

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Segler, G. u. Th. Freye*: Vibro-pneumatische Trennung von Stroh, Korn und Spreu im Mähdrescher. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 101/108.
- [ 2 ] • *Feiffer, P.*: Wissensspeicher Mähdrusch. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1975.
- [ 3 ] *Reed, W.B., M.A. Grovum u. A.E. Krause*: Combine harvester grain loss monitor. ASAE Paper No. 68-607.
- [ 4 ] *Traulsen, H.*: Combine Monitor. RKL-Schrift Nr. 4.2.52.4 (1971), S. 13/31.
- [ 5 ] *Eimer, M.*: Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mähdrescher. Habilitationsschrift Univ. Göttingen 1973.
- [ 6 ] *Glaser, F.*: Korn-Stroh-Trennung unter besonderer Berücksichtigung eines umlaufenden Siebbandschüttlers (Zinkenbandschüttlers). Diss. TH München 1976.
- [ 7 ] *Graeber, E.*: Wirtschaftliche und technische Aspekte der Kornverlustfassung am Mähdrescher. *Grundl. Landtechnik* Bd. 25 (1975) Nr. 1, S. 15/17.
- [ 8 ] DLG-Prüfbericht Nr. 2177, Gruppe 7c/26, Mai 1973.
- [ 9 ] *Saemann, K.L., K. Bühler, K. Pauli, W. Wolfsturm u. E. Podleska*: Vorrichtung zum Messen von Körnerverlusten in Dreschmaschinen, insbesondere Mähdreschern. Deutsche Patentschrift 1632870.
- [ 10 ] *Ergun, S. u. A.A. Orning*: Fluid flow through randomly packed columns and fluidized beds. *Industr. Engng. Chem.* Bd. 41 (1949) Nr. 6, S. 1179/84.
- [ 11 ] DLG-Prüfberichte, Gruppe 7 c. Frankfurt a.M.: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft.

# Berücksichtigung des Verdichtungsverhaltens von Körnermaissilagen bei der Berechnung des Investitionsbedarfs für Gärfutterbehälter

Von Dieter Albrecht, Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 633.15.004.12:725.36.003

Durch die Entwicklung schlagkräftiger Ernteverfahren für Körnermais, z.B. durch die Entwicklung mehrreihiger Lieschkolbenschroter, gewinnt das Silieren der unterschiedlichen Gutformen an Bedeutung.

Hauptkostengröße dieses Konservierungsverfahrens sind die Investitionskosten. Um gerade hierzu differenzierte Planungsgrößen zu erhalten, ist die Kenntnis des spezifischen Raumbedarfs der Gutformen Voraussetzung.

Im folgenden wird ein experimentell-theoretisches Vorgehen beschrieben, das die Ermittlung des spezifischen Raumbedarfs von Silagegütern für Planungszwecke in ausreichender Genauigkeit ermöglicht, ohne aufwendige Praxisuntersuchungen zu erfordern.

## 1. Einleitung

Für die Planung von Silagebehältern erfolgt die Berechnung von Raumbedarfswerten üblicherweise mit durchschnittlichen Lagerdichtewerten, unabhängig von der jeweiligen Silogröße [1]. Dabei bleibt unberücksichtigt, daß in Silos unterschiedlicher Höhe unterschiedliche Drücke herrschen und verschiedene Lagerdichten erreicht werden [2, 3, 4].

Zur Erstellung von Datenmaterial für exakte Betriebskalkulationen, wie sie z.B. die Betriebsprogrammierung darstellt, reichen diese Richtwerte nicht mehr aus. Gerade die Auswahl differenzierter betrieblicher Verfahrensorganisationen, deren Ermittlung diese Rechenmethode erlaubt, setzt die Kenntnis detaillierter Verfahrenskennwerte voraus.

\*) *Dipl.agr.oec. Dieter Albrecht ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 beim Fachgebiet: Verfahrenstechnik der Tierproduktion (Leiter: Prof. Dr. Th. Bischoff) am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.*

Dies bedeutet, daß zur Ermittlung des Investitionsbedarfs für Silagebehälter nicht nur die Kenntnis der Silopreise in Abhängigkeit von Siloart, -durchmesser, -höhe und Grad der Ausnutzung notwendig ist, sondern ebenso die Lagerdichten der verschiedenen Ernteprodukte bei unterschiedlichen Werten von Schüttdichte, Feuchtegrad, Füllhöhe und Silodurchmesser.

