

Verringerung von Entmischungserscheinungen und Futtermittelnverlusten beim Befüllen von Trockenmischfuttersilos

Dr.-Ing. C. Füll, KDT/Dipl.-Ing. M. Swierkowski
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Vor allem beim zentrischen pneumatischen Befüllen von Trockenmischfuttersilos und bei der Entnahme im Kernfluß tritt Entmischung auf. Dies führt infolge von Schwankungen der Schüttdichte zu Ungleichmäßigkeiten beim Dosieren und infolge von unterschiedlichen Zusammensetzungen der Teilchengrößenverteilung zu Störungen durch Brückenbildung bei der Entnahme.

Mit höheren Futtermittelnverlusten in der Abluft ist zu rechnen, wenn das Gut mit der gesamten Förderluft in den Behälter gelangt und die Abluft keinen Filter passiert. Die Folge sind unzulässig hohe Masseanteile in der Abluft. Dies ist sowohl aus Gründen des Umweltschutzes als auch hinsichtlich der Futtermittelökonomie nicht zu vertreten.

2. Stand von Wissenschaft und Technik

Um eine Entmischung handelt es sich dann, wenn die Zusammensetzung des Gutes nach Teilchengrößenverteilung, Schüttdichte und Inhaltsstoffen bei der Entnahme aus dem Behälter gegenüber dem Zustand vor dem Befüllen abweicht. Die Ursachen der Entmischung sind begründet durch die unterschiedlichen Stoffeigenschaften

- realer granulometrischer Zustand (Teilchengrößenverteilung, Abweichungen der Teilchenform von der Kugelgestalt)
- unterschiedliche Stoffdichten sowie durch die Gutbewegung beim Befüllen und Entnehmen:
 - Fällt das Gut mit geringen Impulsen zentrisch auf einen Schüttkegel, vollzieht sich die Entmischung im Gutbett nach Teilchengröße und Teilchenform.
 - Trifft das Gut mit größeren Geschwindigkeiten auf den Schüttkegel, dringen die Teilchen mit großem Impuls in das Gut ein, d. h., daß sich Teilchen mit großer Masse in der Mitte ansammeln.
 - Gelangt die gesamte Förderluft in den Behälter, wird der Luftstrom am Schüttkegel

Fortsetzung von Seite 361

den Bedingungen in der Praxis ist es bei der Aufbereitung von wirtschaftseigenem Getreide zweckmäßiger, die Massedosierung, zum Beispiel mit Behälterwaagen, anzuwenden.

Literatur

- [1] Agrotechnische Forderungen an Anlagen zum Herstellen kompakterer Stroh-Konzentrat-Gemische. FZM Schlieben/Bornim, 1978 (unveröffentlicht).
- [2] Beer, M.: Gamma-Dosierer. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1974 (unveröffentlicht).
- [3] Becker, R., u. a.: Technische Prinziplösung für das Dosieren von Mineral- und Wirkstoffmischungen. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 4, S. 161-163.
- [4] Michaelis, G.: Zur Dosierqualität von Strohhäcksel bei der Trockenfutterproduktion. agrartechnik, Berlin 26 (1976) 11, S. 517-518.

A 3607

abgelenkt. Teilchen mit geringer Sinkgeschwindigkeit werden mitgerissen und lagern sich an der Peripherie des Schüttkegels, d. h. an der Behälterwand, ab [1]. Dieser Vorgang tritt in abgeschwächter Form auch beim mechanischen Befüllen auf.

- Beim Entnehmen kann die Entmischung durch Kernfluß erhöht oder durch Massenfluß gesenkt werden.

Da die Stoffeigenschaften für Trockenmischfutter aus Gründen der Tierernährung kaum in gewünschter Weise beeinflusst werden können, konzentrieren sich die Bemühungen auf das Herstellen von Gutbewegungen, die beim Befüllen und Entnehmen keine oder nur geringe Entmischungen bewirken bzw. sogar zu einer besseren Homogenität führen.

Umfassende Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Befüllmethoden liegen von Larsson [2] vor. Danach stellt sich die geringste Entmischung ein, wenn Luftströmungen und ausgeprägte Schüttkegelbildung im Behälter vermieden werden.

Eine Senkung der Entmischung ist auch durch gezielte Maßnahmen zur Erzeugung von Massenfluß in ursprünglichen Kernflußbehältern zu erreichen [3, 4].

