

Für die Komponente Stroh wird ein Zwischenlager für 6 bis 7 Produktionstage an der Pelletieranlage als zweckmäßig erachtet. Für eine Produktion von 30000 t Pellets bei den genannten mittleren Transportentfernungen und einem Strohhanteil von 50% in der Rezeptur wird auf folgenden Technikbedarf orientiert:

Strohtransport

- 2 LKW W 50 LA/Z mit SHA 16 (je 20 m³) und Laderaumabdeckung
- 4 Anhänger HW 80.11 mit SHA 8 und Laderaumabdeckung (je 28 m³)
- 1 Mobilkran T 174.

Transport der anderen Futterkomponenten und Strohpellets

- 3 LKW W 50 LA/Z mit Pritschenabdichtung und Laderaumabdeckung
- 4 HW 80.11 mit Pritschenabdichtung und Laderaumabdeckung.

Für den Vorgemisch- und Mischfuttertransport sind keine Investitionen bei den FPA6 oder bei den ACZ erforderlich. Bezüglich der Annahme der Futterkomponenten (außer Stroh) in den Pelletierbetrieben wird empfohlen, in Verbindung mit der Silobatterie T 721 die Annahmestellen so auszugestalten, daß dort sowohl Getreide, Zuckerrübengranulat, Trockengrünutpellets als auch Vorgemische und Mischfutter von den Fahrzeugen übernommen werden können.

Vorerst müssen die Pellets an den Tierproduktionsanlagen zu ebener Erde abgekippt werden. Sofern bei Großanlagen entsprechende Silobatterien vorhanden sind, ist der Einsatz von Mischfahrfahrzeugen für den Pellettransport zu prüfen.

Für den Transport der Futterkomponenten zu den FPA 6 und für den Pellettransport zu den Tierproduktionsanlagen entstehen bei den genannten mittleren Transportentfernungen und bei einem Strohhanteil von 50% in der Rezeptur Transportkosten von rd. 17 M/t Pellets.

A 1414

Lagerung von Trockenfutter in Hallen und Behältern

Dr.-Ing. C. Füll, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Lager können innerhalb technologischer Prozeßfolgen grundsätzlich folgende Aufgaben haben:

- Herstellen von kontinuierlichen Gutströmen aus diskontinuierlichen Gutströmen oder umgekehrt
- Zusammenführen oder Teilen von Gutströmen
- Verändern von Masseströmen.

Die Lagerzeiten werden durch die natürlichen Bedingungen der landwirtschaftlichen Produktion, durch die technologischen Regimes vor- und nachgeschalteter Grundverfahren oder durch gesetzliche Vorschriften festgelegt. Die Qualitätsverluste während des Lagerns sind stets auf ein Minimum zu reduzieren.

2. Hallenlagerung

Hallenlager erfordern geringere Investitionen als Behälter. Sie werden vorzugsweise für nicht freifließende Gutarten verwendet. Beim Einlagern ist darauf zu achten, daß zum Vermeiden von Staub- und Abriebbildung nur geringe Fallstufen vorhanden sind. Die Verteilung von Trockenfutterpellets muß so erfolgen, daß sich der Abrieb nicht in Zentren von Schüttkegeln konzentrieren kann. Derartige Zonen sind durch Selbsterwärmung und Schimmelbildung gefährdet. Vor dem Einlagern muß das Lagergut ausreichend gekühlt werden. Andernfalls kann es durch Wärmebewegungen aus dem Stapellinnern an der Oberfläche zur Kondenswasserbildung und damit zum Schimmeln des Gutes kommen.

Entscheidenden Einfluß auf die Qualitätserhaltung haben das Lagerklima, die Guttemperatur und die Gutfeuchtigkeit. Für längere Lagerungszeiten müssen optimale Werte eingehalten werden (Tafel 1) [1].

Unter den klimatischen Bedingungen der DDR können diese nur durch Kühlbelüftung des Gutes und eventuelle Klimatisierung des

Lagerraums erreicht werden. Dafür sind zusätzliche Aufwendungen notwendig. Bei Trockenfutterpellets mit Stroh- und Mischfutteranteilen muß deshalb die Lagerzeit auf ein Minimum beschränkt werden. Sieben Tage Lagerzeit sollten nicht überschritten werden. Für diese Dauer kann das Lagern bei den in Tafel 1 angegebenen kurzzeitig zulässigen Parametern erfolgen. Bei unzulässig hohen relativen Luftfeuchten nehmen Trockenfutterpellets Wasser auf. Dadurch quellen die Pellets auf und ihre Festigkeit nimmt ab. Bei nachfolgenden Operationen entsteht infolgedessen ein erhöhter Abriebanteil.

