

Zum Komplex gehört auch eine Anlage für das biologische Reinigen und Verwerten des Dungs mit einer täglichen Leistung von 2100 m³.

Für die Dungverwertung werden 5 Pumpen, 3 Behälter, 15 dynamische Filter mit Reinigungssieben, Förderer für die feste Dungfraktion, ein Dosierkasten und 2 Trockenöfen eingesetzt.

Der getrocknete Dung wird in Säcke abgefüllt und zum Ausbringen auf die Felder gefahren.

Bei der aeroben Abwasserbehandlung werden drei Belüftungsbecken mit Kreisbelüftern, drei Klärbecken mit Pumpen zum Umpumpen des abgesetzten Schlammes und Flächen zum Trocknen des Schlammes verwendet.

Der Kreisbelüfter ist der Hauptteil der Anlage für das Verwerten der flüssigen Dungfraktion. Er ist in einem Klärbecken aufgestellt. Der Kreisbelüfter hält den Dung in stän-

diger Bewegung und sorgt so für die Luftzufuhr, die für die Oxydationsvorgänge bei der biologischen Reinigung erforderlich ist.

Über einem runden Becken, in das das geklärte Wasser aus den Belüftungsbecken tritt, ist ein Brückenrechen angeordnet. Diese bewegliche Brücke mit dem Rechen läuft mit einer Umlaufgeschwindigkeit von 3,8 bis 4,8 m/min auf einer ringförmigen Schiene um, entfernt den Schaum von der Wasseroberfläche und leitet ihn in ein Sammelbecken.

Nach dem Belüften kommt das Wasser in Absetzbecken. Dort setzt sich der mit Bakterien gesättigte Aktivschlamm ab, während das geklärte Wasser zum weiteren Absetzen abgepumpt wird. Der Aktivschlamm kommt teilweise in die Belüftungsbecken und dient dort der Aufrechterhaltung der Konzentration der Bakterienflora. Der Schlammüberschuß wird auf Trockenflächen gepumpt.

AV 9268

Dr.-Ing. Chr. Füll, KDT*

Zum Berechnen von Horizontaldrücken beim Lagern von Welsilage in Behältern

Verwendete Formelzeichen

A	Querschnittsfläche des Silobehälters in m ²
C ₁	Stoffkonstante
d _S	Innendurchmesser des Silobehälters in m
F _G	Gutgewicht in kp
F _W	Wandreibungskraft in kp
g	Erdbeschleunigung in m/s ²
h _F	Füllhöhe in m
k	Druckverhältnis p _W /p _V
I _h	mittlere Häcksellänge in mm
m ₁	Stoffkonstante
n	Zahl
p _h	Horizontaldruck in kp/cm ²
p _v	Vertikaldruck in kp/cm ²
p _w	Wandreibungsdruck in kp/cm ²
TM	Trockenmassegehalt in Prozent
t	Zeit in h
U	Innenumfang des Silobehälters in m
z	Abstand zum Füllgutspiegel in m
α	Wandreibungskraftverhältnis F _W /F _G
λ	Horizontaldruckverhältnis p _h /p _v
μ _{äd}	äußerer dynamischer Reibwert
ρ _L	Lagerungsdichte in kg/m ³
ρ _S	Schüttdichte in kg/m ³

Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit tiefgründiger Untersuchungen auf diesem Gebiet ist das dringende Bestreben, die Bauinvestitionen zu vermindern. Gegenwärtig betragen die infolge der Abschreibung des Baukörpers entstehenden Kosten, bezogen auf 1 t Trockenmasse, 45 Prozent (Formsteinsilo HS 25) bis 50 Prozent (Formsteinsilo HS 091) an den Gesamtkonservierungskosten [2]. Geringere Kosten würden entstehen, wenn sich als gesichertes Ergebnis von Versuchen die Vermutung bestätigt, daß die Füllgutdrücke niedriger sind, als bisher angenommen wird.

