

des Futtermittels bei einer bestimmten Stellung des Kratzers zur Umlenkstelle überwunden, so treten unkontrolliert Abbrüche des Restgutstapels auf, die den Fehler der Dosiergleichmäßigkeit beeinträchtigen. Wird der Spalt auf 35 mm verringert, werden eingesetzte Futtermittel mit guter Arbeitsqualität dosiert. Beim Dosieren von Mais und Grassilage wird im Bereich von 15 bis 35 mm kein Unterschied in der Dosierqualität festgestellt, so daß zur Erreichung einer ausreichenden Funktionssicherheit die größere Spaltweite empfohlen wird (Versuche 9 bis 19).

Durch Anordnung der unteren Frästrommel vor die Antriebswelle der Kratzerkette für den Futtermittelschub im Bereich von $\beta = 30 \dots 40^\circ$ wird ein Teil des Restgutstapels, der durch einen funktionsbedingten Spalt zwischen unterer Frästrommel und Kratzerkette entsteht, abgefräst. Der Fehler der Dosiergleichmäßigkeit wird dadurch verringert (Versuche 17 bis 22).

Der optimale Abstand zwischen den Hüllkurven der Frästrommeln b ist von der Neigung der Abfräseebene zur Vertikalen und den Radien der Frästrommeln R abhängig:

$$b = 2R \sqrt{\tan^2 \alpha + 1} - 2R. \quad (4)$$

Wird der Abstand b nach Gl. (4) gewählt, tangieren die Hüllkurven benachbarter Frästrommeln in horizontaler Ebene.

Es besteht die Voraussetzung, daß der gesamte Futterstock aktiv von den Frästrommeln abgefräst wird. Bei einem Abstand $b = 200$ mm und einem Neigungswinkel $\alpha = 30^\circ$ entsteht ein vertikaler Spalt von 50 mm zwischen den horizontalen Abfräseebenen, der Ursache dafür ist, daß sich große Futteranteile zwischen die Frästrommeln schieben und als Futterklumpen auf den Querförderer fallen (Versuche 23 und 24).

Ist der dosierte Gutstrom gleichmäßig und stationär, dann ist die Autokovarianzfunktion bei allen Dosierprozessen durch einen charakteristischen Verlauf gekennzeichnet. Durch

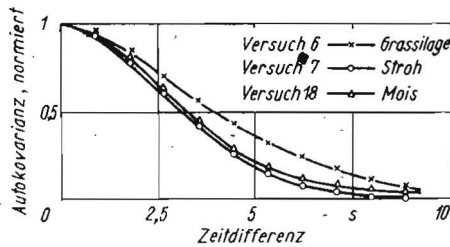


Bild 2. Normierte Autokovarianzfunktion der dosierten Futterströme

Einbau von zwei parallel, aber zueinander versetzt eingebauten Kratzerketten für den Futtermittelschub ist es möglich, periodische Schwankungen im Massestrom, die von Kratzerketten erzeugt werden, zu reduzieren (Bild 2).

Die Umfangsgeschwindigkeit der Frästrommeln in einem für das Abfräsen erforderlichen Bereich von 2,4 bis 4,7 m/s beeinflusst nicht die Dosierqualität. Für das Dosieren von trockenem, fein zerkleinertem Stroh sollte die Umfangsgeschwindigkeit gering gehalten werden, da erhöhte Staubentwicklung auftritt.

5. Zusammenfassung

Die konstruktive Zuordnung der Wirkelemente einer Abfräseinrichtung mit Frästrommeln hat wesentlichen Einfluß auf die Dosierqualität. Die wichtigste Voraussetzung für das gleichmäßige Abtragen einer Futterschüttung ist die Anpassung der Abfräseebene zum sich einstellenden Schüttwinkel des Futtermittels im Behälter.

Verbesserte Arbeitsqualitäten werden durch einen geringen Spalt zwischen der unteren Frästrommel und der Kratzerkette für den Futtermittelschub sowie durch Anordnung der unteren Frästrommel in Richtung der Futterabgabe erreicht. Der lichte Abstand zwischen den Frästrommeln ist von der geometrischen Anordnung und Größe der Wirkelemente abhängig.

Werden ermittelte Parameter bei der Konstruktion eingehalten, können bei ausreichender Funktionssicherheit die agrotechnischen Forderungen an die Arbeitsqualität eines Grobfutterdosierers erfüllt werden.

Literatur

- [1] Agrotechnische Forderungen an einen einachsigen Futtermittelverteiler zum Transportieren, Dosieren und Verteilen von losen Schüttmischungen und Grobfutterstoffen in Anlagen der Tierproduktion. FZM Schlieben/Bornim 1978 (unveröffentlicht).
- [2] Bialojan, G.: Grundlagenuntersuchungen über die Dosierung und Verteilung von Saft- und Kraftfutter in Rinderställen. Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim 1967 (unveröffentlicht).
- [3] Gatzky, D.: Optimierung der Abfräseinrichtung eines Grobfutterdosierers. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1980 (unveröffentlicht).
- [4] Wieneke, F.; Claus, H.G.: Eine Entwicklungsstudie über das Abfräsen und Dosieren von Halmgutstapeln. Landtechnische Forschung 16 (1966) H.2, S.41-46.
- [5] Müller, M.: Grundlagenuntersuchungen zur Dosierung und Verteilung von Saftfutter an Rinder. Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim 1967 (unveröffentlicht).
- [6] Ducho, P.; Kubina, L.: Vplyv pracovných mechanizmov davkovačich strojov objemových krmiv na rovnomernost prudu krmiva (Einfluß der Arbeitsmechanismen von Rauhfutterdosiermaschinen auf die Gleichmäßigkeit des Futterflusses). Zemědělská Technika (1974) H.9, S.505 bis 513.
- [7] Livsič, L.; Omel'čenko, A.: Vlijanie ugla naklona bloka biterov na process razdaču kormov (Der Einfluß des Neigungswinkels des Frästrommelblocks auf den Futtermittelverteilungsprozeß. Mechanizacija i elektrifikacija soc. sel'sk. choz. (1971) H.9, S.43-44.
- [8] Gatzky, D.: Dosieren von pelletierten Trockenfuttermitteln mit einem Versuchsmuster des Grobfutterdosierers. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim 1976 (unveröffentlicht).
- [9] Michaelis, G.: Grundlagen zum Dosieren von Futterkomponenten und Gemischen. FZM Schlieben/Bornim 1978 (unveröffentlicht).

