

# Entwicklung einer Meß- und Kontrolleinrichtung für den Gutdurchsatz der Reinigungsanlage im Mährescher

Von Georg Segler und Theo Freye,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

DK 631.354.2.004.16:631.354.2.004.58:531.787

Bei den Verarbeitungsorganen im Mährescher bestimmen in erster Linie der Schüttler und die Reinigung die Höhe der Körnerverluste.

Die Arbeitsgüte dieser Trennelemente ist von der Gutart, der Gutbeschaffenheit sowie vom Gutdurchsatz abhängig. Bei Kenntnis des jeweiligen Gutdurchsatzes besteht für den Fahrer die Möglichkeit, ungünstige Betriebszustände und Störungen zu erkennen und Verluste zu vermeiden. Es wird ein Verfahren zum Messen und Kontrollieren des Gutdurchsatzes der Reinigungsanlage vorgestellt.

## Inhalt

1. Einleitung
2. Verlustverhalten der Mährescherreinigung
3. Bekannte Methoden zur Kontrolle der Körnerverluste der Mährescherreinigung
4. Bestimmung des Gutdurchsatzes der Reinigungsanlage
  - 4.1 Verwendetes Meßverfahren
  - 4.2 Ergebnisse im Feldversuch
5. Zusammenfassung

## 1. Einleitung

Steigende Flächenerträge, Neuzüchtungen von Körnerfrüchten mit veränderten Stroheigenschaften sowie der Wunsch nach Steigerung des Körnerdurchsatzes werden auch in Zukunft neue Anforderungen an die Arbeitsqualität und die Leistungsfähigkeit der Trennorgane im Mährescher stellen.

Während zur Zeit der Schüttler als leistungsbegrenzendes Arbeitsorgan anzusehen ist, muß man davon ausgehen, daß in Zukunft die Reinigungsanlage anteilmäßig höher belastet wird. So nimmt der Kurzstrohanteil bei Anwendung von Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung der Korn-Stroh-Trennung zu, beispielsweise durch mechanische Schüttlerhilfen, zusätzliche Abscheidetrommeln und bei Verwendung von Dreschsystemen ohne nachgeschalteten Schüttler.

Unter normalen Ernte- und Betriebsbedingungen liegen die Verluste der Reinigung etwa bei 0,2 bis 0,5 %. Dieser Wert kann jedoch erheblich überschritten werden, wenn aufgrund von ungünstigen Betriebszuständen der optimale Arbeitsbereich der Reinigungsanlage verlassen wird.

\*) Prof. em. Dr.-Ing. G. Segler war Inhaber des Lehrstuhls für Landtechnik der Universität Hohenheim und ist Leiter des Teilprojekts "Die Kornabtrennung im Mährescher mittels der dem Dreschwerk nachgeschalteten Trennelemente" im DFG Sonderforschungsbereich 140, Dipl.-Ing. Th. Freye ist wiss. Mitarbeiter im gleichen Forschungsprojekt.

## 2. Verlustverhalten der Mährescherreinigung

Die aus luftdurchströmten Schwingsieben bestehende Reinigung im Mährescher arbeitet nach Art eines vibro-pneumatischen Trennprozesses [1]. Das vom Schwingförderboden zugeführte Gemisch aus Korn, Spreu und Kurzstroh wird durch die Einwirkung der mechanischen und pneumatischen Kräfte entmischt und das Korn abgeschieden. Die Nichtkornbestandteile werden über das Obersieb hinweggefördert. Bild 1 zeigt die Anordnung der Trennelemente im Mährescher.

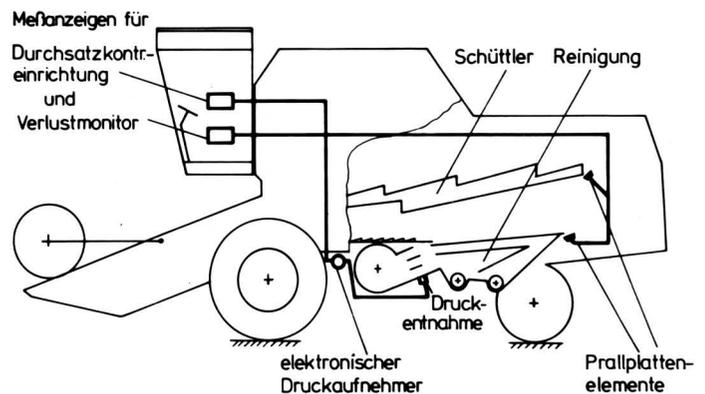


Bild 1. Anordnung der Trennelemente und der Überwachungseinrichtung im Mährescher.