Die Ermittlung der letzteren Daten kann durch Praxiserhebungen und deren Auswertung mittels multipler Regression vorgenommen werden und ist auf diese Art für Gras-Anwelksilage bereits erfolgt [5]. Aufgrund des hierzu notwendigen erheblichen Aufwandes stellt sich jedoch die Forderung nach einer kostengünstigeren Untersuchungsmethode. Die im folgenden vorgeschlagene experimentell-theoretische Vorgehensweise zur Ermittlung von differenzierten Raumbedarfszahlen für Silagegüter benötigt nur einen Bruchteil des sonst erforderlichen Aufwandes. Sie erbringt trotzdem für die Betriebsplanung ausreichende Ergebnisse. Am Beispiel folgender, unter Praxisbedingungen geernteter Körnermaisernteformen wird dieses Vorgehen dargestellt: ganze Körner, Körnerschrot, Lieschkolbenschrot, Corn-Cob-Mix.

## 2. Methodisches Vorgehen

Unterstellt wird, daß bei gleichmäßiger Silobefüllung die in einer Schicht wirksamen Vertikaldrucke mit zunehmender Fülltiefe kontinuierlich ansteigen. Hat man diese Funktion der fülltiefenabhängigen Silodrücke, so kann mittels zusätzlicher Untersuchung des Verdichtungsverhaltens des Gutes das Gesamtgewicht einer Schüttung ermittelt werden. Hierbei können zuerst kontinuierlich die Lagerdichten der jeweiligen Schichten bestimmt und dann die durchschnittliche Dichte in Abhängigkeit von der Fülltiefe berechnet werden.

Das vorgeschlagene Vorgehen erfolgt in drei Schritten, wobei jeweils eine funktionale Beziehung zwischen den entsprechenden Einflußgrößen aufgestellt wird.

- a) Da Druckmessungen in Körnermaissilos nicht in ausreichender Zahl vorhanden sind, werden ersatzweise Vertikaldruckverhältnisse unterstellt, wie sie nach DIN 1055 für den Bau von Gärfutterstilos maßgeblich sind [6].
- b) Mittels Verdichtungsversuche werden experimentell die Volumenverringerungen der verschiedenen Maiserntegüter bei unterschiedlicher Druckbelastung ermittelt.
- c) Aufgrund des somit bekannten Druckverlaufs in Abhängigkeit von der Fülltiefe, ergibt sich die Funktion der Volumenverringerung in der Gesamtschüttung durch Kombination der ermittelten Druckfunktion mit der Funktion der Volumenverringerung bei unterschiedlichen Druckbelastungen. Die Funktion der Volumenverringerung der Gesamtschüttung kann nun in eine Funktion der fülltiefeabhängigen Lagerdichte überführt werden, womit sich dann für verschiedene Fülltiefen durchschnittliche Lagerdichten berechnen lassen.

### 3. Ermittlung des Verdichtungsverhaltens

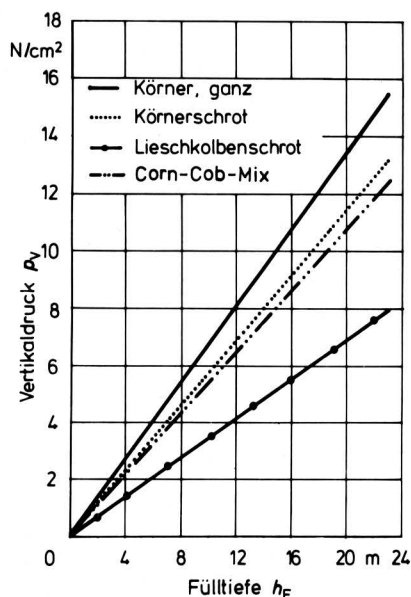
#### 3.1 Vertikaldruckberechnung nach DIN 1055

Nach DIN 1055 werden die Vertikaldrücke von landwirtschaftlichen Schüttgütern und Gärfuttermaterialien unterschiedlich berechnet. Bei trockenen Schüttgütern wird davon ausgegangen, daß der Vertikaldruck mit steigender Fülltiefe degressiv bis zu einem Grenzwert ansteigt und von da an konstant bleibt. Demnach errechnet sich der fülltiefeabhängige Bodendruck als Bruchteil dieses Grenzwertes, wobei die funktionale Erfassung mittels Exponentialfunktionen dargestellt werden kann.

Bei Gärfutter, dessen Lagerungsverhalten noch ungenügend bekannt ist, wird von einem Druckanstieg linear-proportional zur Fülltiefe ausgegangen, d.h. es gilt die Funktion: \*)

$$p_V = \rho_S g h_F \quad (1)$$

Eine hiermit möglicherweise vorgenommene Überbewertung dieser Größe gegenüber den tatsächlich ermittelten Praxiswerten kann für die vorliegende Problematik jedoch vernachlässigt werden, da gleichmäßige Befüllung vorausgesetzt wird [7].



**Bild 1.** Vertikaldruck im Silo in Abhängigkeit von der Tiefe nach DIN 1055 für verschiedene Körnermaiserntegüter.

\*) Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen am Schluß der Arbeit.