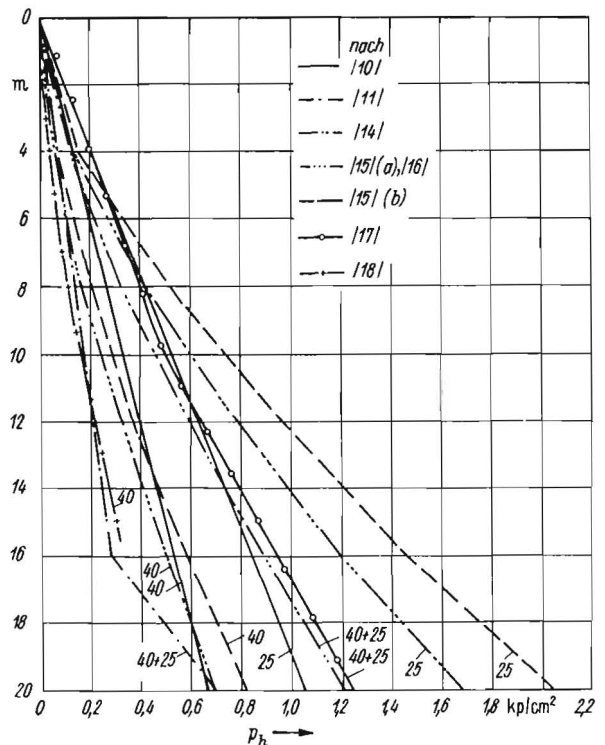
1. Problemstellung

Die genaue Angabe der vom Füllgut herrührenden Belastungen ist Grundvoraussetzung für die Konstruktion von Behältern zur Lagerung von Welsilage.

In der DDR gibt es keine verbindlichen Lastannahmen. Die Dimensionierung von Welsilagesilos erfolgt gegenwärtig nach DIN 1055, Bl. 6 für Silage der Klasse II (Trockenmassegehalt TM = 23 bis 35 Prozent) [1]. Die volle Berechtigung dafür muß jedoch aufgrund der Art der Untersuchungen, die zum Aufstellen der DIN 1055 geführt haben, insbesondere für Behälter mit großen Füllhöhen, in Frage gestellt werden.

* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. sc. techn. Chr. Eichler)

Bild 1. Vergleich von Horizontaldruckverläufen, die nach den bisher existierenden Berechnungsgleichungen für ein Gärfutterhochsilo mit d_s = 9,0 m ermittelt wurden; 25 - 25 Prozent Trockenmasse, 40 - 40 Prozent Trockenmasse



Tafel 1. Zusammenstellung der bisher bekannten Berechnungsgleichungen zum Bestimmen der Horizontaldrücke an Gärfutterhochsilos

