

Belüftung bei der Lagerung von Pellets

Dipl.-Ing. B. Neubüser, KDT, Wilhelm-Pleck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problemstellung

Zur Sicherung der Futtergrundlage in großen Rinder- und Schweineproduktionsanlagen ist die Lagerung von Futterstoffen erforderlich, da diese nur diskontinuierlich anfallen, besonders in den Wintermonaten aber kontinuierlich benötigt werden. Um auch den Lagerraum möglichst durch eine hohe Lagerungsdichte gut auszunutzen, werden einige Erntestoffe pelletiert (Trockengrün, Maisganzpflanzen, Stroh-Konzentrat-Gemische). Diese Stoffe unterliegen, da sie noch biologisch aktiv sind, Selbsterwärmungsprozessen. Ihre Lagerungsstruktur ermöglicht es in den meisten Fällen nicht, daß diese Wärme durch freie Konvektion aus der Schüttung abgeführt wird. Eine Zwangsbelüftung ist notwendig. Der Einsatz von z. B. Harnstoff bei der Lagerung zum Abbau der Selbsterwärmungsprozesse wird nicht untersucht.

2. Versuche unter Laborbedingungen

Zunächst mußte ein Versuchsstand konzipiert und realisiert werden, der folgenden Ansprüchen zu genügen hatte:

- Messung des durchgesetzten Luftvolumenstroms
- gleichmäßige Durchströmung des gesamten eingelagerten Gutes
- Vermeidung von Wandeinflüssen (strömungstechnisch, wärmetechnisch)
- Einbringung einer definierten Schüttung
- Messung des Temperatur- und Druckprofils in der Schüttung in Abhängigkeit von der Höhe.

Matthies [1] veröffentlichte im Jahr 1956 Versuchsergebnisse zu einer ähnlichen Problematik. Aus seinen Untersuchungen und Ergebnissen anderer Autoren stellte er Anforderungen zusammen, die ergänzt und angewendet auf eigene Untersuchungen als Grundlage des Versuchsstands angesehen wurden:

- Durchmesser des Versuchsbehälters D ist abhängig vom äquivalenten Kugeldurchmesser d_k der einzulagernden Stoffe: $d_k/D \leq 0,04 \rightarrow$ Wandeinfluß $< 2\%$
- Messung des Volumenstroms der Luft mit Hilfe einer Normblende (nach Standard TGL 0-1952)
- aus diesem Standard resultierende Forderungen nach Längenabmessungen für die geraden Rohrleitungen vor bzw. hinter der Normblende zu $19 \times d_R$ bzw. $6 \times d_R$
- Auswahl des Lüfters entsprechend den zu erwartenden Druckverlusten in der Schüttung und der Zuluftleitung und der zu realisierenden Strömungsgeschwindigkeit der Luft im leergedachten Querschnitt
- Eintritt der Luft in die Schüttung durch einen Siebrost („Pfropfenströmung“)
- Regulierung des Luftvolumenstroms.

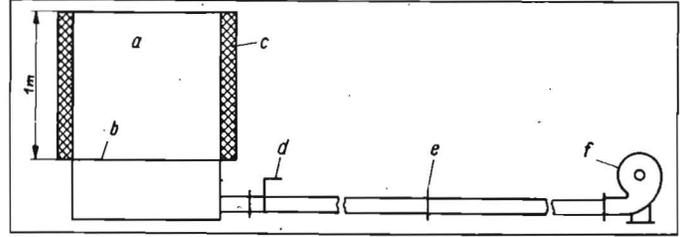
Im Bild 1 ist der prinzipielle Aufbau des Versuchsstands dargestellt. Dabei wurde der maximale äquivalente Kugeldurchmesser d_k der Pellets (Stroh-Konzentrat-Gemisch-Pellets) zu $d_{k,max} = 36,1$ mm bestimmt.

Grundlage dafür bilden die Werte $d_p = (13 \dots 25)$ mm sowie $l_p = (1 \dots 2) \times d_p$.