A 3105

Lagerung von Trockenmischfutter in Behältern

Dr.-Ing. C. Füll, KDT/Dipl.-Ing. V. Scholz

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Lagerbehälter für Trockenmischfutter kommen im Bereich der Landwirtschaft vor allem in Tierproduktionsanlagen zur Anwendung. Sie erfüllen hier die Funktion von Zwischenlagern und gleichen Schwankungen der Materialströme im Zugang und Bedarf aus. Diese Schwankungen können gleichmäßig periodischen oder stochastischen Charakter haben.

Lagerbehälter sind in den meisten Fällen Anfangsglieder vollmechanisierter und z. T. vollautomatisierter Fütterungssysteme. Aus diesem Grund werden an ihre Zuverlässigkeit und an die Gleichmäßigkeit des Massestroms sowie an die Futterqualität hohe Anforderungen gestellt. Um dem gerecht zu werden, muß die

Behälterkonstruktion in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften des Gutes und der verfahrensbedingten Bewirtschaftung optimal sein. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus Untersuchungen zur Lagerung von Trockenmischfutter im Mischfuttersilo T721 mit und ohne Zusatzeinrichtungen dargestellt. Die Eignung technischer Lösungen für Rekonstruktions- und Rationalisierungsmaßnahmen steht im Mittelpunkt der Betrachtungen.

2. Stand der Forschung

Auf dem Gebiet der Gestaltung und Dimensionierung von Schüttgutlagerbehältern ist in der letzten Zeit ein bedeutender Erkenntniszuwachs eingetreten. Zur Vermeidung von Brückenbildungen wird die Geometrie der

Auslauftrichter schon größtenteils auf der Basis experimentell bestimmter Guteigenschaften berechnet. Die existierenden Vorschriften sind in [1, 2] zusammengefaßt dargestellt. Nachteile für die praktische Anwendung sind die z. T. recht erheblich voneinander abweichenden Ergebnisse. Das ist hauptsächlich in den unterschiedlichen Annahmen der im Gut wirkenden Spannungen, die zur Bildung bzw. Zerstörung von Brücken führen, begründet. Experimentelle Untersuchungen zur Entmischung von Trockenmischfutter hat Larson [3] durchgeführt. Der Grad der Entmischung, ausgedrückt als Verhältnis der Standardabweichungen des Gehalts der Inhaltsstoffe vor dem Befüllen S_F und nach der Entnahme S_E , nimmt mit den Befüllmethoden —

mechanisch mit Schnecken, mechanisch und Fallrutsche im Behälter, Verteileinrichtung unter dem Silodach, pneumatisch mit Zyklon und pneumatisch ohne Zyklon — Werte von $S_F/S_F = 0,9 \dots 1,5$ an.

Die beim Befüllen eingetretene Entmischung wird durch die Entnahme im Kernfluß erhöht und durch Massenfluß verringert.

Durch die Ausrüstung der Lagerbehälter mit aktiven oder passiven Zusatzeinrichtungen können Brückenbildung und Entmischung reduziert werden [4, 5]. Aus ökonomischen Gründen werden Lagerbehälter für Trockenmischfutter mit kreisförmigem Schaftquerschnitt und Trichterausläufen in axialsymmetrischer oder asymmetrischer Bauweise mit punktförmiger Abgabe konstruiert.

3. Zielstellung für experimentelle Untersuchungen

Trockenmischfutter wird in Tierproduktionsanlagen der DDR hauptsächlich in den Lagerbehältern T 721 des VEB LTA Mihla gelagert. Zur Reduzierung vorhandener Mängel muß durch Rekonstruktionsmaßnahmen folgende Zielstellung erreicht werden:

- Erhöhung der technischen Verfügbarkeit auf $\geq 98\%$ (entspricht einer Brückenbildungsrate von $\leq 0,25$ l/h, wenn ein Zeitaufwand von 5 min für das Beseitigen einer Brücke unterstellt wird)
- Verringerung des Entmischungsgrades, so daß der Variationskoeffizient des Gehalts an wertbestimmenden Inhaltsstoffen $s \leq 12,75\%$ beträgt
- zulässiger Variationskoeffizient der Dosierrgleichmäßigkeit $s = 20\%$.

