

folgender Formel berechnen, die empirisch zusammengestellt wurde:

$$v = v_0 + 0,15 F_k \quad [m/s] \quad (1)$$

Hierbei bedeutet:

$v_0$  theoretische Geschwindigkeit für den Drusch absolut trockener Pflanzen (9 bis 10 m/s in Abhängigkeit von der Sorte)

$F_k$  Feuchtigkeitsgehalt der Samen der zu dreschenden Pflanzen in %

Die Größe des Dreschspaltes  $a$  (Bild 1) kann nach folgender Formel ermittelt werden:

$$a = 1,5 \cdot 10^{-3} F_k - 0,5 \cdot 10^{-2} \quad [m] \quad (2)$$

Der Aussonderungsschlitz  $\delta_1$  (Bild 1) wird nach folgender Formel errechnet:

$$\delta_1 = 0,5 \cdot 10^{-2} (1 + 0,3 F_k) \quad [m] \quad (3)$$

Bei Anwendung dieses Dreschwerks kann die Druschleistung fast um das Doppelte gesteigert und bei trockener Sonnenblume bis auf 5 bis 6 kg/s, bei feuchter bis auf 9 bis 10 kg/s je 1 m Breite des Dreschwerks gebracht werden. Dabei wird die Beschädigung des Samens auf 25 bis 50% und der spezifische Leistungsbedarf für den Drusch ungefähr um 40% gesenkt.

Das neue Dreschwerk wurde unter Feldbedingungen im MD SK-4 überprüft und für die Produktion empfohlen.

AU 7767

## Lagerung von Trockengrüngut in Behältern – neue Erkenntnisse zum Problem der Brückenbildung

Dipl.-Ing. CHR. FURLL, KDT\*

### 1. Problematik

Das Anwendungsgebiet der Behälterlagerung von landtechnischen Schüttgütern konzentriert sich im wesentlichen auf zwei Schwerpunkte:

- Behälter dienen als Zwischenlager vor weiterem Umschlag des Schüttgutes;
- Behälter sind als Pufferspeicher Bestandteil hochmechanisierter Großanlagen, in denen Teilarbeitsgänge des Mischens und Dosierens durchgeführt werden.

Die Vorteile der Behälterlagerung sind:

- Bei der Entnahme von Schüttgütern aus Behältern wird ein schnelles Befüllen von Transportfahrzeugen gewährleistet;
- wegen ihrer punktförmigen Abgabe können Behälter Ausgangspunkt für ein geschlossenes, stationäres Mechanisierungssystem sein;
- die Entnahme aus Behältern ermöglicht eine Vordosierung.

Für Trockengrüngut werden Behälter hauptsächlich zur Zwischenlagerung eingesetzt. Durch die besonderen physikalisch-mechanischen Eigenschaften ergeben sich Probleme vor allem bei der Entnahme. Beim Ausfließen von Pellets aus Behältern entsteht Abrieb, der durch konstruktive Maßnahmen auf ein Minimum reduziert werden muß. Bei Pellets von geringer Festigkeit und hohem Abriebanteil besteht die Gefahr der Brückenbildung in den Behälterausläufen.

### Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen:

$d_A$	Auslaufquerschnitt in $m^2$
$a$	Auslauf- oder Bunkeraktivität in %
$D$	Behälterdurchmesser in m
$d_A$	Durchmesser des Auslaufquerschnittes in m
$d_K$	maximaler Korndurchmesser in m
$f_c$	Scherbruchspannung des Schüttgutes in $kp/cm^2$
$H$	Fließfaktor
$g$	Erdbeschleunigung in $m/s^2$
$H$	Behälterhöhe in m
$K$	Rankinsches Grenzspannungsverhältnis: $\tan^2(45^\circ - \varphi_1/2)$
$k$	Vergrößerungsfaktor
$L_{max}$	maximale Seitenlänge des Behälterquerschnittes in m
$m$	Masse in kg
$p_v$	vertikaler Füllgutdruck in $N/m^2$
$p_h$	horizontaler Füllgutdruck in $N/m^2$
$z$	vertikale Behälterkoordinate in m, am Füllgutspiegel $z = 0$
$\beta$	Schüttwinkel in °
$\mu_w$	Reibungskoeffizient zwischen Füllgut und Behälterwandung
$\rho_s$	Schüttdichte in $kg/m^3$
$\sigma$	Normalspannung in $kp/cm^2$
$\varphi_1$	innerer Reibwinkel des Schüttgutes in °
$\omega$	hydraulischer Radius in m

### 2. Berechnungsgrundlagen für die Bemessung von Silos und Bunkern

Die grundlegenden Erkenntnisse für die Berechnung der Füllgutdrücke in Silos wurden 1895 von JANSSEN [1] gewonnen. Er stellte durch Betrachtung der Gleichgewichtsbedingungen an einer Elementarschicht des Füllgütorkörpers folgende Gleichungen für den Vertikal- und Horizontaldruck auf:

Vertikaldruck:

$$p_v = \frac{\rho_s \cdot g \cdot \omega}{K \cdot \mu_w} \left( 1 - e^{-\frac{z \cdot K \cdot \mu_w}{\omega}} \right) \quad (1)$$

Horizontaldruck:

$$p_h = \frac{\rho_s \cdot g \cdot \omega}{\mu_w} \left( 1 - e^{-\frac{z \cdot K \cdot \mu_w}{\omega}} \right) \quad (2)$$

Die Janssenschen Gleichungen sind für die Ruhedrucke in Silozellen etwa zutreffend. Die auftretenden Drücke beim Befüllen und besonders beim Entleeren sind jedoch wesentlich höher. Trotz zahlreicher Untersuchungen konnte hierfür noch keine vollgültige Theorie geschaffen werden. Die sowjetische Norm TU 124-56 berücksichtigt dynamische Einflüsse durch Multiplikation der Gleichungen (1) und (2) mit einem Korrekturwert  $a$ , der je nach Schüttgutart und Füllstandshöhe Werte zwischen 1 und 2 annimmt [2].

PIEPER und WENZEL [3] haben ausgehend von der Tatsache, daß die größten horizontalen Drücke und Wandreibungsdrücke beim Entleeren auftreten, getrennte Wandreibungswinkel in den Gleichungen (1) und (2) für das Befüllen und Entleeren eingeführt. Diese Erkenntnisse sind in DIN 1055 verankert. Eine TGL-Norm für die Berechnung von Silos existiert nicht.

Bunker haben gegenüber Silos ein geringeres Höhen/Querschnittsverhältnis. Nach der sowjetischen Norm TU 124-56 gilt für Bunker:

$$H < 1,5 D$$

$$\text{bzw. } H < 1,5 L_{max} \quad (3)$$

Aufgrund der gegebenen Größenverhältnisse werden bei der Berechnung der vertikalen und horizontalen Füllgutdrücke in Bunkern die Wandreibungseinflüsse und auch die dynamischen Einflüsse beim Befüll- und Entleerungsvorgang vernachlässigt, so daß folgende Gleichungen gelten:

Vertikaldruck:

$$p_v = \rho_s \cdot g \cdot z \quad (4)$$

Horizontaldruck:

$$p_h = K \cdot \rho_s \cdot g \cdot z \quad (5)$$

\* Sektion Landtechnik der Universität Rostock (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. CHR. EICHLER)

Tafel 1. Rieselfähigkeit von pelletiertem Trockengrüngut beim Entleeren eines Versuchsbehälters

Gutart	Durchmesser mm	Länge $\bar{x}$ mm	Schüttdichte kg/m <sup>3</sup>	Scherfestigkeit $\bar{x}$ kp/cm <sup>2</sup>	Abrieb Rieselfähigkeit $\bar{x}$		
					%	kg/s	10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup> /s
Luzerne	14	23,9	572	11,10	1,58	5,97	1,041
					5,8	5,95	1,038
					10,7	5,35	0,933
Futterroggen	14	14,7	448	5,96	1,7	4,55	1,015
					6,1	4,60	1,025
					10,7	4,90	1,090
					15,7	5,15	1,150
Klee gras	14	16,8	352	5,96	2,16	3,30	0,937
					6,3	3,03	0,862
					11,1	3,55	1,020
					17,0	4,17	0,932
Luzerne	24	10,0	449	4,97	4,0	3,68	0,820
					7,5	4,33	0,970
					12,5	4,20	0,939
					17,0	4,17	0,932
Klee	24	11,5	498	4,96	2,2	3,58	0,718
					6,1	3,38	0,678
					10,7	3,65	0,733
					16,0	3,96	0,795

Ein Nachteil der gegenwärtig bekannten Berechnungsverfahren besteht darin, daß die Deformationseigenschaften der Lagergüter, die mit wachsender Tiefe eine Zunahme der Dichte im Füllgütkörper bewirken, nicht erfaßt werden.

### 3. Auslaufverhalten von Trockengrüngutpellets aus Silos und Bunkern

Bevor die Lagerung bestimmter Schüttgüter in Behältern vorgenommen werden kann, müssen klare Ergebnisse über das Auslaufverhalten vorliegen.

Zur Bestimmung der Rieselfähigkeit, der Auslaufaktivität und der Abriebentstehung bei der Behälterlagerung von Trockengrüngutpellets wurden Entleerungsversuche durchgeführt. Hierzu diente ein Modellbehälter mit rechteckigem Querschnitt ohne Auslauftrichter (Abmaße: 205×605×1000 mm) und mit einer rechteckigen Bodenöffnung (205×105 mm).