Literaturquelle	Berechnungsgleichung für Horizontaldruck p_h in kp/cm^2	Geltungsbereich
10	$1,019 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot \rho \cdot g \cdot z$ $1,019 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot \rho \cdot g \cdot z$ $1,019 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0 \cdot \rho \cdot g \cdot z$	TM > 35%, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ TM = 23...35%, $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$ TM < 23%, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
11	$p_{h1} = 0,0178 \cdot z$ $p_{h2} = 0,0178 h_0 + 1,1 (z - h_0)$	($0 \leq z \leq h_0$) nicht ($h_0 < z \leq (h_F - h_0)$) angegehen Ph max gilt für den Siloboden
12	$p_{h \text{ max}} = 0,440 \text{ kp/cm}^2$ $p_{h \text{ max}} = 0,473 \text{ kp/cm}^2$	(bei $h_F = 24,4 \text{ m}$) volle Silofüllung (bei $h_F = 12,2 \text{ m}$) halbe Silofüllung
13	$p_h = 9,0 \cdot 10^{-3} z^{1,44}$	TM $\geq 25\%$ $3,66 \text{ m} \leq d_g \leq 5,50 \text{ m}$
14	$p_h = 1,81 \cdot 10^{-3} d_g \cdot z^{1,45}$	nicht angegeben
15	$p_h = 6,70 \cdot 10^{-3} \cdot z^{1,5} d_g \left(100 - \frac{TM}{100}\right)^4$	(a) $h_F \leq 22,90 \text{ m}$ $3,05 \leq d_g \leq 9,15 \text{ m}$ $10\% \leq TM \leq 40\%$
15	$p_h = 0,389 \cdot 10^{-4} z^{1,5} (3,279 d_g - 6) (50 - TM)$	(b) $h_F \leq 22,90 \text{ m}$ $3,05 \leq d_g \leq 9,15 \text{ m}$ $10\% \leq TM \leq 40\%$
16	$p_h = 6,64 \cdot 10^{-3} \cdot d_g \left(1 - \frac{TM}{100}\right)^4 \cdot z^{1,5}$	nicht angegeben
17	$p_h = 0,102 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot z$ $p_h = 0,102 \cdot 10^{-4} \left[0,5 \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \frac{h_F}{2} + 0,75 \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \left(z - \frac{h_F}{2}\right)\right]$	($0 \leq z \leq \frac{h_F}{2}$) nicht angegeben ($z \geq \frac{h_F}{2}$)
18	$0,21 \leq \frac{p_h}{p_v} \leq 0,44$ Mittelwert: $\frac{p_h}{p_v} = 0,30$	$40\% \leq TM \leq 45\%$ $d_g = 12,0 \text{ m}$ p_v muß aus experimentell ermittelten Verläufen der Lagerungsdichten bestimmt werden

2. Stand der Forschung

Während über die Ruhedruckverhältnisse in lagernden körnigen Haufwerken zahlreiche Untersuchungen vorliegen, sind die Horizontaldrücke in Halmguthaufwerken in Grundlagenversuchen bisher nur im Zusammenhang mit dem Erforschen der Vorgänge beim Pressen und Brikettieren bestimmt worden [3/ 4/ 5/ 6/ 7/ 8/ 9/].

Diese Ergebnisse können jedoch nicht bedenkenlos übernommen werden, weil sie die Einflüsse während der Dauer der Lagerung nicht berücksichtigen. Obenstehende Tafel 1 enthält eine Zusammenstellung von Berechnungsgleichungen, die aus den bisher durchgeführten praktischen Messungen an Gärfutterhochsilos formuliert wurden. Aus dem Vergleich der Horizontaldruckverläufe im Bild 1 ist ersichtlich, daß sich die Ergebnisse teilweise erheblich unterscheiden. Weitere Untersuchungen wurden von Zimmer [19/], Kveton [20/] und Günter [21/] durchgeführt. Die dabei erzielten Erkenntnisse liegen in der Literatur als Diagramme oder in Form von Tabellen vor. Über etwaige Meßfehler bei Druckmessungen an Behältern zur Halmgutlagerung sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine vollständigen Angaben vorhanden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß über Verlauf und absolute Größe von Horizontaldrücken eine Reihe von Berechnungsgleichungen und Vorschriften existieren, die jedoch alle aus praktischen Messungen am technischen Original formuliert wurden.

Ihr Geltungsbereich ist in der Literatur entweder nicht angegeben oder so begrenzt, daß ein Benutzen für Gärfutterhochsilos mit einem Durchmesser $d_g > 9 \text{ m}$ und einer Füllhöhe $h_F > 23 \text{ m}$ nicht möglich ist.

Weiterhin wurden die Einflüsse durch die Stoffkenngrößen des gelagerten Guts, die verfahrensbedingten Einflüsse und in einigen Fällen auch die Konstruktionsparameter der Behälter in nicht genügendem Maße berücksichtigt.

Berechnungsmethoden unter Verwendung labormäßig ermittelter Stoffkennwerte existieren bisher nicht.

