

- Kontrolle der Entnahme aus den Mischfuttersilos
  - Wägung aller Futtermittel
  - Transport der Silage zum Futterhaus
  - zeitgerechte Beschickung der Dosierer mit den lt. Futterplan vorgesehenen Futtermitteln
  - Übernahme aller Futtermittel, die von Fremdfahrzeugen angeliefert werden
  - Pflege und Wartung der Fütterungstechnik im Schwarzbereich
  - Reinigungsarbeiten im Futterhaus und im Außenbereich.
- Der Fütterungstechniker im Innenbereich (Weißbereich) hat folgende Arbeiten durchzuführen:
- Abruf der Futterkomponenten und Zusammenführen zu Mischrationen entsprechend dem Futterplan und dem Fütterungszyklogramm
  - Futterverteilen mit Futterverteilfahrzeug (mobile Futterverteilung)
  - Anwählen der Futterkrippe, Beobachtung und Kontrolle der Futterverteilung (stationäre Futterverteilung)
  - Bewertung der Restfuttermengen und ggf.

Korrektur der zu dosierenden Grobfuttermengen

- Pflege und Wartung der Fütterungstechnik im Weißbereich
- Reinigungsarbeiten einschließlich Restfurtherbeseitigung im Innenbereich.

Je nach Ausrüstung und Fütterungszyklogramm können bei kontinuierlicher Futterbereitstellung mit dem vorgeschlagenen Maschinensystem bei stationärer Futterverteilung bis zu 20 t und bei mobiler Futterverteilung mit zwei Futterverteilfahrzeugen etwa 30 t Futter je Stunde durchgesetzt werden. Damit reicht die Kapazität des Futterhauses im Einschichtbetrieb für etwa 2500 GVE und im Zweischichtbetrieb für etwa 5000 GVE aus.

Durch eine unifizierte Futterzubereitung wird nicht nur der Einsatz geprüfter und für die Produktion freigegebener ausrüstungstechnischer Arbeitsmittel und standardisierter Elementesortimente des Landwirtschaftsbaus ermöglicht, sondern auch der Einsatz eines Bausteins „Futterhaus“ für alle Produktionsstufen der industriemäßigen Rinderproduktion mit Ausnahme der Kälberproduktion erreicht.

### Zusammenfassung

Obwohl in der industriemäßigen Milch-, Jung- und Mastrinderproduktion fast die gleichen Futtermittel und demzufolge für die Futterzubereitung die gleichen Maschinen eingesetzt werden, gibt es z. Z. noch eine nicht zu begründende Variantenvielfalt für die Ausrüstung von Futterhäusern. Im Beitrag wird eine unifizierte Futterzubereitung vorgestellt, die sich in den genannten Stufen der Rinderproduktion sowohl bei Neubauten als auch bei Rekonstruktionen einsetzen läßt und einen witterungsunabhängigen Futterumschlag bei einwandfreier Schwarz-Weiß-Trennung gewährleistet. Auf Möglichkeiten der maschinenkontrollierten Fütterung wird hingewiesen.

### Literatur

- [1] Katalog Landwirtschaftsbau. VEB Landbau-Projekt Potsdam 1974. A 1957

## Einfluß des Abriebanteils von kompaktiertem Trockenfutter auf die Gestaltung von Lagerbehältern

Dr.-Ing. C. Fühl, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### Verwendete Kurzzeichen

a	m	Seitenlänge einer quadratischen Auslauföffnung	$\rho_{SA}$	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte des Abriebs
b	m	Breite von Schlitzausläufen	$\rho_{S(A=0)}$	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte von abriebfreien Pellets
C	N/m <sup>2</sup>	Kohäsion	$\rho_P$	kg/m <sup>3</sup>	Pelletedichte
d	m	Durchmesser einer kreisförmigen Auslauföffnung	$\sigma$	N/m <sup>2</sup>	Normalspannung
d <sub>A</sub>	m	Korndurchmesser des Abriebs	$\sigma_1$	N/m <sup>2</sup>	Hauptspannung, Verfestigungsspannung
d <sub>P</sub>	m	Korndurchmesser von Pellets	$\sigma'_1$	N/m <sup>2</sup>	normale Auflagerspannung einer Brücke
d <sub>T</sub>	m	maximaler Korndurchmesser	$\tau$	N/m <sup>2</sup>	Schubspannung
f <sub>c</sub>	N/m <sup>2</sup>	Festigkeit einer Oberfläche (identisch mit der Hauptspannung $\sigma'_1$ des Mohrschen Spannungskreises, dessen Hauptspannung $\sigma'_2 = 0$ ist und der den Fließort tangiert)	$\varphi$	°	Winkel der inneren Reibung
ff <sub>c</sub>	—	Fließfunktion	$\varphi_x$	°	Winkel der äußeren Reibung
ff <sub>d</sub>	—	Fließfaktor der Brückenbildung	$\varphi_c$	°	effektiver Reibungswinkel nach Jenike
ff <sub>p</sub>	—	Fließfaktor der Schachtbildung			
g	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung			
k	—	Sicherheitskoeffizient			
m <sub>A</sub>	kg	Masse des Abriebs			
m <sub>ges</sub>	kg	Gesamtmasse von Pellet-haufwerken			
m <sub>P</sub>	kg	Pelletmasse			
n	—	Koeffizient (n = 0 für ebenen Fließzustand, n = 1 für axial-symmetrischen Fließzustand)			
V <sub>h</sub>	m <sup>3</sup>	Hohlraumvolumen			
V <sub>S</sub>	m <sup>3</sup>	Schüttvolumen			
V <sub>SA</sub>	m <sup>3</sup>	Schüttvolumen des Abriebs			
V <sub>SP</sub>	m <sup>3</sup>	Schüttvolumen der Pellets			
θ	°	Trichteröffnung gegenüber der Vertikalen			
ρ <sub>L</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Lagerungsdichte des Füllgutes			
ρ <sub>S</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte			