Die Entnahme des Gutes aus Lagerhallen kann nicht automatisiert werden. Hohe Staubkonzentrationen erschweren die Arbeit des Bedienpersonals und sind nur mit erhöhtem Aufwand zu vermeiden.

3. Behälterlagerung

Die Behälterlagerung von Trockenfutter in loser und kompakter Form wird meist nur für kurze Lagerzeiten von 1 bis 2 Wochen angewendet. Das Befüllen und Entnehmen ist automatisierbar und verursacht im Gegensatz zur Hallenlagerung keine Staubbelastigung. Innerhalb technologischer Prozeßfolgen dienen Behälter zum Lagern und Dosieren von Komponenten und Fertigprodukten. Folgende Anforderungen müssen erfüllt werden:

- Störungsfreie Entnahme
- kein Entmischen beim Befüllen und Entnehmen
- schonende Entnahme zur Vermeidung von Kornzerkleinerung
- keine Kondenswasserbildung an der Behälterinnenwand.

Die Fließfähigkeit eines Gutes ist um so besser, je kleiner die Werte von Kohäsion, Adhäsion, innerer Reibung und äußerer Reibung sind und je größer die Schüttdichte ist.

Der Schüttwinkel kann näherungsweise als Maß für die innere Reibung benutzt werden. Bei Trockenfutterpellets nimmt er mit kleinerer Korngröße, geringerem Abriebanteil und höherer Festigkeit des Einzelkorns ab (Bild 1). Bei großer Körnung und hoher Festigkeit der Pellets tritt die fließverschlechternde Wirkung erst bei höheren Abriebanteilen ein. Die Grenze des Abriebs, der für ein störungsfreies Ausfließen zulässig ist, ist mit Sicherheit erreicht, wenn die Hohlräume des Pelletstapels vollständig mit Feingut ausgefüllt sind. Die Dimensionierung des Auslaufquerschnitts kann dann nicht mehr nach der Korngröße, sondern muß nach den Kohäsions- und Reibungseigenschaften des Abriebs vorgenommen werden. Bei einem Hohlraumvolumenan-

Tafel 1. Optimale und kurzzeitig zulässige Werte des Lagerklimas [1]

Gutart	optimale			kurzzeitig zulässige		
	Guttemperatur °C	Gutfeuchte %	rel. Luftfeuchte %	Guttemperatur °C	Gutfeuchte %	rel. Luftfeuchte %
Mischfutter	≤ 10	≤ 14	≤ 75	≤ 20	≤ 16	≤ 80
Stroh	≤ 10	≤ 10	≤ 75	≤ 20	≤ 18	≤ 90
Heu	≤ 10	≤ 10	≤ 75	≤ 20	≤ 15	≤ 80

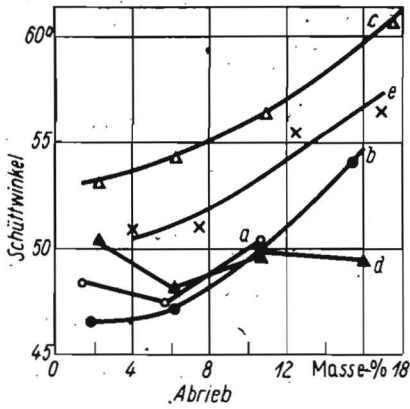


Bild 1. Schüttwinkel von Trockengrüngutpellets in Abhängigkeit von Abriebanteil:

- | | |
|----------------|---|
| a Luerzue | (\varnothing 14 mm, Länge 23,90 mm, TS 90,3 %) |
| b Futterroggen | (\varnothing 14 mm, Länge 14,67 mm; TS 90,3 %) |
| c Kleegrass | (\varnothing 14 mm, Länge 16,75 mm, TS 90,2 %) |
| d Klee | (\varnothing 24 mm, Länge 11,50 mm, TS 91,4 %) |
| e Luzerne | (\varnothing 24 mm, Länge 9,94 mm, TS 92,2 %) |