Daraus resultiert ein maximaler Behälter-

Bild 1

Aufbau des Versuchsstands; a Versuchsbehälter, b Siebboden, c Isolation, d Drosselklappe, e Normblende, f Radialventilator



durchmesser von $D_{max} = 902$ mm. Realisiert wurde $D = 800$ mm.

Für die Untersuchungen wurde der Lüfter VRE 63 ausgewählt, weil er eine Gesamtdruckerhöhung auch für größere Schütthöhen als 1 m aufbringt und Normblenden mit kleinem Öffnungsverhältnis (hoher Druckverlust) eingesetzt werden können.

Begrenzt durch den Druckverlust der entsprechenden Pelletschüttungen und der Zuluftleitung in Verbindung mit der Lüfterkennlinie wurden versuchstechnisch Luftgeschwindigkeiten von 0,020 bis 0,032 m/s realisiert. Der damit überstrichene Schütthöhenbereich beträgt 2,2 bis 5,3 m. Diese Werte würden aus den agrotechnischen Forderungen nach 40 bis 60 m³/t-h abgeleitet. Gegenwärtig sind Schüttungen bei Pellets nur bis zu einer Höhe von 5 m erlaubt (ABAO 105/3).

Zur Regulierung des Volumenstroms dient eine Drosselklappe. Die Normblende wurde entsprechend dem Standard angefertigt und hat die im Bild 2 dargestellte Kennlinie. Die Messung des Druckverlustes an dieser Blende erfolgte über ein U-Rohr-Manometer.

3. Lagerungsstruktur

Zur Untersuchung standen Stroh-Konzentrat-Gemisch-Pellets (SKG-Pellets) mit unterschiedlichem Abriebanteil zur Verfügung. Durch Absieben konnten beide Bestandteile getrennt werden, so daß bezüglich des Massenanteils definierte Zusammensetzungen herstellbar waren. Für die Schütthöhe von 1 m wurden dabei die im Bild 3 dargestellten Schüttdichten ρ_s ermittelt.

Das spezifische Hohlraumvolumen ϵ wurde nach folgender Gleichung bestimmt:

$$\epsilon = \frac{V_s - V_G}{V_s} \quad (1)$$

$$V_G = V_p + V_A$$

Beim Beschicken des Behälters wurden die Massen des Abriebs und der Pellets genau festgehalten. Die Dichte der Pellets wurde mit Hilfe des Paraffinverfahrens zu $\rho_p = 830$ kg/m³ errechnet (aus Masse und Volumen). Die Bestimmung der Dichte des Abriebs erschien nicht sinnvoll, da die zu erwartenden Abweichungen vom Mittelwert durch Einflußgrößen, wie Rezeptur, innere Struktur, Größe usw., zu groß wären. Deshalb wurde für den Abrieb die gleiche Dichte angenommen, wie sie für reine Pellets ermittelt wurde. Da keine granulometrischen Untersuchungen für die verschiedenen Verhältnisse Abrieb-Pellets vorlagen und auch dort zu starke Schwankungen zu erwarten sein

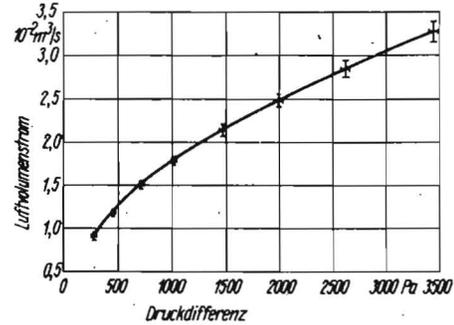


Bild 2. Kennlinie der angefertigten Normblende nach TGL 0-1952

würden, wurde die Darstellung im Bild 3 zur Bestimmung einer das Verhältnis Abrieb-Pellets charakterisierenden geometrischen Länge herangezogen (s. Abschn. 5).

