

# Verteilen von gehäckseltem Siliergut in Lagerbehältern

Dipl.-Ing. F. Munder, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

## 1. Aufgabenstellung

Zum Verteilen von gehäckseltem Siliergut in Hochsilos haben sich Doppelschnecken-Verteilmaschinen bisher am besten bewährt. Sie fördern das Siliergut auf dem Futterstapel vom Silozentrum zur Behälterwand. Obwohl für diese offenen Doppelschneckenförderer keine Berechnungsgrundlagen bekannt sind, entsprechen Durchsatz, Verteilqualität, Leistungsaufnahme und Funktionsicherheit von empirisch geschaffenen Verteilmaschinen z. Z. den Anforderungen. Das Dichteprofil über dem Behälterdurchmesser sowie die Lagerungsdichte an der Futterstockoberfläche können jedoch nicht befriedigen [1].

Für die Konstruktion neuer Verteilmaschinen besteht die Aufgabe, Berechnungsgrundlagen für Doppelschneckenförderer zu erarbeiten. Der Einfluß von vorangegangenen, theoretisch begründeten konstruktiven und technologischen Veränderungen auf die absoluten Werte der Lagerungsdichte an der Futterstockoberfläche ist experimentell zu ermitteln.

## 2. Methode

Auf einem speziell geschaffenen Versuchsstand werden die Fördereigenschaften und das Verdichtungsvermögen von offenen Doppelschnecken in getrennten Versuchen nacheinander untersucht. Die Förderstrecke beträgt 5 m und der Schneckendurchmesser 400 mm. Drehzahl, Achsabstand, Neigungswinkel der Schneckenwendel (Bild 1), Hubgeschwindigkeit der Förderschnecke, Dicke der aufgetragenen Schicht, Schrittweite der Verteilmaschinen am Behälterumfang und Durchsatz werden stufenweise variiert. Als Fördergut wird welches Gras verwendet. Seine Stoffkennwerte sind Trockensubstanzgehalt, Häcksellänge, Schüttdichte, innerer und äußerer Reibungswinkel. Das Versuchsgut wird der Versuchseinrichtung dosiert zugeführt. Mit Bandförderern wird ein geschlossener Kreislauf gebildet. Die Betriebs- und Stoffkennwerte sind damit während der Versuchszeit nahezu konstant.

Zur Bestimmung des Durchsatzvermögens der Doppelschnecken beim Fördern von gehäckseltem Grünfutter wird von der traditionellen Berechnungsgleichung ausgegangen [2]. Geschwindigkeitsbeiwert und Füllungsgrad werden experimentell bestimmt. Der Geschwindigkeitsbeiwert ist der Quotient aus praktischer und theoretischer Fördergeschwindigkeit. Die praktische Fördergeschwindigkeit wird aus der Förderlänge und der Verweilzeit radioaktiv markierter Teilchen in der Meßstrecke berechnet. Die theoretische Fördergeschwindigkeit ist das Produkt aus Schneckensteigung und -drehzahl.

Der Füllungsgrad als Verhältnis zwischen praktischem und theoretischem Volumendurchsatz kann nach der bekannten Beziehung berechnet werden:

$$f = \frac{2 m}{\pi D^2 n h c \rho_s}$$

### Verwendete Formelzeichen

a	mm	Achsabstand
c		Geschwindigkeitsbeiwert
D	mm	Schneckendurchmesser
f		Füllungsgrad
h	mm	Steigung
HL <sub>40</sub>	%	Häckselmasse ≅ 40 mm
HL <sub>100</sub>	%	Häckselmasse ≅ 100 mm
m	t/h	Durchsatz
n	U/min	Schneckendrehzahl
TS	%	Trockensubstanzgehalt
α	°	Neigungswinkel der Erzeugungslinie
ρ <sub>L</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Lagerungsdichte
ρ <sub>s</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte

Da gegenwärtig keine geeignete Meßmethode zum Bestimmen der Dichte im Schneckenförderer bekannt ist, wird vereinfachend für die Dichte die Schüttdichte eingesetzt.

Offene Doppelschnecken fördern das Siliergut über den sich bildenden Futterstock. Wesentlichen Einfluß auf die erreichbare Lagerungsdichte an der Oberfläche haben die Reibungs- und Bewegungsverhältnisse des Fördergutes in der Schnecke. Durch Neigen der Erzeugungslinie der Schraubenfläche entgegen der Förderrichtung kann den Gutteilchen eine radiale Geschwindigkeitskomponente erteilt werden (Bild 1) [3].