4. Versuche

4.1. Lösungsvarianten

Folgende Lösungsvarianten werden untersucht (Bilder 1 und 2):

- Variante 0: unverändertes Mischfuttersilo T 721 mit pneumatischer Befüllung
 - Variante 1: starrer Kegel im Behälterausschlag mit geometrischer Anordnung nach Empfehlungen von Johanson [6]
 - Variante 2: Entlastungsnasen mit (Variante 2b) und ohne (Variante 2a) Kombination eines koaxialen Einbauelements
 - Variante 3: Vibrationskegel
 - Variante 4: höhenverstellbarer koaxialer Einbau (Bild 3)
- Unter einem im Trichter starr befestigten Kegel befindet sich ein teleskopartig verstellbarer zylindrischer Teil. Dieser wird nach oben bewegt, wenn sich eine Brücke zwischen dem Zylinder und der Trichterwand gebildet hat. Ist der Schüttgutfluß wieder hergestellt, geht der zylindrische Teil in seine Ausgangsstellung zurück. Dieser Ablauf kann vollständig automatisiert werden.
- Variante 5: unverändertes Mischfuttersilo T 721 mit mechanischer Befüllung
 - Variante 6: Mischfuttersilo T 721 mit nachgerüstetem Keilrichter und mechanischer Befüllung
- Keilrichter bieten nach den Dimensionierungsgrundsätzen von Jenike bessere Voraussetzungen für ein störungsfreies Ausfließen [1]. Des weiteren wird durch die

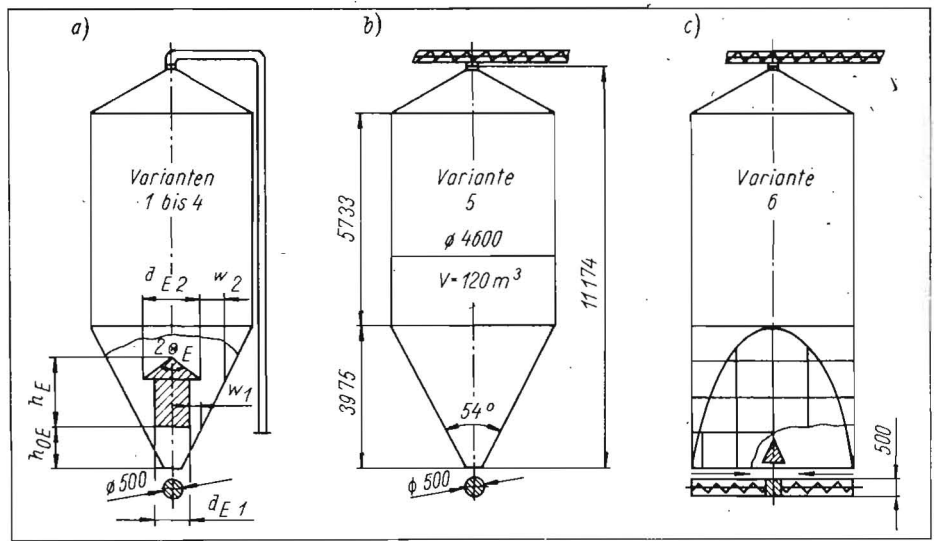


Bild 1. Technische Prinziplösungen zur Verbesserung der Entnahmebedingungen im Mischfuttersilo T 721 (Lösungsvarianten 1 bis 6);
a) koaxiale Siloeinbauten
b) mechanische Befüllereinrichtung
c) Keilrichter

Entnahme im Massenfluß die beim Befüllen eingetretene Entmischung wieder reduziert (Bild 4).

4.2. Eigenschaften des verwendeten Schüttgutes

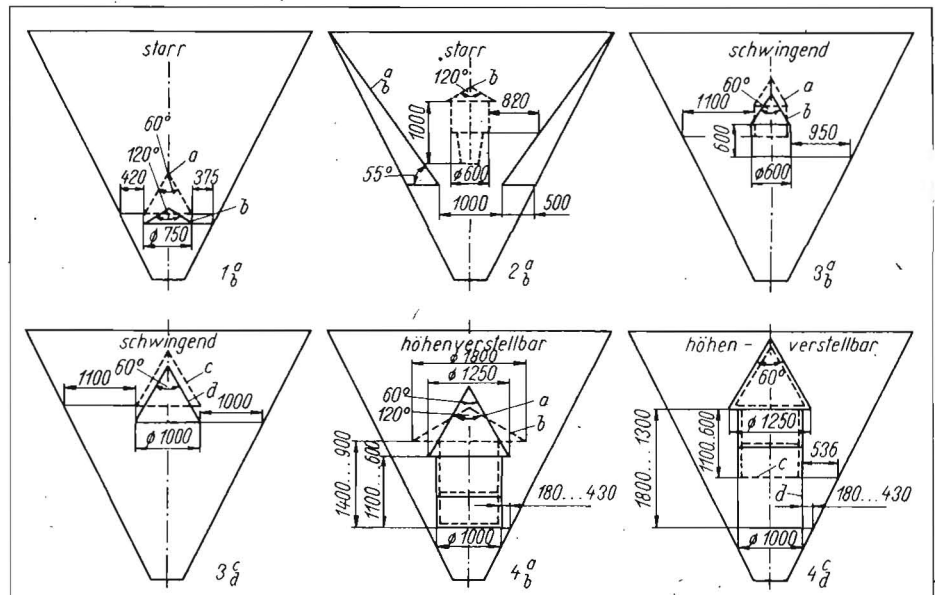
Als Versuchsgut wurde hauptsächlich Schweinemastfutter S II genutzt, weil bei dessen Lagerung in der Praxis die größten Schwierigkeiten vorhanden sind. Teilweise wurde auch Schweinemastfutter S I verwendet. Beide Futtermittel unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften nur wenig. Die Kennwerte von S II sind:

Trockensubstanzgehalt	TS = $(88 \pm 2)\%$
Schüttdichte	$\rho_s = (560 \pm 30) \text{ kg/m}^3$
Schüttwinkel	$\alpha = (48 \pm 2)^\circ$
innerer Reibwinkel	$\varphi_i = (43 \pm 3)^\circ$
Wandreibungswinkel	$\varphi_x = (25 \pm 1)^\circ$
Korngrößenverteilung f_3	$< 0,5 \text{ mm}: (36 \pm 6)\%$
(Massenanteil)	$0,5 \dots 1,0 \text{ mm}: (28 \pm 6)\%$
	$> 1,5 \text{ mm}: (8 \pm 2)\%$

4.3. Versuchsdurchführung und -auswertung
Das Versuchsgut wurde mit Mischfutterfahrzeugen W 50/HSL 80.11 angeliefert und jeweils pneumatisch oder mechanisch mit Schnecken eingelagert. Die Lagerdauer vom Befüllen bis zur ersten Entnahme betrug in Anlehnung an die Praxis 5 bis 10 Tage. Zum Befüllen des Silos waren 8 Fahrzeugladungen erforderlich. Je Fahrzeug wurde eine Mischprobe entnommen, so daß für die Füllmasse eines Silos 8 Mischproben ausgewertet werden konnten. Die Entnahme des Gutes erfolgte unter den Bedingungen des Produktionsprozesses der Tierproduktionsanlagen mit Masseströmen bis zu 8 t/h. Je nach Massestrom wurden in Zeitabständen von 10 bis 20 min Teilproben entnommen und Mischproben gebildet, die jeweils 5% der gesamten Füllmasse repräsentieren. Mit Hilfe der Mischproben wurden folgende Kenngrößen nach entsprechenden Standards bestimmt:

- Trockensubstanzgehalt TS nach TGL 32692/03
- Korngrößen-

Bild 2. Untersuchte Einbauten im Mischfuttersilo T 721 (Varianten 1 bis 4)



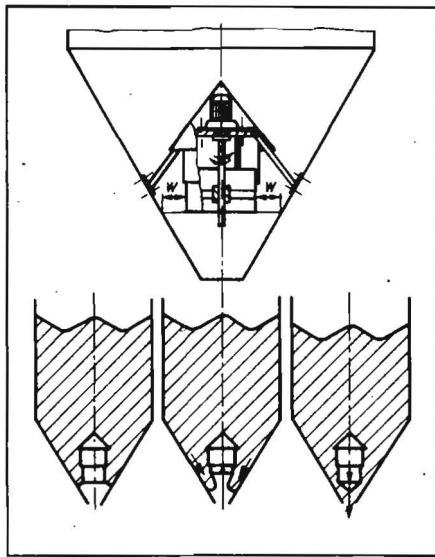


Bild 3
Prinzipdarstellung des
höhenverstellbaren ko-
axialen Einbaus

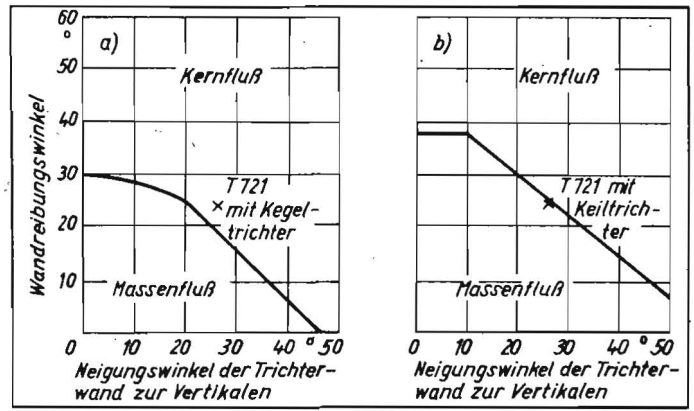


Bild 4. Massenfluß-Grenzlinien nach Jenike;
a) axialsymmetrischer Fließzustand
b) ebener Fließzustand

Bild 6. Brückenbildungsrate Z_B in Abhängigkeit vom Kornmasseanteil $< 0,5\text{mm}$ bei der Entnahme von Schweinemastfutter

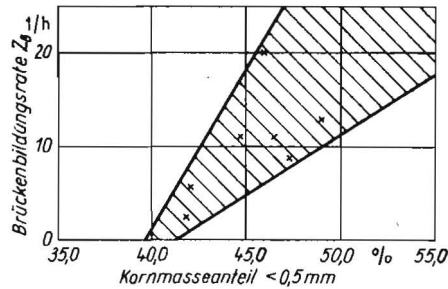
verteilung f_3 nach TGL 80-21875
— Schüttdichte ρ_s nach TGL 7672
— Rohaschegehalt a_R nach TGL 32692/05
— Rohproteingehalt p_R nach TGL 32692/04.
Zur Kennzeichnung der Entmischung dienen die bekannten statistischen Kennzahlen: Mittelwert, Maximalwert, Minimalwert, maximale Abweichung vom Mittelwert, relative maximale Abweichung vom Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient und relative Gutmasse, deren Gehalt $\pm 25\%$ vom Mittelwert abweicht.

Aus der registrierten Brückenbildung bei der Entnahme wird die Brückenbildungsrate bestimmt, die als Anzahl der Brückenbildungen je Zeiteinheit definiert ist.

5. Ergebnisse

5.1. Brückenbildung

Bei der Variante 0 beträgt die Brückenbildungsrate Z_B für die Entnahme von Schweinemastfutter SII 1,37 1/h und für die Entnahme von Schweinemastfutter SI 1,03 1/h (Bild 5). Die Brückenbildungen hängen von den Stoffeigenschaften des Gutes und von der Be-



hälterkonstruktion ab. Zu Beginn und am Ende der gesamten Guteentnahme ist ein Ansteigen der Brückenbildungsrate festzustellen. Dies ist mit der Entmischung des Gutes verbunden und auf den erhöhten Feinkornanteil zurückzuführen (Bild 6). Die theoretische Begründung für die Erscheinung, daß bereits relativ geringe Anteile eines kohäsiven Feingutes innerhalb eines kohäsionslosen Grobgutes genügen, um die Gefahr der Brückenbildung zu erhöhen, ist in [7] erläutert.