Zur Vermeidung von Masseverlusten in der Abluft können prinzipiell 2 Methoden angewendet werden [5, 6, 7]:

- Filtern der Abluft
- Trennen von Gut und Luft mit Hilfe von Zyklonen vor dem Eintritt in den Behälter und, wenn erforderlich, Filtern der Abluft.

3. Ziel- und Aufgabenstellung

Durch technische Lösungen für das Befüllen von Trockenmischfuttersilos ist zu erreichen, daß die Standardabweichungen der Schüttdichte, des Kornmasseanteils H_3 ($< 0,5$ mm) und der Inhaltsstoffe des entnommenen Gutes s_E zum angelieferten Gut vor dem Füllen s_F ein Verhältnis von $s_E/s_F \leq 1,1$ haben. Dieses Ergebnis bestimmt den wissenschaftlich-technischen Höchststand.

Die Masseanteile in der Abluft dürfen 500 mg/m^3 Abluft nicht überschreiten.

4. Lösungsvarianten und Versuchsprogramm

Die überwiegende Anzahl der Trockenmischfuttersilos ist einzeln aufgestellt, so daß aus Investitionsgründen das Befüllen durch pneumatische Förderung erfolgt. Daher konzentrieren sich die Untersuchungen auf diesen Befüllvorgang.

Aus Voruntersuchungen ergaben sich für weitergehende Messungen folgende Lösungsvarianten [8]:

- Trennen von Gut und Förderluft: Zyklon mit Abschirmkegel (Bild 1)
- Fördern des Gutes in den Behälter:

Variante 0: zentrisch, pneumatisch (Bild 2)

Variante 1: zentrisch, pneumatisch über Zyklon mit Abschirmkegel und Wellenbinder (Bild 1)

Variante 2: zentrisch, pneumatisch über Zyklon mit Abschirmkegel und Einfüllrohr (Bild 3)

Variante 3: zentrisch, pneumatisch über Zyklon mit Abschirmkegel und Zweiseitenkippsbehälter (Bild 4)

Variante 4: zentrisch, mechanisch.

Das Versuchsgut bei den Lösungsvarianten 0 bis 3 war Legehennenfutter. Die Variante 4 enthielt Ergebnisse früherer Untersuchungen und diente hier lediglich zur Gegenüberstellung. Das Versuchsgut war Schweinemastfutter.

5. Versuchsmethode und Auswertung der Meßergebnisse

Das Befüllen erfolgt bei den Versuchsvarianten 0 bis 3 pneumatisch mit Hilfe des Mischfutterfahrzeugs und des dazugehörigen Kreiskolbengebläses. Die eingefüllte Masse im Silo T 721 beträgt durchschnittlich 50 t. Die Probenahme erfolgt beim Befüllen aus der Rohrleitung hinter dem Mischfutterfahrzeug vor der Steigleitung, die zum Silodach führt, und nach dem Abwurf aus dem Zyklon sowie bei der Entnahme nach der Austragschnecke.

Aus Gründen einer exakten Vergleichbarkeit ist die Anzahl der Proben beim Befüllen und Entnehmen gleich. Sie beträgt 1 Probe/t, d. h. durchschnittlich 50 Proben je Silo.

Zur Beurteilung der Homogenität des Mineralstoffgehalts wird dieser vor dem Mischen der Komponenten im Mischfutterwerk radioaktiv markiert [9]. Als Meßgröße dient die Zählrate.

Die Kennzeichnung des Mischungszustands für die Kenngrößen Schüttdichte, Kornmasseanteil H_3 ($< 0,5$ mm) und Zählrate, die dem Mineralstoffgehalt entspricht, wird durch das Bestimmen der statistischen Kennzahlen Maximalwert, Minimalwert, Mittelwert, maximale Abweichung vom Mittelwert, relative maximale Abweichung vom Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient sowie Stationaritätsverhalten vorgenommen.

Die Masseanteile in der Abluft wurden nach Standard TGL 31368 (Staubabscheider, Prüfverfahren) mit einem Emissionsstaubmeßgerät von der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim ermittelt [10].