Das Fördergut bewegt sich zur Schneckenperipherie, verkeilt sich zwischen Schneckenwendel und Futterstock und leitet dadurch Normal- und Schubkräfte in den Futterstock ein. Aus der Gleichung für die translatorische Fördergeschwindigkeit kann bei einer als zulässig vorgegebenen Verminderung des Durchsatzes um 30% gegenüber einer Schnecke mit senkrecht zur Drehachse stehender Erzeugungslinie ein maximal zulässiger Neigungswinkel der Erzeugungslinie von α = 40° theoretisch ermittelt werden. Untersucht und verglichen werden Schnecken mit einem Neigungswinkel von 0°, 30° und 40°.

Mit einer γ-Rückstreuonde werden die erreichten Dichten 0,5 m unterhalb der Futterstockoberfläche entlang der Förderstrecke gemessen.

Ein Entmischen des Fördergutes bezüglich unterschiedlichen Trockensubstanzgehaltes oder verschieden großer Teilchen kann Ursache für das Ausbilden unterschiedlicher Lagerungsdichten sein. Entlang der Förderstrecke im Abstand von 1 m gezogene Proben geben darüber Aufschluß.

Aus den Meßergebnissen werden die Kennwerte des Förder- und Verdichtungsprozesses berechnet und mit Hilfe von Regressionsanalysen ausgewertet. Mit einem linearen Regressionsansatz werden die Abhängigkeiten des Geschwindigkeitsbeiwerts, des Füllungsgrads, der Lagerungsdichte und der Trockensubstanzdichte von Trockensubstanzgehalt, Schüttdichte, Lang- und Kurzhäckselanteil, Neigungswinkel der Erzeugungslinie, Achsabstand, Schneckendrehzahl und Durchsatz ermittelt.

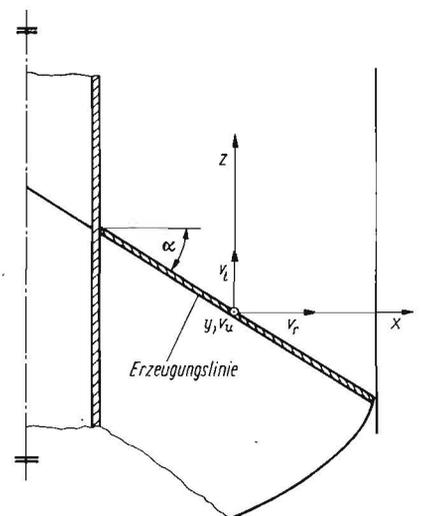


Bild 1. Definition des Neigungswinkels der Erzeugungslinie;

- α Neigungswinkel
- v<sub>t</sub> transl. Fördergeschwindigkeit
- v<sub>r</sub> Radialgeschwindigkeit
- v<sub>u</sub> Umfangsgeschwindigkeit
- x, y, z Koordinaten

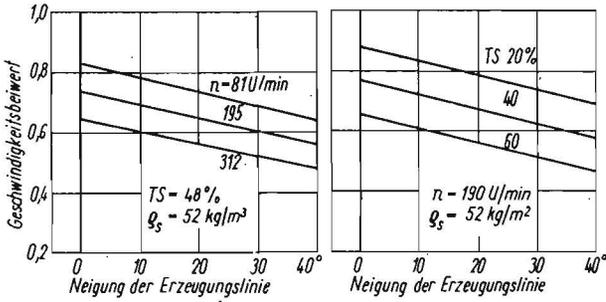


Bild 2. Abhängigkeit des Geschwindigkeitsbeiwerts  $c$  von Neigung der Erzeugungslinie, Drehzahl und Trockensubstanzgehalt; berechnet nach Gl. (1)

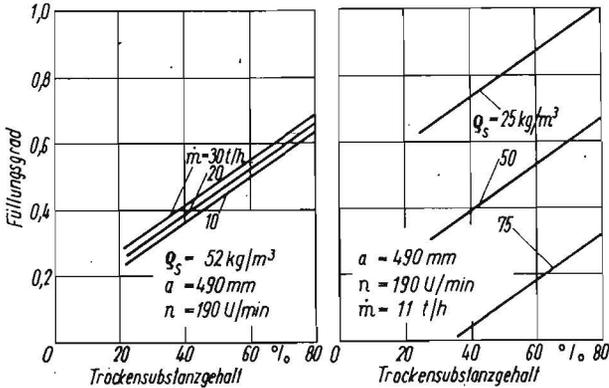


Bild 3. Erreichte Füllungsgrade  $f$  in Abhängigkeit von Trockensubstanzgehalt, Durchsatz und Schüttdichte; berechnet nach Gl. (2)