Die Rieselfähigkeit von Schüttgütern wurde in der Vergangenheit von zahlreichen Wissenschaftlern untersucht, ohne daß es dabei gelang, eine eindeutige Definition des Begriffes und eine verallgemeinerungsfähige Meßmethode zu schaffen, die auf einer vollgültigen Theorie der Stoffe aufbauen. Zum größten Teil wurden nur Versuche durchgeführt, in denen das Austragsvolumen oder die Austragsmasse je Zeiteinheit beim Ausfließen eines Schüttgutes aus einem speziellen Versuchsbehälter festgestellt und mit empirischen Gleichungen ausgedrückt wurde (BUSSIAN [4] und WELSCHOF [5]), ROSE und TANAKA [6] sowie KENEMAN [7] versuchten mit Hilfe von Modellüberlegungen und durch Anwendung der Dimensionsanalyse Beziehungen aufzustellen, die übertragbar sind. Die Ergebnisse lassen sich nur mit Einschränkungen anwenden.

In Tafel 1 sind die mit Hilfe des beschriebenen Modellbehälters gewonnenen Ergebnisse der Rieselfähigkeit von Trockengrüngutpellets enthalten. Das verwendete spezielle Meßverfahren läßt eine einschränkungslose Verallgemeinerung der Werte nicht zu, lediglich Vergleiche sind möglich. Drückt man die Rieselfähigkeit als Auslaufmasse je Zeiteinheit aus, ist der Einfluß der Schüttdichte so groß, daß keine differenzierten Aussagen über das Fließverhalten möglich sind. Hierzu muß das Auslaufvolumen je Zeiteinheit herangezogen werden. Aus diesen Ergebnissen ist erkennbar, daß Trockengutpellets mit kleinerer Körnung eine bessere Rieselfähigkeit aufweisen.

Der Einfluß der Festigkeit und der Abriebhöhe ist nicht bemerkbar, weil eine Gutverdichtung nicht möglich war. Der Versuchsbehälter wurde nach dem Befüllen sofort entleert, so daß der Zeiteinfluß, der bei längerer Lagerungsdauer ein Verdichten des Gutes und damit ein schlechteres Ausfließen bewirkt, nicht erfaßt wurde. In großtechnischen Anlagen ist zu erwarten, daß bei gleicher Körnung Trocken-

Tafel 2. Abriebentstehung nach sechsmaligem Befüllen und Entleeren eines Versuchsbehälters (Angabe in Masse-%)

Gutart	Durchmesser mm	Länge $\bar{x}$ mm	Schüttdichte kg/m <sup>3</sup>	Scherfestigkeit $\bar{x}$ kp/cm <sup>2</sup>	Abrieb vor Beginn der Versuchsreihe Abrieb nach Beendigung der Versuchsreihe Abriebzunahme		
					%	%	%
Luzerne	14,0	23,9	572	11,10	0,0	3,16	3,16
					5,0	6,55	1,55
					10,0	11,52	1,52
Futterroggen	14,0	14,7	448	5,96	0,0	3,47	3,47
					5,0	7,17	2,17
					10,0	11,50	1,50
					15,0	16,40	1,40
Klee gras	1,40	16,8	352	5,96	0,0	4,30	4,30
					5,0	7,56	2,56
					10,0	12,30	2,30
					15,0	18,95	3,95
Luzerne	24,0	10,0	449	1,97	0,0	8,13	8,13
					5,0	n. g.	n. g.
					10,0	14,95	4,95
					15,0	18,95	3,95
Klee	24,0	11,5	498	4,56	0,0	4,45	4,45
					5,0	7,16	2,16
					10,0	11,47	1,47
					15,0	17,15	2,15

grüngutpellets mit höherer Festigkeit und geringerem Abriebanteil eine bessere Rieselfähigkeit aufweisen als Trockengrüngutpellets mit geringerer Festigkeit und höherem Abriebanteil.

Der Begriff der Auslaufaktivität oder Bunkeraktivität wurde von KVAPIL und TANAKA [8] geprägt. Die Auslauf- und Bunkeraktivität  $a$  wird ausgedrückt durch das Volumenverhältnis von aktiver Zone  $A$ , in der das Gut während des Ausfließens in Bewegung ist, zum Gesamtvolumen  $V$  des Silos oder des Bunkers:

$$a = \frac{A \cdot 100}{V} [\%] \quad (6)$$

JENIKE [9] bezeichnet Silos und Bunker mit ausgeprägter Auslaufaktivität als „Massenflußbehälter“ und solche mit geringer Auslaufaktivität als „Schlotflußbehälter“. Die Form des Schlotflusses kann sich sehr gefährlich auswirken, wenn die entstandenen Pfeiler plötzlich einstürzen und die Konstruktion unzulässig hoch beanspruchen. Die Untersuchungen bewiesen eindeutig, daß die Auslaufaktivität mit steigendem Abriebanteil abnimmt.

Eine Entscheidung über den maximal zulässigen Abrieb für eine störungsfreie Behälterentleerung kann aufgrund der durchgeführten Modellversuche (induktive Entscheidung) nicht ohne Einschränkung getroffen werden. Er sollte jedoch unter 7 %, keinesfalls aber über 10 % liegen. Bei 10 Masse-% beträgt der Volumenanteil etwa 25 %. Besonders bei weniger fest gepreßten Pellets begünstigt dieser Abriebanteil eine Verdichtung und somit eine bedeutende Verschlechterung der Auslaufeigenschaften des Trockengutes.