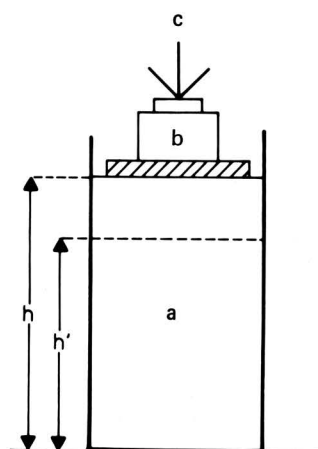
Für die Entscheidung welche der beiden Berechnungsarten für die vorliegende Problematik geeignet ist, können die wenigen Richtwerte herangezogen werden. Hierbei ergibt die Berechnungsart für trockene Schüttgüter zu geringe Raumdichten, während die Berechnung mittels der Werte der Gärfuttermaterialien in dem Füllbereich, für den die Richtwerte bekannt sind (ca. 5–10 m), gute Übereinstimmung bringt. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß auch bei größeren Werten der Fülltiefe Drücke in der Größenordnung entstehen, wie sie nach DIN 1055 für Gärfutter errechnet werden.

In **Bild 1** sind die tiefenabhängigen Silodrücke nach DIN 1055 für die entsprechenden Körnermaiserntegüter berechnet. Hierbei sind Schüttdichten von Erntegütern unterstellt, die aus gleichem Bestand geerntet wurden, so daß eine Vergleichbarkeit der Werte gegeben ist.

#### 3.2 Messungen und Berechnungen zum Verdichtungsverhalten verschiedener Körnermaiserntegüter

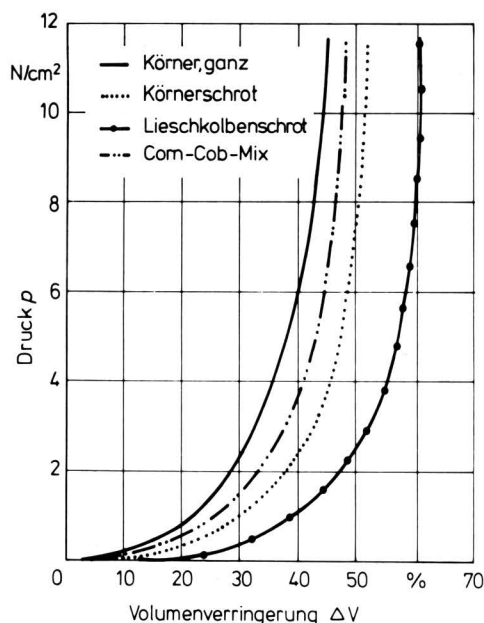
Im nächsten Schritt ist die Volumenverringerung der verschiedenen Maiserntegüter bei unterschiedlichen Drücken zu bestimmen. Dies kann mittels einer in **Bild 2** skizzierten Anlage experimentell erfolgen. Hierbei verdichtet die Hydraulikpresse die Gutschüttung schrittweise um vorbestimmte Werte. Dabei erhöht sich jeweils die Druckanzeige der Druck-Meßdose. Verbleibt der Druckstempel in seiner Stellung, so geht, aufgrund des zeitabhängigen Verdichtungsverhaltens des Materials, die Druckanzeige am Gerät zurück. Nach ca. 3–4 Tagen stellt sich ein Enddruck  $p$  ein, der dem Wert der auf das Ausgangsvolumen (Schütthöhe) bezogenen Volumenverringerung ( $\Delta V$ ) des Lagermaterials zugeordnet wird, **Bild 3**. Dieser Enddruck  $p$  wird in den weiteren Überlegungen dem Vertikaldruck  $p_V$  gleichgesetzt, da unterstellt wird, daß Abweichungen, die sich aufgrund der hier unternommenen dynamischen Vorgehensweise gegenüber den statischen Verhältnissen, wie sie in Praxissilos entstehen, vernachlässigt werden können. Randeinflüsse können für die vorliegende Betrachtung unberücksichtigt bleiben [8].

Eine Approximation mittels Potenzfunktion ergibt bei den verwendeten Materialien folgende Beziehung:



**Bild 2.** Schema der Verdichtungsrichtung zur Messung der Volumenverringerung verschiedener Maiserntegüter bei unterschiedlichen Drücken.

- a Versuchsbehälter
- b Druckmeßdose
- c Hydraulikstempel



**Bild 3.** Druck auf die Schüttung, der sich in Abhängigkeit von der Volumenverringierung einstellt.

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{\text{Körner,ganz}} &= 22,90 p^{0,3} & r^2 &= 0,98 \\
 \Delta V_{\text{Körnerschrot}} &= 31,64 p^{0,23} & r^2 &= 0,95 \\
 \Delta V_{\text{Lieschkolbenschrot}} &= 40,64 p^{0,2} & r^2 &= 0,95 \\
 \Delta V_{\text{Corn-Cob-Mix}} &= 26,61 p^{0,28} & r^2 &= 0,96
 \end{aligned} \quad (2),$$

mit der rel. Volumenverringierung  $\Delta V$  in % und  $p$  in  $\text{N}/\text{cm}^2$ .