3. Ziel der eigenen Untersuchungen

Aus der Analyse des Stands der landtechnischen Forschung wurde für die Untersuchungen die Aufgabe formuliert, zum Bestimmen der absoluten Größe und der Verteilung der Horizontaldrücke beim Lagern von Welksilage in Behältern ein Berechnungsverfahren zu finden, das auf den Stoffeigenschaften aufbaut, die im Labor bestimmt werden können. Für das Anwenden des Berechnungsverfahrens in der Praxis waren Vorschläge auszuarbeiten und die Grenzen anzugeben.

Als Welksilage wird hierbei Siliergut definiert, bei dessen Lagerung und Konservierung unter den im Behälter herrschenden Druckverhältnissen kein Zellsaft austritt. Genaue quantitative Angaben dazu sind in [22/] enthalten.

4. Berechnen der Horizontaldrücke

4.1 Analyse der Einflußgrößen

Die Bestimmung des Horizontaldrucks aus den Gleichgewichtsbedingungen ist bei der Lagerung landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern mit „unnachgiebigen“ Wandungen nicht möglich. Für diesen Fall, bei dem nur differentielle Verzerrungen auftreten, existieren keine exakten Stoffgesetze, die beispielsweise die Beziehungen zwischen Spannungen und Dehnungen in allgemeiner Form enthalten.

Die Gesetze für die plastischen Grenzzustände können nicht angewendet werden. Bei Annahme des aktiven plastischen Grenzzustandes würden zu geringe und bei Annahme des passiven Grenzzustandes wesentlich zu hohe Horizontaldrücke errechnet werden.

Der einzig verbleibende Weg, der z. B. in der Bodenmechanik und in der Schüttgutmechanik mit Erfolg beschritten wird, besteht darin, die Abhängigkeit zwischen Horizontaldruck und Vertikaldruck durch Versuche zu ermitteln:

$$p_h = \lambda \cdot p_v \quad (1)$$

Der Koeffizient λ wird als Horizontaldruckverhältnis be-

zeichnet (in der Bodenmechanik wird oft der Ausdruck Ruhedruckbeiwert geprägt).

Nach Gleichung (1) ist der Horizontaldruck p_h dem Vertikaldruck p_v und dem Horizontaldruckverhältnis λ direkt proportional.

Der in einem Füllguthorizont wirkende Vertikaldruck steht im Zusammenhang mit dem Verlauf der Lagerungsdichte in der darüber liegenden Füllgutsäule. Die Höhe der Lagerungsdichte ist abhängig von den Stoffeigenschaften des Halmguthaufwerks (Trockenmassegehalt, Textur, Biegesteifigkeit der Einzelhalme), den Parametern der Behälterkonstruktion (Behälterhöhe, Behälterdurchmesser, Wandrauigkeit der inneren Behälterwand) und den verfahrensbedingten Einflußgrößen (Art des Befüllens und Verteilens, biologische Reaktionen).

Die Größe des Horizontaldruckverhältnisses ist Ausdruck der inneren Reibverhältnisse und wird deshalb vor allem von den Stoffeigenschaften Struktur, Textur und Trockenmassegehalt und dem Vertikaldruck abhängen. Da sich im Verlauf der Konservierung von Siliergut durch den eventuellen Austritt des Zellsaftes und durch ablaufende Reaktionen bei der Gärung in diesen Eigenschaften Veränderungen ergeben, muß auch der Zeiteinfluß berücksichtigt werden.

4.2. Darstellen möglicher Berechnungsvarianten

Drei Varianten der Bestimmung des Horizontaldruckverlaufs werden untersucht, die sich durch die Art des Berücksichtigens der Wandreibung unterscheiden.