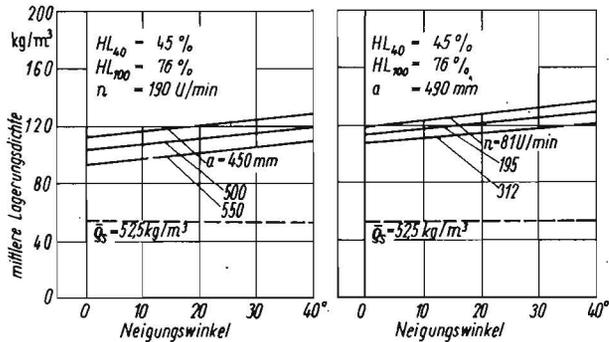


Bild 4. Mittlere Lagerungsdichte entlang der Förderstrecke in Abhängigkeit von Neigungswinkel, Achsabstand und Durchsatz; berechnet nach Gl. (3)

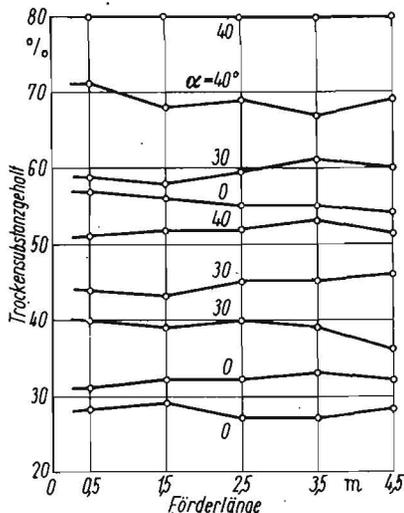


Bild 5. Beispiele für die Trockensubstanzverteilung entlang der Förderstrecke

### 3. Ergebnisse

Der mittlere Geschwindigkeitsbeiwert  $c$  der Gutteilchen ist von dem Trockensubstanzgehalt, der Schüttdichte, dem Neigungswinkel der Erzeugungslinie und der Schneckendrehzahl abhängig. Die Regressionsgleichung gibt die Wichtung der Einflußfaktoren an:

$$c = 1,05 - 5,7 \cdot 10^{-3} TS + 2,2 \cdot 10^{-3} q_s - 4,6 \cdot 10^{-3} \alpha - 7,5 \cdot 10^{-4} n \quad (1)$$

$$B = 0,81^{xxx};$$

Geltungsbereiche:

$$TS = 20 \dots 90 \%$$

$$q_s = 22 \dots 75 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0 \dots 40^\circ$$

$$n = 81 \dots 320 \text{ U/min.}$$

Durch die unterschiedlichen Positionen der Teilchen zur Schneckenachse haben diese eine unterschiedliche Fördergeschwindigkeit. Offene Doppelschnecken mit senkrecht zur Drehachse stehender Erzeugungslinie liefern bei einem Trockensubstanzgehalt von 40% und einer Drehzahl von 200 U/min einen mittleren Geschwindigkeitsbeiwert von 0,75. Durch Neigung der Erzeugungslinie um  $40^\circ$  sinkt dieser bis auf rd. 0,55 ab (Bild 2).

Mit dem gewählten Versuchsaufbau werden max. 40 t/h durchgesetzt. Das absolute Füllungsvermögen der Doppelschnecken wird damit nicht erreicht. Der Füllungsgrad ist abhängig von Trockensubstanzgehalt, Schüttdichte, Achsabstand, Drehzahl und Durchsatz (Bild 3):

$$f = 0,6 + 7 \cdot 10^{-3} TS - 1,4 \cdot 10^{-2} q_s + 6,4 \cdot 10^{-4} a - 1,9 \cdot 10^{-3} n + 2,7 \cdot 10^{-2} m \quad (2)$$

$$B = 0,8^{xxx};$$

Geltungsbereiche:

$$TS = 20 \dots 90 \%$$

$$q_s = 22 \dots 75 \text{ kg/m}^3$$

$$a = 450 \dots 550 \text{ mm}$$

$$n = 81 \dots 320 \text{ U/min}$$

$$m = 5 \dots 36 \text{ t/h.}$$

Ein mittlerer Füllungsgrad von 0,6 wurde erreicht. Füllungsgrade bis über 1 sind möglich, da eine feste Begrenzung des Förderquerschnitts beim offenen Doppelschneckenförderer nicht vorhanden ist. Darin besteht die Reserve in der Förderleistung von offenen Doppelschnecken, um größere Durchsatzschwankungen auszugleichen.