Das Problem der Abriebentstehung darf bei der Lagerung von Trockengrüngutpellets in Behältern nicht unbeachtet bleiben. Bei den durchgeführten Versuchen wurde der Abrieb nach einem sechsmaligen Befüll- und Entleerungsvorgang des Modellbehälters gemessen. Dem Lagergut war zu Beginn jeder Versuchsreihe Abrieb in den Stufen 0, 5, 10 und 15 % zugemischt worden, um auch diesen Einfluß erfassen zu können. Die Ergebnisse sind in Tafel 2 enthalten. Es ist zunächst zu erkennen, daß die Abriebzunahme mit abnehmender Festigkeit der Pellets steigt. Diese Tatsache ist logisch und war zu erwarten. Ferner ergab sich, daß die Abriebzunahme bei den Versuchsreihen, die ohne Abriebanteil abließen, wesentlich über den Werten der Versuchsreihen liegen, die mit einem bestimmten Abriebanteil durchgeführt wurden. Zur Begründung dieses Ergebnisses sind die Ursachen der Abriebentstehung zu analysieren. Beim Ausfließen des Lagergutes aus einem Behälter nimmt die Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen von den Randzonen zum Zentrum hin zu, so daß zwischen den einzelnen Fließlinien eine Rela-

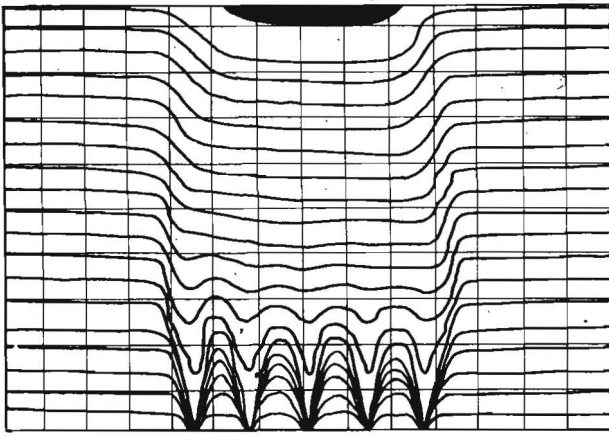


Bild 1. Gleichförmiges Absinken des Gutspegels in Behältern mit mehreren Öffnungen (Modellversuche nach KVAPIL [10])

tivbewegung vorhanden ist. Diese bewirkt eine mechanische Beanspruchung der Schüttgutteilchen. Während das Ausfließen der Trockengutpellets mit wenig Abriebanteil bei großer Aktivität (Massenfließen) vor sich geht, erfolgt das Ausfließen bei Trockengutpellets mit hohem Abriebanteil mit geringer Aktivität (Schlotfluß), was dadurch gekennzeichnet ist, daß das Gut über der Auslauföffnung nahezu geschlossen absackt und die Relativbewegungen zwischen den einzelnen Fließlinien weniger ausgeprägt sind.

Für den Konstrukteur besteht nun die Aufgabe, Behälter zu entwerfen, in denen ein nahezu gleichförmiges Absinken des Gutspegels erreicht wird. Diese Wirkung wird durch mehrere, im Behälterboden nebeneinander angeordnete Öffnungen erreicht (Bild 1).

Derartige Konstruktionen verbessern außerdem die Auslaufaktivität und beugen der Brückenbildung vor.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen am Modell kann die Schlußfolgerung getroffen werden, daß beim Ausfließen von Trockengutpellets aus Lagerbehältern mit Massenfluß, in denen der Gutspegel ungleichmäßig absinkt, der entstehende Abrieb über 5 % betragen wird.

#### 4. Dimensionierung der Ausläufe

Die Funktion des Behälterauslaufes besteht in erster Linie darin, einen einwandfreien Abzug des Lagergutes zu ermöglichen. Die Aufgabe des Dosierens kommt ihm erst in zweiter Sicht zu.

Die gegenwärtig einzige durchführbare Berechnung des Auslaufquerschnittes ist nach der Methode von KVAPIL [10] möglich:

$$A_A = (5 d_K)^2 k \quad (k = 3 \dots 5) \quad (7)$$

Für einen ideellen maximalen Korndurchmesser  $d_K = 0,06$  m und einen Vergrößerungsfaktor  $k = 5$  erhält man demnach einen Auslaufquerschnitt  $A_A = 0,45$  m<sup>2</sup>. Das entspricht einem Quadrat mit einer Seitenlänge von 0,67 m oder einem Kreis mit dem Durchmesser  $d_A = 0,76$  m.

Als Vergleich hierzu betragen die von ALFEROV und ZENKOV [11] empfohlenen geringsten Seitenlängen von quadratischen Öffnungen für Erz 0,80 m und für Formsand 0,60 m. Für derartig große Öffnungen müssen die Schließorgane gesondert berechnet werden. Dabei sind die Kräfte für das Öffnen und Schließen in zuverlässigen Grenzen zu halten.

