

# Technische Maßnahmen zur Vermeidung von Entmischungen in Silos

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

## 1. Problemanalyse

Während der Einlagerung und Entleerung von Schüttgütern in Bunkeranlagen treten unerwünschte Klassier- und Sortiereffekte auf, die sich meist als Korngrößenentmischung bzw. Entmischung nach der Dichte äußern. Sie können erhebliche Schwankungen und Veränderungen in der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe des Schüttgutes verursachen.

Entmischung liegt vor, wenn die Anordnung der Einzelteilchen in einer bestimmten Volumeneinheit eines Schüttgutes nicht mehr dem Zustand der Homogenität entspricht, d. h. die Standardabweichung der Korngrößenverteilung und die Schüttdichte der Inhaltsstoffe bei der Entnahme aus den Behältern gegenüber dem Füllzustand vergrößert ist.

Aus der Sicht der Tierernährung ist die Entmischung von Fertigfutter zu vermeiden, die Forderungen sind allerdings nicht präzise genug formuliert.

Für Fertigfuttersilos bestand die Aufgabe, den Quotienten der Standardabweichung  $S_{\text{Leeren}}/S_{\text{Füllen}}$  von 1,1 nicht zu überschreiten.

## 2. Stand der Technik

Die Ursachen der Entmischung sind durch die unterschiedlichen Stoffeigenschaften und die Gutbewegungen beim Füllen und Entnehmen begründet.

Bei der Auswertung von Literaturquellen und eigenen Modellversuchen fallen drei wesentliche Entmischungsvorgänge auf:

- Entmischung im separierenden Strömungsfeld  
Gelangt die Förderluft bei pneumatischer Befüllung mit in den Behälter, wird der Luftstrom am Schüttkegel abgelenkt. Teilchen mit geringer Sinkgeschwindigkeit werden mitgerissen und lagern sich an der Peripherie, d. h. an der Behälterwand, ab. Dieser Vorgang tritt auch in abgeschwächter Form bei mechanischer Befüllung auf, wobei der Gutstrom die Luftsäule mitreißt.
- Entmischung auf dem Schütthang  
Fällt das Gut mit gleichen Impulsen zentrisch auf den Schüttkegel, vollzieht sich die Entmischung auf dem Schütthang nach Korngröße und Kornform. Größere und der Kugelgestalt nahe kommende Körner lagern sich an der Peripherie ab. Treffen Teilchen mit unterschiedlichen Impulsen auf den Schüttkegel, dringen diejenigen mit größerem Impuls schneller in den Schüttkegel ein, d. h., daß sich Teilchen mit höherer Dichte nahe dem Zentrum ansammeln.
- Entmischung im Gutbett  
Sind nur geringe Mengen an Feingut im Befüllmaterial enthalten, so daß die Zwischenräume des Grobgutes nicht ausgefüllt werden können, rieselt das Feingut durch die Zwischenräume und lagert sich nahe dem Zentrum ab. Auch durch die Einwirkung von Vibrationen beim Silobetrieb sind Kornumlagerungen möglich, wobei Grobkorn und plattige Teilchen

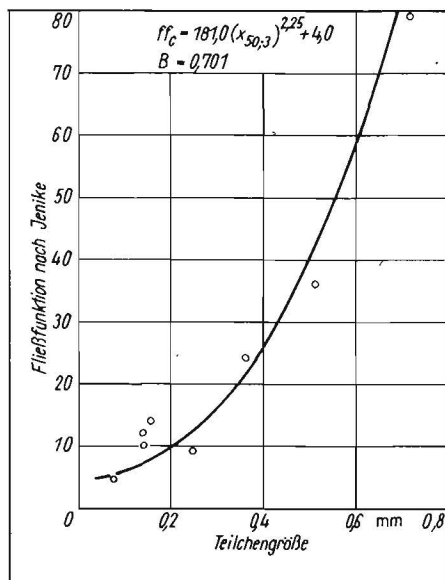


Bild 1. Fließfunktion  $ff_c$  nach Jenike in Abhängigkeit von der Teilchengröße für Schweinemastfutter S I (TS = 88,4%,  $\sigma = 0,08 \dots 0,22$ )

nach oben und Körner mit höherer Dichte nach unten wandern.

Der durch die Befüllung hervorgerufene Mischungszustand im Silo beeinflusst auch das Austragverhalten. Vor allem bei kohäsiven Gütern können durch Entmischung Gutzusammensetzungen auftreten, die zu Störungen beim Silobetrieb führen. Erscheinungen wie unregelmäßiger Fluß, Schacht- und Brückenbildung können weitgehend vermieden werden.