Das Verlustverhalten der Reinigung ist durch drei Betriebsphasen gekennzeichnet, die sich je nach Gutbelastung einstellen, Bild 2. Dem anzustrebenden Betriebszustand mit geringen Verlusten entspricht die Wirbelschichtphase (B in Bild 2), die sich im mittleren Durchsatzbereich einstellt und bei der die Entmischung und Kornabtrennung durch eine aufgelockerte, d.h. fluidisierte Gutschicht erleichtert wird. Bei zu geringer Belastung der Siebe tritt die Flugphase A ein, bei der infolge ungenügender Drosselung des Gebläses durch die Gutschicht ein pneumatischer Förderzustand eintritt, der höhere Körnerverluste zur Folge hat.

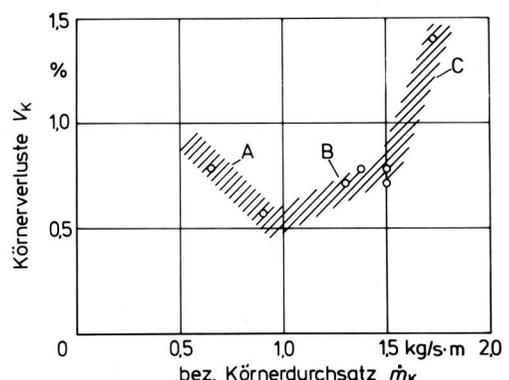


Bild 2. Körnerverluste in der Reinigung in Abhängigkeit vom bezogenen Körnerdurchsatz.

Dieser Betriebszustand ist häufig beim Leerfahren der Maschine, beim Wenden am Feldende, bei langsamer Fahrt während des Korntankentleerens, beim Durchfahren von Mulden und bei ab-sätzigem Betrieb in Lagergetreide zu beobachten. In der Schüttungsphase C, die sich bei sehr hohem Durchsatz ein-stellt, nehmen die Körnerverluste sehr stark zu. Die in die Gut-schicht eingeleiteten Kräfte reichen nicht mehr zur Auflockerung aus, so daß eine kohärente Schütt-schicht mit ungenügender Ent-mischung entsteht.

### 3. Bekannte Methoden zur Kontrolle der Körnerverluste der Trennorgane

Eine Möglichkeit der Abschätzung der Reinigungsverluste ist durch Auszählen von Verlustkörnern hinter dem Mäh-drescher gegeben [2]. Dieses Auszählen auf einer bestimmten Kontrollfläche (Prüfschale) ist nur stichprobenartig möglich und zeitaufwendig, auch ist es schwierig, zwischen Schüttler- und Reinigungsverlusten zu unterscheiden.

Zur stetigen Kontrolle der Reinigungs- und Schüttlerverluste sind seit einigen Jahren sogenannte Verlustmonitore auf dem Markt, die heute bei großen Mäh-dreschern zur Standardausrüstung gehö-ren. Diese Verlustkontrollgeräte, über deren Anwendungsmöglich-keiten und Nachteile mehrere Autoren berichten [3 bis 7], be- stehen aus mikrophonähnlichen Prallplattenelementen, die am Ende des Schüttlers und der Reinigung angeordnet werden, sowie aus einem Anzeigegerät am Fahrerstand, s. Bild 1. Der Aufprall der Verlustkörner verursacht Impulse, die gemessen und als Maß für die je Zeiteinheit auftretenden Verlustkörner angezeigt werden. Für jede Fruchtart und jeden Gutzustand ist – oft mehr-mals täglich – eine Kalibrierung der Meßeinrichtung erforderlich.

