

Der Strömungswiderstand von Körnermaisschüttungen

Von **W. Siegel** und **M. L. Tešić**, Hohenheim

Aus den Arbeiten des Instituts für Landtechnik der Universität Hohenheim

Der Strömungswiderstand von Körnerschüttungen ist eine entscheidende Größe für die Berechnung von Trocknungsanlagen. Körnermais wird im Vergleich zu Getreide mit einem 3- bis 5fach höheren Feuchtegehalt geerntet. Die dabei vorhandene größere Kornelastizität kann zu einem unregelmäßigen Porenvolumen in der Schüttung führen. Durch die Kornschumpfung, die während der Trocknung auftritt, ändert sich das Widerstandsverhalten.

1 Einleitung

Im Gegensatz zu anderen Körnerfrüchten muß der mit dem Mährescher geerntete Körnermais in Deutschland von 35% bis 40% auf etwa 15% Feuchtegehalt getrocknet werden. Gewöhnlich erfolgt die Trocknung mit Warmluft. Der dabei auftretende Strömungswiderstand ist für die Berechnung des Energieverbrauches und für den gleichmäßigen Ablauf einer Trocknung wichtig. Der Strömungswiderstand von Mais wurde schon im Zusammenhang mit dem Strömungswiderstand anderer Körnerfrüchte von *Matthies* [2] und *Shedd* [4] gemessen. In den nachstehenden Untersuchungen sollen die bei der Maistrocknung auftretenden Einflüsse auf den Strömungswiderstand erfaßt und Berechnungsunterlagen für den Bau von Maistrocknern erstellt werden.

2 Meßanlage

Ein Schema der Meßanlage¹⁾ zeigt **Bild 1**. Die Menge der vom Radialgebläse *a* gelieferten Druckluft wird mit dem Schieber *e* eingestellt und kann an der auswechselbaren Blende *d* nach DIN 1952 gemessen werden. Drei Blenden mit den Öffnungsverhältnissen 0,1, 0,3 und 0,7 im Rohr mit 50 mm Innendurchmesser ermöglichen bei allen Luftgeschwindigkeiten hinreichende Meßgenauigkeit.

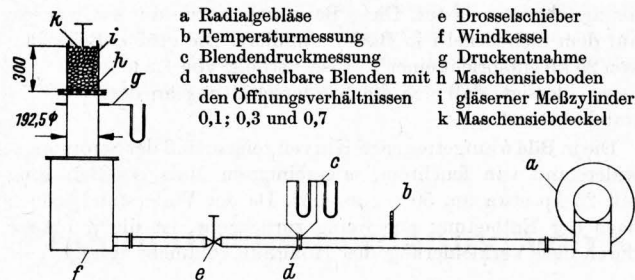


Bild 1. Schema der Meßanlage.

Die Luftströmung beruhigt sich im Windkessel *f*, bevor sie durch den mit Mais angefüllten Meßzylinder *i* mit 192,5 mm Durchmesser und 300 mm Länge strömt. Die Körnerschicht ruht auf dem Maschensiebboden *h*. Sie kann durch einen Maschensiebdeckel *k* belastet und so an einer Bettausdehnung bei höheren Luftgeschwindigkeiten gehindert werden.

Die Druckmessung *g* für den Strömungswiderstand erfolgt vor dem Siebboden. Nach Abzug des reinen Siebwiderstandes und Division durch die Schütthöhe *h* erhält man aus dem gemessenen Druck den bezogenen Druckabfall oder Strömungswiderstand $\Delta p/h$. Sämtliche Drücke unter 200 mm WS wurden mit Debro-Minskopen, über 200 mm WS mit Wasser-U-Rohren gemessen.

¹⁾ Die Meßeinrichtung wurde im Rahmen früherer Arbeiten mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschafft.

Dipl.-Ing. Wolfgang Siegel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Georg Segler) der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. Milos L. Tešić ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landtechnik der Universität Novi Sad/Jugoslawien und z. Z. Gastwissenschaftler am Institut für Landtechnik in Hohenheim.