### 1. Problemstellung

Das Ausfließen von kompaktiertem Trockenfutter aus Lagerbehältern wird in der Praxis außer von den Stoffkenngrößen Feuchtigkeit und Temperatur sowie der Lagerdauer vor allem vom Abriebanteil des Haufwerks beeinflusst. Pellets mit höherem Abrieb fließen bei gleichen geometrischen Abmessungen des Behälters schlechter aus als Pellets mit geringerem Abrieb.

Zur Lösung dieser Problematik müssen zunächst folgende Fragen geklärt werden:

- Nach welchen Berechnungsmethoden müssen Lagerbehälter für kompaktiertes Trockenfutter in Abhängigkeit von der Höhe des Abriebanteils dimensioniert werden?
- Welche Korngröße wird als Abrieb definiert?
- Welcher Abriebanteil ist zulässig, wenn Lagerbehälter mit möglichst geringem Material- und Fertigungsaufwand hergestellt werden sollen?

In den nachstehenden Ausführungen sollen

theoretische Überlegungen und Versuchsergebnisse zur Klärung dieser Fragen beitragen. Gleichzeitig werden Hinweise für die Praxis gegeben.

### 2. Dimensionieren von Auslaufquerschnitten

Bei der Neukonstruktion von Lagerbehältern muß von den physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Füllgüter ausgegangen werden.

Kohäsionslose Güter bereiten in der Praxis kaum Schwierigkeiten. Das Dimensionieren von Auslaufquerschnitten erfolgt bei ihnen nach dem maximalen Korndurchmesser d<sub>T</sub>. Kvapil [1] gibt folgende Gleichungen an:

- Durchmesser d von kreisförmigen Auslauföffnungen:

$$d = \sqrt{(5 d_T)^2 \frac{k}{\pi} \cdot 3,4} \quad (1)$$

mit Sicherheitskoeffizient k = 1,4

- Schlitzbreite b von Schlitzausläufen:

$$b = \sqrt{(5 d_T)^2 \cdot 3} \quad (2)$$

- Seitenlänge a von quadratischen Auslauföffnungen:

$$a = \sqrt{(5 d_T)^2 k} \quad (3)$$

mit Sicherheitskoeffizient k = 1,4.

Andere Autoren empfehlen folgende Grenzwerte:

- axialsymmetrische Ausläufe (Kegeltrichter):

$$d/d_T \geq 3 \dots 6 \quad (4)$$

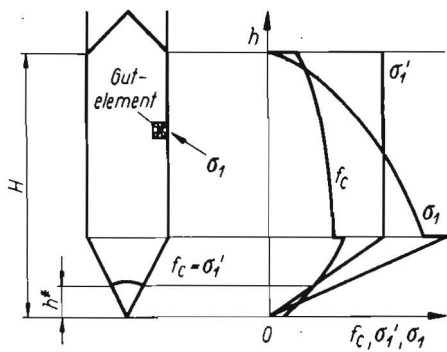


Bild 1. Verlauf der Hauptspannung  $\sigma_1$ , der Brückenaufspannung  $\sigma'_1$  mit der Festigkeit  $f_c$  über der Behälterhöhe nach Jenike (s. [3])

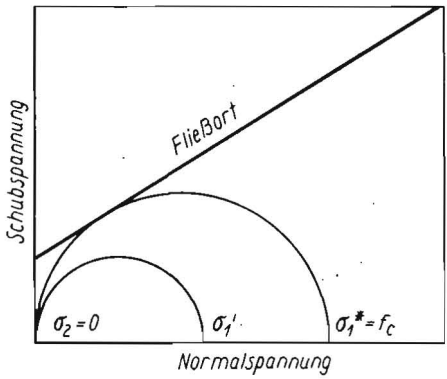


Bild 2. Darstellung der Fließbedingung im Mohrschen Spannungsdiagramm [3]