Bild 2. Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung der Fließverhältnisse in Behältern; a) Kegel oder diametrales Dach, b) Doppelkegel; c) Entlastungsnasen, d) vibrierender Kegel, e) vertikales Rührwerk, f) rotierende Taumelscheiben, g) horizontales Rührwerk, h) pneumatische Austraghilfe, i) akustische Austraghilfe

teil von 50% bis 70% [2] und einer Schüttdichte des Feingutes von 150 kg/m^3 liegt der zulässige Abriebanteil zwischen 13% und 26%. Er verändert sich proportional mit der Schüttdichte des Feingutes. Um in der Praxis mit Sicherheit ein störungsfreies Ausfließen zu erreichen, muß die Grenze für den zulässigen Abriebanteil auf 15% festgelegt werden. Dies ist besonders deshalb gerechtfertigt, weil die Abriebverteilung im Pellethaufwerk inhomogen ist. Die fließgerechte Dimensionierung von Behältern auf der Grundlage der Stoffkenngrößen des Füllgutes kann nach verschiedenen Methoden vorgenommen werden [3].

Ein wesentlicher Nachteil besteht jedoch darin, daß man trotz Verwendung gleicher Eingangsgrößen z. T. voneinander abweichende Ergebnisse erhält. Die Berechnungen müssen daher durch praktische Auslaufversuche ergänzt werden. Bei der Verwendung von Schlitzausläufen (ebener Spannungsfall) ist die Neigung zur Brückenbildung nur halb so groß wie bei punktförmigen Ausläufen von Kegeltrichtern (axialsymmetrischer Spannungsfall).

Im Rahmen von Rekonstruktionsmaßnahmen kann das Ausfließen durch die Installation von starren Einbauten, mechanischen, pneumatischen oder akustischen Auslaufhilfen verbessert werden (Bild 2).

Durch Behältereinbauten in Form von Entlastungsnasen, Einfachkegel, Doppelkegel oder diametralen Dächern werden Entlastungsräume geschaffen. Die Eigenfestigkeit f_c des Gutes, die mit der Hauptspannung σ_1 zunimmt, wird dadurch gesenkt und reicht nicht aus, um eine stabile Brücke aufzubauen. Unklarheiten bestehen gegenwärtig noch zur optimalen Geometrie und Lage der Einbauten im Auslauf. Erste Erkenntnisse wurden im Institut für Mechanisierung bereits gewonnen (Bild 3). Mit dem Einbau von Entlastungsnasen wurde das störungsfreie Ausfließen von Teilfertigfutterpellets bis zu 20% Abriebanteilen mit einer Korngröße $< 5 \text{ mm}$ erreicht (Bild 4).

Entscheidenden Einfluß auf die Neigung zur Brückenbildung können die Austragorgane haben. Die Entnahme des Gutes muß gleichförmig über dem gesamten Querschnitt erfolgen. Tote Zonen dürfen sich nicht bilden. Förderschnecken müssen deshalb