Aus dem berechneten Druckverlauf und den experimentell ermittelten Volumenverringierungen können mittels einfacher Umformungen die fülltiefenabhängigen Lagerdichten berechnet werden.

Allgemein gilt für die Massenermittlung im unverdichteten Schüttgut:

$$m_S = \rho_S V_0.$$

Beim Verdichtungsprozeß bleibt die Masse konstant:

$$m = \rho_S V_0 = \rho_L V_L.$$

Für die Volumenverringierung gilt:

$$\Delta V = 100 (V_0 - V_L) / V_0.$$

Daher ergibt sich:

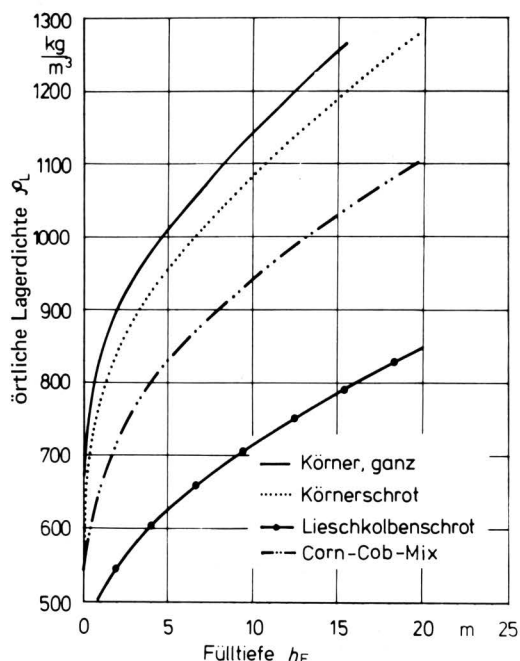
$$\rho_L = \rho_S \frac{100}{100 - \Delta V} = \frac{\rho_S}{1 - (\Delta V / 100)} \quad (3).$$

Mit Gl. (3) kann die fülltiefenabhängige Lagerdichte in Abhängigkeit von der Schüttdichte und der entsprechenden Volumenverringierung erfaßt und dargestellt werden. Da mit Gln. (2) und (1) sowohl das Verdichtungsverhalten, wie auch der Druckverlauf im Silo erfaßt werden, kann durch Kombination der Gln. (1), (2) und (3) die fülltiefenabhängige Lagerdichte in Abhängigkeit von der Fülltiefe errechnet werden.

Beispielsweise ergibt sich demnach für ganze Körner bei einer Fülltiefe von  $h_F$  folgende fülltiefenabhängige Lagerdichte:

$$\begin{aligned}
 \rho_{L, \text{Körner,ganz}} &= \frac{\rho_{S, \text{Körner}}}{1 - 0,229 p^{0,3}}, \text{ da } p = p_V \text{ gilt:} \\
 &= \frac{\rho_{S, \text{Körner}}}{1 - 0,229 (\rho_S g h_F)^{0,3}}
 \end{aligned} \quad (3a).$$

In Bild 4 wird eine derartige Berechnung für die verschiedenen Gutformen dargestellt.



**Bild 4.** Örtliche Lagerdichte der verschiedenen Maiserntegüter als Funktion der Fülltiefe, berechnet mit Gln. (2) u. (3).

## 4. Ökonomische Bedeutung des Verdichtungsverhaltens

### 4.1 Planungsgrößen der Gärfutterbereitung

Für die betriebliche Planung sind an Daten neben dem Anschaffungsbedarf der Gärfutterbehälter insbesondere das unterschiedliche Silofassungsvermögen in Abhängigkeit von der Fülltiefe für die verschiedenen Gutformen notwendig.

Hiermit können folgende Planungssituationen gelöst werden:

- Dimensionierung der Silobehälter. Bei vorgegebenem Futterbedarf kann für die verschiedenen Erntegüter die Anzahl der Behälter, sowie deren Höhe und Durchmesser den betrieblichen Gegebenheiten angepaßt werden.
- Beurteilung des Ernteertrages. Nach Abschluß des Absetzens im Silo kann die eingebrachte Gutmenge quantifiziert werden. Damit kann nach der Ernte bzw. während der Fütterungsperiode die vorhandene Silagemenge ermittelt werden.
- Ermittlung des Investitionsbedarfs. Aufgrund des unterschiedlichen Siloraumbedarfs der verschiedenen Erntegüter, sowie ihres unterschiedlichen Nährstoffgehaltes benötigen die Güter, bezogen auf die in der Volumeneinheit eingelagerten Nährstoffe, unterschiedlichen Investitionsbedarf.