— ebene Ausläufe (Keiltrichter):  
 $b/d_T \geq 1,5 \dots 3$ . (5)

Bei kohäsiven Gütern muß das Dimensionieren der Behältergeometrie nach den Fließeigenschaften der Füllgüter vorgenommen werden. In der Literatur existiert hierzu eine Reihe von Berechnungsmethoden. Sie liefern z. T. erheblich voneinander abweichende Ergebnisse. In der Praxis hat das Verfahren nach Jenike [2] bisher die breiteste Anwendung gefunden. Es soll deshalb an dieser Stelle in seinen Grundzügen erläutert werden. Darstellungen kann man z. B. Schwedes [3] sowie Hoffmann u. a. [4] entnehmen.

Im Auflager einer Gutbrücke wirkt die Spannung  $\sigma'_1$ :

$$\sigma'_1 = \frac{(b, d) g \rho_L}{(1+n)} \quad (6)$$

Aus Gl. (6) ist ersichtlich, daß  $\sigma'_1$  im Behälter nur von der Dichte  $\rho_L$  abhängig ist. Im Trichter verringert sich  $\sigma'_1$  entsprechend den

Abmessungen der Breite  $b$  bzw. des Querschnittsdurchmessers  $d$  (Bild 1). Die Hauptspannung  $\sigma_1$  im Füllgut ist eine Funktion der Trichterneigung  $\Theta$  zur Vertikalen, des äußeren Reibwinkels  $\varphi_x$  und des effektiven inneren Reibwinkels  $\varphi_e$ . Im Trichter verringert sich nach den Berechnungen von Jenike  $\sigma_1$  linear bis auf den Wert 0 in der angenommenen Trichterspitze. Die Hauptspannung  $\sigma_2$  hat in der Brücke den Wert 0, da nach den getroffenen Annahmen auf der Ober- und Unterseite der Brücke keine Spannungen wirken. Der Bruch in der Brücke tritt ein, wenn der Mohrsche Spannungskreis, dessen Hauptspannung  $\sigma_2 = 0$  ist, den Fließort des Gutes berührt (Bild 2). Die größere Hauptspannung  $\sigma_1$  dieses Spannungskreises wird mit  $f_c$  bezeichnet.

Das Verhältnis von Hauptspannung  $\sigma_1$  und Festigkeit  $f_c$  bezeichnet Jenike als Fließfunktion  $ff_c$ :

$$ff_c = \sigma_1 / f_c \quad (7)$$

Die Fließfunktion muß für jedes Gut experimentell bestimmt werden.

Das Verhältnis von Hauptspannung  $\sigma_1$  und Auflagerspannung  $\sigma'_1$  definiert Jenike als Fließfaktor der Brückenbildung  $ff_d$ :

$$ff_d = \sigma_1 / \sigma'_1 \quad (8)$$

Der Fließfaktor  $ff_d$  wurde von Jenike in Abhängigkeit vom effektiven Reibungswinkel  $\varphi_e$ , der Trichterneigung  $\Theta$  und dem äußeren Reibwinkel  $\varphi_x$  berechnet und in Diagrammen dargestellt.

Liegt im Behälter Massenfluß vor, gilt für das störungsfreie Ausfließen die Bedingung:

$$ff_c = \sigma_1 / f_c \geq \sigma_1 / \sigma'_1 = ff_d \quad (9)$$

Aus dieser Bedingung erhält man einen Grenzwert der Festigkeit  $f_{cA}$  (Bild 3). Mit diesem Wert errechnen sich die Abmessungen für den minimalen Auslaufquerschnitt:

$$b, d = (1+n) \frac{f_{cA}}{\rho_L g} \quad (10)$$

Bei Kernfluß muß der Auslaufquerschnitt so bemessen werden, daß keine Schachtbildung auftritt. Dieser Zustand ist erfüllt, wenn folgende Beziehung gilt:

$$ff_c = \sigma_1 / f_c \geq \sigma_1 / \sigma'_1 = ff_p \quad (11)$$

Der Fließfaktor der Schachtbildung  $ff_p$  ist eine Funktion des effektiven Reibwinkels  $\varphi_e$  und des inneren Reibwinkels  $\varphi$ :

$$ff_p = \frac{\sigma_1}{\sigma'_1} = \frac{1 + \sin \varphi_e}{4 \sin \varphi} f(\varphi) \quad (12)$$

Darin ist  $f(\varphi)$  eine Funktion des inneren Reibwinkels  $\varphi$ .