6. Ergebnisse

6.1. Zentrisches pneumatisches Befüllen (Variante 0)

Das zentrische pneumatische Befüllen führt zu einer ausgeprägten Entmischung nach der Teilchengröße über dem Silodurchmesser (Bild 5). Unmittelbar an der Behälterwand lagern sich infolge der Luftströmungen sehr feine Teilchen ab [H_3 ($< 0,5$ mm) = 100 %]. Im Abstand von 0,20 m bis 1,10 m ist der Kornmasseanteil H_3 ($< 0,5$ mm) mit 25 % bis 40 % am kleinsten. Zwischen 1,10 m und 2,10 m liegt der Kornmasseanteil H_3 ($< 0,5$ mm) mit etwa 80 % deutlich über dem Mittelwert. Beide Ergebnisse sind hauptsächlich auf eine Entmischung nach

Teilchengröße und Teilchenform bei der Bildung des Schüttkegels zurückzuführen. Unmittelbar im Silozentrum nimmt der Kornmasseanteil $H_3 (< 0,5 \text{ mm})$ wieder ab, ohne jedoch die Werte für den Schüttkegelrand zu erreichen. Dies deutet auf eine Entmischung nach der Teilchenmasse, d. h., daß schwere Teilchen durch ihren Impuls im Zentrum des Schüttkegels in das Gutbett eindringen und dort verbleiben.

Der Schüttdichteverlauf hat im Bereich des Wandabstands $\geq 1,00 \text{ m}$ einen nahezu gleichmäßigen Verlauf. Am Behälterrand sind die Schüttdichtewerte jedoch geringer (Bild 6).

Da der Mischfuttersilo T.721 im Kernfluß ausfließt, wird die beim Befüllen entstandene Entmischung durch die Entnahme nicht reduziert. Obwohl der Verlauf des Kornmasseanteils $H_3 (< 0,5 \text{ mm})$ bei der Entnahme auch als stationär ausgewiesen wird (Tafel 1), ist die hohe Zunahme von etwa 65 % am Schluß der Entleerung charakteristisch. Dies führt in der Praxis sehr häufig zu Störungen durch Brückenbildung. Der Schüttdichteverlauf hat eine deutlich fallende Tendenz (Bild 7). Dies ist auf das mit fortschreitender Entleerung zunehmende Ausfließen von Randzonen zurückzuführen, die eine geringere Schüttdichte aufweisen. Das Verhältnis der Standardabweichungen hat sich deutlich erhöht (Tafel 1).

6.2. Zentrisches pneumatisches Befüllen über Zyklon mit Abschirmkegel und Wellenbinder (Variante 1)

Ziel der Dimensionierung von Fliehkraftabscheidern ist eine nahezu 100%ige Trennung von Gut und Luft bei vertretbaren Druckverlusten. Grundlage hierfür sind die Empfehlungen von Krambrock [5], Leineweber und Barth [6] sowie Muschelknautz [7].

Ausgewählt wurde eine gedrungene Bauart mit großem Durchmesser nach der Optimalzyklonkurve von Krambrock [5] (Bild 1). Charakteristisch ist die geringe Einlaufgeschwindigkeit von rd. 10 m/s im Schlitzeinlauf. Dadurch wird bei der hohen Gutbeladung von $\mu > 14$ ein hoher Gesamtabscheidegrad durch Strahlenbildung erzielt, obwohl die theoretische Grenzteilchengröße mit $x_{gr} \approx 40 \mu\text{m}$ relativ hoch liegt. Außerdem kann bei dieser Zyklonbauart durch die geringe Wandreibung mit einer höheren Le-