Aus dem Verlauf der Schüttdichte über dem Abriebanteil ist ersichtlich, daß die kleinen Teile des Abriebs bis zu einem Anteil von 10 bis 15 % sich lediglich in die Hohlräume zwischen den Pellets einlagern. Erst höhere Verhältnisse Abrieb-Pellets haben zur Folge, daß die Struktur der reinen Pelletschüttung „aufgedehnt“ wird, die Schüttdichte also wieder kleiner wird.

4. Experimentelle Ermittlung des Druckverlustes in der Schüttung

Die Einlagerung in den Versuchsbehälter erfolgte von Hand. Da die Schüttung, wie aus Bild 1 ersichtlich, von oben frei zugänglich war, wurde für die Druckmessung ein Rohr mit dem Innendurchmesser von $d_i = 0,004$ m verwendet. Dieses Rohr wurde zur Gesamtdruckmessung in die Schüttung mittig hineingeschoben und zwar derart, daß nach Erreichen der geforderten Tiefe das Rohr etwa 1 cm zurückgezogen und der Stab von $d_a = 0,003$ m aus dem Rohr hinausgezogen wurde. Somit war gewährleistet, daß keine Verfälschung des gemessenen Drucks möglich war. Die Untersuchungsergebnisse zur Bestätigung dieses Sachverhaltes liegen in [2] vor.

Der Gesamtdruck wurde bei einer Schütthöhe von 1 m in drei Meßebenen (10, 50 und 90 cm unter der Oberfläche) gemessen. Die über Mikromanometer ermittelten Druckverluste (gegen Umgebungsdruck) wurden durch die jeweils noch zu durchdringende Schütthöhe dividiert und im Bild 4 zusammenfassend dargestellt. Bezieht man die so ermittelten Werte auf den entsprechend den agrotechnischen Forderungen maximal zulässigen Abriebanteil von 10 %, so erhält man die im Bild 5 dargestellten Aussagen.

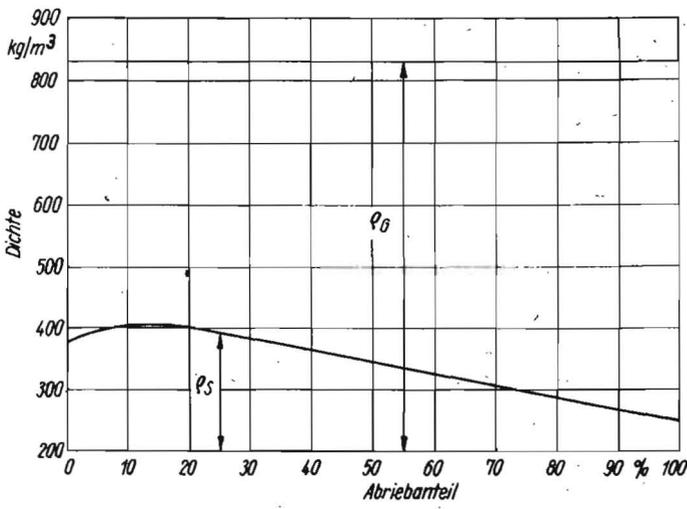
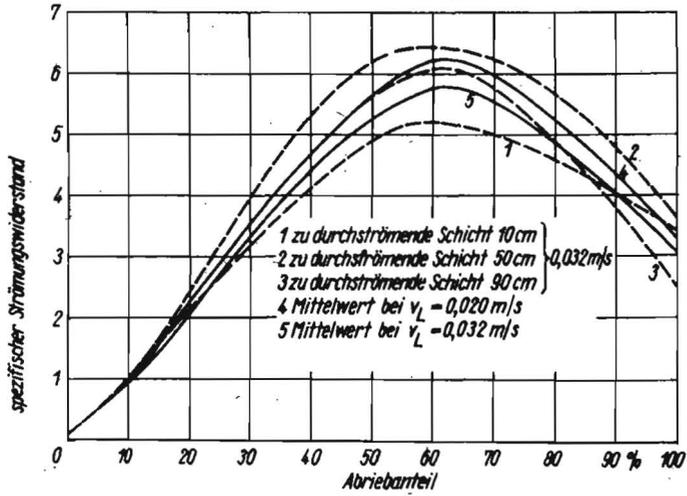