Die endgültige Trennung der Komponenten tritt erst durch den Austrag auf. Die Entnahmerate hat deshalb entscheidenden Einfluß auf den Mischungszustand nach Abzug aus dem Silo.

Im Bild 1 ist die berechnete Fließfunktion nach Jenike in Abhängigkeit von der Teilchengröße für Schweinemastfutter S I nach Füll dargestellt. Mit abnehmender Korngröße ist eine erhebliche Verschlechterung der Fließeigenschaften zu erkennen, die größere Siloaustragöffnungen erfordert.

Die Möglichkeiten, Entmischung durch Veränderung der Schüttguteigenschaften zu verringern, sind meist begrenzt. Angestrebt

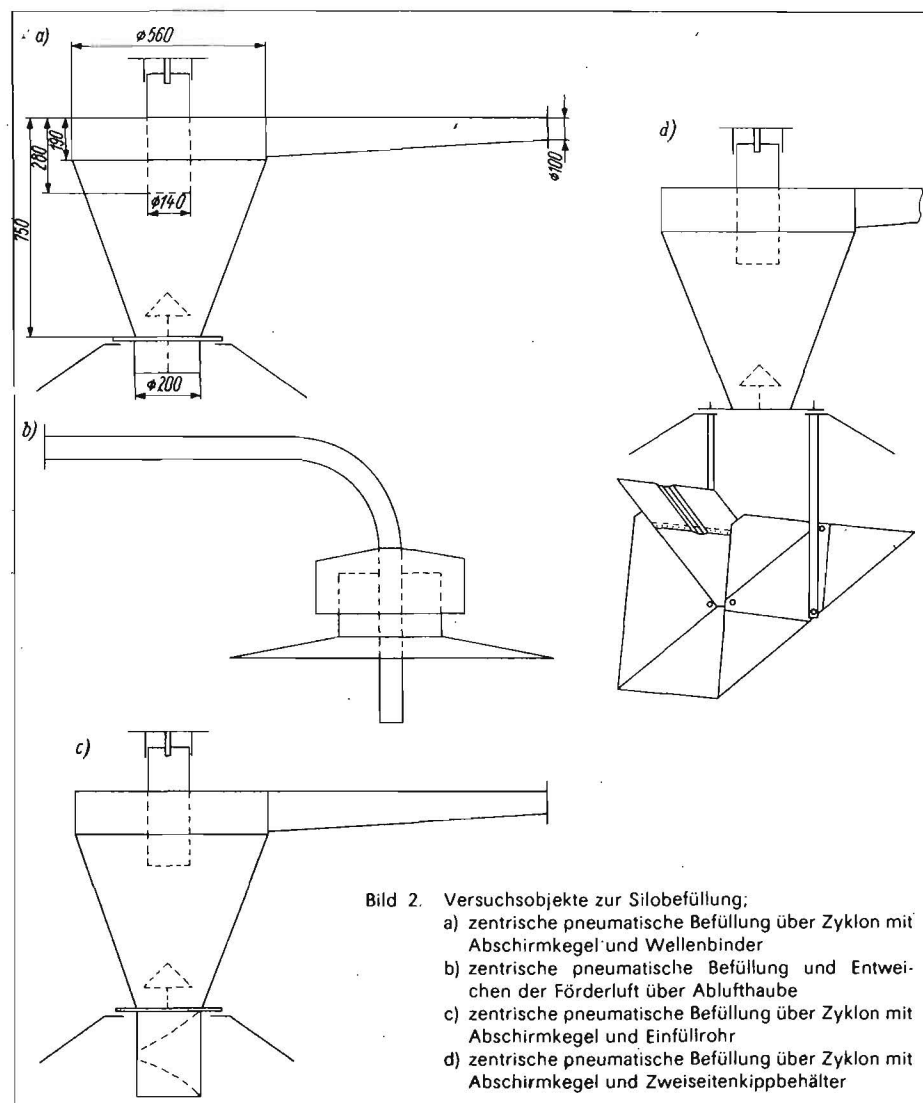


Bild 2. Versuchsobjekte zur Silobefüllung;  
a) zentrische pneumatische Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Wellenbinder  
b) zentrische pneumatische Befüllung und Entweichen der Förderluft über Ablufthaube  
c) zentrische pneumatische Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Einfüllrohr  
d) zentrische pneumatische Befüllung über Zyklon mit Abschirmkegel und Zweiseitenkippschlepper