Die Belastung der Verschleißorgane läßt sich wesentlich herabsetzen, wenn über der Auslauföffnung ein Schild angebracht wird. Konstruktionsrichtlinien hierfür geben KVAPIL und TANAKA [8]. Ein weiterer wesentlicher Vorteil, den man durch den Einbau eines Schildes erzielt, ist die Vergrößerung der Auslaufaktivität.

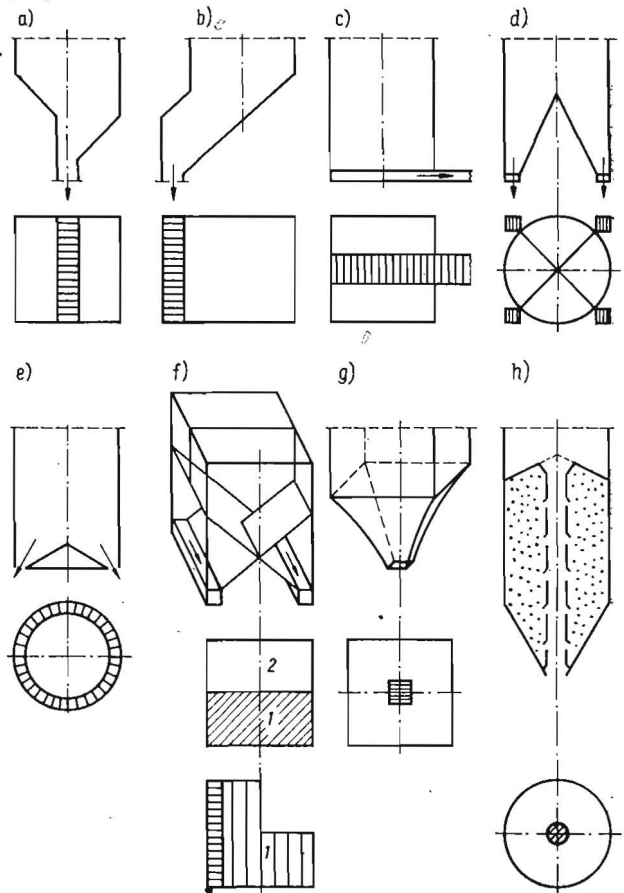


Bild 2. Sonderkonstruktionen von Behältern für schwerfließende Güter [2]

Der große Nachteil des Berechnungsverfahrens von KVAPIL besteht darin, daß aus der Vielzahl der Stoffeigenschaften nur die Korngröße herangezogen wird. Die Verdichtung des Gutes bei längerer Lagerzeit und die damit verbundene Erhöhung der Scherfestigkeit bleiben unberücksichtigt. Diese Faktoren bewirken aber hauptsächlich die Brückenbildung.

#### 5. Sonder- und Hilfskonstruktionen zur Verbesserung des Auslaufverhaltens

Zur Verhinderung der Brückenbildung in Behälterausläufen existieren vielfältige Sonderkonstruktionen. Bild 2 zeigt eine von FISCHER [2] zusammengestellte Systematik bestehender Bauformen.

Die Brückenbildung wird durch die Verdichtung des Gutes in den Behälterausläufen begünstigt. Es sollten deshalb möglichst zwei oder drei Behälterwände senkrecht verlaufen (a, b, c, e, f). Auch die Erhöhung der Auslaufaktivität durch mehrere Abläufe am Behälterumfang (d) und durch einen ringförmigen Ablauf am Behälterumfang (e) wirkt der Brückenbildung entgegen. Bei dem zentral angeordneten Entnahmerohr (h) wird die physikalische Gesetzmäßigkeit ausgenutzt, daß der Reibwinkel zwischen Stahl und Gut geringer ist als der innere Reibwinkel des Schüttgutes.

Versuche von DUBACH [12] ergaben bessere Auslaufverhältnisse, wenn bei Rechteckbunkern zwei gegenüberliegende Wände des Trichters einen anderen Reibungskoeffizienten besitzen als die beiden anderen. Diese Untersuchungen erfolgten bisher nur an Modellbehältern.

Entnahmemhilfen werden in den meisten Fällen dann eingebaut, wenn bei bestehenden Behältern nur eine unbefriedigende Entnahme möglich ist. Sie stellen in diesen Fällen Zusatzaufwendungen dar. Bei schwerfließenden Gütern sieht aber auch oft schon die Projektierung Entnahmemhilfen vor.