Bild 3. Schütt- und Gutdichte einer Pelletschüttung (Schütthöhe 1 m) bei veränderlichem Abriebanteil



5. Berechnung des Druckverlustes

Nach [1] gilt folgende Grundgleichung für die Druckverlustberechnung in Schüttungen landwirtschaftlicher Güter:

$$\Delta p = \frac{C_0}{2} k \frac{h}{\varepsilon^4} \frac{\rho_L^{1-n} v_L^2 n}{d^{1+n}} \quad (2)$$

Bild 6. Ersatzgeraden zum Bestimmen des Widerstandsbeiwerts C_{KS} für Reynoldszahlen Re in den Bereichen

- a) 5 bis 30
- b) 30 bis 160
- c) 160 bis 3 000 (nach [1])

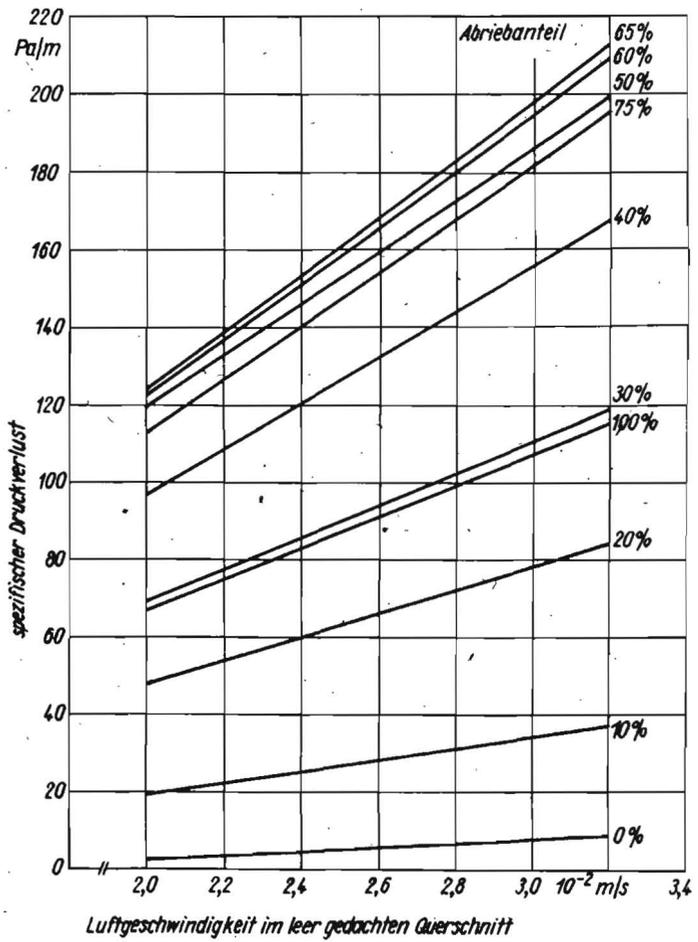
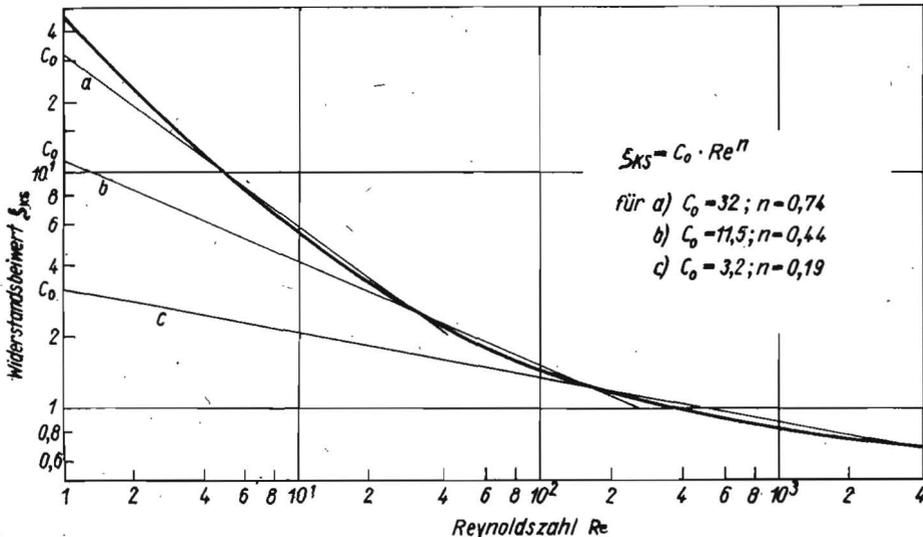