Mit der Festigkeit  $f_{cB}$  im Grenzzustand erhält man den minimal zulässigen Durchmesser der Auslauföffnung, der Schachtbildung ausschließt:

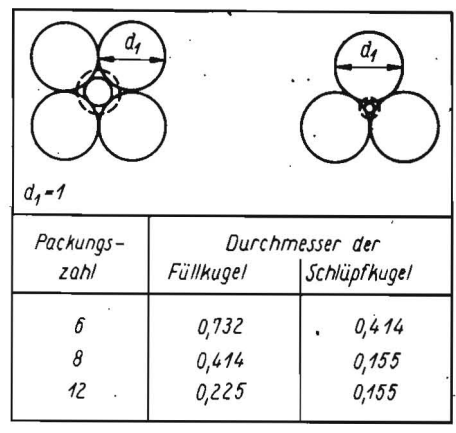


Bild 5. Verhältnis der Durchmesser von Füll- und Schlüpfkugeln zu den Kugeln verschiedener Großkugelhauwerke bei verschiedenen Packungsarten [5]

$$d_B = f(\varphi) \frac{f_{cB}}{\rho_L g} \quad (13)$$

Die Arten des Gutflusses — Massenfluß oder Kernfluß — bilden sich in Behältern in Abhängigkeit vom äußeren Reibwinkel  $\varphi_x$  und von der Neigung  $\Theta$  der Trichterwände gegenüber der Vertikalen aus. Entsprechende Diagrammdarstellungen der Zusammenhänge liegen in der Literatur vor [2].

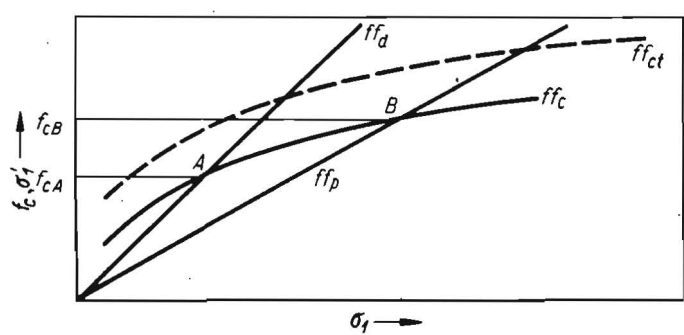
### 3. Definition und Begründung der Abriebkorngröße

Da kohäsive Fließeigenschaften von Pellet-hauwerken durch den Feinkornanteil hervorgerufen werden, in dem feste Pellets eingebettet sind, muß geklärt werden, welcher Korngrößenbereich als Abrieb definiert wird. Deshalb folgen zunächst einige grundlegende Betrachtungen über die Lagerung körniger Stoffe.

Die wichtigsten Packungsarten von Gleichkornkugelhauwerken sind die 6er-Packung, die 8er-Packung und die 12er-Packung (Bild 4). Die Packungszahl gibt die Zahl der Berührungstellen eines Kornes mit seinen Nachbarkörnern an. Die Lagerungsdichte ist unabhängig von der Korngröße. Bei losem Aufschütten hat sich durch Versuche für Gleichkorn die Raumaufüllung  $S \approx 0,55$  und nach Verdichten durch Einrütteln  $S_R \approx 0,62$  ergeben [5]. Dem entsprechen Packungszahlen von  $\approx 7$  bzw.  $\approx 8$ .

In binären Hauwerken lagert sich das Feinkorn in den Hohlräumen des Grobkornes ein. Körner, die gerade den Zwischenraum ausfüllen, werden „Füllkörner“ genannt. Eine solche geordnete Lagerung ist nur durch Aufschichten

Bild 3. Grafische Ermittlung der Gutfestigkeiten  $f_{cA}$  und  $f_{cB}$  nach Jenike (s. [3])  
 Bild 4. Lagerungsverhältnisse der wichtigsten Kugelpackungen [5]



Packungsart		Raumaufüllung $S = 1 - \epsilon$	Parasität $\epsilon = 1 - S$
6er-Packung (kubisch)		0,5236	0,4764
8er-Packung (regulär) (irregulär)		0,6045 0,6802	0,3955 0,3198
12er-Packung		0,7405	0,2595

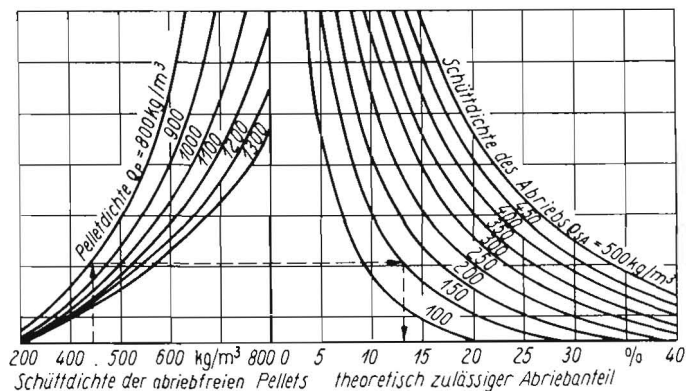


Bild 6. Nomogramm zum Bestimmen des theoretisch zulässigen Abriebanteils von Pelletaufwerken