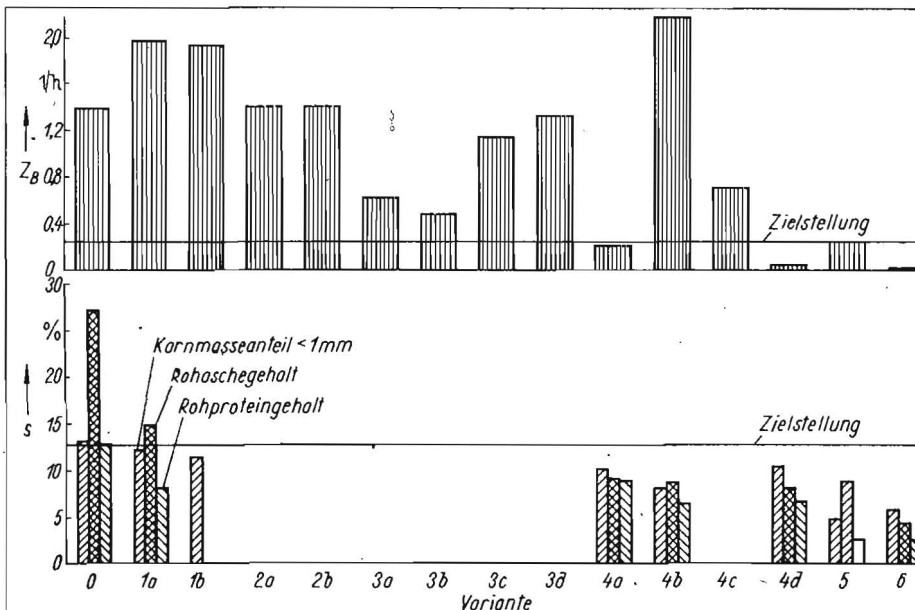
Beim Einbau starrer Kegel ist es vor allem bei wechselnden Guteigenschaften sehr schwer,

die optimale Anordnung zu finden. Bei Wandabständen $w \leq 600\text{mm}$ können sich Brücken zwischen dem Kegel und der Trichterwand bilden. Wird dieser Abstand jedoch zu groß gewählt, nimmt die Gefahr der Brückenbildung unmittelbar über der Auslauföffnung zu. Durch schwingende Kegel (Variante 3) wird die Brückenbildungsrate vor allem dann merklich reduziert, wenn sich an den Kegel ein zylindrischer Teil anschließt (Varianten 3a und 3b, Bilder 2 und 5). Bei vibrierenden Austraghilfen besteht jedoch immer die Gefahr, daß sich das Gut noch mehr verfestigt, wenn die aufgetretene Brücke nicht sofort zerstört wird.

Eine deutliche Reduzierung der Brückenbildungsrate auf 0,04 1/h erreicht man mit einem optimal gestalteten höhenverstellbaren Einbauelement nach Variante 4d (Bilder 2 und 5). Die Höhe des verstellbaren zylindrischen Teils beträgt $h_{EZ} = 1800\text{mm}$, der Wandabstand zwischen Zylinder und Trichterwand $w_1 = 180\text{mm}$ und der Wandabstand zwischen Kegel und Trichterwand $w_2 = 975\text{mm}$. Das mechanische Befüllen (Variante 5) der Silos bewirkt ebenfalls eine eindeutige Senkung der Brückenbildungsrate (Bild 5). Dies ist in der geringen Guteentmischung beim mechanischen Befüllen gegenüber der pneumatischen Methode begründet.

Der Keiltrichter bietet die beste Gewähr für ein störungsfreies Ausfließen. In den durchgeführten Untersuchungen trat keine Brückenbildung auf, so daß die Brückenbildungsrate mit $z_B = 0$ angegeben werden kann.

Bild 5. Brückenbildungsrate Z_B und Variationskoeffizient s der Stoffkenngrößen bei der Entnahme von Schweinemastfutter für die untersuchten Lösungsvarianten



5.2. Entmischung

Die Entmischung, ausgedrückt durch den mittleren Variationskoeffizienten, ist bei dem unveränderten Mischfuttersilo T 721 mit pneumatischer Befüllung (Variante 0) am größten (Bild 5). Die Ursache besteht darin, daß die Entnahme eindeutig im Kernfluß geschieht, und somit die beim Befüllen eingetretene Entmischung nicht reduziert wird.

Koaxiale Siloeinbauten bewirken eine Verminderung der Entmischung gegenüber der Variante 0. Einen entscheidenden Einfluß hat hierbei der maximale Durchmesser des Einbauelements im untersuchten Bereich der Einbauhöhe (Tafel 1). Mit zunehmendem Einbaudurchmesser erhöht sich der Durchmesser der Fließzone, wodurch sich das Fließprofil immer mehr dem Massenfluß annähert.

