

Die mit dem gesamten Komplex der Fütterung im Zusammenhang stehenden Arbeiten nahmen bisher in der Geflügelhaltung den größten Anteil am Gesamtzeitaufwand ein. Mit der Intensivierung der Geflügelproduktion stand deshalb die Mechanisierung bzw. Automatisierung dieses Arbeitsabschnittes im Vordergrund der Betrachtungen. Insbesondere galt es, eine klare Technologie für den gesamten Fütterungsprozeß zu erarbeiten, um die Vielfalt der Fütterungsmethoden zusammenzufassen.

Der erste und wichtigste Schritt in dieser Richtung war der Übergang zur alleinigen Verwendung von Trockenmischfuttermitteln, das in Futtermittelwerken nach wissenschaftlich begründeten Rezepturen industriell hergestellt wird. Für die Verteilung dieses Futters liegen uns heute anpassungsfähige, funktionssichere und automatisch schaltbare Anlagen vor, die den gestellten Forderungen im jeweiligen Einsatzbereich weitgehend nachkommen. Damit ist aber der mit dem Transport und der Zwischenlagerung am Stall verbundene Arbeitsaufwand noch nicht beseitigt. Hier brachte erst die Einführung des losen Futtermitteltransportes und der Lagerung dieses Mischfuttermittels in entsprechenden Silos die entscheidende Wende, die zu einer arbeitswirtschaftlich und ökonomisch optimalen Fütterungstechnologie führte. Neben der beträchtlichen Einsparung an Arbeitskräften kann hierdurch gleichzeitig eine Verbilligung des Futters infolge wegfallender Kosten für Verpackungsmaterial und geringere Transportkosten erzielt werden.

In dieser Fütterungstechnologie kommt nun dem Silo eine besondere Bedeutung zu, da es die teureren Futtermittel ohne Qualitätsminderung aufbewahren und dem jeweiligen Bedarf entsprechend in kleinen Mengen wieder abgeben soll. Diese Aufgabenstellung wurde zunächst nach den bisher bekannten Erfahrungen und Untersuchungsergebnissen an ähnlichen Materialien gelöst. Dabei entstanden eine Reihe von Problemen, die sich aus dem spezifischen Verhalten von Mischfuttermitteln ergeben. Derartige noch ungeklärte Fragen zum Verhalten des Lagergutes während seines Aufenthaltes im Lagerbehälter liegen in noch recht umfangreicher Zahl vor, denn selbst die Berechnung von Großsilos wird nach mehr oder weniger erfahrungsgemäß entwickelten Formeln vorgenommen, da die Silotheorie von JANSSEN für die Druckveränderungen beim Füllen und Entleeren keine eindeutigen Erklärungen geben kann [1]. Handelt es sich speziell um Mischfuttermittel, so werden die greifbaren Unterlagen noch ungenauer.

Zur Klärung einiger Fragen dieses Problemkreises sollte versucht werden, anhand technologischer Parameter von Mischfuttermitteln die Verhaltensweise dieses Lagergutes zu charakterisieren und Anhaltspunkte für die Gestaltung von Futtermittelsilos an Ställen zusammenzufassen.

## Die Verdichtung im Futtermittelstapel

In verschiedenen Meßreihen wurde neben den allgemeinen Daten, wie Rohdichte, Rütteldichte, Reindichte, Feuchtigkeitsgehalt und Reibungsbeiwerte, die Verdichtung im Futtermittelstapel an Modellen untersucht.

Die erstgenannten Messungen stellten eine Kontrolle dar, mit der in der Literatur bekannte Werte [2] [3] bestätigt werden konnten. Charakteristisch ist dabei aber, daß beispielsweise die so ermittelten Haft- und Gleitreibungswerte

lediglich theoretische Bedeutung haben, da unter praktischen Bedingungen etwa doppelt so große Winkel angesetzt werden müssen, wenn mit einem sicheren Abgleiten des Futters gerechnet werden soll.

Die an den Modellen festgestellten Verdichtungslinien ließen bereits im ruhenden Stapel brückenartige Verfestigungszonen erkennen, die bei der Entleerung von Silos sehr häufig Schwierigkeiten bereiten. Die Verdichtung erhöht sich noch während des pulsierenden Druckanstieges [1] bei der Entleerung, so daß sich eine Reihe von übereinanderliegenden Verdichtungszonen bildet, die ein festes Gewölbe entstehen lassen können. Ihr Verlauf bestätigt die in der Praxis bekannte Tatsache, daß die Auslauföffnung um so größer sein muß, je stumpfer der Auslauftrichterwinkel ist und umgekehrt, da sich die Verdichtungslinie (Brücke) möglichst senkrecht auf der Trichterwand abstützen muß, wenn sie nicht zerstört werden soll.