In der Variante 1 wird die Wandreibung nicht berücksichtigt, d. h. der Reibungskoeffizient zwischen Gut und Wand wird Null gesetzt. Dieser Zustand stellt einen Grenzfall dar, der die absolut größten Werte liefert. Der im Labor bestimmte Zusammenhang zwischen der Lagerungsdichte ρ_L und dem Vertikaldruck p_v

$$\rho_L = C_1 p_v^{m_1} + \rho_s \quad (2)$$

ist eine der Ausgangsgrößen. Aus der Gleichgewichtsbeziehung an einer elementaren Füllgutschicht und unter Berücksichtigung der Gleichungen (1) und (2) erhält man für die Berechnung des Horizontaldruckes die Gleichung:

$$\frac{9,81 \cdot 10^4 \cdot dp_h}{\lambda \cdot g [C_1 (p_h/\lambda)^{m_1} + \rho_s]} = dz \quad (3)$$

Bei der Variante 2 wird die Wandreibung nach experimentell ermittelten Werten berücksichtigt. Nach Einführen des Wandreibungskraftverhältnisses $\alpha = f(z)$:

$$\alpha = \frac{F_W(z)}{F_G(z)} \quad (4)$$

und der Beziehungen (1) und (2) ergibt sich die Gleichung:

$$p_{h,z=n \cdot \Delta z} = (1 - \alpha_{z=n \cdot \Delta z}) \frac{\Delta z \cdot g}{9,81 \cdot 10^4} \sum_{i=0}^{n-1} \rho_{L,i} \quad (5)$$

Der Horizontaldruck wird hiernach von der Füllgutoberfläche beginnend schrittweise berechnet.

In der Berechnungsvariante 3 werden die Druckverhältnisse und die Wandreibung an einer elementaren Füllgutschicht so angenommen, wie es bisher in der klassischen Silotheorie üblich war. Unter Berücksichtigung der Gleichungen (1) und (2) lautet der Ausdruck für das Bestimmen des Horizontaldruckes

$$\frac{dp_h}{\frac{\lambda \cdot g}{10^4 \cdot 9,81} [C_1 (p_h/\lambda)^{m_1} + \rho_s] - \mu_{ad} \cdot p_h \cdot (U/A)} = dz \quad (6)$$

Die Bestimmung der Integrationskonstanten wird für das zuletzt in den Behältern eingelagerte Gut nach der Anfangsbedingung

$$\text{bei } z = 0 \text{ ist } p_h = 0 \quad (7)$$

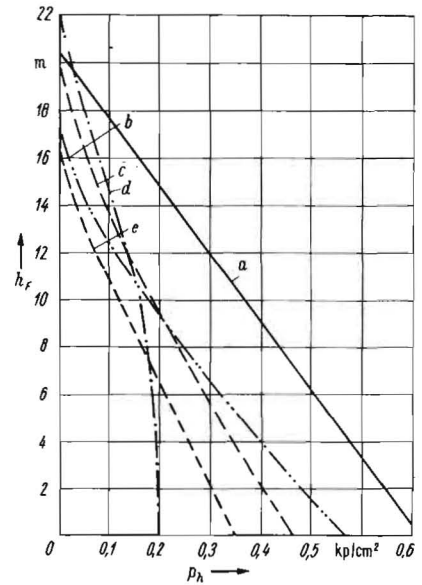


Bild 2. Verlauf des Horizontaldruckes nach den Gleichungen (3), (5) und (6), nach DIN 1055 und nach den Vorschlägen von Zschaage ($d_R = 7,35$ m, TM = 44 % (23,0...51,0 %)); a Horizontaldruckverlauf nach DIN 1055, Blatt 6 (Klasse 1), b Horizontaldruckverlauf nach Gleichung (3) mit $\lambda = 0,46$, c Horizontaldruckverlauf nach Gleichung (5), $\lambda = 0,46$, d Horizontaldruckverlauf nach Gleichung (6), $\lambda = 0,46$, e Horizontaldruckverlauf unter Verwendung der gemessenen Lagerungsdichten und Vernachlässigung der Wandreibung, $\lambda = 0,30$, Füllhöhe nach Füllhöhe $h_F = 20,5$ m, Füllhöhe vor der Entnahme $h_F = 16,6$ m

vorgenommen. Für Gutarten in tiefer gelegenen Schichten wird die Integrationskonstante aus der Übergangsbedingung, die sich aus einem stetigen Horizontaldruckverlauf ergibt, bestimmt.