Durch mechanisches Befüllen (Variante 5) ist eine deutliche Senkung der Entmischung zu

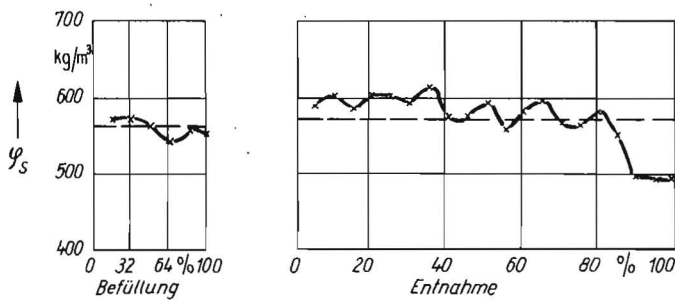


Bild 8. Verlauf der Schüttdichte von Schweinemastfutter S II bei Befüllung und Entnahme für pneumatisch befülltes Silo

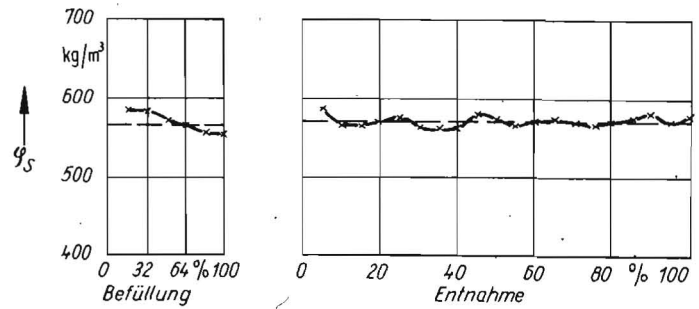


Bild 9. Verlauf der Schüttdichte von Schweinemastfutter S II bei Befüllung und Entnahme für mechanisch befülltes Silo

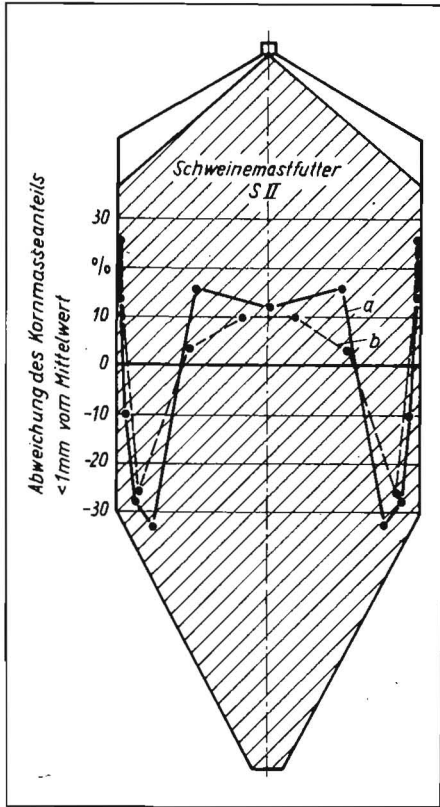


Bild 7. Verteilung des Kornmasseanteils <1mm über den Querschnitt des Silos T 721 bei pneumatischer (a) und mechanischer (b) Befüllung

Tafel 1. Mittlerer Variationskoeffizient von Kornmasseanteil <1mm k_1 , Rohaschegehalt a_R und Rohproteingehalt p_R in Abhängigkeit vom Durchmesser des Einbauelements

Variante	maximaler Durchmesser des Einbauelements mm	mittlerer Variationskoeffizient von k_1, a_R, p_R %
0	0	17,9
1a	750	11,8
1b	750	11,6
4a	1250	9,4
4d	1250	8,5
4b	1800	7,8

Durch diese Konstruktion wird noch kein Massenfluß erzielt. Dieser stellt sich erst ein, wenn die Schnecke in Förderrichtung stetig mehr Gut aufnehmen kann, so daß über der Länge des Entnahmeschlitzes ein gleichmäßiger Gutzufluß besteht. Hierzu sind spezielle Schneckengestaltungen notwendig [8]. Beim Einsatz solcher Schnecken wird die Entmischung weiter verringert.

5.3. Dosiergleichmäßigkeit

Aussagen zur Dosiergleichmäßigkeit können für die Varianten 0 und 5 getroffen werden. Als Beurteilungskriterium dient der Verlauf der Schüttdichte bei der Entnahme. Das ist zulässig, weil die Dosierqualität von Schnecken vor allem von der Schüttdichte des entnommenen Gutes abhängt. Bei konstantem Dichteverlauf

beträgt der Variationskoeffizient des Massestroms $s = 2,2 \dots 4,7\%$ [8]. Die Untersuchungen haben die Erkenntnis bestätigt, daß in pneumatisch befüllten Silos die Schwankungen der Schüttdichte größer sind als bei mechanischem Befüllen. Die ermittelten Variationskoeffizienten betragen $s = 6,6\%$ bei pneumatischer Befüllung gegenüber $s = 2,6\%$ bei mechanischer Befüllung. Diese Werte liegen aber beide innerhalb der Zielstellung von $s = 20\%$.

Nachteilig wirkt sich in der Praxis aus, daß bei der Entnahme aus pneumatisch befüllten Silos der Dichteverlauf ein nichtstationäres Verhalten aufweist. Der Dichtewert fällt mit zunehmender Entnahmemasse stetig ab (Bild 8). Dagegen ist bei mechanisch befüllten Silos eindeutig ein stationäres Verhalten der Schüttdichte vorhanden (Bild 9).