Bild 4. Spezifischer Druckverlust von Pelletschüttungen mit unterschiedlichem Abriebanteil

Bild 5. Spezifischer Strömungswiderstand bei veränderlichem Abriebanteil (Bezugsgröße: Strömungswiderstand bei 10 % Abrieb)

Legt man $v_L = 0,020 \dots 0,032$ m/s (siehe Abschn. 2) fest, so sind für die jeweiligen Abriebanteile die Druckverluste bestimmt (s. Bild 5). Aus Bild 6 ist ersichtlich, daß für die in diesem Fall gewählte Luftgeschwindigkeit im leergedachten Querschnitt die Parameter C_0 und n sich zu $C_0 = 11,5$ und $n = 0,44$ ergeben. Die dabei zugrunde gelegte Reynoldszahl bezieht sich auf die reine Pelletschüttung, d. h. auf einen Abriebanteil von 0 %. Der volumengleiche Kugeldurchmesser $d = d_K$ ergibt sich bei einem untersuchten Pellettdurchmesser von $d_p = 23$ mm und einer mittleren Pelletlänge $l_p = 1,5 d_p$ zu

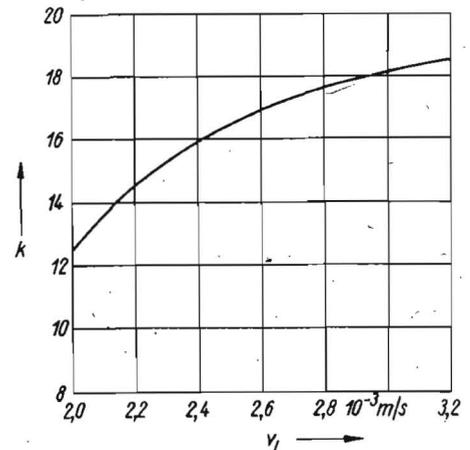
$d_K = 30,1$ mm. Die Größe h ist die von der Luft zu durchdringende Schütthöhe. Die Dichte der Luft ρ_L sowie die dynamische Viskosität der Luft η sind aus der Temperatur und dem herrschenden Umgebungsdruck bekannt ($\rho_L = 1,21$ kg/m³, $\eta = 1753,0 \cdot 10^{-7}$ g/cm · s).

Das spezifische Hohlraumvolumen

$$\varepsilon = 1 - (\rho_s / \rho_G)$$

wird aus Bild 3 ermittelt. Damit bleibt lediglich der Quotient k/d^{1+n} als Unbekannte ü-

Bild 7. k -Zahl als Funktion der Luftgeschwindigkeit im leergedachten Querschnitt



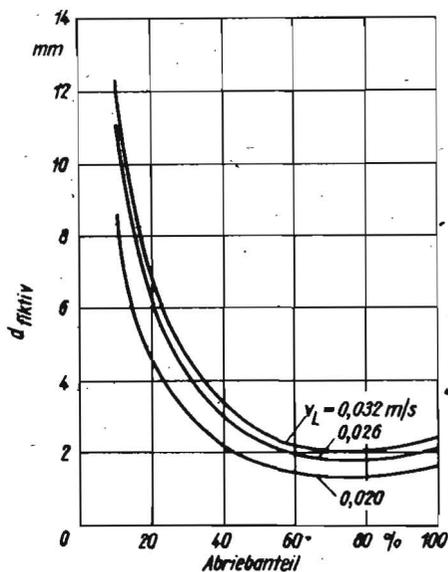


Bild 8. Fiktiver Durchmesser in Abhängigkeit vom Abriebanteil

rig und läßt sich für die einzelnen Abriebanteile berechnen.