Die detaillierten Schritte zum Entwickeln der Gleichungen (3), (5) und (6) sind in /23/ genauer erläutert.

4.3. Ergebnisse beim Anwenden der Berechnungsvarianten

Zum Anwenden der Berechnungsgleichungen (3), (5) und (6) ist die Kenntnis der Beziehungen (2) und (4) und des Horizontaldruckverhältnisses λ erforderlich.

Über die experimentellen Untersuchungen zum Bestimmen der Gleichungen (2) und (4) und der darin enthaltenen Konstanten wurde bereits berichtet /24/.

Das Ermitteln des Horizontaldruckverhältnisses λ erfolgte experimentell mit Hilfe von Preßtopfversuchen. Einzelheiten zur Versuchseinrichtung sind in /23/ erläutert und dargestellt.

Das Minimum der Versuchsdauer war mit 72 h festgelegt worden. Voruntersuchungen, die bis zu 360 h geführt wurden, hatten ergeben, daß nach etwa 48 h (wahrscheinlicher Zeitpunkt des Zelltodes) nur noch sehr geringe Änderungen des Horizontaldruckes eintreten.

Eine Variation der Häcksellänge war nicht vorgesehen, weil sich dann ein sehr umfangreiches Meßprogramm ergeben hätte. Um im sicheren Bereich zu liegen, wurde deshalb mit $l_h = 15$ mm ein Wert gewählt, der sich unter oder bestenfalls bei den in der Praxis vorkommenden befindet.

Der Trockenmassegehalt des Versuchsguts (Wiesengras) wurde zwischen 25 und 75 Prozent variiert. Die Vertikaldruckstufen betragen 0,26 kp/cm², 0,61 kp/cm², 0,89 kp/cm² und 1,85 kp/cm².

Als Ergebnis der Versuche wurde für das Horizontaldruckverhältnis λ mit Hilfe der Regressionsrechnung folgende Gleichung aufgestellt:

$$\lambda = 1,35 (- 3,0 \cdot 10^{-5} p_v - 0,87 \cdot 10^{-3} TM + 0,131 t^{0,02} + 0,214) \quad (8)$$

Der Vertrauensbereich beträgt für eine statistische Sicherheit von 95 Prozent $x_v = \pm 0,0056$.

Für einen Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Werten wurden Versuchsergebnisse von Zschaage /18/ herangezogen.

Zschaage hat aus praktischen Messungen an einem Welksilagehochsilo HS 25 ($d_s = 12$ m), die in den Jahren 1969, 1970 und 1971 durchgeführt wurden, ein Horizontaldruckverhältnis $\lambda = 0,30$ (Schwankungsbereich: $\lambda = 0,21 \dots 0,44$) erhalten. Der Trockenmassegehalt des eingelagerten Guts betrug dabei 40 bis 45 Prozent. Die Maximalwerte für den Horizontaldruck wurden 15 bis 20 Tage nach dem letzten Füllen gemessen.

Aus den Laborversuchen ergab sich bei gleichen Trockenmassegehalten entsprechend der Gleichung (8) für $t = 3000$ h ein Mittelwert von $\lambda = 0,46$. Der niedrigere Wert aus den praktischen Messungen ist mit folgenden Fakten zu erklären: Zschaage bestimmte das Horizontaldruckverhältnis aus der Division des gemessenen Horizontaldrucks mit dem Vertikaldruck, der sich für den jeweils betrachteten Füllguthorizont aus den bei der Entnahme gemessenen Lagerungsdichten bei Vernachlässigung der Wandreibung ergab. Der Vertikaldruck in der Nähe der Wand ist jedoch geringer als der Mittelwert für den gesamten Siloquerschnitt.

Bild 2 enthält eine Gegenüberstellung von Horizontaldruckverläufen, die nach verschiedenen Möglichkeiten ermittelt wurden. Als Beispiel diente ein Gärfutterhochsilo mit $d_s = 7,35$ m. Die unterschiedlichen Füllhöhen ergaben sich durch die jeweiligen Varianten beim Bestimmen der Lagerungsdichte unter Berücksichtigung der eingelagerten Gutmasse.