6. Schlußfolgerungen

Von den untersuchten Lösungsvarianten erreichen 4 die Zielstellung (Bild 10). Diese Vor-

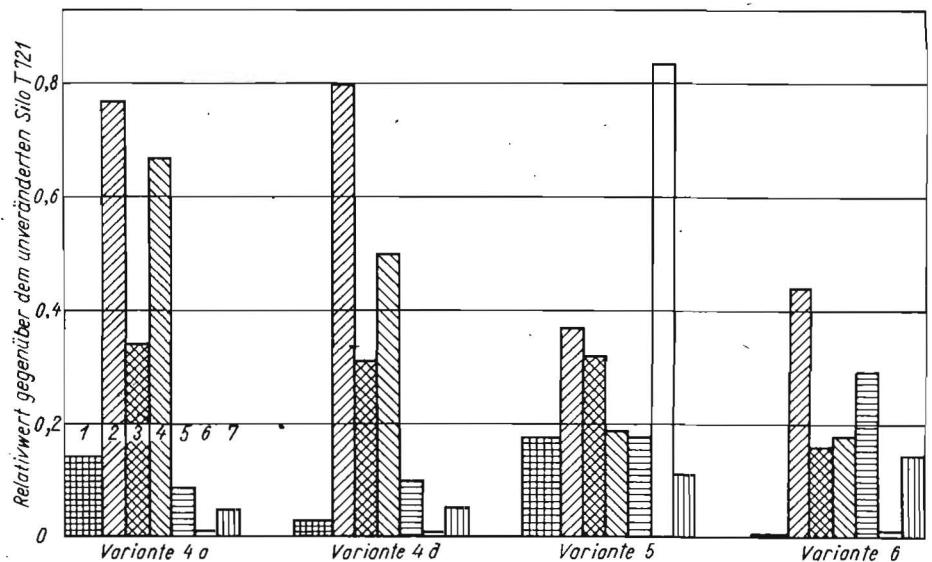
Bild 10. Vergleich der Vorzugsvarianten mit dem Ist-Stand (Variante 0) am Beispiel technisch-ökonomischer Kenngrößen:

- 1 Brückenbildungsrate
- 2 Variationskoeffizient des Feinkornanteils
- 3 Variationskoeffizient des Rohaschegehalts
- 4 Variationskoeffizient des Rohproteingehalts
- 5 Zuwachs an spezifischem Preis
- 6 Zuwachs an spezifischem Energiebedarf
- 7 Zuwachs an spezifischem Stahlbedarf

erreichen. Der mittlere Variationskoeffizient beträgt $s = 5,4\%$ (Bild 5). Dies ist auf die geringe Entmischung beim mechanischen Befüllen gegenüber dem pneumatischen Befüllen zurückzuführen (Bild 7).

Die geringste Entmischung erhält man mit einem Keiltrichter. Der mittlere Variationskoeffizient wurde in den Untersuchungen mit $s = 4,2\%$ bestimmt (Bild 5). Einen Anteil an diesem geringen Wert, der jedoch in seiner Größe nicht ausgedrückt werden kann, hat das mechanische Befüllen des Silos mit Keiltrichter (Variante 6). Es kann aber damit gerechnet werden, daß sich auch bei pneumatischem Befüllen gute Ergebnisse einstellen.

Die untersuchte Variante des Keiltrichters hat eine Entnahmeschnecke mit konstanter Steigung und konstantem Durchmesser. Das Gut wird von der Peripherie auf beiden Seiten des Entnahmeschlitzes zur Mitte gefördert (Bild 1). Die Schnecke ist auf der einen Seite rechtsgängig und auf der anderen Seite linksgängig.



zugsvarianten verringern gegenüber dem Ist-Stand (Variante 0)

- die Brückenbildung um 80 bis 100 % und
- den mittleren Variationskoeffizienten um 50 bis 80 %

sowie erhöhen

- den Preis um 10 bis 30 %,
- den Stahlaufwand um 5 bis 15 % und
- den Energieaufwand um 1 bis 80 %.

Funktionell werden die besten Ergebnisse mit dem Keiltrichter (Variante 6) erzielt. Er erfordert jedoch gegenüber der Variante 0 einen um etwa 30 % höheren Preis. Der Stahlaufwand ist etwa 15 % höher. Außerdem ist die Eignung für Rekonstruktionsmaßnahmen geringer als beim Installieren eines höhenverstellbaren Einbaus (Varianten 4a und 4d). Variante 4d erhält gegenüber Variante 4a den Vorzug, weil die Brückenbildungsrate niedriger ist, und wird deshalb der Praxis empfohlen.

7. Zusammenfassung

Am Beispiel des Schweinemastfutters S II wird die Lagerung von Trockenmischfutter in Be-

hältern untersucht. Als Beurteilungskriterien gelten vor allem die Verringerung von Brückenbildung und Entmischung. Die besten Ergebnisse sind mit einem Keiltrichter oder durch die Umstellung von pneumatischer auf mechanische Befüllung zu erreichen. Beide Varianten können jedoch aufgrund der relativ hohen ökonomischen und energetischen Aufwendungen für die Praxis nicht empfohlen werden. Den Vorzug erhält deshalb die Nachrüstung mit einem höhenverstellbaren Einbauelement.

Literatur

[1] Fürll, C.: Grundlagen für die Berechnung von Auslaufquerschnitten zur Entnahme landwirtschaftlicher Güter aus Behältern. *Wiss. Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock* 25 (1976) H. 4, S. 457—463.