### 4.2 Maximales Silofassungsvermögen in Abhängigkeit von der Silogröße

Bei homogener Verteilung über den Querschnitt ergibt sich das maximale Fassungsvermögen eines Silos aus der gesamten Lagermasse pro  $\text{m}^2$  Silogrundfläche (für die max. Füllhöhe) multipliziert mit der Silofläche. Die Lagermasse auf  $1 \text{ m}^2$  Silofläche kann durch Integration von Gl. (3) nach  $h_F$  berechnet werden.

Für Gleichung (3a) gilt dann z.B.:

$$m^* = \int_0^H \rho_L dh_F \quad (4)$$

$$= \int_0^H \frac{\rho_S}{1 - 0,229 (\rho_S g h_F)^{0,3}} dh_F \quad (4a)$$

Zur vereinfachten Handhabung dieser Funktionen kann die füll-tiefenabhängige Lagerdichte auch mittels Approximation einer Potenzfunktion ausreichend genau dargestellt werden.

Hiermit ergeben sich für genügend großes  $h_F$  Gleichungen nach der Form:

$$\rho_L = a h_F^b \quad (5)$$

Funktionen dieser Art lassen sich einfach integrieren und ermöglichen somit die Berechnung der gesamten Lagermenge bei beliebiger Fülltiefe. Bezogen auf  $1 \text{ m}^2$  Silogrundfläche gilt:

$$m^* = \int_0^H a h_F^b dh_F = \frac{a}{b+1} h_F^{b+1} \Big|_0^H = c H^d \quad (6)$$

	c	d	r <sup>2</sup>
Körner, ganz	674,2	1,18	0,95
Körnerschrot	635,5	1,18	0,96
Lieschkolbenschrot	406,9	1,19	0,96
Corn-Cob-Mix	552,1	1,18	0,95

Tafel 1. Berechnung der Silofassungsvermögen bei verschiedenen Körnermaissilagen ( $m^* = c H^d$ ).

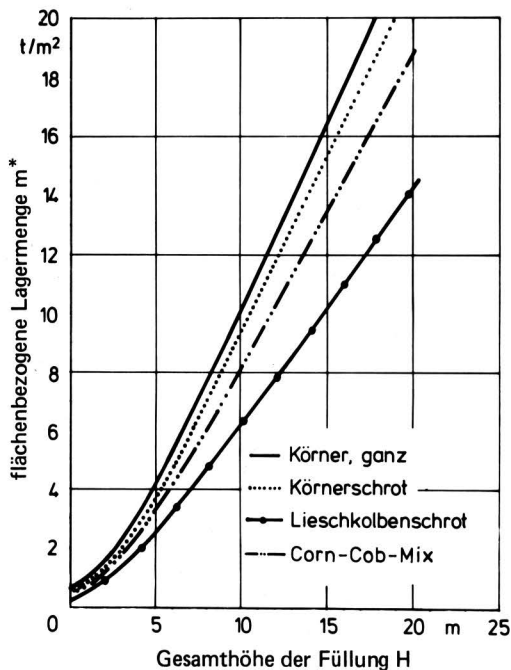


Bild 5. Flächenbezogene Lagermenge im Silo bei unterschiedlichen Körnermaiserntegütern in Abhängigkeit von der Höhe der Füllung.

Tafel 1 enthält die Koeffizienten zur Berechnung dieser vereinfachten Darstellung. Bild 5 zeigt die graphische Darstellung dieser Kurvenverläufe. In Bild 6 sind die durchschnittlichen Lagerdichten in Abhängigkeit von der Fülltiefe aufgezeigt, die sich nach folgender Gleichung berechnen lassen:

$$\bar{\rho} = \frac{m^*}{H} = c H^{(d-1)} = c H^b \quad (7)$$

Die durchschnittlichen Lagerdichten können als wesentliche Planungskriterien für die weitere Beurteilung des Raumbedarfs dienen. Es kann damit eine materialabhängige Dimensionierung von Gärfutterbehältern vorgenommen und damit besser auf die erwähnten betrieblichen Fragestellungen eingegangen werden.

Bild 7 zeigt eine Anwendungsmöglichkeit der ermittelten Beziehungen. Für unterschiedlich große Silos ist der Zusammenhang zwischen Einlagerungsmenge (Fassungsvermögen) und der Silohöhe für verschiedene Erntegüter dargestellt. Hierbei wird unterstellt, daß eine Raumaussnutzung von 85 % durch Nachfüllen erreicht wird.