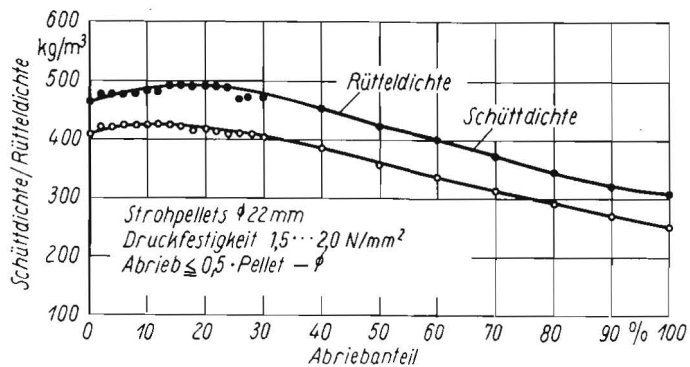


Bild 7. Verlauf von Schütt- und Rütteldichte eines Pelletaufwerks in Abhängigkeit vom Abriebanteil: Strohhautteil der Pellets 80%

möglich. Wenn Körner in ein vorhandenes Haufwerk eindringen sollen, müssen ihre Abmessungen kleiner sein, damit sie durch die Kanäle schlüpfen können. Man bezeichnet sie deshalb als „Schlüpfkörner“. Die Durchmesser von Füllkugeln und Schlüpfkugeln sind je nach Packungsart verschieden (Bild 5) [5].

Trockenfutterpellets haben ein mittleres Längendurchmesser-Verhältnis von 1:1 bis 1,5:1. Da in diesem Bereich näherungsweise Bedingungen für Kugeln vorliegen, können die Gesetzmäßigkeiten von Kugelhautwerken übernommen werden. Beim Festlegen der Korngröße des Abriebs muß vor allem von zwei Sachverhalten ausgegangen werden:

- Die Packungszahl von Pelletaufwerken liegt zwischen 7 und 8.
- Bei einer flächenartigen Verteilung von Trockenfutterpellets mit Abriebanteil im Behälter kann näherungsweise ein geordnetes Haufwerk entstehen, so daß sich „Füllkugeln“ in den Hohlräumen einlagern können.

Mit diesen Annahmen erhält man entsprechend Bild 5 ein Verhältnis von Abriebradius  $d_A$  und Pelletdurchmesser  $d_P$ :

$$d_A/d_P \approx 0,5 \quad (14)$$

Aus lagerungstechnischer Sicht wird deshalb die Korngröße des Abriebs in Pelletaufwerken wie folgt festgelegt:

$$d_A \leq 0,5 d_P \quad (15)$$

#### 4. Zulässiger Abriebanteil von Trockenfutterpellets

Die Investitionen für Behälter und deren Entnahmeeinrichtungen sind um so geringer, je kleiner der Auslaufquerschnitt und je größer die Neigung der Trichterwände gegenüber der Vertikalen sind. Minimale Auslaufquerschnitte sind nur für kohäsionslose Güter möglich. Trockenfutterpellets können als kohäsionslos angenommen werden, wenn sie eine entsprechende Festigkeit haben und der Abriebanteil einen bestimmten Wert nicht überschreitet.

Im folgenden soll durch theoretische Überlegungen und Experimente versucht werden, einen für das Ausfließen aus Behältern zulässigen Abriebanteil festzulegen.

Zunächst wird hypothetisch angenommen, daß Pelletaufwerke nur solange als kohäsionslos gelten, wie der enthaltene Abrieb vollständig in den Hohlräumen eingelagert ist. Sie sind mit Sicherheit nicht mehr kohäsionslos, wenn die Einzelpellets völlig im Abrieb eingebettet sind.

Der Grenzwert des Abriebanteils, der sich in den Hohlräumen einlagern kann, ohne daß sich

die Berührungsstellen zwischen den Einzelpellets verringern, beträgt theoretisch

$$\frac{m_A}{m_{ges}} = \frac{V_h \rho_{SA}}{m_{ges}} \quad (16)$$

wobei  $m_{ges} = m_P + m_A$  (17)

$$m_P = \rho_{S(A=0)} V_S \quad (18)$$

Mit den Gln. (17) und (18) erhält man:

$$\frac{m_A}{m_{ges}} = \frac{V_h \rho_{SA}}{V_S \rho_{S(A=0)} + V_h \rho_{SA}} \quad (19)$$