- [2] Schubert, G.: Gestaltung und Dimensionierung der Bunker und Silos auf der Grundlage der Schüttguteigenschaften. Vortrag zum Berg- und Hüttenmännischen Tag der Bergakademie Freiberg 1979.
- [3] Larsson, K.: Lagring av kraftfoder (Lagerung von Kraftfutter). *Jordbrukstekniska institutet Uppsala* (1975) Mitteilung Nr. 362.
- [4] Fürll, C.: Lagerung von Trockenfutter in Hallen und Behältern. *agrartechnik* 26 (1976) H. 11, S. 523—525.
- [5] Scholz, V.: Grundlagen zur geometrischen Anordnung starrer Einbauten in Schüttgutbehältern. *agrartechnik* 30 (1980) H. 4, S. 163—166.
- [6] Johanson, J. R.: The use of flow-corrective inserts in bins (Die Benutzung fließverbessernder Einbauten in Behältern). *Journal Engineering Industry* 88 (1966) H. 2, S. 224—230.
- [7] Fürll, C.: Einfluß des Abriebanteils von kompaktiertem Trockenfutter auf die Gestaltung von Lagerbehältern. *agrartechnik* 28 (1978) H. 5, S. 200—203.
- [8] Gatzky, D.: Modifizierte Schneckenförderer zum Dosieren und Entnehmen von Trockenfuttermitteln aus Behältern. *agrartechnik* 31 (1981) H. 8, S. 359—362.

A 3021

Zusatzeinrichtungen für die Lagerung von Trockengrobfutterpellets in Behältern

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

1. Problemstellung

In der DDR haben sich in den letzten Jahren die Kapazitäten für das Pelletieren von Trockengrünut und Stroh-Konzentrat-Gemischen beträchtlich erhöht. Die Vorteile von pelletiertem Futter ergeben sich durch höhere tierische Leistungen und durch die niedrigeren Aufwendungen bei den Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen. Die Erhöhung der Effektivität stellt sich bei Lager- und Dosierprozessen jedoch nur dann ein, wenn Trockengrobfutterpellets die Eigenschaften eines möglichst frei fließenden Schüttgutes aufweisen. Hierzu gehört, daß man zur Zwischenlagerung an Tierproduktionsanlagen die Behälter benutzen kann, die für loses und pelletiertes Mischfutter verwendet werden. Die Hauptforderung ist dabei das störungsfreie Ausfließen der Pellets aus den Behältern. Läßt sich das nicht realisieren, müssen für das Zwischenlagern und Dosieren Annahmedosierer vorgesehen werden, die jedoch wesentlich höhere spezifische Aufwendungen erfordern.

2. Stand der Forschung

Ökonomisch optimale Behälterkonstruktionen erhält man, wenn die Fließeigenschaften der Pellets eine punktförmige Entnahme im Gravitationsfluß ermöglichen. Die Fließfähigkeit vermindert sich vor allem durch zunehmenden Abriebanteil und hohe Feuchtigkeitsgehalte. Die Grenze des Abriebanteils, bis zu der die Fließfähigkeit erhalten bleibt, wurde in früheren Untersuchungen theoretisch begründet [1]. Sie ist eine Funktion der Schüttdichte von ab-

riebfreien Pellets, der Pelletdichte und der Schüttdichte des Abriebs. Weiterhin wurde durch Ausfließversuche aus einem Modellbehälter festgestellt, daß bei einem Abriebanteil über 8 % die Behälteraktivität deutlich abnimmt und der Schüttwinkel progressiv ansteigt [2, 3]. Eldelind [4] fordert für den Feuchtigkeitsgehalt 12 % und für den Abriebanteil 10 % als zulässige Grenzen.

Für die Dimensionierung von Behältern zur kurzzeitigen Lagerung von Pellets mit einem Durchmesser von 8 bis 16 mm empfiehlt Eldelind [4] pyramidenstumpfförmige Auslauftrichter mit Wandneigungen von 45° zur Vertikalen und Seitenlängen der quadratischen Öffnung von > 300 mm. Bei Trockengrünutbriketts mit Durchmessern bis zu 16 mm sollten Seitenlängen > 350 mm vorgesehen werden. Als Wandneigungen sind Werte < 30° zur Vertikalen notwendig; wobei es vorteilhaft ist, wenn mindestens eine Wand senkrecht verläuft. Für längerfristige Lagerzeiten müssen die Seitenlängen quadratischer Öffnungen ≥ 1000 mm sein.

3. Zielstellung für experimentelle Untersuchungen

Durch experimentelle Untersuchungen am technischen Original sind folgende Probleme zu klären:

- Bestimmung der Grenzwerte von Feuchtigkeitsgehalt, Abriebanteil und Lagerungsdauer, bei denen ein störungsfreies Ausfließen ohne Zusatzeinrichtungen in den Behältern erfolgt

- Untersuchung von aktiv und passiv arbeitenden Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung des Ausfließens.

Störungsfreies Ausfließen liegt vor, wenn die technische Verfügbarkeit ≥ 98 % beträgt.

4. Versuche

4.1. Eigenschaften der verwendeten Pellets

Als Versuchsgut wurden hauptsächlich Stroh-Konzentrat-Pellets mit einem mittleren Strohanteil von 33 % verwendet. Sie haben folgende mechanische Eigenschaften:

Pelletedurchmesser	14 mm
Feuchtigkeit	10,9 bis 14,0 %
Abriebanteil	14,3 bis 39,2 %
Schüttdichte	396 bis 478 kg/m ³
radiale Druckfestigkeit	18,0 bis 23,2 N/cm ² .

Die Werte für Feuchtigkeit und radiale Druckfestigkeit liegen innerhalb der in den agrotechnischen Forderungen angegebenen Grenzen. Der gemessene Abriebanteil ist dagegen zu hoch.

4.2. Technische Lösungsvarianten

Alle experimentellen Untersuchungen wurden am Mischfuttersilo T 721 sowohl ohne als auch mit Zusatzeinrichtungen durchgeführt. Folgende Lösungsvarianten kamen zur Anwendung (Bild 1):

- Variante 0: Mischfuttersilo T 721 ohne Zusatzeinrichtungen