenmasse bestimmt) sowie den möglichen Werten für Spandicke  $s$  und Vorschubgeschwindigkeit  $v_R$  abhängig. Die silagelösende Wirkung der Arbeitswerkzeuge auf der Futterstockoberfläche wird wesentlich von der Anzahl der Messereingriffe  $e_m$  je bearbeitete Flächeneinheit bestimmt. Diese sind berechenbar nach der Beziehung:

$$e_m = \frac{n_s \cdot i \cdot r}{D \cdot n_R} \quad (2)$$

Darin bedeuten:

- $e_m$  Messereingriff je Flächeneinheit
- $n_s$  Schneckendrehzahl
- $i$  Messerbesatz
- $r$  Gangzahl der Schnecke
- $D$  Silodurchmesser
- $n_R$  Drehzahl des Fräsarms

Da der zurückgelegte Weg des rotierenden Fräsarms mit der Entfernung vom Silozentrum zunimmt, verringert sich bei gleichem Messerbesatz die Anzahl der Werkzeugeingriffe mit zunehmender Entfernung von der Silomitte. Um möglichst gleiche Entnahmebedingungen über den gesamten Siloquerschnitt zu erhalten, ist es erforderlich, mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt den Besatz an Arbeitswerkzeugen zu erhöhen.

## 3. Methode

### 3.1. Versuchseinrichtung

Für die Untersuchungen wurde eine Versuchseinrichtung entwickelt, bei der ein Durchsatz zwischen 15 und 20 t/h gemessen wurde (Bild 1). Sie ist als Doppelschnecken-Entnahmemaschine ausgelegt. Die Schnecken können wahlweise radial ( $k = 1$ ) und diametral ( $k = 2$ ) angeordnet werden. Die gelöste Silage wird über einen Zentralschacht nach außen abgegeben. Der Vorschub der Arbeitswerkzeuge erfolgt über einen formschlüssigen Antrieb. Die Spandicke ist über das Absenken der Entnahmemaschine durch eine Seilwinde einstellbar.

Die in Umlaufrichtung erste Schnecke dreht sich gleichläufig, ist linksgängig und mit Fräswerkzeugen besetzt. Die zweite Schnecke dient vor allem zur Förderung der gelösten Silage

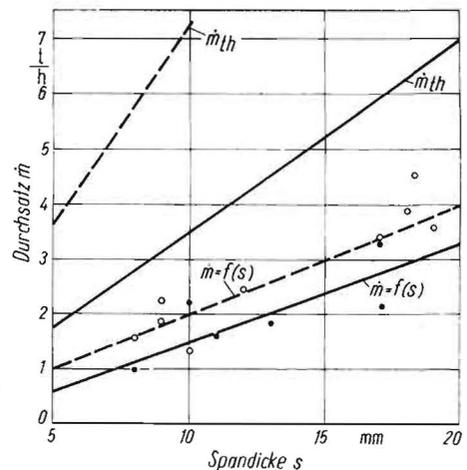


Bild 2. Abhängigkeit zwischen Durchsatz und Spandicke bei unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten;

-----  $\dot{m} = 0,1814 \, ds - 0,326$ ;  $B = 0,835^{+++}$  bzw.  $\dot{m}_{th}$  bei der Umlaufgeschwindigkeit  $v_R = 6,86 \, \text{m/min}$   
 .....  $\dot{m} = 0,2012 \, ds - 0,033$ ;  $B = 0,874^{+++}$  bzw.  $\dot{m}_{th}$  bei der Umlaufgeschwindigkeit  $v_R = 14,4 \, \text{m/min}$   
 $\dot{m}$  gemessener Durchsatz bei Arbeitsbreite  $b = 6000 \, \text{mm}$ , Schneckendrehzahl:  $250 \, \text{min}^{-1}$ , Anzahl d. Fräsesser: 13 St/m, Gutart: Wick-Weidelgras-Gem., Häcksellänge: 64 % der Häckselmasse unter 40 mm, Trockenmassegehalt: 51 %,  $m:k$  berechneter Durchsatz,  $\dot{m}_{th} = \frac{D}{4} \cdot k \cdot \varrho_L \cdot v_R \cdot s$ , mit  $D =$  Arbeitsbreite: 6000 mm,  $\varrho_L =$  Lagerungsdichte:  $559 \, \text{kg/m}^3$ .

zum Zentralschacht. Diese Schnecke dreht sich gegenläufig und ist mit rechtsgängigen Windungen versehen.

### 3.2. Meßmethode

Bei unterschiedlichen Guteigenschaften sowie Lagerungsdichten ist der Durchsatz in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite für  $k = 1$  und  $k = 2$  gemessen worden.

Der Einfluß der Umlaufgeschwindigkeit der Fräswerkzeuge und der Spandicke auf den Durchsatz wurde bei annähernd konstanten Entnahmebedingungen untersucht.

Zur Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen wurde vor jeder Messung die Masse der bereits gelösten aber nicht geförderten Silage auf der Futterstock-Oberfläche bestimmt.