Während im unteren Durchsatzbereich eine lineare Abhängigkeit zwischen den absoluten Körnerverlusten und dem Anzeigewert besteht, Bild 3, wird bei hohem Gutdurchsatz eine Unterbewertung vorgenommen.

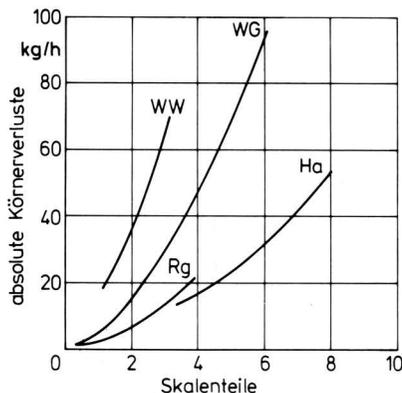


Bild 3. Zusammenhang zwischen den absoluten Körnerverlusten und Anzeige des Verlustmonitors nach DLG-Prüfbericht [8].

Ha Hafer                      WG Wintergerste  
Rg Roggen                    WW Winterweizen

Nach Eimer [5] und Glaser [6] ist dies weniger auf das Meßver-fahren selbst, als auf die Abscheidecharakteristik der Trennelemente zurückzuführen, da bei zu großem Durchsatz und damit verbunde-ner ungenügender Auflockerung die in der Gutschicht verbleiben-den Körner überproportional zunehmen. Saemann u.a. [9] schla-gen ein pneumatisches Verlustmeßgerät vor, bei dem die Verlust-körner am Ende des Schüttlers oder der Reinigung gesammelt und einem lotrechten Steigsichter zugeführt werden. Durch die Ver-lustkörner entsteht hier eine Druckänderung, die am Fahrerstand angezeigt als Maß für die Körnerverluste dient.

Ein wesentlicher Nachteil der oben genannten Verlustmeßgeräte besteht darin, daß die Verlustanzeige keinerlei Bezug zum Durch-satz des Mäh-dreschers aufweist. Der Fahrer muß abschätzen, ob

die angezeigten absoluten, d.h. nur auf die Zeit bezogenen Körner-verluste beim vorliegenden Gutdurchsatz zulässig sind. Eine Kopp-lung der Anzeige des Verlustmeßgeräts mit der Fahrgeschwindig-keit des Mäh-dreschers als Maß für den Durchsatz wäre aufgrund wechselnder Bestandsdichten und der langen Verweilzeit des Guts zwischen Gutaufnahme und Verlustmeßstelle nicht sinnvoll.

## 4. Bestimmung des Gutdurchsatzes der Reinigungsanlage

### 4.1 Verwendetes Meßverfahren

Bei dem im Institut für Agrartechnik Hohenheim entwickelten Meßverfahren wird der Gutdurchsatz indirekt durch Messen des Strömungswiderstandes der Luft beim Durchströmen der über das Schwingsieb wandernden Gutschicht ermittelt.

Der Druckabfall setzt sich aus dem Druckverlust durch die Mäh-dreschersiebe  $\Delta p_S$  und dem Druckverlust  $\Delta p_M$  durch die Schüt-tung zusammen. Der Druck ändert sich periodisch mit der Sieb-schwingungsfrequenz. Befindet sich das über das Sieb strömende Gut in der Schüttungsphase, so bestimmt sich der Druckabfall in Anlehnung an die Formel für ruhende Schüttungen nach Ergun [10] zu:

$$\Delta p_M = (k_1 \cdot \frac{1-\epsilon}{Re} + k_t) \frac{\rho}{2} v^2 \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \cdot H \cdot f(Fr) .$$

Für die vibro-pneumatische Wirbelschichtphase ergibt sich bei turbulenten Strömungsverhältnissen der Druckabfall zu:

$$\Delta p_{M_{Wp}} = k_t \cdot \frac{\rho}{2} v_{Wp}^2 \cdot \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \cdot H \cdot f(Fr) .$$