Beim Vergleich der Kurven, die mit einem Horizontaldruckverhältnis $\lambda = 0,46$ berechnet wurden, ist zu erkennen, daß sich nach den Gleichungen (3) und (5) erwartungsgemäß die größten Belastungen ergeben, während die Werte nach Gleichung (6) deutlich geringer sind.

Der nach den Vorschlägen von Zschaage /18/ aus den gemessenen Lagerungsdichten bei Vernachlässigung der Wandreibung ermittelte Funktionsverlauf liefert über der ganzen Füllhöhe kleinere Drücke als die Beziehungen (3) und (5) mit $\lambda = 0,46$. Bis zu einer Füllhöhe von $h_F = 7,5$ m sind sie jedoch größer als die Werte nach Gleichung (6) mit $\lambda = 0,46$.

Das ist ein Ausdruck für das Nichtzutreffen der Druckverhältnisse, die in dieser Beziehung angenommen wurden.

5. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß beim Verwenden der labormäßig bestimmten Werte für das Horizontaldruckverhältnis und bei Annahme einer gleichmäßigen Vertikaldruckverteilung über dem Siloquerschnitt mit Hilfe der Varianten 1 und 2 des Berechnungsverfahrens größere Horizontaldruckwerte errechnet werden, als sie sich nach den aus praktischen Messungen von Zschaage /18/ erarbeiteten Vorschlägen ergeben.

Da jedoch noch keine exakten theoretischen Lösungen zum Ermitteln des tatsächlichen Druckverlaufs über dem Füllguthorizont bestehen, sollte in Zukunft bei der Dimensionierung von Welksilagehochsilos eine gleichmäßige Druckverteilung angenommen und der im Labor ermittelte Wert für das Horizontaldruckverhältnis benutzt werden.

Die theoretisch als Grenzfall möglichen maximalen Horizontaldrücke ergeben sich unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen aus Gleichung (3). Sie sollte deshalb in der Praxis so lange als Grundlage für die Berechnung dienen, bis genauere Ergebnisse über die Druckverhältnisse im Silo vorliegen.

6. Zusammenfassung

Für das Berechnen der Horizontaldrücke wurden drei Gleichungen erarbeitet, die sich durch die Art des Berücksichtigens der Wandreibung unterscheiden. Die Absolutwerte des Horizontaldrucks vom wirkenden Vertikaldruck und vom Horizontaldruckverhältnis abhängig. Das Horizontaldruckverhältnis wurde in Preßtopfversuchen ermittelt. Die gewonnenen Werte sind um rd. 30 bis 35 Prozent größer als die bisher in geringem Maße am technischen Original gemessenen Ergebnisse. Diese Differenz ist erklärlich und war zu erwarten.

Die absolut größten Werte für den Horizontaldruck ergeben sich, wenn die Wandreibung in der Rechnung nicht berücksichtigt wird.