Der Anteil gelöster aber nicht geförderter Silage bildet ein Kriterium zur Einschätzung der Fräs- und Förderwerkzeuge. Die Untersuchungen erfolgten nach zwei Umdrehungen des radialen Fräsarms.

Die elektrische Leistungsaufnahme zeichnet der Einphasen-Leistungsschreiber R 60 auf.

Die Materialeigenschaften der Silage sind durch den Trockenmassegehalt, den Masseanteil der Häcksellänge unter 40 mm Länge und der Lagerungsdichte gekennzeichnet.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Der Durchsatz der Obenentnahmemaschine erhöhte sich durch die Vergrößerung der Arbeitsbreite von  $b \approx 6000 \, \text{mm}$  auf  $b \approx 12000 \, \text{mm}$  auf 185 % von 5,6 t/h auf 10,3 t/h Welksilage.

Mit zunehmender Spandicke und Umlaufgeschwindigkeit steigt der Durchsatz (Bild 2). Die Durchsatzsteigerung bei vergrößerter Umlaufgeschwindigkeit  $v_R$  ist bei geringeren Spandicken höher als bei größeren Spandicken. Im untersuchten Bereich brachte eine Erhöhung der Umlaufgeschwindigkeit um 110 % von 6,86 m/min auf 14,4 m/min bei einer Spandicke von 5 mm eine Steigerung des Durchsatzes um 60 %. Um nur 20 % stieg der Durchsatz bei einer Spandicke von 20 mm.

Das Verhältnis von gemessenem Durchsatz  $\dot{m}$  und tatsächlich gelöster Silagemasse ist von der Umlaufgeschwindigkeit abhängig (Bild 3). Der Quotient aus Durchsatz und tatsächlich gelöster Silagemasse nimmt mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit  $v_R$  ab. Die Differenz zwischen dem gemessenen Durchsatz und der tatsächlich vom Futterstock gelösten

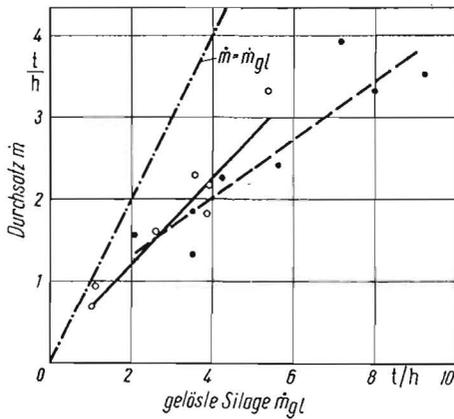


Bild 3. Gemessener Durchsatz in Abhängigkeit von der tatsächlich gelösten Silage.  
 - - - - -  $\dot{m} = 0,544 \dot{m}_{gel} + 0,176$ ;  $B = 0,948^{+++}$  bei der Umlaufgeschwindigkeit  $v_R = 6,86$  m/min  
 ······  $\dot{m} = 0,354 \dot{m}_{gel} + 0,62$ ;  $B = 0,839^{+++}$  bei der Umlaufgeschwindigkeit  $v_R = 14,4$  m/min  
 gemessen bei: Arbeitsbreite: 6000 mm, Schneckendrehzahl:  $250 \text{ min}^{-1}$ , Schneckengängigkeit: 1, Anzahl d. Fräsmesser 13 St./m, Gutart: Wick-Weidelgras-Gem., Häcksellänge: 64 % der Häckselmasse unter 40 mm, Trockenmassegehalt: 51 %

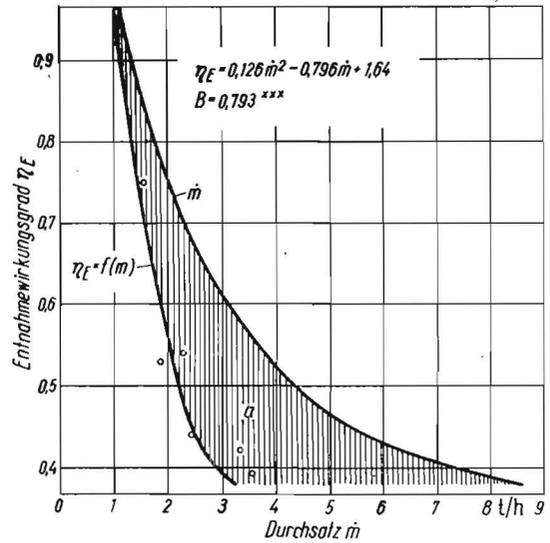


Bild 4. Entnahmwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Durchsatz  $\dot{m}$  beim Wirkungsgrad 1; a gelöste, aber nicht beförderte Silage; gemessen bei  $\approx 6000$  mm Arbeitsbreite,  $260 \text{ min}^{-1}$  Schneckendrehzahl, Schneckengängigkeit 1, 13 St./m Fräsmesser,  $14,4 \text{ m/min}$  Umlaufgeschwindigkeit, Gutart Wick-Weidelgras-Gemenge, Häcksellänge = 64 % der Häckselmasse unter 40 mm, Trockenmasse 51 %