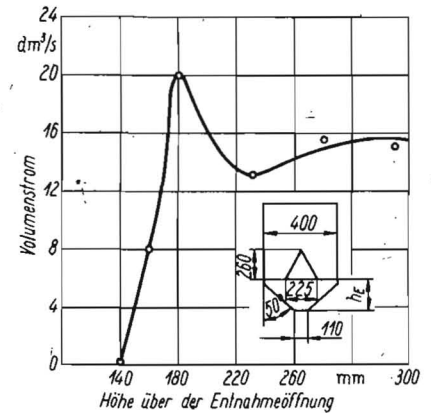
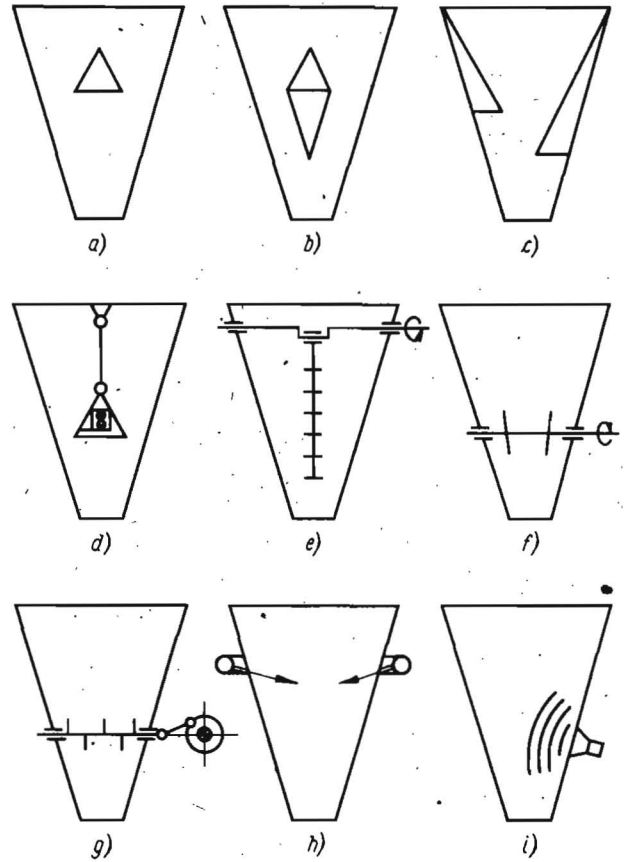


Bild 3. Abhängigkeit des Volumenstroms von der Höhe h_E des Einbauelements über der Entnahmeöffnung; Versuchsgut: Trockengrüngutpellets ohne Abrieb, Durchmesser 13 mm, radiale Druck-Bruchfestigkeit: $4,2 \text{ N/mm}^2$

in Förderrichtung eine anwachsende Steigung bei gleichbleibendem Durchmesser bzw. bei gleichbleibender Steigung einen zunehmenden Durchmesser aufweisen. Bei der Entnahme durch Bänder oder Ketten muß der Querschnitt in Förderrichtungen zunehmen.

Ein Entmischen des Gutes beim Befüllen und Entnehmen wird durch folgende physikalische Vorgänge verursacht:

- Herabrieseln beweglicher Fraktionen auf dem Schüttkegelmantel
- unterschiedliche Aufschlagimpulse beim Aufprall des Gutes auf den Schüttkegel
- Luftströmungen im Behälter
- Kernfluß bei der Entnahme.

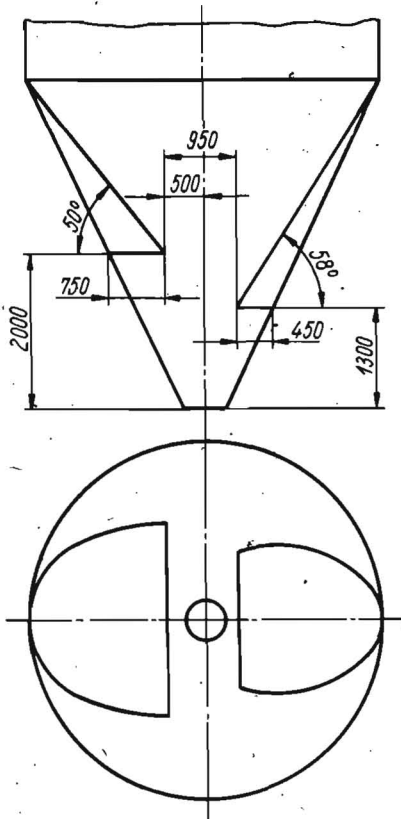


Bild 4. Lage der Entlastungsnasen im Mischfuttersilo T 721 (Maße in mm)

Die Entmischungseffekte werden herabgesetzt, wenn Füllgüter mit einheitlichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften gelagert werden, wenn beim Befüllen durch besondere Maßnahmen Schüttkegel und Luftströmungen vermieden werden und wenn die Entnahme im Massenfluß geschieht. Massenfluß ist dadurch gekennzeichnet, daß nach Fließbeginn das gesamte Füllgutvolumen im Behälter in Bewegung ist. Der Fluß ist äußerst gleichförmig, und das zuerst eingefüllte Gut fließt auch zuerst aus. Beim Kernfluß strömen die Gutschichten von der Oberfläche aus durch die Behälterachse dem Auslauf zu. Dadurch wird das zuletzt eingelagerte Gut zuerst ausgetragen.