Literatur

- 1/ Noack, W./G. Katzmarek: Die konstruktive Gestaltung der Hochsilos HS 091 und HS 25. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 4, S. 159 bis 162
- 2/ Friedrich, H.: Prinzipuntersuchungen zur Bewirtschaftung von Horizontalstilos. Ingenieurpraktikumsbeleg an der Sektion Landtechnik der Universität Rostock, 1971 (unveröffentlicht)
- 3/ Osobov, V. U.: K Rascetu briketnych press-podborschtschikov schtempelnovo tipa. Traktory i selchozmasiny (1964) H. 3, S. 23 bis 25
- 4/ Alferov, S. A.: Zakonomernosti pri szatii solomy. Sel'chozmasina (1957) H. 3, S. 6-10
- 5/ Chrapatsch, E. I.: Rastschet na protsnost pressovalnoj kamery sennych pressow. Traktory in sel'chozmasiny (1958) H. 1, S. 19 bis 22
- 6/ Sacht, H. O.: Das Verdichten von Halmgütern in Strangpressen. Fortschr.-Berichte, VDI-Z., Reihe 14, Nr. 4
- 7/ Mewes, E.: Zum Verhalten von Preßgütern in Preßtopfen. Landtechn. Forsch. S (1958) H. 6, S. 158-164
- 8/ Voss, H.: Ermittlung von Stoffgesetzen für Halmgut. Dissertation an der TU Braunschweig, 1969
- 9/ Busse, W.: Das Verdichten von Halmgütern mit hohen Normaldrücken. Fortschr.-Berichte, VDI-Z., Reihe 14, Nr. 1
- 10/ Lastannahmen für Bauten, Lasten in Silozellen - DIN 1055, Blatt 6: Beuth-Vertrieb G.m.b.H. Berlin 1964
- 11/ -: Sowjetische Norm für die Bemessung von Gärfutterhochsilos, zitiert in: Günter, W.: Bautechnische Grundlagen zur Vereinheitlichung der Konstruktion für Silos und Behälter der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft. Forschungsbericht am Institut für Landw. Bauten der DBA, Berlin 1970
- 12/ -: Englische Norm für die Bemessung von Gärfutterhochsilos, zitiert in: Günter, W.: Bautechnische Grundlagen zur Vereinheitlichung der Konstruktionen für Silos und Behälter der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft. Forschungsbericht am Institut für Landw. Bauten der DBA, Berlin 1970
- 13/ -: Concrete Farm Silos. American Concrete Institute, ACI 714-46. 18, (2) Oktober 1946, zitiert in: /13/
- 14/ McCalmont, J. R.: Farm Silos. Miscellaneous Publication Nr. 810, ARS, USDA, Washington, D. C., April 1960, zitiert in: /15/
- 15/ Neubauer, L. W.: Simplified Equation for Silage Pressure with Moisture Variation. Trans. of the ASAE (1966) S. 295-296
- 16/ -: Norwegische Norm für die Bemessung von Gärfutterhochsilos, zitiert in: /21/
- 17/ -: Schwedische Norm für die Bemessung von Gärfutterhochsilos, zitiert in: /21/
- 18/ Zschaage, F.: Druck- und Dehnungsmessungen am Welksilage-Hochsilo im IML Potsdam-Bornim. Kap. 5.1 in: Müller, M. u. a.: Welksilage - Hochsilo HS 25. Forschungsbericht am IML Potsdam-Bornim, 1971 (unveröffentlicht)
- 19/ Zimmer, E.: Ergebnisse aus dem „Großversuch Bauernsilo“, Braunschweig - Völkenrode. Futterkonservierung (1957) H. 2/3, S. 116 bis 132
- 20/ Kveton, J.: Tlakove a teplotni pomery o silech. Zemed. techn. 11 (1965) H. 8/9, S. 519-526
- 21/ Günter, W. u. a.: Teilabschlußbericht über die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen zur Gasdichtigkeit von Hochsilos aus Beton und zu den vorliegenden Druckmessungen und über vorliegende Arbeitsergebnisse neuer Silo- und Behälterkonstruktionen für eine multivalente Nutzung unter Verwendung progressiver Baustoffe. Institut für Landw. Bauten der DBA, Berlin Nov. 1971
- 22/ Füll, Ch.: Hinweise für das Bewirtschaften von Welksilagehochsilos. Manuskript einer Veröffentlichung, eingereicht bei der Zeitschrift „Feldwirtschaft“ März 1973
- 23/ Füll, Ch.: Ein Beitrag zum Berechnen von Dichten und Horizontaldrücken bei der Lagerung landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern. Forschungsabschlußbericht an der Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1972
- 24/ Füll, Ch.: Berechnen der Lagerungsdichten landwirtschaftlicher Halmgüter in Behältern. agrartechnik 23 (1973) H. 8, S. 370-373

A 9187