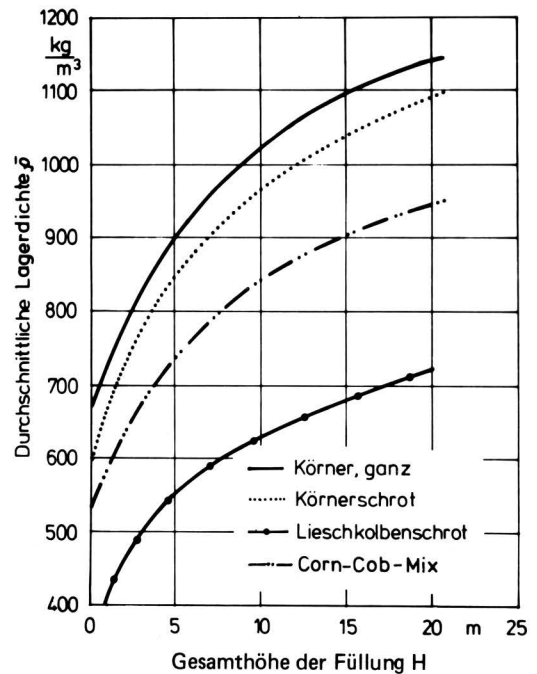


Bild 6. Durchschnittliche Lagerdichte verschiedener Maissilagen als Funktion der Höhe der Füllung.

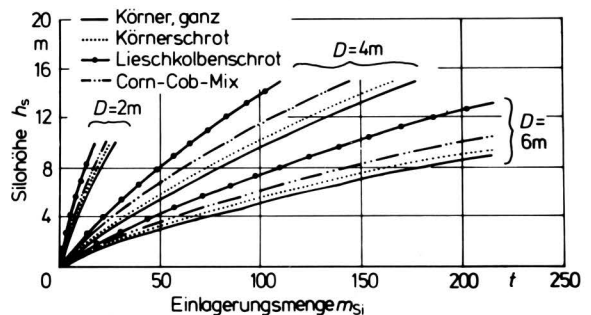


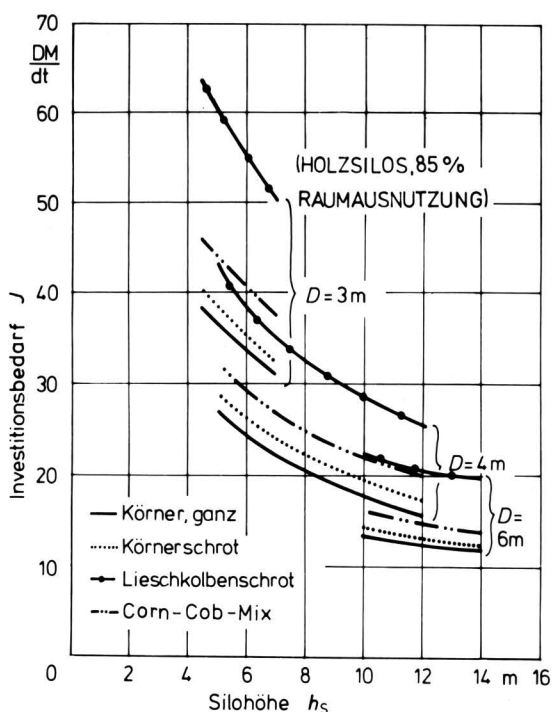
Bild 7. Notwendige Silohöhe bei verschiedenen Maissilagen und unterschiedlichem Silodurchmesser als Funktion der Einlagerungsmenge.

### 4.3 Investitionsbedarf bei verschiedenen Erntegütern und Silogrößen

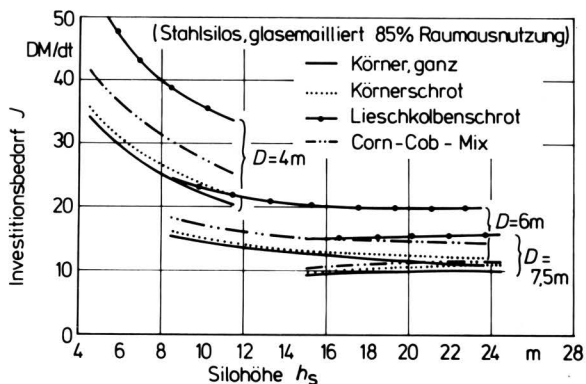
In Bild 8 bis 11 ist der Investitionsbedarf für Holz- und Stahlsilos verschiedener Größen bei der Befüllung mit verschiedenen Körnermaiserngetütern ermittelt.

Infolge der unterschiedlichen Schütt- und Lagerdichten der Erntegüter, aufgrund der Unterschiede in Struktur, Zusammensetzung und Feuchtegehalt, ergeben sich die dargestellten Beziehungen. Hierbei nimmt der Siloraum- bzw. Investitionsbedarf mit folgender Reihenfolge zu: ganze Körner, Körnerschrot, Corn-Cob-Mix, Lieschkolbenschrot.