Richtlinien für die Konstruktion von Massenflußsilos hat Jenike [4] erarbeitet. Für axialsymmetrische Behälterausläufe ergeben sich steilere Wandneigungen als für ebene (Bild 5). Massenfluß

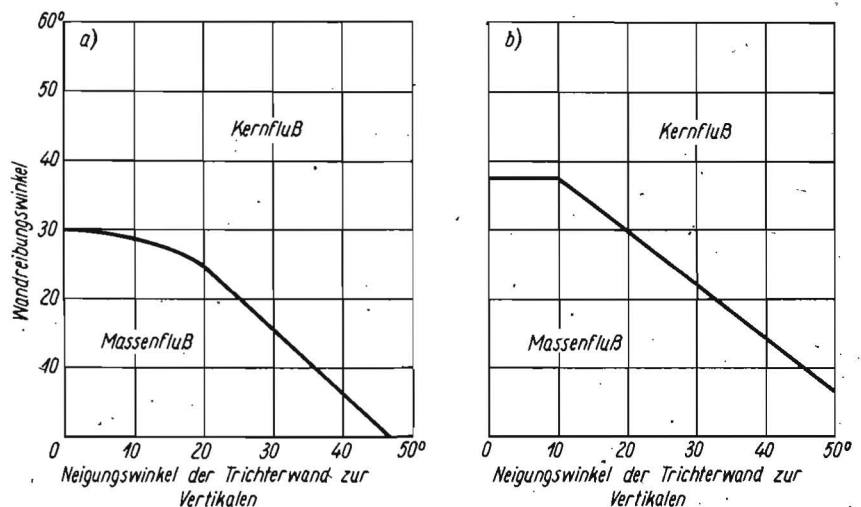


Bild 5. Massenfluß-Grenzlinien für den Behälterauslauf;
a) axialsymmetrischer Spannungsfall
b) ebener Spannungsfall

kann näherungsweise auch durch die nachträgliche Installation von starren Einbauelementen erreicht werden.

Kornzerkleinerung ist vor allem für pelletiertes Trockengut unerwünscht. Sie hat ihre Ursachen in zu großen Aufschlagimpulsen beim Befüllen und in Beanspruchungen infolge unterschiedlicher Geschwindigkeitsverhältnisse im Füllgut beim Entleeren. Die Kornzerkleinerung wird reduziert, wenn das Befüllen über Wendelrutschen geschieht und beim Entnehmen Massenfluß vorliegt.

Die Gefahr der Kondenswasserbildung an der Behälterinnenwand wird herabgesetzt, wenn das Füllgut ausreichend gekühlt ist. Zusätzliche Isolierungen würden die Investitionen wesentlich erhöhen.

4. Zusammenfassung

Das Lagern von Trockenfutter in Hallen wird vorzugsweise bei langen Lagerzeiten und für schwerfließende Güter vorgenommen. Das Vermeiden von Qualitätsverlusten ist nur bei Einhaltung eines optimalen Lagerklimas möglich.

Die Behälterlagerung erfordert höhere Investitionen. Sie hat jedoch bei kurzen Lagerzeiten Berechtigung. Vor oder nach bestimmten technologischen Grundverfahren ist sie unbedingt notwendig. Das Befüllen und Entnehmen ist automatisierbar und verursacht im Gegensatz zur Hallenlagerung keine Staubbelastigung.

Brückenbildung, Entmischung und Kornzerkleinerung können bei entsprechender Behältergestaltung oder durch das Verwenden von Zusatzeinrichtungen reduziert werden.

Literatur

- [1] Vollgold, K.: Lagerung und Trocknung landwirtschaftlicher Erzeugnisse. Berlin: Deutscher Bauernverlag 1959.
- [2] Füll, C.: Physikalisch-mechanische und förder technische Eigenschaften von Trockengutpellets. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 8, S. 363—365.
- [3] Füll, C.: Grundlagen für die Berechnung von Auslaufquerschnitten zur Entnahme landwirtschaftlicher Güter aus Behältern. Manuskript einer Veröffentlichung für die Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe (erscheint 1976).
- [4] Jenike, A. W.; Johanson, J. A.: Fließgerechte Siloformen für Schüttgüter. Aufbereitungstechnik (1971) H. 6, S. 309—317.

A 1394