Die Verdichtungen des gesamten Futtermittelstapels wurden an verschiedenen Futtermitteln überprüft und zeitabhängige Sackungskurven aufgestellt, die einer e-Funktion folgen. Daraus darf geschlossen werden, daß das anfänglich sehr rasche Zusammensinken des Futtermittelstapels schnell zu einem sich nur noch wenig verändernden Zustand führt und nach wenigen Tagen ein bleibender Zustand erreicht ist. Beobachtungen des tatsächlichen Verhaltens von Futtermitteln im Silo lassen aber die Vermutung zu, daß die Verdichtung nicht allein für die Ausbildung von Brücken verantwortlich zu machen ist, sondern daß die Struktur der Futtermittelteilchen einen ganz entscheidenden Einfluß auf diese Vorgänge hat. Je nach Futtermittelart, Vermahlungsgrad und Feuchtigkeitsgehalt kommt es in Abhängigkeit von der Zeit zu einem immer festeren Aneinanderhaften und Ineinanderhaken der Einzelteilchen, so daß ein fester und nur schwer zerstörbarer Verband entsteht. Die Klärung der hierbei gültigen Gesetzmäßigkeiten und der Ursachen dieser Erscheinungen wäre eine wichtige Aufgabe weiterer Untersuchungen auf diesem Gebiet.

## Wie muß ein Silo beschaffen sein?

Für den praktischen Einsatz von Futtermittelsilos müssen 4 Hauptforderungen gestellt werden:

- Die Lagerbedingungen für das Futtermittel müssen optimal sein,
- Beschickung und Entleerung müssen störungsfrei vor sich gehen,
- der Futtermittelsilo muß leicht kontrolliert und gereinigt werden können,
- er muß preiswert und haltbar sein.

Die Einhaltung optimaler Lagerbedingungen muß an erster Stelle genannt werden, da jede Qualitätsminderung des eingelagerten Futters verheerende Folgen für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des zu versorgenden Tiermaterials hat.

Zu diesem Zweck muß der Silo allseits dicht und gegen das Eindringen von Wasser geschützt sein. Besonders gefährdete Stellen sind der Silodeckel mit der Einführungsöffnung für das pneumatische Befüllungsrohr, der Übergang vom zylindrischen Oberteil zum Auslauftrichter, der Futterauffangkasten mit seinen Schiebern und der Öffnung für die Futterentnahmeschnecke sowie der Verschluss an der Einstiegluke. Die Abdichtung des Silos an den genannten Stellen

\* VVB Tierzucht und industrielle Tierproduktion, Institut für Geflügelwirtschaft Merbitz (Direktor: Dr. E. BOSS)

len sollte möglichst durch entsprechende formschlüssige Gestaltung erfolgen, da Dichtungselemente aus Gummi oder Plast zwar ebenfalls gute Dienste tun, aber unter dem Einfluß der Witterungsunbilden relativ schnell in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt werden.

Der Silo sollte nach Möglichkeit auch einen guten Schutz gegen starke Temperatur- und Lichteinflüsse bieten. Diese Forderung kann allerdings nur in begrenztem Rahmen gesehen werden, da eine wirksame thermische Isolierung eines Außensilos nur mit sehr großem Aufwand möglich wäre und die Temperaturbeeinflussung nur eine relativ geringe Futterschicht betrifft, die sich unmittelbar an der Außenwand befindet [4]. Der Futterstapel selbst wirkt stark isolierend und leitet z. B. die Wärme nur sehr langsam nach innen weiter. Bei extremen Temperaturschwankungen im Sommer kann es allerdings bei etwas hohem Feuchtigkeitsgehalt des Futters während der nächtlichen Abkühlung zur Schwitzwasserbildung kommen, was sich auf die Qualität des Futters recht negativ auswirkt. Die dabei auftretende Vermilbung des Futters [5] stellt die größte Gefahr der schwer vermeidbaren Temperatureinflüsse dar. Der Einfluß des Lichtes spielt allgemein eine untergeordnete Rolle, da außer Platten keine lichtdurchlässigen Silomaterialien bekannt sind. Der Einsatz vlldurchsichtiger Kunststoffsilos wäre auch abzulehnen, da das Licht eine schnelle Zerstörung wertvoller Inhaltsstoffe — insbesondere der Vitamine — bewirkt.