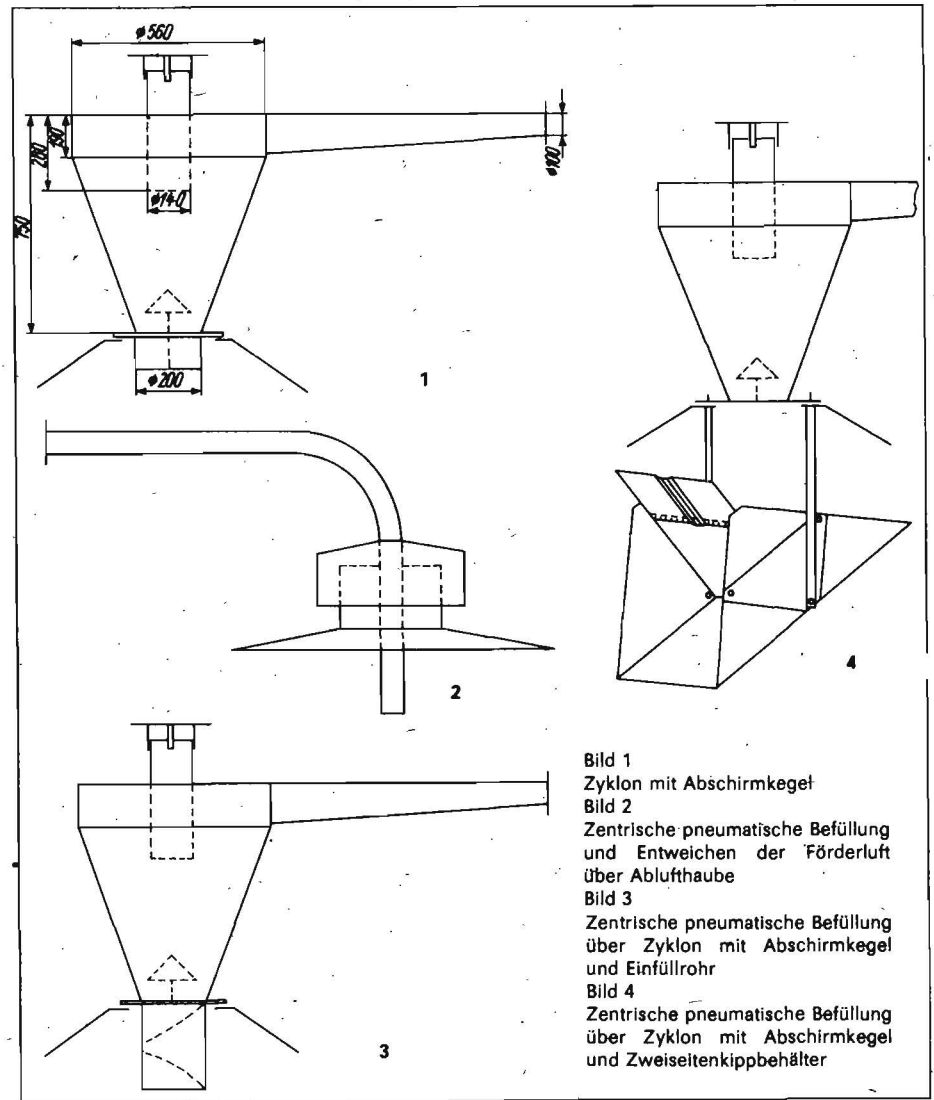


Bild 1
Zyklon mit Abschirmkegel
Bild 2
Zentrische pneumatische Befüllung und Entweichen der Förderluft über Ablufthaube
Bild 3
Zentrische pneumatische Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Einfüllrohr
Bild 4
Zentrische pneumatische Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Zweiseitenkipbehälter

bensdauer gerechnet werden. Um das Entweichen von bereits abgeschiedenem Material durch das Tauchrohr zu vermeiden, muß zum Abstützen des Wirbelkerns vor der Ausstragöffnung ein Abschirmkegel vorgesehen werden. Zum Abbau der Drallbewegung, mit der das Gut aus dem Zyklon austritt, dient der Wellenbinder. Dadurch soll ein Gutabwurf erzielt werden, der dem Abwurf von mechanischen Förderern nahekommt.

Der Kornmasseanteil $H_3 (< 0,5 \text{ mm})$ variiert beim Befüllen nur gering zwischen 40 und 50 %. Der Variationskoeffizient beträgt 12 %. Bei der Entnahme wird durch den statistischen Test stationäres Verhalten ausgewiesen. Jedoch ist wiederum unmittelbar vor dem Entnahmeende ein Anstieg auf 59 % zu verzeichnen, der aber geringer als bei Variante 0 ist. Der Variationskoeffizient erhöht sich auf 21 %. Der Verlauf der Schüttdichte