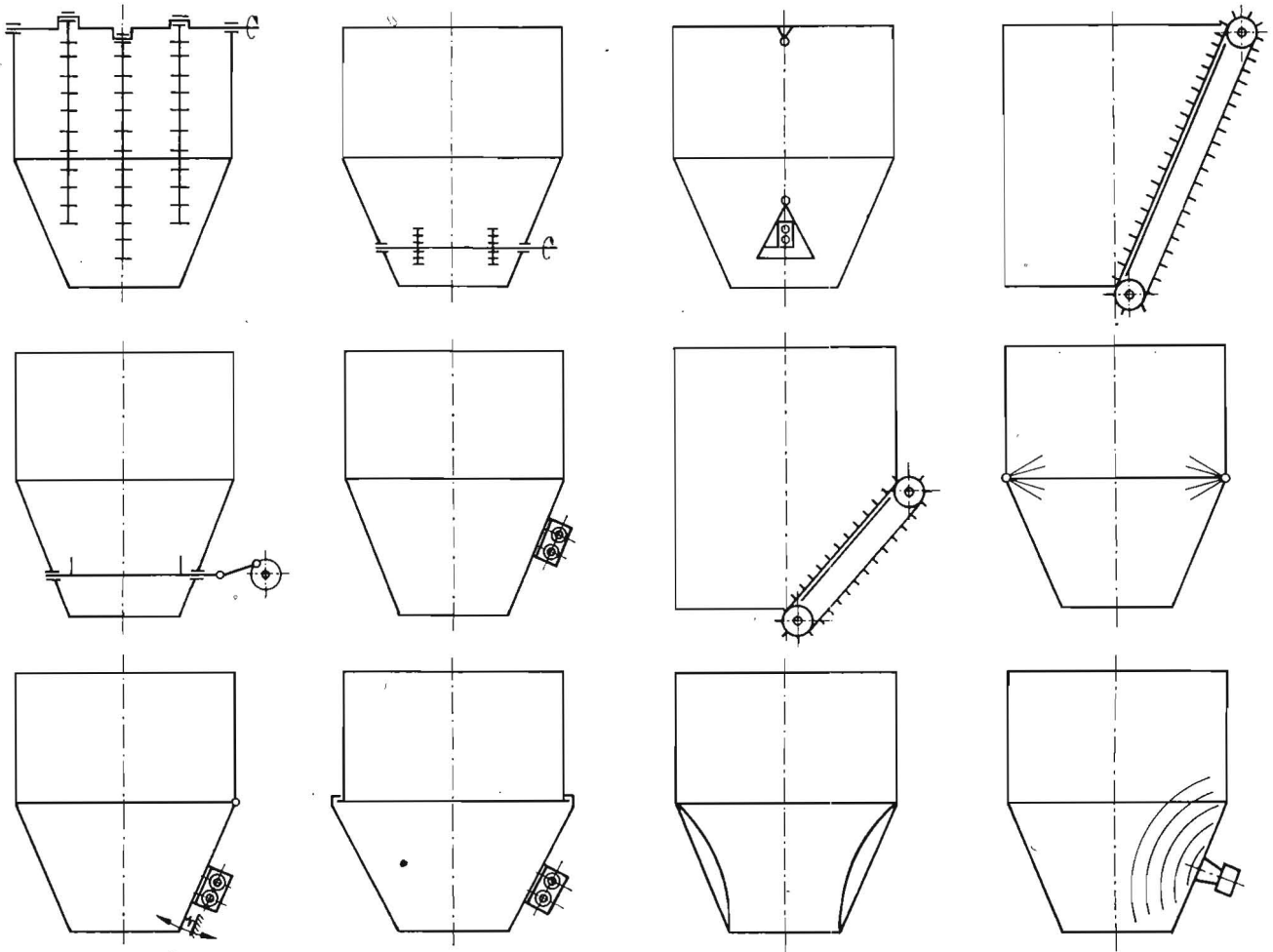


Bild 3. Entnahmehilfen zur Verbesserung des Auslaufverhaltens von schwerfließenden Gütern

Im Bild 3 sind einige z. T. schon bekannte Konstruktionen zusammengestellt.

Es sind Rührwerke, Bunkerrüttler, umlaufende Ketten, pneumatische Austragshilfen (aufblasbare Bunkerkissen und Einblasen von Luft), und in einem Fall sollen entstandene Brücken durch Schallwellen zerstört werden.

Die Schneckenaustragung sollte bei der Entnahme von Pellets nicht angewendet werden. Der Abrieb läßt sich durch freies Ausfließen aus dem Behälter am ehesten vermindern.

## 6. Neue Erkenntnisse zu Problemen der Brückenbildung

Die Brückenbildung in Behälterausläufen ist bisher theoretisch noch sehr unvollständig begründet. Die in der Fachliteratur vorliegenden Ergebnisse sind zum großen Teil beschreibender Art und stützen sich auf Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb. Faktoren, die die Brückenbildung beeinflussen, sind: Kornform, Korngröße, Kornstruktur, Schüttdichte, Feuchtigkeitsgehalt, Temperatur, innerer Reibwinkel, äußerer Reibwinkel und die Verdichtung des Lagergutes.