Ein nicht unwesentliches Qualitätsmerkmal des Futtermittels ist die Homogenität der Mischung. Diese gilt es unter allen Umständen zu erhalten. Deshalb sollte das Futtermittel so ins Silo eingebracht werden, daß keinerlei Entmischungsvorgänge auftreten. Der Silo sollte deshalb nicht höher als 10 m sein, da andernfalls bereits durch den freien Fall bei der Befüllung Entmischungen erfolgen [6]. Bei der pneumatischen Befüllung ist diese Gefahr besonders groß. Deshalb sollte hier möglichst über einen Zyklon eingeblasen werden. Die Befüllungsleitung ist geradlinig und in nicht zu kurzen Bögen zu führen, damit nicht bereits hier eine Bremsung und Sedimentation schwerer Teilchen stattfindet.

### Beschickung und Entleerung

Für den praktischen Einsatz spielt die störungsfreie Beschickung und Entleerung eine entscheidende Rolle.

Die Beschickung erfolgt in der Mehrzahl der Fälle über die Pneumatik des Futtermittelfahrzeugs. Mit diesem Verfahren ist eine rationelle und schnelle Befüllung des Silos möglich, ohne daß teure Förderanlagen im Silo installiert sein müssen, die nur kurzzeitig eingesetzt werden. Auf die Gestaltung der Einblasleitung wurde bereits eingegangen. Es erscheint aber wichtig, darauf hinzuweisen, daß außerdem eine Ablufleitung mit dem doppelten Querschnitt der Einblasleitung installiert sein sollte, durch die der Silo entlüftet und der nicht abgeschiedene Futterstaub aufgefangen werden kann.

Die Entleerung stellt dem Silokonstrukteur die größten Probleme. Jederzeit muß mit der im Auffangkasten installierten Entnahmeschnecke Futter zur Futterverteilungseinrichtung im Stall gefördert werden können, ohne daß irgendwelche mechanischen Hilfsmittel eingesetzt werden. Das Nachrutschen des Futters zur Entnahmeschnecke wird durch die Gestaltung des Silotrichters und dessen Auslauföffnungsweite bestimmt. Die Beziehungen wurden bei der Erläuterung der Untersuchungen bereits erwähnt. In der Praxis hat sich eine Auslauftrichterneigung von 60 bis 65° bei einer lichten Auslaufweite von 400 bis 500 mm durchgesetzt. Diese Werte können aber nicht ohne Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzverhältnisse, die durch die klimatischen Bedingungen, das gelagerte Futter und die Lagerdauer charakterisiert sind, in Anwendung gebracht werden. Außerdem ist zu beachten, daß bei exzentrisch nach einer Seite angeordnetem Auslauf bereits eine Trichterschräge von minimal 55° genügt, da sich

an der einen vertikalen Trichterwand nur schwer Futtermittelbrücken abstützen können. Eine ähnliche Begünstigung des Ausfließens der Futtermittel wird durch die Einschaltung einer Entspannungszone erreicht, die durch den Übergang vom zylindrischen Oberteil zu einem quadratischen Auslauftrichter oder eine ähnliche Querschnittserweiterung zustande kommt. Unterhalb dieser Entspannungszone fließt das Futter bedeutend leichter nach, als es in dem normalen kegeligen Auslauf beobachtet werden kann. Die Einhaltung eines derartigen Prinzips bereitet aber konstruktiv viele Schwierigkeiten, da im Interesse der Sauberhaltung keine Ecken und Winkel entstehen dürfen, die zum Anhaften von Futter und zur Vermilbung führen können. Die gleichen Anforderungen muß auch der Auffangkasten erfüllen. Durch Anordnung entsprechender Schieber muß hier eine Entleerungsmöglichkeit geschaffen werden, durch die bei jeder Siloentleerung die verbleibenden Futterreste herausgenommen werden können.

### Den Kontroll- und Reinigungsmöglichkeiten

kommt im praktischen Einsatz eine besondere Bedeutung zu, obwohl bei einer großen Zahl von Silos keine Voraussetzungen geschaffen sind, um das Siloinnere zu überprüfen. Dies führt leicht zur schematischen Arbeit, wobei eine Kontrolle des Futtermittelsverbrauches und des Futterzustandes im Silo nicht möglich ist. Unmittelbare Folgen einer solchen Verfahrensweise sind Futtermittelschädigungen oder auch allgemeine Streßerscheinungen, die nicht erkannt wurden, da es keine Kontrolle des Futtermittelzustandes und des Futtermittelsverbrauches gibt.