Die erreichten Lagerungsdichten unterhalb der Förder-schnecken sind abhängig von Schüttdichte, Häcksellänge, Neigungswinkel der Erzeugungslinie, Achsabstand und Schneckendrehzahl:

$$\varrho_L = 124,3 + 1,78 q_s - 4,03 HL_{40} + 1,96 HL_{100} + 0,36 \alpha - 0,16 a - 0,047 n \quad (3)$$

$$B = 0,95^{xxx};$$

Geltungsbereiche:

$$q_s = 22 \dots 75 \text{ kg/m}^3$$

$$HL_{40} = 22 \dots 56 \%$$

$$HL_{100} = 35 \dots 86 \%$$

$$\alpha = 0 \dots 40^\circ$$

$$a = 450 \dots 550 \text{ mm}$$

$$n = 81 \dots 312 \text{ U/min.}$$

In allen Stufen der Betriebs- und Konstruktionsparameter wurde als Lagerungsdichte etwa die doppelte Schüttdichte erreicht (Bild 4). Ein weiterer Dichteanstieg ist durch Neigung der Schneckenwendel und durch niedrige Schneckendrehzahlen möglich. Kleine Achsabstände und niedrige Drehzahlen führen bei hohem Durchsatz zu erhöhtem Füllungsgrad und zu einer erhöhten Druckeinwirkung auf den Futterstock.

Ein Entmischen des Siliergutes durch den Förderprozeß bezüglich Trockensubstanzgehalt oder Blatt- und Stengelteilchen weisen die Meßergebnisse in allen untersuchten Bereichen nicht aus (Bilder 5 und 6). Die Streuung der Meßwerte liegt im Bereich der Streuung der Stoffkennwerte des Siliergutes.

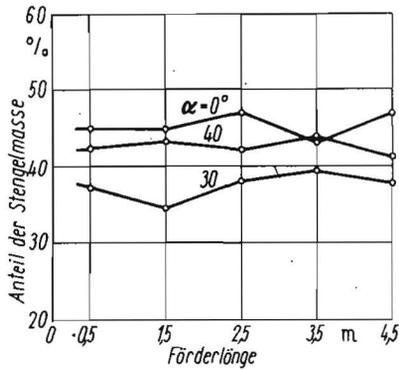


Bild 6. Anteil der Stengelmasse im abgelegten Futterstock

#### 4. Schlußfolgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf ersten Messungen und dienen zum Erkennen von Abhängigkeiten und funktionellen Zusammenhängen. Sie sind durch weitere systematische Untersuchungen zu ergänzen und statistisch zu sichern. Der Abfall des Geschwindigkeitsbeiwerts von 0,75 auf 0,55 beim Neigen der Schneckenwendel um  $40^\circ$  kann als Kompromiß zwischen Fördern und Verdichten zugelassen werden. Der mögliche Durchsatz der Doppelschnecken ist für die Anforderungen zur Einordnung in die technologische Kette zur Hochsilobefüllung ausreichend. Der Verlust an translatorischer Fördergeschwindigkeit kann durch erhöhte Schneckenrehzahl ausgeglichen werden. Die Funktionssicherheit des Doppelschneckenförderers nimmt mit steigendem Füllungsgrad aufgrund von Verstopfungen ab. Bei geringen Durchsatzschwankungen können höhere Füllungsgrade

realisiert werden als bei stark schwankendem Durchsatz. Da mit steigendem Füllungsgrad die Druckeinwirkung auf den Futterstock zunimmt, muß ein günstiger Kompromiß zwischen Füllungsgrad, Funktionssicherheit und Verteilqualität gefunden werden. Durch verstellbare Achsabstände und Drehzahlen kann für jeden Durchsatz ein optimaler Füllungsgrad gefunden werden. Durch vergrößerte Neigung der Erzeugungslinie und Auswahl günstiger Kombinationen der Konstruktions- und Betriebsparameter in Abhängigkeit von den Stoffkennwerten des Siliergutes wird ein weiterer progressiver Anstieg der Lagerungsdichte an der Futterstockoberfläche erwartet. Ein Teil der Masse der Verteilmaschinen könnte damit auf dem Futterstapel abgesetzt werden. Dazu sind weitere zielgerichtete experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Die Übertragung der Ergebnisse auf Praxisbedingungen mit Durchsätzen bis 100 t/h ist zu überprüfen.