Bei gegebenem Gut ändert sich der Strömungswiderstand propor-tional mit der Schichthöhe und – gleiche Fördergeschwindigkeit vorausgesetzt – diese sich mit dem Gutdurchsatz, so daß der Strömungswiderstand ein Maß für den Gutdurchsatz darstellt. Der Druck unter den Sieben wird über eine oder mehrere Druck-sonden zu einem elektrischen Meßwandler geleitet. Die Größe des Druckes wird hier entweder induktiv, kapazitiv oder mittels Dehnungsmeßstreifen in eine elektrische Größe umgewandelt und über eine Verstärkerstufe zu einem Meßinstrument geleitet, das – im Sichtfeld des Fahrers angeordnet – eine dem Gutdurchsatz pro-portionale Anzeige liefert. Dem Anzeigeeinstrument ist ein Tief-paßfilter vorgeschaltet, das Druckschwankungen bedingt durch die Siebschwingungen und Störungen durch Fahrzeugbewegungen bei Bodenebenenheiten vollständig ausschaltet, Bild 4.

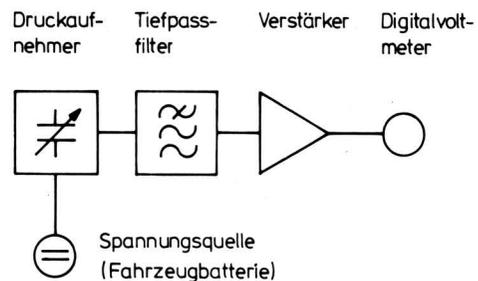


Bild 4. Blockschaltbild der Meßeinrichtung.

Die auf diese Weise erfolgende Durchsatzanzeige ermöglicht es dem Fahrer, die einzelnen Betriebsphasen der Reinigungsanlage zu er-kennen und ungünstige Belastungszustände, wie sie in der Flug- und Schüttungsphase vorliegen, zu vermeiden. Die Belastungsgren-zen für die verschiedenen Gutarten und Gutzustände lassen sich für die jeweilige Reinigungsanlage experimentell ermitteln und als Richtwert für die Belastungsanzeige zugrundelegen. Auch Störun-gen wie Verstopfen der Siebe oder Ausfall des Reinigungsgebläses werden angezeigt.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Messung des Gutdurchsatzes mit einem der oben erwähnten Verlustmeßgeräte zu koppeln, wobei durch eine Analogrechsaltung beide Meßsignale miteinander verknüpft werden. Bei dieser Kombination ist eine auf die verarbeitete Kornmenge bezogene – prozentuale – Anzeige der Körnerverluste möglich.

#### 4.2 Ergebnisse im Feldversuch

Bei der Überprüfung auf dem Felde wurden der Durchsatz und die Körnerverluste in Anlehnung an das Prüfverfahren der DLG [11] ermittelt. Die aus Fangtüchern bestehenden Sammelvorrichtungen für den Siebübergang der Reinigung und das abgetrennte Korn wurden in bekannter Weise geöffnet, sobald der Mähdrescher eine Anlaufstrecke durchfahren hatte und sich ein Beharungszustand bei gleichmäßiger Belastung aller Arbeitsorgane eingestellt hatte.

Während des Versuchs wurde der statische Druck unter den Sieben gemessen und dieser sowie das Signal eines am Siebende angeordneten Verlustmonitors am Fahrerstand angezeigt und auf einem Magnetband aufgezeichnet. Die Druckentnahme erfolgte an der Unterseite des Gebläsekanals durch drei Drucksonden, die mit einem kapazitiven Druckaufnehmer verbunden waren, Bild 5.

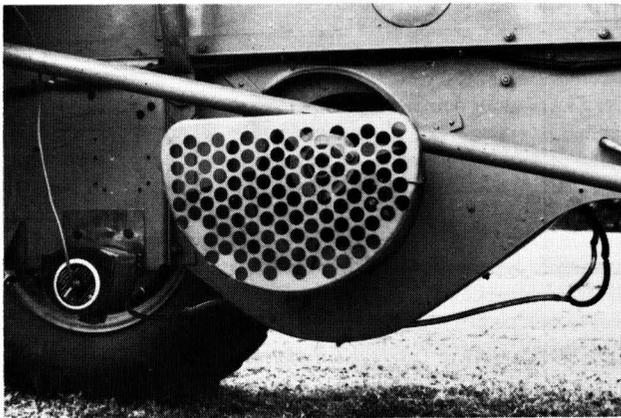


Bild 5. Druckentnahme und elektrischer Druckaufnehmer an der Mähdrescherreinigung.