3 Guteigenschaften

Die Messungen wurden im wesentlichen mit Mais der Sorte Velox, Erntejahr 1968, durchgeführt. Die gemessenen Guteigenschaften bei Ernte- und Lagerfeuchte zeigt **Tafel 1**. Der Korndurchmesser ist als Durchmesser der volumengleichen Kugel angegeben. Die Korndichte wurde mit einem Luftpyknometer bestimmt. Aus der Korndichte und der Schüttdichte läßt sich das Hohlraumvolumen ϵ errechnen. Der Fehler bei der Bestimmung des Hohlraumvolumens, der dadurch entsteht, daß das Luftpyknometerverfahren die Korporosität mitmißt [2], wurde vernachlässigt, da die Maiskörner eine ziemlich glatte Oberfläche haben.

Die Schwebegeschwindigkeit ist in einem senkrechten Glasrohr mit 127 mm Innendurchmesser ermittelt worden.

Tafel 1. Eigenschaften des verwendeten Gutes: Mais, Sorte Velox, Erntejahr 1968

Feuchtegehalt des Korns <i>U</i> %	mittl. Korndurchmesser d_K mm	1000-Korn-gewicht kg	Korndichte ρ_K kg/m ³	mittl. Schwebegeschwindigkeit m/s
37	8,06	0,339	1238	11,3
15	7,48	0,287	1308	10,4

4 Auswertung der Meßergebnisse

4.1 Einfluß der Fallhöhe

Wesentlichen Einfluß auf den Strömungswiderstand hat das Hohlraumvolumen ϵ . Es ändert sich nach Messungen von *Matthies* [2] mit der Art des Einschüttverfahrens der Körner in den Meßzylinder. *Matthies* mißt Abweichungen im Strömungswiderstand von Maisschüttungen bis zu 70%, je nachdem ob die Körner mit Sackschüttungen, pneumatischer Förderung oder einer speziellen Schüttvorrichtung eingelagert werden. Demnach beeinflußt die Fallgeschwindigkeit und damit die Fallhöhe *f*, von der die Körner in den Belüftungsbehälter eingefüllt werden, das Hohlraumvolumen und den Strömungswiderstand.

In **Bild 2** und **3** sind gemessene Strömungswiderstände über der Luftgeschwindigkeit, bezogen auf den Querschnitt des Meßzylinders, aufgetragen. Dazu wurde der Meßzylinder durch aufgesetzte Rohre verschiedener Höhe mit frei fallenden Maiskörnern aus der Fallhöhe *f* beschickt.

Bei 2 m Fallhöhe ist der bezogene Druckabfall $\Delta p/h$ im trockenen Mais, **Bild 2**, etwa doppelt so groß wie bei der Fallhöhe 0 m. Bei feuchtem Mais, **Bild 3**, ist der Unterschied sogar noch größer. Das beruht auf der dichteren Einlagerung der Körner durch den Aufprall aus größerer Fallhöhe *f* und äußert sich in einem kleineren Hohlraumvolumen ϵ .

Der bezogene Druckabfall $\Delta p/h$ nimmt in **Bild 2** etwa mit ϵ^{-4} zu. Das entspricht den Messungen von *Matthies* [2]. Nach theoretischen Ansätzen [1; 5] ist der bezogene Druckabfall proportional zum Faktor $(1 - \epsilon)/\epsilon^3$. Umfang und Methode der eigenen Messungen reichen jedoch nicht aus, die Differenz zu erklären.

Matthies [2] gibt für den Druckabfall Δp einer Körnerschüttung die Formel an:

$$\Delta p = K \zeta_{KS} \frac{1}{\epsilon^4} \frac{h}{d_K} \frac{\rho_L}{2} v^2.$$

Dabei ist d_K der Korndurchmesser, ρ_L die Luftdichte und v die Luftgeschwindigkeit, bezogen auf den freien Querschnitt. Der Faktor ζ_{KS} ist ein Widerstandsbeiwert, der für alle Schüttgüter gleich ist, während der Faktor K je nach Schüttgut verschieden ist. Nach Messungen von *Matthies* ergibt sich bei

Mais mit viel Bruchkorn der Wert $K = 3,2$. Aus den Messungen zu Bild 2 und 3 lassen sich folgende K -Faktoren errechnen:

- gereinigter trockener Mais $K = 2,9$
- gereinigter feuchter Mais $K = 2,2$.