#### 5. Zusammenfassung

In experimentellen Untersuchungen werden Kennwerte des Fördervorganges und des Verdichtungsvermögens von offenen Doppelschnecken ermittelt. Aus den Meßergebnissen können Schlußfolgerungen zur konstruktiven Gestaltung von Doppelschnecken-Verteilmaschinen gezogen werden. Die Untersuchungen werden fortgesetzt, die Meßergebnisse ergänzt und statistisch abgesichert.

#### Literatur

- [1] Munder, F.: Zur Verteilung von Siliergut in Hochsilos. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 4, S. 170—171.
- [2] Scheffler, M.: Einführung in die Fördertechnik. Leipzig: VEB Fachbuchhandel 1970.
- [3] Ephremides, C.: Untersuchungen zum Fördervorgang beim waagerechten Schneckenförderer, TH Hannover, Dissertation 1957 (unveröffentlicht). A 1434

## Entnahme von Welksilage aus Hochsilos unter besonderer Berücksichtigung der Häcksellänge

Dipl.-Ing. B. Oberbarnscheidt/Dipl.-Ing. E. Scherping  
Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

### 1. Problemstellung

Aus Hochsilos kann mit kontinuierlich arbeitenden Entnahmemaschinen nur Silage entnommen werden, die aus Häckselgut bereit ist. Die Forderungen an den Zerkleinerungsgrad sind unterschiedlich (Bild 1). Aus der Sicht der Tierernährer, der Häckselproduzenten und -nutzer sind möglichst große Häck-

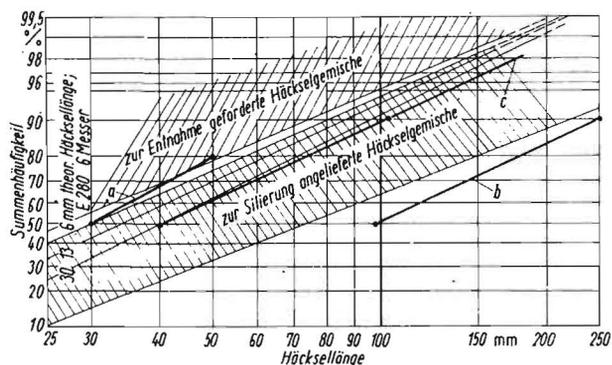


Bild 1. Häckselgemische für die Silierung; Häcksellängenzusammensetzung für: a Verteil- und Entnahmemaschinen VES 7/VES 12, b Futterdosier- und -verteilmaschinen, c zukünftige Verteil- und Entnahmemaschinen

sellängen günstig. Aus gärobiologischer Sicht wäre bei annähernd gasdichtem Behälter und Lagerungsdichten über  $800 \text{ kg/m}^3$  ein Zerkleinern des Siliergutes nicht erforderlich. Mobile und stationäre Fütterungsmaschinen stellen geringe Anforderungen an die Längenzusammensetzung des Häckselgemisches. In der Maschinenkette von der Ernte bis zum Futterverteilen erfordern kontinuierlich arbeitende Entnahmemaschinen den höchsten Zerkleinerungsgrad des Häckselgemisches (Bild 1).

Es ist die Grenze der Häcksellänge nachzuweisen, bei der ein funktions- und betriebssicheres, kontinuierliches Entnehmen des geforderten Massestroms in Abhängigkeit von den Konstruktionsparametern der Fräswerkzeuge und den Umlaufgeschwindigkeiten der Fräs- und Förderschnecke bei der derzeitigen Konzeption der Doppelschnecken-Entnahmemaschinen möglich ist. Veränderungen in der Leistungsaufnahme der Arbeitswerkzeuge sind anzugeben.

### 2. Methode

#### 2.1. Versuchsvarianten

Die Welksilage im Hochsilo verfilzt bei steigender Häcksellänge. Sie wird von den Fräswerkzeugen nicht kontinuierlich vom Futterstock abgetrennt, sondern schichtartig aufgewickelt. Das entstehende Haufwerk wird von der Entnahmemaschine als ungleichmäßiger Gutstrom abgegeben, der zu Verstopfungen des Zentralschachtes oder nachgeschalteter Förderer führen kann.