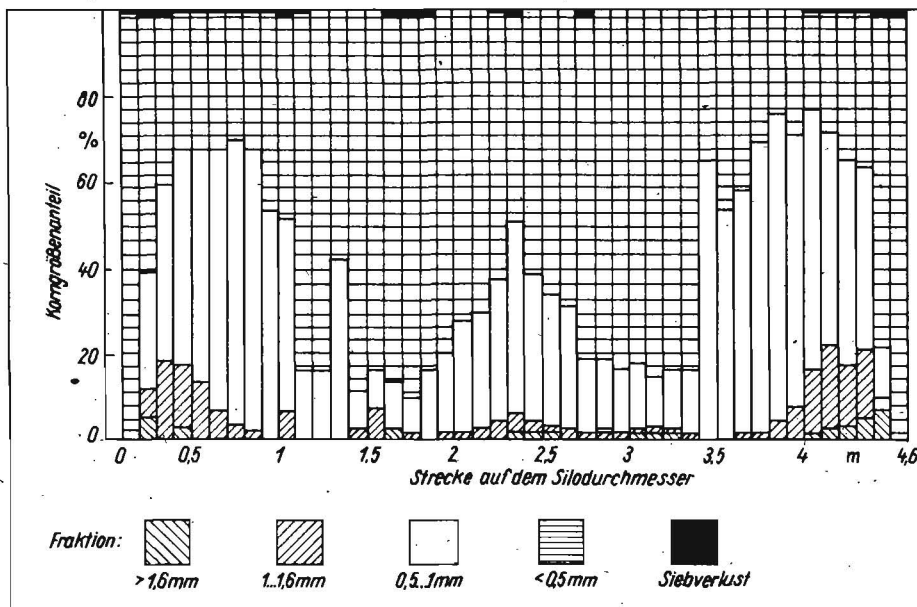
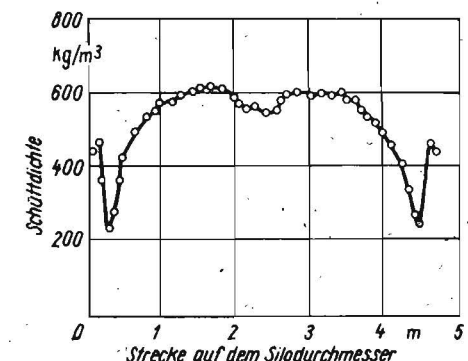


Bild 5. Teilchengrößenverteilung über dem Silodurchmesser bei zentrischer pneumatischer Befüllung

Bild 6. Schüttdichte über dem Silodurchmesser bei zentrischer pneumatischer Befüllung



Tafel 1. Homogenität von Trockenmischfutter beim Füllen und Entleeren des Mischfuttersilos T 721

Fördervorgang	Zusatz-einrichtung	Variante Nr.	Kenngrößen	Befüllen		Stationaritäts-verhalten	Entleeren		Stationaritäts-verhalten	$\frac{s_E}{s_F}$	
				s	v %		s	v %			
pneumatisch	Ablufthaube	0	Schüttdichte	kg/m ³	13,0	2,1	stationär	35,0	5,7	fallend	2,69
			Kornmasse H ₃ (< 0,5 mm)	%	5,1	11,4	stationär	7,9	16,8	stationär	1,54
			Zählrate (prop. Mineralstoffgehalt)		239,0	10,6	n. g. ¹⁾	449,0	19,8	n. g.	1,87
pneumatisch	Zyklon mit Abschirmkegel und Wellenbinder	1	Schüttdichte	kg/m ³	31,0	5,1	stationär	38,0	6,2	fallend	1,22
			Kornmasse H ₃ (< 0,5 mm)	%	5,0	12,0	stationär	9,1	21,0	stationär	1,85
pneumatisch	Zyklon mit Abschirmkegel und Einfüllrohr	2	Schüttdichte	kg/m ³	25,0	4,1	stationär	22,0	3,7	fallend	0,88
			Kornmasse H ₃ (< 0,5 mm)	%	5,5	14,1	stationär	3,4	8,1	stationär	0,61
pneumatisch	Zyklon mit Abschirmkegel und Zweiseitenkippbehälter	3	Schüttdichte	kg/m ³	15,9	3,7	fallend	12,8	2,7	stationär	0,80
			Kornmasse H ₃ (< 0,5 mm)	%	n. g.	n. g.	stationär	5,1	11,1	stationär	n. g.
			Zählrate (prop. Mineralstoffgehalt)		116,0	18,7	n. g.	75,0	12,0	n. g.	0,65
mechanisch	Schnecke	4	Schüttdichte	kg/m ³	48,7	9,7	n. g.	20,9	4,0	n. g.	0,41
			Kornmasse H ₃ (< 0,5 mm)	%	4,5	5,9	n. g.	3,8	4,9	n. g.	0,83
			Rohproteingehalt	%	0,4	2,4	n. g.	0,4	2,5	n. g.	1,04
			Rohaschegehalt	%	0,2	4,8	n. g.	0,4	8,7	n. g.	1,81

1) n. g. = nicht gemessen

hat mit zunehmender Entnahmedauer eine fallende Tendenz. Etwa bei den letzten 25 % der Gutmasse sinkt die Schüttdichte von 650 kg/m³ auf 550 kg/m³ (Bild 8). Der Variationskoeffizient wird allerdings nur geringfügig von 5,1 % auf 6,2 % größer.