Nach Division der Gl. (19) mit dem Hohlraumvolumen  $V_h$  und Einführen der Beziehung

$$\frac{V_S}{V_h} = \frac{1}{1 - \frac{\rho_{S(A=0)}}{\rho_P}} \quad (20)$$

ergibt sich für den Grenzwert des Abriebanteils:

$$\frac{m_A}{m_{ges}} = \frac{\rho_{SA}}{\frac{\rho_{S(A=0)} \rho_P}{\rho_P - \rho_{S(A=0)}} + \rho_{SA}} \quad (21)$$

Gleichung (21) ist im Bild 6 als Nomogramm dargestellt. Die Pelletdichte  $\rho_P$  läßt sich experimentell mit Hilfe verschiedener Methoden ausreichend genau bestimmen. Gleiches trifft auch für die Schüttdichte  $\rho_{S(A=0)}$  eines abriebfreien Pelletaufwerks zu.

Nach Untersuchungen von Schmidt [5] ist auch eine rechnerische Bestimmung möglich. Für Gleichkornhaufwerke gilt:

$$\rho_{S(A=0)} \approx 0,55 \rho_P \quad (22)$$

Die Beziehung Gleichkorn ist in der Praxis dann noch berechtigt, wenn sich die Durchmesser der Körper nicht mehr als um den Faktor 2 unterscheiden [5].

Führt man die Beziehung (22) in Gl. (21) ein, erhält man

$$\frac{m_A}{m_{ges}} = \frac{\rho_{SA}}{2,22 \rho_{S(A=0)} + \rho_{SA}} \quad (23)$$

Das Ermitteln der Schüttdichte des Abriebs  $\rho_{SA}$ , der sich in den Hohlräumen einlagert, ist aus folgenden Gründen problematisch:

— Die Schüttdichte, die man in einem Gefäß bestimmt, ist infolge des Wandeffekts immer größer als die in den Hohlräumen vorhandene.

— In binären und polynären Haufwerken werden nicht alle Hohlräume mit Feinkorn ausgefüllt, weil diese Haufwerke meist nicht geordnet sind und sog. „Sperrkugeln“ teilweise den Zugang der „Füllkugeln“ und „Schlüpfkugeln“ zu den Hohlräumen versperren.

Verwendet man für die Gln. (21) und (22) die

Tafel 1. Anteil der Abrieblaste als Funktion des Abrieblasteanteils und des Schüttdichte-Verhältnisses von Pellets und Abrieb

$\rho_{S(A=0)}/\rho_{SA}$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$V_{SA}/V_{SA} + V_{SP}$					
0,25	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
0,30	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10
0,35	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12
0,40	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14
0,45	0,29	0,25	0,21	0,19	0,17
0,50	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20

Schüttdichte des Abriebs  $\rho_{SA}$ , die in einem Gefäß ermittelt wurde, erhält man mit Sicherheit einen Abriebanteil  $m_A/m_{ges}$ , der höher ist als derjenige, der sich in Wirklichkeit in den Hohlräumen einlagern kann, ohne daß das Korngerüst aufgeweitet wird.

Eine endgültige Klärung kann nur durch das Experiment erzielt werden. Der zulässige Abriebanteil ist vorhanden, wenn durch weitere Zugabe von Feinkorn die Schüttdichte des polynären Haufwerks nicht mehr größer wird, sondern abzunehmen beginnt.

Schmidt [5] ermittelte in Versuchen mit binären Kugelmischungen, daß die Raumfüllung nach Rütteln in Abhängigkeit vom Korngrößenverhältnis ihr Maximum bei einem Feinkornanteil zwischen 28% und 50% erreicht. Oberhalb des Korngrößenverhältnisses  $d_1/d_2 \approx 5$  ist das Volumenverhältnis mit 28% konstant. Das Volumenverhältnis 50% gilt für  $d_1/d_2 = 1$ .

Für Pelletaufwerke gilt ein mittleres Korngrößenverhältnis zwischen Pellets und Abrieb  $d_P/d_A = 2 \dots 4$ . Die maximale Raumfüllung würde sich danach bei Volumenverhältnissen des Abriebs zwischen

$$\frac{V_{SA} \cdot 100\%}{V_{SA} + V_{SP}} = 30 \dots 40\% \quad (24)$$

einsetzen. In Abhängigkeit vom Schüttdichte-Verhältnis  $\rho_{S(A=0)}/\rho_{SA}$  läßt sich daraus der Masseanteil des Abriebs errechnen (Tafel 1). Diese Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit den Gln. (21) bzw. (23).

In eigenen Versuchen wurden Schütt- und Rütteldichte von Pelletaufwerken in Abhängigkeit vom Abriebanteil gemessen (Bild 7). Die Ergebnisse zeigen, daß das Maximum der Schüttdichte bei einem Abriebanteil von 5% bis 15% liegt. Das Maximum der Rütteldichte befindet sich naturgemäß bei einem höheren Abriebanteil von 15% bis 25%.