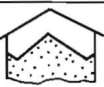



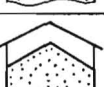

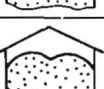
Zusatz-einrichtung	Wirkprinzip	Schüttbild	Kenngrößen	Stationaritäts-verhalten bei Entnahme	Quotienten der Standard-abweichungen	
					$S_{\text{Leeren}}/S_{\text{Rüllen}}$ T 721	G 807
Abluft-haube			Schüttdichte Mineralstoffgehalt (Zählrate)	fallend —	2,69 —	
Abluft-haube	Var. 0 		Schüttdichte Mineralstoffgehalt	fallend —	2,75 1,87	1,10
Zyklon mit Wellenbinder	Var. 1 		Schüttdichte Mineralstoffgehalt	fallend —	1,22 —	1,04
Zyklon mit Einfüllrohr	Var. 2 		Schüttdichte Mineralstoffgehalt	fallend —	0,88 —	1,35
Zyklon mit Zweiseiten-kippbehälter	Var. 3 		Schüttdichte Mineralstoffgehalt	stationär —	0,80 0,65	0,63

Bild 3. Vergleich verschiedener Befüllrichtungen an den Mischfuttersilos T 721 beim Austrag im Kernfluß (Legehennenfutter) und G 807 im teilweisen Massenfluß (Schweinemastfutter S II)

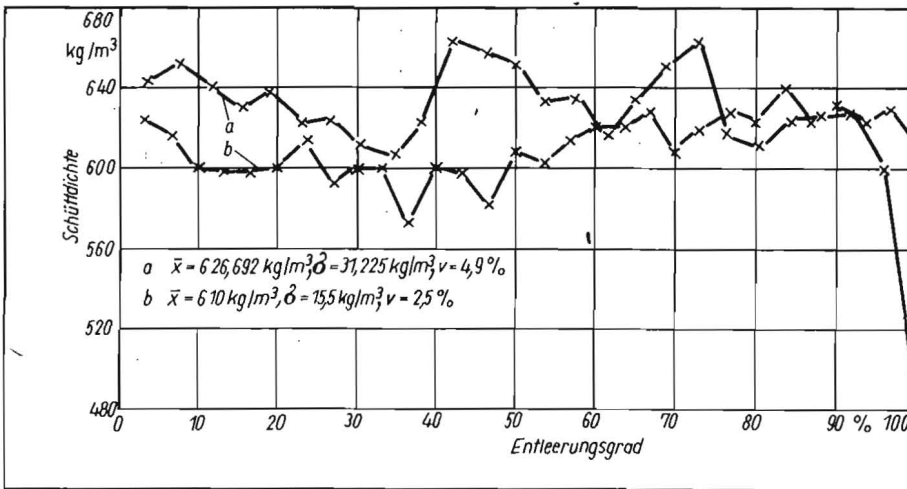


Bild 4. Schüttdichteverlauf bei der Entnahme von Schweinemastfutter S II aus dem Mischfuttersilo G 807; a) zentrische Direkteinblasung über Ablufthaube b) Zyklonbelüftung mit Kippbehälter

werden sollte eine stabile Schüttung, der es unmöglich ist, ein geringeres Energiepotential einzunehmen, wie es z. B. bei monodispersen Gütern der Fall ist. Eine andere Möglichkeit ergibt sich durch die Abstimmung der Silokonstruktion auf das Problem. Daraus läßt sich ableiten, daß eine Entmischung nicht erfolgt, wenn dafür gesorgt wird, daß sich alle Einzelteilchen eines Schüttgutes in bezug auf Richtung und Geschwindigkeit einheitlich bewegen. Das setzt aber eine Materialzuführung mit weitgehend eingeschränkter Schüttkegel- und Luftwirbelbildung voraus.

Eine praktische Möglichkeit ist die chargenweise Befüllung unter Bildung von ein oder mehreren Schüttkegeln bzw. Schüttringen. Das Material dringt gut zusammengehalten in den Schüttkegel ein und drückt ihn auseinander. Die Beweglichkeit des Einzelkorns ist dabei erheblich eingeschränkt.

### 3. Versuchsmethode und Ergebnisse

Die als Vorzugsvarianten ausgewählten technischen Lösungen sind in Praxisanlagen erfolgreich untersucht worden. Das Bild 2 veranschaulicht die Versuchsobjekte. Im Unterschied zur bisher üblichen Ablufthaube trennt der Befüllzyklon die Förderluft vom

Gutstrom mit nur geringfügiger Mehrbelastung des Fördergebläses.