Zur laufenden Kontrolle des Futtermittelzustandes im Silo sollte mindestens ein Sichtstreifen in der Behälterwand eingearbeitet sein, durch den eine Groborientierung über den Füllstand möglich ist. Eine exakte Füllstandsanzeige scheidet gegenwärtig noch an den verfügbaren Geräten, die entweder zu ungenau arbeiten oder zu teuer sind. Man hilft sich deshalb mit Endschaltern, die einen minimalen oder maximalen Füllstand im Silo anzeigen.

Noch wichtiger ist die Reinigungsmöglichkeit bzw. die Verhinderung des Ansetzens von Futtermittelresten im Siloinnere. Grundsätzlich muß jeder Silo mit einer Einstiegs Luke versehen sein, durch die eine Überprüfung und — soweit erforderlich — eine Reinigung des Behälters von innen möglich ist. Damit diese unbedingt notwendige Wartung auch regelmäßig durchgeführt wird, sollte der Einstieg gut erreichbar und mit Schnellverschlüssen versehen sein. In welchem Umfange Futterreste an den Behälterwänden haften bleiben, hängt im wesentlichen von der Konstruktion und dem Behältermaterial ab. Die Flächen sollten möglichst durch keine Kanten, Schrauben und sonstige Unebenheiten unterbrochen werden, da diese einerseits das Nachrutschen des Futters behindern und andererseits viele Ansatzpunkte für Futtermittelreste bilden. Sehr günstig sind in diesem Zusammenhang glasfaserverstärkte Kunststoffsilos zu beurteilen [7], die günstigste Voraussetzungen für einen störungsfreien, wartungsarmen Betrieb des Silos bieten.

### Die Wirtschaftlichkeit

In der endgültigen Beurteilung der Einsatzwürdigkeit von Silos spielen die durch den Lagerbehälter verursachten Kosten eine nicht unerhebliche Rolle. Hierbei ist zwischen Innen- und Außensilos zu unterscheiden. Innensilos haben sich nicht durchgesetzt, da sie zwar relativ billig sind, aber der bauliche Aufwand nur selten in angemessenem Verhältnis zum Nutzen steht. Eine Ausnahme bilden hierbei die Gewebesilos, die in ihrer Größe und Anbringung sehr variabel, äußerst preiswert und funktionsfähig sind. Die Außensilos sollten in erster Linie nach der Funktionstüchtigkeit beurteilt werden, da die preislichen Unterschiede unter Berück-

sichtigung' der Haltbarkeit nur sehr gering sind. Einen Sonderfall stellen hier wiederum die Mischsilos dar, die mit der Entwicklung funktionssicherer einfacher Silos an Bedeutung verloren und nur in Sonderfällen Einsatzberechtigung haben. Im Interesse der Nutzungsdauer des Silos sollte man solchen aus korrosionsfesten Materialien den Vorzug geben.

### Zusammenfassung

Mit diesen Ausführungen sollte ein kurzer Überblick auf die an Silos zu stellenden Forderungen gegeben werden, um für die Aufstellung von Futtermittelsilos an Ställen eine Beurteilungsgrundlage auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse zu vermitteln. Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß die theoretischen Grundlagen für das Verhalten der Futtermittel im Lagerbehälter noch sehr lückenhaft und weitere Untersuchungen zur Klärung dieser Probleme notwendig sind.

## Vorschlag einer Berechnungsmethode für die Ermittlung von Lagerungsdichten

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

### 1. Problematik

Die Stoffe verhalten sich in der überwiegenden Anzahl nicht wie ideale elastische Körper (Hookescher Körper) oder wie ideale Flüssigkeiten (Newton-Körper). Landtechnische Materialien sind fast ausnahmslos in den Bereich zwischen den genannten Körpern einzuordnen. Als Voraussetzung für die Beherrschung von bestimmten Verfahren der landwirtschaftlichen Produktion müssen deshalb ihre spezifischen Eigenschaften erst untersucht und erforscht werden. Ein Beispiel, das im folgenden ausgeführt wird, ist die Berechnung von Lagerungsdichten. Die Kenntnis der Lagerungsdichten ist in der Landtechnik sowohl für den Konstrukteur von Anlagen als auch für den landwirtschaftlichen Verfahrenstechniker wichtig:

- Bei der Bemessung von Silobehältern können zur Bestimmung der Füllgutdrücke bei deformierbaren Stoffen (z. B. Trockengrünger, Trockenhackfrüchte, gehäckseltes Grünger, Mischfutter) nicht die nach einer bestimmten Methode gewonnenen Werte der Schüttdichte verwendet werden.
- Die Entleerungsvorgänge in Silos und Bunkern sind von den herrschenden Scherspannungen und somit auch von der Lagerungsdichte abhängig.
- Für einen ordnungsgemäßen Silierprozeß ist in Hochsilos ein bestimmtes maximal zulässiges Hohlraumvolumen Voraussetzung. Die rechnerische Ermittlung des Hohlraumvolumens ist nur bei Kenntnis der Lagerungsdichte möglich.
- Zur Bestimmung der Kapazität von Lagerungseinrichtungen muß die Lagerungsdichte bekannt sein.