Nach Gl. (23) erhält man mit den Werten aus Bild 7 ( $\rho_{SA} = 250 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{S(A=0)} = 410 \text{ kg/m}^3$ )

das Maximum der Schüttdichte bei einem Abriebanteil von 21,6%. Dieser Wert ist etwa doppelt so hoch wie der experimentell ermittelte. Die Ursache dafür ist vor allem darin begründet, daß  $\rho_{SA}$  in den Hohlräumen des Pellethaufwerks infolge des Wandeffekts wesentlich geringer ist, als die mit  $250 \text{ kg/m}^3$  im Gefäß ermittelte.

Die tatsächlich in den Hohlräumen vorhandene Schüttdichte des Abriebs ist experimentell kaum bestimmbar. Nimmt man gemäß den Untersuchungen von Schmidt [5] an Kugelhäufwerken eine Schüttdichteverminderung um 20% an, so ergibt sich nach Gl.(23) ein Abriebanteil von 18,0%. Ein weiterer Grund für die bestehende Differenz liegt in der inhomogenen Verteilung des Abriebs im Pellethaufwerk unter praktischen Bedingungen.

### 5. Schlußfolgerungen

Die Überlegungen haben gezeigt, daß die Grenze für den zulässigen Abriebanteil als Funktion der Schüttdichte der abriefreien Pellets und des Abriebs sowie der Pelletdichte angegeben werden muß. Für das dargelegte Beispiel der Strohpellets mit einem Strohanteil von 80% wird die Schlußfolgerung abgeleitet, daß der zulässige Abriebanteil nach den theoretischen Untersuchungen keinesfalls größer als 18,0% sein darf.

Aus den experimentellen Untersuchungen wurde ermittelt, daß das Maximum der Schüttdichte und damit die Grenze für den zulässigen Pelletabrieb zwischen 5% und 15% liegt. Dieses Ergebnis wird als zutreffender eingeschätzt, weil gegenüber den theoretischen Überlegungen die Unsicherheit bezüglich der Schüttdichte des Abriebs in den Hohlräumen nicht besteht.

Deshalb wird für die Anwendung in der Praxis empfohlen, den Abriebanteil bei Strohpellets (Strohanteil 80%) auf 15% zu beschränken. Bei höheren Abriebanteilen ist mit Störungen bei der Entnahme aus Behältern zu rechnen. Zur Gewährleistung der störungsfreien Entnahme müssen darum Zusatzeinrichtungen oder Sonderkonstruktionen verwendet werden [6].

### 6. Zusammenfassung

Kohäsionslose Güter verursachen bei der Entnahme aus Behältern geringere Störungen als kohäsive. Pellethaufwerke können jedoch nur solange als kohäsionslos angenommen werden, wie der Abriebanteil vollständig in den Hohlräumen des Haufwerks eingelagert ist. Abrieb allein hat eindeutig kohäsive Eigenschaften. Für kohäsionslose Güter kann zur Dimensionierung von Behälteraufgängen die Berechnungsmethode nach Kvapil [1] benutzt werden. Die Abriekorngröße wird als Ergebnis

der Betrachtungen am Kornhaufwerk mit  $d_A \leq 0,5 d_p$  festgelegt.

Als Kriterium für ein kohäsionsloses Pellethaufwerk gilt das Maximum der Schüttdichte, das sich in Abhängigkeit vom Abriebanteil einstellt.

Aus theoretischen Überlegungen und experimentellen Untersuchungen wurde für Strohpellets mit einem Strohanteil von 80% der zulässige Abriebanteil mit  $\leq 15\%$  begründet.

### Literatur

- [1] Kvapil, R.: Schüttgutbewegungen in Bunkern. Berlin: VEB Verlag Technik 1959.
- [2] Jenike, A.W.; Johanson, I.A.: Fließgerechte Siloformen für Schüttgüter. Aufbereitungstechnik (1971) H. 6, S. 309—316.
- [3] Schwedes, H.J.: Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern. Weinheim: Verlag Chemie 1970.
- [4] Hoffmann, O.-H.; Hesse, T.H.: Funktionsgerechte Gestaltung von Silos für schwerfließende Güter nach dem Jenike-Verfahren. Grundle. d. Landt. 25 (1975) H. 4, S. 116—119.
- [5] Schmidt, P.: Die dichte Lagerung körniger Stoffe, insbesondere im feindispersen Bereich. Aufbereitungstechnik (1964) H. 7, S. 355—365.
- [6] Füll, C.: Lagerung von Trockenfutter in Hallen und Behältern. agrartechnik 26 (1976) H. 11, S. 523—525. A 1958

## Ein einfacher Füllstandsgrenzschalter für Schüttgüter

Dr.-Ing. P. Oberländer, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Die Messung von Füllständen und die Signalisation von Füllstandsgrenzwerten sind im Bereich der Landwirtschaft häufig notwendig. Dabei treten bei der Füllstandsbestimmung von Schüttgütern immer wieder technische Probleme auf. Die meisten der bisher bekannt gewordenen Verfahren (z. B. Ultraschallgeber, mechanische Tasteinrichtungen, Membranschalter, kapazitive Geber, Lichtschranken, Isotopenmeßgeräte) eignen sich aufgrund der Betriebsbedingungen oder der Art des Schüttgutes nur für spezielle Anwendungsfälle. Einige Aufgaben sind außerdem noch nicht befriedigend gelöst.