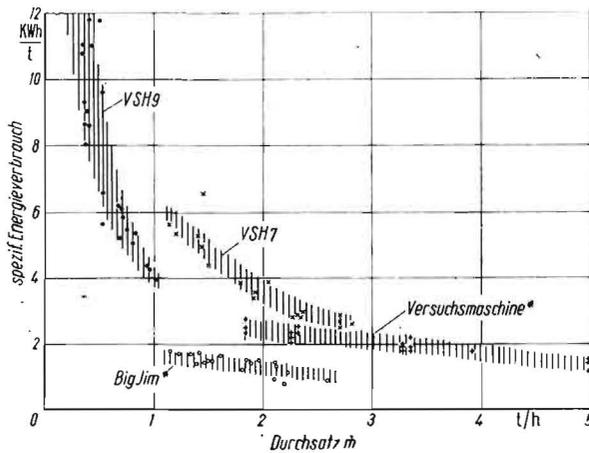


Bild 5. Spezifischer Energieverbrauch bezogen auf den Durchsatz, untersucht bei verschiedenen Hochsilo-Entnahmemaschinen. \* ohne Antriebsleistung des Kettenförderers.

Entnahmemaschine	Arbeitsbreite	Futterabgabe
VSH 9	$\approx 4,5$ m	seitl. Außenschacht
VSH 7	$\approx 3,6$ m	seitl. Außenschacht
Big Jim	$\approx 3,6$ m	Zentralschacht
Versuchsmaschine	$\approx 6,0$ m	Zentralschacht

Silage ist der Förderverlust der Entnahmemaschine. Nach längerer Laufzeit bildete sich bei  $s = 15$  mm zwischen gelöster und entnommener Silagemasse ein stationärer Zustand. Bei Spandicken über 15 mm fährt sich die Entnahmemaschine nach einigen Fräsarmumläufen fest.

Der Entnahme-Wirkungsgrad  $\eta_E$  ist der Quotient aus der entnommenen und der theoretisch zu entnehmenden Masse. Für diese Berechnung können auch die gemessenen und berechneten Durchsätze eingesetzt werden.

$$\eta_E = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{th}} \quad (3)$$

Darin bedeuten:

- $\dot{m}$  gemessener Massedurchsatz
- $\eta_E$  Entnahme-Wirkungsgrad
- $\dot{m}_{th}$  Theoretischer Massedurchsatz

Mit steigendem Durchsatz nimmt der Entnahme-Wirkungsgrad ab (Bild 4). Bei den untersuchten Bedingungen wurden beim Durchsatz  $\dot{m}$  von  $3 \text{ t/h}$  nur 40 % der gelösten Silage entnommen. Der spezifische Energieaufwand nimmt mit steigendem Durchsatz bei den Entnahmemaschinen mit För-

dergebläsen (VSH 9 und VSH 7) asymptotisch, bei den anderen im untersuchten Bereich linear ab (Bild 5). Mit zunehmender Arbeitsbreite steigt der Energieaufwand — besonders bei Maschinen mit mittlerer Futterabgabe — schneller als der Durchsatz.

## 5. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der theoretischen Betrachtungen und den Messungen an der Versuchsmaschine lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die theoretisch betrachteten Größen haben unterschiedlichen Einfluß auf den Durchsatz.
- Arbeitsbreite und Spandicke beeinflussen den Durchsatz am meisten.
- Die Arbeitsbreite kann jeweils nur um ein Vielfaches des Siloradius verändert werden.
- Die Spandicke ist im wesentlichen durch die Masse der Entnahmemaschine begrenzt, da diese Gegenkraft der Schneidkraft ist.
- Den Durchsatz, ohne Veränderung anderer technischer Parameter, wie Schneckendrehzahl, Schneckengängigkeit, Messerbesatz, über die Vergrößerung der Umlaufgeschwindigkeit zu steigern, ist nicht erfolgversprechend.
- Durch Verbesserung der Förderbedingungen ist der Durchsatz der Versuchsmaschine zu steigern. Dabei wird zum Lösen der Silage aus dem Futterverband keine zusätzliche Energie benötigt.
- Die Entnahme über einen mittleren Fallschacht ist wirtschaftlicher, funktionssicherer und bietet günstigere Voraussetzungen für die automatische Futterentnahme als die Futterentnahme über seitliche äußere Fallschächte.

## Zusammenfassung

Ziel der laufenden Untersuchungen ist es, den Durchsatz zu steigern sowie Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung des Durchsatzes und den erforderlichen Energiebedarf zu schaffen. Theoretisch besteht direkte Proportionalität zwischen dem Durchsatz und den technischen Veränderlichen Arbeitsbreite, Spandicke und Umlaufgeschwindigkeit. Untersuchungen an einer Doppelschnecken-Entnahmemaschine bestätigen die berechneten Abhängigkeiten nur zum Teil. Direkt proportional dem Durchsatz sind nur Arbeitsbreite und Spandicke. Von den Entnahmewerkzeugen wurde mehr Silage aus dem Futterstapel gelöst als gefördert. Die Förderbedingungen sind zu verbessern.

A 8106