Aus der Schüttung mit 0 % Abrieb wird mit

Hilfe des Durchmessers d_k die Größe k bestimmt, wobei sich eine Geschwindigkeitsabhängigkeit ergibt (s. Bild 7). Für die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit wird der entsprechende k -Wert als konstant angesehen. Für die Versuche bei einem Abriebanteil von 10, 20, ..., 100 % an der Gesamtschüttung wird über Gl. (2) nun eine fiktive geometrische Länge errechnet, die somit für die jeweiligen Verhältnisse Abrieb-Pellets charakteristisch ist. Bild 8 zeigt den Verlauf von $d = d_{\text{fiktiv}}$.

Mit diesen Ergebnissen ist es jetzt möglich, bei Kenntnis relativ weniger Parameter einer Pelletschüttung deren Druckverlust zu bestimmen. Diese Parameter sind die Luftgeschwindigkeit im leergedachten Querschnitt, die zu durchströmende Schütthöhe und der Abriebanteil. Weitere Untersuchungen für die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf größere Schütthöhen werden in Praxisanlagen folgen.

6. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird für experimentelle Untersuchungen von Pelletschüttungen mit Belüftung ein Versuchsstand dimensioniert. Um aus den Versuchen an dieser Anlage auf Praxisbedingungen schließen zu

können, ist es erforderlich, die Strömungswiderstände in Abhängigkeit vom Abriebanteil zu ermitteln. Über die Berechnungsgrundlage nach [1] erfolgt die Auswertung. Dabei wird ein fiktiver Durchmesser errechnet, der die jeweiligen Verhältnisse Abrieb-Pellets charakterisiert und nur von der Durchströmungsgeschwindigkeit im leergedachten Querschnitt abhängig ist. Damit werden aufwendige granulometrische Untersuchungen umgangen, die für Stroh-Konzentrat-Gemisch-Pellets auch sehr wenig erfolgversprechend wären.

Literatur

- [1] Matthies, H. J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsheft, Ausgabe B, Düsseldorf (1956) 22.
- [2] Vater, H.: Untersuchungen zu Strömungsverhältnissen in Pelletstapeln. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1979 (unveröffentlicht).

A 3510

Kontrolle der Masse bei der Volumendosierung rieselfähiger Gutarten

Dipl.-Ing. E. Schade, KDT/Ing. Edeltraud Kuhn/Dr. agr. A. Neuschulz, KDT/Dr. agr. G. Wünsche
Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Aufgabenstellung

Für das Dosieren rieselfähiger Gutarten wird in der Landwirtschaft meistens die Volumendosierung mit Schnecken- und Zellenraddosierern angewendet. Gefordert wird die Einhaltung der Dosiergenauigkeit von $\pm 5\%$ bei Massenanteilen in der Rezeptur von über 30 % und von $\pm 10\%$ bei Massenanteilen unter 30 %. Zum Bestimmen der dosierten Masse sollen zweimal 4 Proben mit einer Auffangzeit von je 2 min oder mit einer Probenmasse bis 50 kg während einer Zeitdauer von einer Stunde für 4 Proben aus dem Gutstrom entnommen werden. Die Kontrolle der Masse soll bei Stoff- und Rezepturwechsel bzw. mindestens einmal je Schicht erfolgen [1].

Dieser hohe zeitliche Aufwand für das Überprüfen des Massenstroms wird in der Praxis selten aufgebracht. Oft erfolgt die Kontrolle der Masse anhand von drei Proben, die in kurzer Zeitfolge mit geringen Auffangzeiten und kleiner Probenmasse entnommen werden.