Ein neues Verfahren, das von den im Gutkörper herrschenden Spannungen ausgeht, ist in letzter Zeit von JENIKE [9] [14] entwickelt worden. Das Kriterium für das Fließen oder Nichtfließen eines Schüttgutes wird von ihm folgendermaßen definiert: „Ein Schüttgut in einem Bunker wird dann unter dem Einfluß der Schwerkraft ausfließen, wenn seine Scherfestigkeit nicht ausreicht, ein das Ausfließen verhinderndes Gewölbe aufzubauen“. Die Höhe der Scherfestigkeit hängt in erster Linie vom Verfestigungsgrad ab. Ein lose aufgeschüttetes Gut kann keine Scherspannung übertragen.

In Bild 4 ist die Bruchspannung  $f_c$  als Funktion der Verfestigungsspannung  $\sigma_1$  für einige charakteristische Materialien dargestellt.

Ein Gut (z. B. trockener Sand) mit der Fließfunktion  $a$  wird am wenigsten zur Brückenbildung neigen, während Güter mit der Fließfunktion  $c$  als schwerfließend zu bezeichnen sind. Die Aufnahme und Bestimmung der Fließfunktion erfolgt mit Schergeräten, wie sie aus der Bodenmechanik bekannt sind.

Die Entnahmewilligkeit ist neben den reinen Schüttguteigenschaften auch von der Behälterkonstruktion abhängig. Diesen Einfluß faßt JENIKE im Fließfaktor  $f$  zusammen. Er ist eine Funktion der Auslaufform, der Trichtereneigung, des Wandreibungswinkels und des inneren Gutreibwinkels (Bild 5). Auf die genaue Bestimmung des Fließfaktors sei hier nicht eingegangen, sie kann der angegebenen Literatur entnommen werden.

In Bild 6 ist die Fließfunktion eines Schüttgutes dargestellt, das in einem Behälter mit dem Fließfaktor  $f = 1,6$  gelagert werden soll. Im Bereich, in dem die Fließfunktion über der Geraden des Fließfaktors verläuft, ist eine sichere Entnahme möglich. Die im Gut wirkende Scherkraft ist zu gering, um eine stabile Brücke aufbauen zu können. Die Dimensionierung des Auslaufquerschnittes wird nach der im Schnittpunkt der beiden Linien vorhandenen Scherspannung vorgenommen. Der kritische Durchmesser  $d_A$  kann aus folgender Gleichung errechnet werden:

$$d_A = 2,2 f_c' \rho_s \cdot g \quad (9)$$

Über das Deformationsverhalten von Schüttgütern wurden von JENIKE keine Untersuchungen angestellt. Nach Ansicht

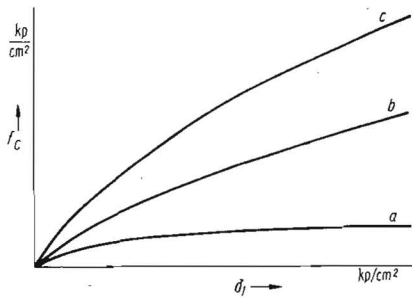


Bild 4. Bruchspannung  $f_c$  bei verschiedenen Verfestigungsspannungen  $\sigma_1$  für einige charakteristische Materialien

Bild 5. Fließfaktoren  $ff$  für Bunker mit konischem Auslauf

Bild 6. Ermittlung der kritischen Spannung

des Verfassers werden durch die Deformationseigenschaften die im Gut herrschenden Scherspannungen jedoch wesentlich beeinflusst, so daß die Untersuchung dieser Gesetzmäßigkeiten als vorrangig betrachtet wird. Diese Forderung vertreten in der Fachliteratur u. a. auch STROPPEL [13] und MATTHEE [14].

## 7. Schlußfolgerungen

Zur Verbesserung des Fließverhaltens und zur Erhöhung der Behälteraktivität bei der Entnahme sollte bei der Einlagerung von Trockengrüngutpellets der Abriebanteil ein Minimum betragen.

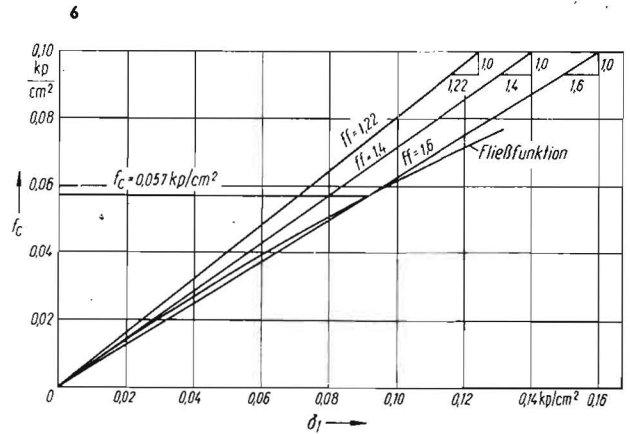
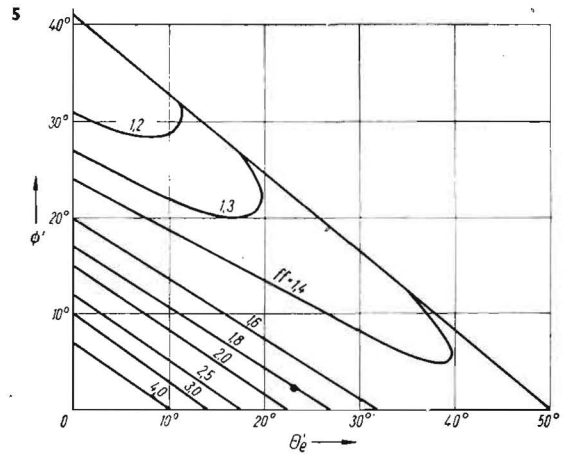
Die Entstehung des Abriebs bei der Entleerung kann durch konstruktive Maßnahmen, die ein gleichmäßiges Absinken des Gutspiegels gewährleisten, herabgesetzt werden.