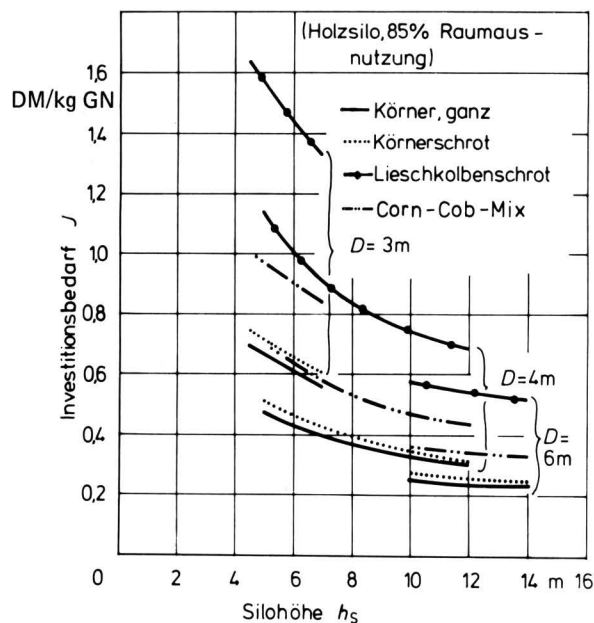
Insbesondere der Investitionsbedarf bezogen auf die Mengeneinheit an Gesamtnährstoff zeigt wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Erntegutformen. Damit ergibt sich die Bedeutung differenzierter Berechnungen.



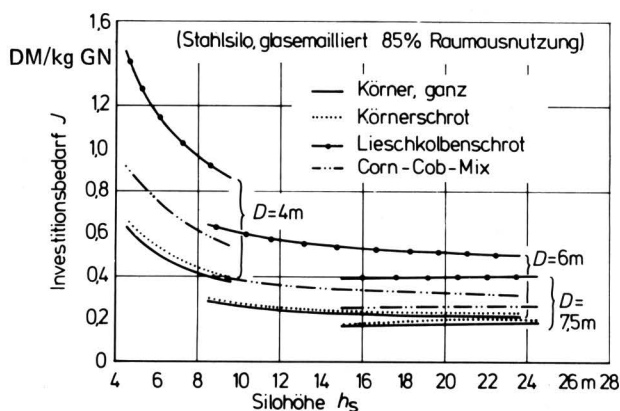
**Bild 8.** Auf eine Masseneinheit bezogener Investitionsbedarf für Holzsilos in Abhängigkeit von der Silohöhe, verschiedene Maissilagen, unterschiedliche Silodurchmesser.



**Bild 9.** Auf eine Masseneinheit bezogener Investitionsbedarf für glasemaillierte Stahlsilos in Abhängigkeit von der Silohöhe, verschiedene Maissilagen, unterschiedliche Silodurchmesser.



**Bild 10.** Auf eine Masseneinheit Gesamtnährstoff bezogener Investitionsbedarf für Holzsilos in Abhängigkeit von der Silohöhe, verschiedene Maissilagen, unterschiedliche Silodurchmesser.



**Bild 11.** Auf eine Masseneinheit Gesamtnährstoff bezogener Investitionsbedarf für glasemaillierte Stahlsilos in Abhängigkeit von der Silohöhe, verschiedene Maissilagen, unterschiedliche Silodurchmesser.

### 5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine experimentell-theoretische Vorgehensweise beschrieben, um für die Dimensionierung von Gärfutterbehältern für Körnermaiserngetütern exakte Planungsgrößen zu erhalten.

Unter Einbeziehung von Vertikaldruckberechnungen nach DIN 1055, sowie von eigenermittelten Verdichtungswerten der verschiedenen Maiserngetütern kann mittels der vorgeschlagenen Methode das Fassungsvermögen für unterschiedlich große Gärfutterbehälter differenziert ermittelt werden.

Anhand dieser Ergebnisse sowie des spezifischen Nährstoffgehaltes kann der Investitionsbedarf bezogen auf die Einheit der Gesamtmasse oder an Gesamtnährstoff der gelagerten Futterstoffe abgeleitet werden.