Bei der Entwicklung des hier vorzustellenden Füllstandgebers lag die Aufgabe zugrunde, einen Grenzschalter für verschiedenartige landwirtschaftliche Schüttgüter in offenen Behältern oder Laderäumen von Fahrzeugen zu realisieren.

Der Vorzug wurde einem optischen Prinzip gegeben. Ein Ausführungsbeispiel zeigt die Prinzipskizze (Bild 1). Das ankommende Licht fällt durch eine lichtdurchlässige Platte (z. B. Piacryl) auf ein fotoempfindliches elektrisches Bauelement (z. B. Fotowiderstand, Fototransistor). Durch einen nachgeschalteten Schwellwertschalter wird das Eingangssignal in ein O/L-Signal umgewandelt, das optisch und/oder akustisch angezeigt werden kann (Behälter „voll“). Die effektiv wirksame Fläche der Meßdose wird durch den Einbau eines sphärischen Spiegels erheblich vergrößert. Damit wird aber das Gerät gegen Verschmutzung oder Verkleben von Teilen der Scheibe, wie das z. B. bei Häckselgut auftreten kann, weitgehend unempfindlich. Bei Befüllung und Entleerung tritt an der Scheibe außerdem ein Selbstreinigungseffekt durch das vorbeigleitende Gut auf.

Konstruktiv ist die Anordnung so zu gestalten, daß das fotoelektrische Bauelement in der Brennebene des sphärischen Spiegels liegt. Größe der lichtempfindlichen Fläche und Bauhöhe der Meßdose stehen miteinander in direktem Zusammenhang.

Die Einrichtung arbeitet mit Tageslicht oder mit künstlichem Licht bei Nachteinsatz. Je nach Wahl der fotoelektrischen Bauelemente und der Empfindlichkeit der Auswerteschaltung waren die realisierten Geräte bis 10 lx Beleuchtungsstärke einwandfrei funktionsfähig. Als Auswerteschaltung können handelsübliche Schmitt-Trigger, deren Eingang angepaßt wird, verwendet werden.

Die optischen Meßdosen wurden experimentell auf Fahrzeugen als Grenzschalter bei der Beladung mit Getreide und Häckselgut untersucht. Dabei erfolgte die Montage an der Bordwand des Laderaums. Auch unter ungünstigen äußeren Bedingungen, z. B. starke Staubeinwirkung oder Regen sowie Rüttelbeanspruchung, konnte die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden. Beschädigungen der Meßdosen beim Beladen oder Abkippen der Ladung traten nicht auf. Bei der Befüllung mit Getreide wurde bei Beleuchtungsstärken im Bereich von etwa 40 lx bis 12000 lx ein Toleranzbereich für das Ansprechen des Grenzschalters von <30 mm ermittelt. Da bei Häcksel keine eindeutige Schüttoberfläche entsteht, ist die Angabe eines Toleranzbereichs nicht sinnvoll. In jedem Fall wird jedoch bei vollständiger Abdeckung der lichtdurchlässigen Scheibe das Signal „voll“ angezeigt.

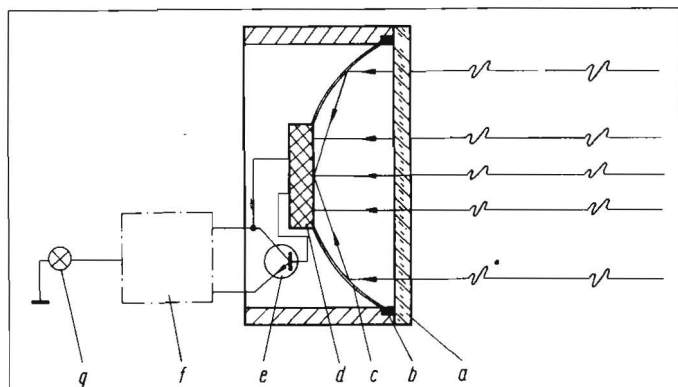


Bild 1  
Prinzip eines Füllstandsgrenzschalters;  
a lichtdurchlässige Scheibe  
b Dichtungsring  
c sphärischer Spiegel  
d Fotowiderstand  
e Anpassungsschaltung  
f Schwellwertschalter  
g Signallampe