6.3. Zentrisches und pneumatisches Befüllen über Zyklon mit Abschirmkegel und Einfüllrohr (Variante 2)

Durch das Einfüllrohr unterhalb des Zyklons soll eine Bündelung des Schüttgutstroms erzielt werden. Der Verlauf des Kornmassean-

teils H₃ (< 0,5 mm) ist während der Entnahme stationär und variiert geringer als beim Befüllen. Das Verhältnis der Standardabweichungen s_E/s_F beträgt 0,61 (Tafel 1).

Der Schüttdichteverlauf hat jedoch noch eine fallende Tendenz, obwohl der Variationskoeffizient von 4,1 % auf 3,7 % gesunken ist und das Verhältnis der Standardabweichungen $s_E/s_F = 0,88$ beträgt (Bild 9, Tafel 1).

6.4. Zentrisches pneumatisches Befüllen über Zyklon mit Wellenbinder und Zweiseitenkippbehälter (Variante 3)

Der Zweiseitenkippbehälter ist kinematisch so gestaltet, daß die beiden Kammern wechselweise befüllt und durch Kippen um den Drehpunkt entleert werden. Durch diesen mechanischen Abwurf nach zwei Seiten entsteht im unteren Teil des Silos eine Sattelfläche, im oberen Teil bilden sich zwei Schüttdichtebündel. So kommt es auf der Schüttgutoberfläche im Behälter zu keiner nennenswerten Entmischung. Dies führt bei der Entnahme dazu, daß der Kornmasseanteil H₃ (< 0,5 mm) ein ausgeprägtes stationäres Verhalten aufweist, und daß der Wert von 50 % nur geringfügig überschritten wird.

Der Verlauf der Schüttdichte ist im Unterschied zu allen anderen Varianten stationär (Bild 10). Standardabweichung und Variationskoeffizient sind mit 12,8 kg/m³ bzw. 2,7 % am geringsten, auch gegenüber dem mechanischen Befüllen (Variante 4) (Tafel 1). Das Verhältnis der Standardabweichungen $s_E/s_F = 0,80$ drückt aus, daß das Gut bei der Entnahme eine gleichmäßigere Schüttdichte als beim Befüllen hat.

Auch die Standardabweichung der Zählrate, die den Mineralstoffgehalt kennzeichnet, ist bei der Entnahme wesentlich geringer als beim Befüllen (Tafel 1).

6.5. Masseverluste in der Abluft

Die gemessenen Massekonzentrationen je m³ Abluft betragen bei Verwendung des Zyklons (Bild 1) und der Gutart Legehennenfutter 0,03 bis 0,82 g/m³ gegenüber 2,63 bis

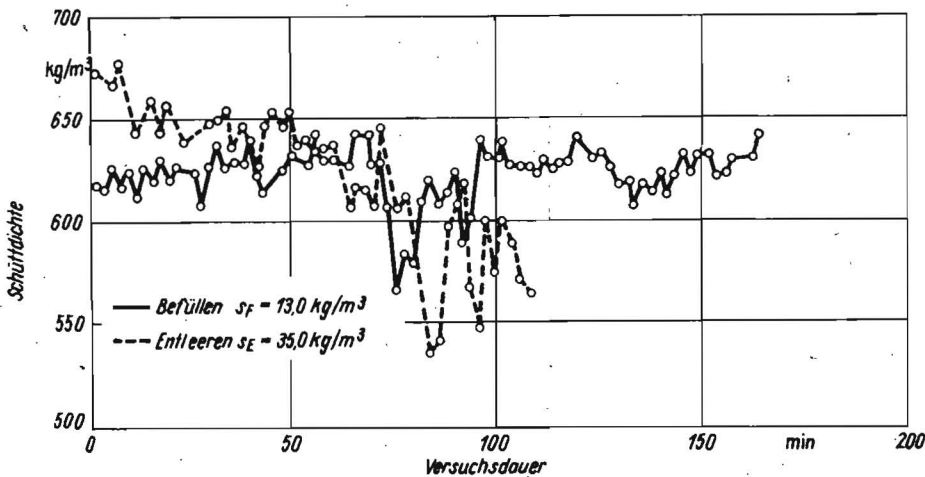


Bild 7. Schüttdichte in Abhängigkeit von der Befüll- und Entnahmedauer bei zentrischer pneumatischer Befüllung (Variante 0)