In landwirtschaftlichen Betrieben, die verschiedene Getreidearten und andere Komponenten zu Mischfutter verarbeiten, wurden Abweichungen zwischen den Massen der angelieferten und abgegebenen Futtermittel von über 10 % festgestellt, obwohl nach Untersuchungsergebnissen mit Volumendosierern eine Dosiergenauigkeit im Bereich von $\pm 5\%$ nachgewiesen wurde [2, 3].

Die zur Verfügung stehenden Konzentrate sind in der Fütterung so genau wie möglich

einzusetzen. Deshalb war zu untersuchen, ob mit einfacheren Methoden als gefordert die Masse der Konzentrate bei der Futteraufbereitung mit der Volumendosierung genau kontrolliert werden kann. Durch Untersuchungen unter Praxisbedingungen mit den in der Landwirtschaft anfallenden Gutarten sollen die real erreichbaren Ergebnisse zur Kontrolle der Masse erfaßt werden.

2. Methode der Untersuchungen

Als Versuchseinrichtung wurde ein Dosierbehälter (Fassungsvermögen 8 m^3) mit abgeschlossenem Zellenraddosierer GM 601 A 01 verwendet. Die Meßorte und die Art der Messungen sind im Bild 1 dargestellt. Die Messungen erfolgten mit bekannten Meßmitteln. Für das Messen der Schüttdichte im Behälter mit der Stabsonde DS 114/3 wurde alle 2 min ein Meßwert mit einer Meßzeit von 1 min erfaßt. Die Messungen mit der Oberflächensonde erfolgten in gestaffelten Zeitintervallen von 0,6 bis 60 s. Die Masseproben wurden mit Auffangzeiten von 10, 20, 30 und 60 s oder von 10 Umdrehungen des Zellenrads entnommen. Ein Meßwert setzt sich aus mindestens 3 Einzelmessungen zusammen. Zur Kontrolle wurde die während der Versuchszeit durchgesetzte Masse einschließlich der Proben mit der Fuhrwerkswaage gewogen.

Als Gutarten wurden Maisschrot, Mais- und Weizenkörner eingesetzt (Tafeln 1 und 2). Durch den innerbetrieblichen Umschlag war in den Maiskörnern ein Abriebanteil von

rd. 20 % enthalten. Der Weizen enthielt etwa 20 % Maiskörner mit geringem Abriebanteil. Die Untersuchungen wurden auf drei Methoden der Kontrolle der Masse ausgerichtet (Tafel 3).

3. Ergebnisse

3.1. Schüttdichte

Die Schüttdichte hat einen großen Einfluß auf die Dosiergenauigkeit bei der Volumendosierung. Unter den Bedingungen der Versuchseinrichtung laufen die Gutarten bei den geringen Massenströmen nicht gleichmäßig aus dem Dosierbehälter. Durch das nicht stetige Nachlaufen verändert sich ständig die Schüttdichte vor dem Zulauf in den Zellenraddosierern. Beim Maisschrot bilden sich zeitweise größere Hohlräume aus, wodurch der Zulauf des Gutes in den Zellenraddosierern unterbrochen wird (Bild 2). Vor dem Einlauf in das Zellenrad treten noch größere Abweichungen der Schüttdichte als im Dosierbehälter auf. Der Variationskoeffizient erhöht sich auf 2,6 % beim Maisschrot, 2 bis 4 % bei den Weizenkörnern und bis zu 8 % bei den Maiskörnern. Die Ursachen dieser Schüttdichteschwankungen sind das nicht stetige Fließverhalten der Gutarten und der Zulauf von entmischten Gutpartien, besonders bei den verwendeten Körnern. Die zufälligen Schüttdichteschwankungen treten unabhängig von der Auslaufzeit auf. Die Spannweite der Schüttdichteschwankungen beträgt beim Maisschrot rd. 50 kg/m^3 und bei Maiskör-