Je nach Siloart und Futter werden die Emissionsverluste auf etwa 0,005% bis 0,15% gesenkt. Das bedeutet 0,1 bis 2,25 kg je Silofüllung mit 15 t Futter. Nähere Angaben sind [1] zu entnehmen. Die Versuchsergebnisse werden anhand der Mischfuttersilos T 721 und G 807 mit 120 m<sup>3</sup> bzw. 25 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen im Bild 3 vorgestellt. Die Befüllung erfolgte im T 721 mit rd. 60 m<sup>3</sup> Legehennenfutter und im G 807 mit rd. 15 m<sup>3</sup> Schweinemastfutter S II über Original-Futtertransporter. Die Kennzeichnung des Mischungszustands für die Kenngrößen Schüttdichte und Mineralstoffgehalt wird durch die statistischen Kennzahlen Maximalwert, Minimalwert, Mittelwert, Standardabweichung sowie Stationaritätsverhalten vorgenommen. Der Mineralstoffgehalt wurde mit Hilfe der Markierung durch radioaktive Isotope gemessen. Die Probenahme erfolgte in konstanten Zeitabständen vor und nach dem Silo, so daß zur Auswertung je Silofüllung und Meßstelle rd. 40 bis 50 Proben mit je 1 kg vorlagen.

Bei der zentrischen Direkteinblasung über Ablufthaube tritt – hervorgerufen durch ausgeprägte Schüttkegel- und Luftwirbelbildung

– in beiden Silos Entmischung auf, wie aus den Werten des mittleren Quotienten der Standardabweichungen zu erkennen ist. Werte über 1 bedeuten eine Verschlechterung der Homogenität. Durch den Einsatz eines Befüllzyklons wird der Entmischung weitgehend entgegengewirkt. Besonders hervorzuheben ist der Einfluß der Abwurfbahn aus dem Zyklon, die mittige oder außermittige Silobefüllung hervorruft. Für das T 721 ist die mittige und für das G 807 die leicht außermittige Befüllung vorteilhaft. Die Kombination eines Befüllzyklons mit einem Kippbehälter verbessert die Homogenität in beiden Silos erheblich. Bei dieser Variante ist im Unterschied zu den vorherigen stationäres Verhalten ausgewiesen. Das heißt, daß kein tendenzielles Anwachsen oder Abfallen des Entnahmeverlaufs zu beobachten ist. Im Bild 4 ist der typische Schüttdichteverlauf von Schweinemastfutter S II bei Entnahme aus einem Mischfuttersilo G 807 für zentrische Direkteinblasung und Zyklonbefüllung mit Kippbehälter dargestellt. Für den Zyklon mit Kippbehälter ist der Funktionsverlauf ausgeglichen. Bei Verwendung einer Ablufthaube mit zentrischer Direkteinblasung treten starke Schwankungen auf, und es kommt am Austragende zum markanten Abfall des Funktionsverlaufs. Dieser Schüttdichteabfall resultiert aus der Häufung von Feingut, das größere Austragöffnungen erfordert und oft zu Störungen führt.

Eine wesentliche Erkenntnis war, daß Silos in gedrungener Bauform, d. h. mit einem geringen Höhe-Durchmesser-Verhältnis, stärker zur Entmischung neigen, aber auch leichter durch entmischungshemmende Apparate zu beeinflussen sind. Bei sehr schlanken Silos sind signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsobjekten erst nach einigen Wiederholungen sichtbar. Aber auch teilweise im Massenfluß austragende Silos (z. B. G 807) lassen sich durch entmischungshemmende Apparate verbessern.

### 4. Zusammenfassung

Der Mischungszustand in Silos wird charakterisiert und die Entmischungsursachen nach drei Hauptgruppen diskutiert. Ausgehend von der Jenike-Theorie wird auf den Zusammenhang von Entmischung und Silobetriebsstörungen (Brücken- und Schachtbildung) hingewiesen.

Vier entmischungshemmende Befüllmechanismen werden vorgestellt und anhand von Versuchen mit zwei verschiedenen Großsilolanlagen eingeschätzt.

### Literatur

[1] Füll, C.; Swierkowski, M.: Verringerung von Entmischungserscheinungen und Futterverlusten beim Befüllen von Trockenmischfuttersilos. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 8, S. 362–365.

A 4540