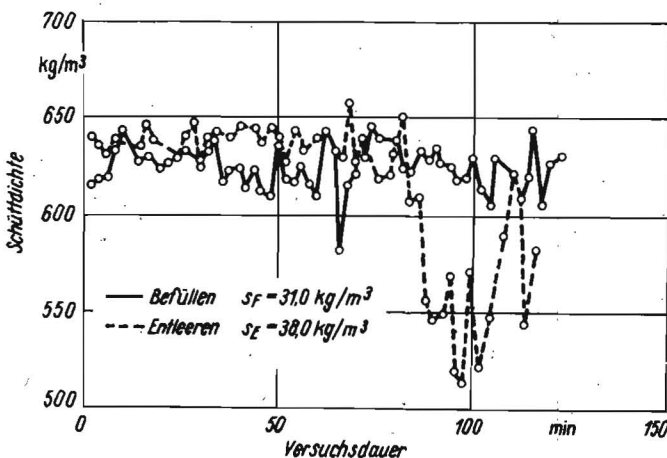


Bild 8. Schüttdichte in Abhängigkeit von der Befüll- und Entnahmedauer bei zentrischer pneumatischer Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Wellenbinder (Variante 1)

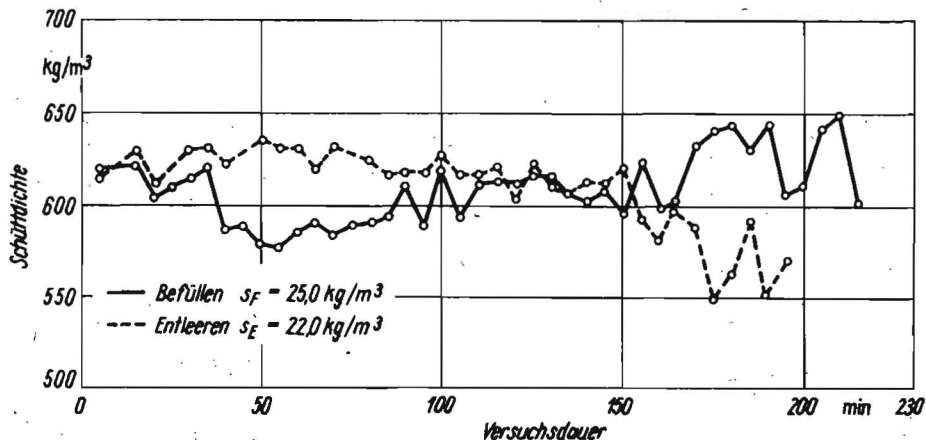


Bild 9. Schüttdichte in Abhängigkeit von der Befüll- und Entnahmedauer bei zentrischer pneumatischer Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Einlaufrohr (Variante 2)

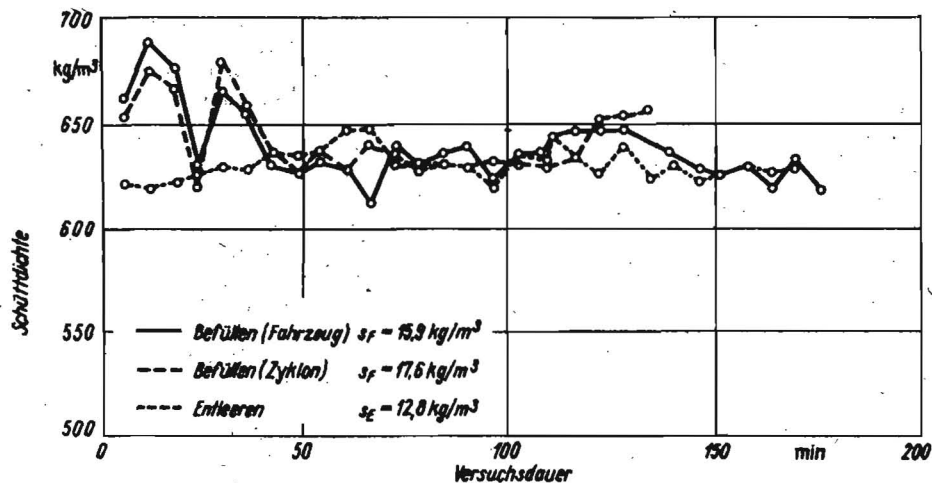


Bild 10. Schüttdichte in Abhängigkeit von der Befüll- und Entnahmedauer bei zentrischer pneumatischer Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Zweiseitenkipbehälter (Variante 3)

11,5 g/m³ bei zentrischer pneumatischer Befüllung und Entweichen der Abluft über eine Ablufthaube (Bild 2). Dies entspricht einer Verringerung auf 1:10 bis 1:13 [10].