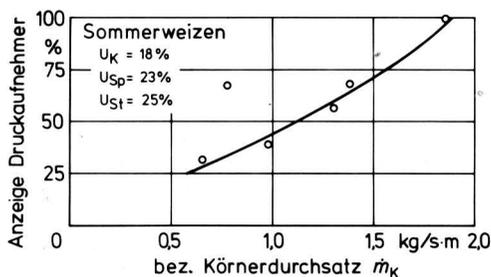


Bild 6. Zusammenhang zwischen dem Körnerdurchsatz der Reinigungsanlage und der Anzeige der Druckmessung als Durchsatzkontrolleinrichtung.

Das Widerstandsverhalten der Gutschicht wird im wesentlichen durch den Körneranteil, weniger durch den Spreuanteil beeinflusst. Nach Bild 6 besteht daher zwischen der Anzeige der Durchsatzkontrolleinrichtung und dem Körnerdurchsatz ein direkter Zusammenhang. Da durch den Druck unterhalb der Siebe das Widerstandsverhalten des Gutes bereits auf den Sieben erfaßt wird, kann eine Verlustsituation im Vergleich zum Verlustmonitor früher erkannt werden, Bild 7.

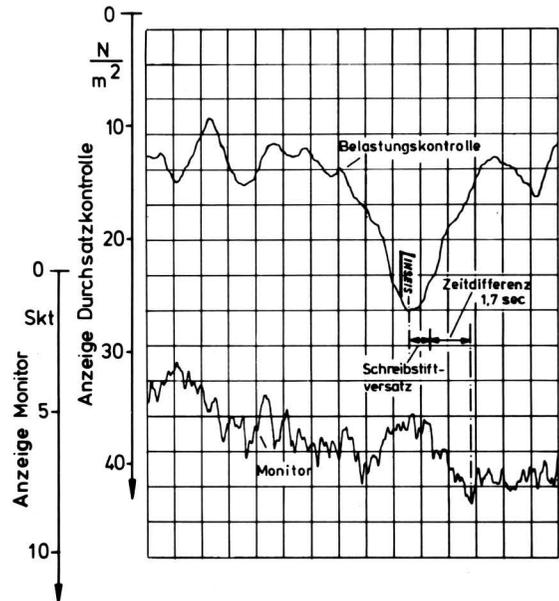


Bild 7. Gemeinsamer Meßschrieb von Durchsatzkontrolle und Verlustmonitor.

#### 5. Zusammenfassung

Die Untersuchungen bestätigen, daß der Druck unter den Sieben als Maß für den Gutdurchsatz der Mähdrescherreinigung herangezogen werden kann. Der Fahrer kann mit Hilfe dieser Durchsatzkontrolleinrichtung wichtige Rückschlüsse auf das Betriebsverhalten der Reinigungsanlage ziehen. Ferner sind bei Kopplung der Meßsignale von Durchsatzkontrolleinrichtung und Verlustmonitor Aussagen über die auf die durchgesetzte Kornmenge bezogenen – prozentualen – Verluste möglich. Das beschriebene Meßverfahren eröffnet ferner Möglichkeiten im Hinblick auf eine automatische Anpassung der Stellgrößen der Reinigungsanlage.

#### Verwendete Formelzeichen

- Fr Froude-Zahl (Verhältnis von Siebbeschleunigung zur Fallbeschleunigung)
- H Schichthöhe
- Re Reynoldszahl
- $V_K$  Körnerverluste
- $d_K$  Teilchendurchmesser
- $k_l$  Laminarfaktor
- $k_t$  Turbulenzfaktor
- $\dot{m}_K$  Körnerdurchsatz je Meter Siebbreite
- $\Delta p_S$  Druckabfall der Siebe
- $\Delta p_M$  Druckabfall in der Schicht auf den Sieben
- $v$  Luftgeschwindigkeit
- $v_{Wp}$  Luftgeschwindigkeit am Wirbelpunkt
- $\epsilon$  Hohlraumvolumen

## 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.