### 2. Berechnungsmethode für die Ermittlung von Lagerungsdichten

#### 2.1. Berechnung der Lagerungsdichte ohne Berücksichtigung des Absetzens

Lagerungsdichten können allgemein nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\rho_L = \frac{m}{V_S - \Delta V(p_v, t)} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

### Literatur

- [1] TAKACHASI, K. / A. JAMBARA: Getreidedruck auf die Wände von Silos. Mitt. des Forschungslabors der Baugesellschaft. Simdsu, Tokio, April 1963, S. 17 bis 32
- [2] PARCHOMENKO, E. S.: Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften von Hühnerfutter (russ.). Pticevodstvo 14 (1964) Nr. 5, S. 28 bis 30
- [3] REIMBERT, M. und A.: Silos. Bauverlag GmbH, Wiesbaden — Berlin 1961
- [4] JACOBI, H.: Das Lagerverhalten von Getreide in Silozellen mit gedämmten und ungedämmten Außenwänden. Agroforum 1 (1967) Nr. 12, S. 8 bis 11
- [5] NIELEBOCK, E. W.: Kraftfutter und Legemehl aus dem Silo. Geflügelhof 31 (1968) Nr. 33, S. 580 bis 583
- [6] FECHNER / KLOSE / BEER / HELBIG: Entmischungsuntersuchungen mit radioaktiven Isotopen bei der Silolagerung ungepreßter Mischfuttermittel. Agroforum 1 (1967) Nr. 1, S. 20
- [7] ROB, E.: Praktische Erfahrungen mit Silos für Mischfutter. Deutsche Geflügelwirtschaft 21 (1969) Nr. 2, S. 37 bis 40 A 7923

Darin bedeuten:

- $\rho_L$  Lagerungsdichte in  $\text{kg/m}^3$
- $V_S$  Schüttvolumen in  $\text{m}^3$
- $\Delta V$  Volumenänderung in  $\text{m}^3$
- $m$  Masse des Schüttgutes in  $\text{kg}$
- $p_v$  vertikaler Füllgutdruck in  $\text{N/m}^2$
- $t$  Zeit in  $\text{s}$

Das Verhältnis von Volumenänderung  $\Delta V$  und Schüttvolumen  $V_S$  wird unter Voraussetzung des einachsigen Beanspruchungsfalles, der bei der Verdichtung in Lagerungseinrichtungen vorliegt, als Dehnung  $\epsilon$  bezeichnet:

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V_S} \quad [-] \quad (2)$$

Bei Verwendung der Gleichung (2) errechnet sich die Lagerungsdichte nach der Gleichung:

$$\rho_L = \frac{\rho_S}{1 - \epsilon(p_v, t)} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3)$$

mit  $\rho_S$  Schüttdichte in  $\text{kg/m}^3$ .

Die Dehnung  $\epsilon$  ist eine Funktion des Druckes  $p_v$  und der Zeit  $t$ . Sie muß in Laboruntersuchungen für den speziellen Stoff ermittelt werden.

Bei der Berechnung des vertikalen Druckes  $p_v$  sind zwei Fälle zu unterscheiden:

#### 1. Fall:

Bei Lagerungseinrichtungen, deren Verhältnis von Höhe  $h$  zu Durchmesser  $d$  kleiner als 1,5 ist ( $h/d < 1,5$ ) wird nach der sowjetischen Norm TU 124 — 56 (sowjetische Norm für die Projektierung von Silos) [1] die Wandreibung nicht berücksichtigt. Der vertikale Füllgutdruck errechnet sich unter diesen Bedingungen nach der Gleichung:

$$p_v = (h_S - z) \rho_S \cdot g \quad [\text{N/m}^2] \quad (4)$$

Hierin sind:

- $h_S$  Füllguthöhe, bezogen auf die Schüttdichte  $\rho_S$  in  $\text{m}$
- $z$  Abstand des betrachteten Füllguthorizonts vom Boden der Lagerungseinrichtung in  $\text{m}$

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