7. Schlußfolgerungen

Bei einem Vergleich der Ergebnisse ist festzustellen, daß bei der Variante 3 (Zyklon mit

Zweiseitenkipbehälter) die Standardabweichung der Schüttdichte beim Entleeren mit $s_E \approx 12,8 \text{ kg/m}^3$ mit Abstand am geringsten ist. Ferner ist nur bei dieser Variante der Schüttdichteverlauf stationär und kein übermäßiges Ansteigen des Kornmasseanteils $H_3 (< 0,5 \text{ mm})$ unmittelbar vor dem Ende der Entnahme vorhanden. Das Verhältnis der

Standardabweichungen s_E/s_F ist auch beim Mineralstoffgehalt $s_E/s_F < 1$, d. h. die Homogenität wird durch den Lagerprozeß besser. Die Zielstellung wird damit deutlich übertroffen. Die Ergebnisse sind ebenfalls besser als die von Larsson [2] mit ökonomisch realisierbaren Lösungen gewonnenen. Die Futterverluste werden durch Verwendung des dimensionierten Zyklons (Bild 1) bei der Gutart Legehennenfutter auf 1:10 bis 1:13 reduziert.

Literatur

- [1] Schicker, A.: Betrachtungen zur Loselagerung der nicht frei fließenden Produkte in der Futtermittelindustrie. *Aufbereitungs-Techn.*, Wiesbaden 6 (1965) 2, S. 57-60.
- [2] Larsson, K.: Lagring av kraftfoder (Lagerung von Kraftfutter). *Jordbrukstechniska institut, Mitteilg. Nr. 362*, Uppsala: Verlag Almqvist und Wikse 1976.
- [3] Fűrıl, C.; Scholz, V.: Lagerung von Trockenmischfutter in Behältern. *agrartechnik*, Berlin 31 (1981) 8, S. 353-357.
- [4] Hoppe, H.: Schüttgutgerechte Silolagerung und -dimensionierung. *Die Mühle + Mischfütterttechnik*, Detmold 116 (1979) 6, S. 65-68.
- [5] Krambrock, W.: Die Berechnung des Zyklonabscheiders und praktische Gesichtspunkte zur Auslegung. *Aufbereitungs-Techn.*, Wiesbaden 12 (1971) 7, S. 391-401 und 12 (1971) 10, S. 643-649.
- [6] Leineweber, L.; Barth, W.: Beurteilung und Auslegung von Zyklonabscheidern. *Staub - Reinhaltung der Luft*, Düsseldorf 24 (1964) 2, S. 41-55.
- [7] Muschelknautz, E.: Auslegung von Zyklonabscheidern in der technischen Praxis. *Staub - Reinhaltung der Luft*, Düsseldorf 30 (1979) 5, S. 187-195.
- [8] Möbius, M.: Entmischungsvorgänge beim Befüllen von Silos. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar/FZM Schlieben/Bornim, Diplomarbeit 1982 (unveröffentlicht).
- [9] Klich, W.: Entmischungsuntersuchungen an Mischfüttersilos T 721. FZM Schlieben/Bornim, Versuchsbericht 1982 (unveröffentlicht).
- [10] Mehlmann, D.: Meßbericht der Emissionsstaubmessungen am Mischfüttersilo T 721. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim 1982 (unveröffentlicht).

A 3675

Informationsverarbeitung für Ingenieure

Von Doz.-Ing. Ulrich Schnabel, Prof. Dr. rer. nat. habil. Günter Bräuning und Prof. Dr. paed. Hans Heinold.
VEB VERLAG TECHNIK.
312 Seiten, 187 Bilder, 27 Tafeln, Leinen, 23,50 M, Ausland 30,- M. Auslieferung durch den Fachbuchhandel.
Bestellangaben: 553 095 3/Schnabel, Information.

Aus dem Inhalt: Einführung · Aufbau und Funktion einer EDVA · Erarbeitung von Algorithmenbeschreibungen zur Lösung von Problemklassen · Ausführung von Programmen auf einer EDVA. Mit Übungsaufgaben und Lösungen.