## Verwendete Formelzeichen

D	m	Silodurchmesser
g	m/s <sup>2</sup>	Fallbeschleunigung
h <sub>F</sub>	m	Fülltiefe
h <sub>S</sub>	m	Silohöhe
H	m	Gesamthöhe der Silofüllung
I	DM/kg GN	Investitionsbedarf bezogen auf Mengeneinheit des Gesamtnährstoffes bzw. Masseneinheit
	DM/dt	DM/dt
m <sub>S</sub>	kg, t	Masse des Schüttgutes
m <sub>L</sub>	kg, t	Masse des Lagergutes
m <sub>Si</sub>	t	gesamtes Silofassungsvermögen
m*	kg/m <sup>2</sup> t/m <sup>2</sup>	Masse des Schüttgutes auf 1 m <sup>2</sup> Silogrundfläche
p	N/cm <sup>2</sup>	Enddruck nach dem Absetzen
p <sub>V</sub>	N/cm <sup>2</sup>	Vertikaldruck
V <sub>0</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen des Schüttgutes
V <sub>L</sub>	m <sup>3</sup>	Volumen nach Erreichen der Lagerdichte ρ <sub>L</sub>
Δ V	%	Volumenverringerung
ρ <sub>S</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte
ρ <sub>L</sub>	kg/m <sup>3</sup>	fülltiefenabhängige Lagerdichte
$\bar{\rho}$	kg/m <sup>3</sup>	durchschnittliche Lagerdichte
a,b,c,d	–	Regressionskoeffizienten

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • *Hell, W.*: Optimale Investitionen in der Silowirtschaft. ALB-Schriftenreihe Nr. 28, Frankfurt 1966.
- [ 2 ] *Hoffmann, O.-H.*: Neuere Grundlagen der Mechanik körniger Haufwerke. Grndl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 2, S. 48/59.
- [ 3 ] • *Pieper, K. u. F. Wenzel*: Druckverhältnisse in Silozellen. Berlin, München: Verlag Ernst u. Sohn 1964.
- [ 4 ] • *Schwedes, J.*: Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern. Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie GmbH 1968.
- [ 5 ] *Grimm, A.*: Ermittlung der Raumgewichte von Grasanweltsilage nach der Regressionsanalyse. Grndl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 3, S. 91/92.
- [ 6 ] DIN 1055, Blatt 6: Lastannahmen für Bauten – Lasten in Silozellen (November 1964).
- [ 7 ] *Grimm, K.*: Messung der Wandreibungskräfte in Gärfutterhochsilos aus glasfaserverstärktem Kunststoff und die Lastannahmen nach DIN 1055. Grndl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 3, S. 85/90.
- [ 8 ] • *Stroppel, A.*: Spannungszustände in lagernden körnigen Haufwerken in der Nähe einer ebenen Wand. VDI-Forschungsheft 525. Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.

# Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Gerät

Von Reinhard Reich, Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 531.781:631.372:631.072

Zur Beurteilung und zum Vergleich verschiedener Mechanisierungsverfahren in der pflanzlichen Produktion ist die Kenntnis des Energie- und Leistungsbedarfs der jeweils eingesetzten Maschinen unerlässlich. In dem vorliegenden Aufsatz wird eine Kraftmeßeinrichtung für Dreipunkt-Anbaugeräte beschrieben, die zur Ermittlung dieser Größen am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion gebaut wurde und seit einiger Zeit mit Erfolg eingesetzt wird.

## 1. Einleitung

In der Pflanzenproduktion konkurrieren auf dem Gebiet der Bodenbearbeitung verschiedene Verfahren, die es hinsichtlich Energie- und Leistungsbedarf sowie Schlagkraft zu vergleichen gilt [1]. Die Grundlage hierzu bilden Messungen am System Schlepper/Bodenbearbeitungsgerät/Boden mit den Schwerpunkten:

1. Zugkraft und Antriebsmoment am Gerät als Funktion von Arbeitstiefe und Fahrgeschwindigkeit
2. Zugfähigkeit, Kraftstoffverbrauch und Radschlupf des Schleppers

jeweils bei verschiedenen Böden und Bearbeitungszuständen.

Entsprechende Untersuchungen werden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 140 der Universität Hohenheim durchgeführt. Hierfür stehen derzeit Meßgeräte zur Messung folgender Größen zur Verfügung:

1. Kräfte zwischen Schlepper und angebautem Gerät
2. Drehmoment an der Zapfwelle
3. Fahrgeschwindigkeit
4. Kraftstoffverbrauch.

Ein Radschlupf-Meßgerät ist in der Entwicklung. Im folgenden werden die Kraftmeßeinrichtung und einige Versuchsergebnisse beschrieben.

## 2. Kraftmeßeinrichtung

### 2.1 Anforderungen

Bei vielen Untersuchungen müssen die zwischen Schlepper und Gerät auftretenden Kräfte gemessen werden. Damit eine entsprechende Meßeinrichtung universell einsetzbar ist, muß sie u.a. die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Entsprechend der Verbindung von Schlepper und Gerät – Dreipunktanbau, Aufsattelung, Anhängung – sind die wichtigsten Kraftkomponenten in definierten Richtungen zu messen.
- b) Die Einrichtung soll unabhängig vom Schleppertyp sein, damit dieser seiner Leistung nach passend zum Gerät gewählt werden kann.

\*) *Dipl.-Ing. Reinhard Reich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet: Verfahrenstechnik der Pflanzenproduktion) der Universität Hohenheim.*