Zur Vermeidung der Brückenbildung in Behälteraustäufen sind geringer Abriebanteil und richtig dimensionierte Auslaufquerschnitte Voraussetzung. Durch die Verwendung von Behälterkonstruktionen kann die Gefahr der Brückenbildung bei der Entnahme von Trockengrüngutpellets vollständig ausgeschaltet werden.

Das Verfahren von JENIKE geht bei der Dimensionierung von Behälteraustäufen erstmals von den im Schüttgut wirkenden Spannungen aus. In diesem Zusammenhang sollte das Deformationsverhalten landwirtschaftlicher Güter eingehend untersucht werden.

## Literatur

- [1] JANSSEN, H. A.: Versuche über Getreidedrucke in Silozellen. VDI-Zeitschrift (1895) S. 1045
- [2] FISCHER, W.: Silos und Bunker in Stahlbeton. VEB Verlag für Bauwesen Berlin 1966
- [3] PIEPER, K. / F. WENZEL: Druckverhältnisse in Silozellen. Verlag von Wilh. Ernst und Sohn Berlin-München 1964
- [4] BUSSIAN, M.: Rieserverhalten gekörnter duroplastischer Formmassen. Plaste und Kautschuk (1968) S. 898
- [5] WELSCHOF, G.: Beitrag zur Messung der Auslaufmengen körniger Güter mit Blenden und Düsen. Landtechnische Forschung II (1960) H. 5, S. 138
- [6] ROSE, H. E. / T. TANAKA: Rate of discharge of granular materials from bins and hoppers. The Engineer (1969) Oktober, S. 465
- [7] KENEMANN, F. E.: Über das freie Ausfließen von Schüttgut. Izvestija Akademii nauk SSSR OTN. mehanika i mashino - stroenie (1960) H. 2, S. 70
- [8] KVAPIL, E. T. TANAKA: Bunker und Silos mit Schüld. Aufbereitungstechnik (1969) H. 2, S. 45
- [9] JENIKE, A. W.: Handling Bulk Materials from bins. Mining Engineering (1968) Mai, S. 67
- [10] KVAPIL, R.: Theorie der Schüttguthbewegung. VEB Verlag Technik Berlin 1959



- [11] ALFEROV, K. W. / R. L. ZENKOV: Bunkeranlagen. Maschgis Moskau 1955
- [12] DUBACH, P.: Neue Erkenntnisse zum Problem der Brückenbildung in Bunkeraustäufen. Bergb.-Wiss. 13 (1966) H. 8, S. 330
- [13] STROPPEL, A.: Spannungszustände in lagernden körnigen Haufwerken in der Nähe einer ebenen Wand. VDI-Forschungsheft 525 - VDI-Verlag Düsseldorf 1968
- [14] MATTHEE, H.: Zur formelmäßigen Erfassung von Austragsmengen aus Bunkern - Das Verfahren von Jenike. Bergb.-Wiss. 13 (1966) H. 8, S. 333 A 7888

## Entwicklungstendenzen von Verfahren der Milch- und Rindfleischproduktion

Unter diesem Thema veranstaltet die Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden am 23. und 24. Juni 1970 eine wissenschaftliche Tagung. Zahlreiche Fachvorträge werden dem Teilnehmer einen breiten Überblick auf Technik und Technologie in der Rinderhaltung vermitteln und Informationen über neue Projekte im landwirtschaftlichen Anlagenbau dieses Produktionszweiges geben.

Der dabei anfallende umfangreiche Stoff soll unseren Lesern in einer großzügigen Auswahl zugänglich gemacht werden. Es ist vorgesehen, zunächst in Heft 8/1970 unserer Zeitschrift eine Aufsatzreihe zu veröffentlichen, die die überarbeiteten Fassungen einer größeren Anzahl von Referaten auf dieser Tagung enthält. Eine zweite Aufsatzreihe mit weiteren Vorträgen soll dann in unserem Dezemberheft 1970 erscheinen. Wir möchten unsere Leser schon heute auf diese beiden Aufsatzkomplexe aufmerksam machen.

Die Redaktion

A 8016