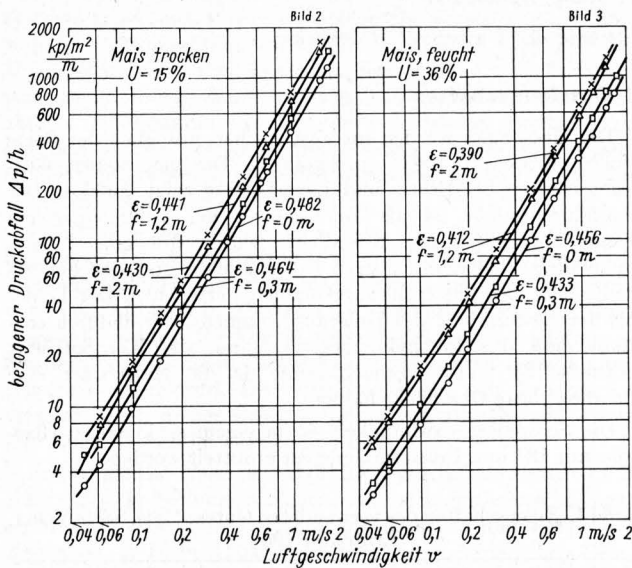


Bild 2 und 3. Strömungswiderstand $\Delta p/h$ von gereinigtem, trockenem und feuchtem Mais in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit v bei verschiedenem Hohlraumvolumen ϵ , bedingt durch unterschiedliche Fallhöhe f der Körner.

Will man die Gebläseleistung bei der Trocknung klein halten, empfiehlt es sich, besondere Einfüllvorrichtungen zu verwenden, wie sie beispielsweise Segler [3] bei der pneumatischen Förderung und Matthies [2] benutzten. Derartige Vorrichtungen werden mit wachsender Schütthöhe während des Einfüllens hochgezogen, so daß die Fallhöhe der Körner möglichst klein und über die ganze Schütthöhe konstant gehalten werden kann.

4.2 Einfluß des Feuchtegehaltes

Ein Vergleich von Bild 2 mit Bild 3 zeigt, daß der Strömungswiderstand bei trockenem Mais etwa 30% größer als bei feuchtem ist. Das konnte auch bei ungereinigtem Mais, Bild 4, beobachtet werden und beruht wohl darauf, daß getrocknete Maiskörner kleiner und scharfkantiger als feuchte sind. Wenn das Hohlraumvolumen sich durch die Verkleinerung des Korndurchmessers bei der Trocknung nicht wesentlich vergrößert, kann man also im Verlauf der Trocknung mit zunehmendem Strömungswiderstand rechnen. Dies hat auch Matthies [2] festgestellt.

4.3 Einfluß von Verunreinigungen

Beim Mähdrusch von Mais entstehen durch Bruchkorn, Pflanzenteile und Schmutz Verunreinigungen, die den Strömungswiderstand beeinflussen. In Bild 4 ist der Strömungswiderstand von feuchtem und trockenem Mais mit und ohne Verunreinigungen aufgetragen. Die Verunreinigungen wurden durch Windsichtung entfernt. Sie bewirken, daß die Siebkennlinie des ungereinigten Maises, Bild 5, flacher verläuft als die des gereinigten.

Da bei der Einlagerung aller Schüttungen die Fallhöhe $f = 0$ m war, können die vier Kurven in Bild 4 miteinander verglichen werden. Das ungereinigte Gut lagert sich etwas lockerer. Trotzdem ist der Strömungswiderstand 30% bis 50% größer als beim gereinigten Gut. Shedd [4] hat festgestellt, daß Beimengungen den Strömungswiderstand eines Gutes erhöhen, wenn sie feinkörniger als das Gut sind.

Die hier aufgeführten Messungen wurden alle mit der Maisorte Velox durchgeführt. Bei Messungen mit der Sorte Inra 200 die einen größeren Feinkornanteil hatte, ergaben sich etwa 50% höhere Strömungswiderstände.

Verunreinigungen und großer Feinkornanteil erhöhen demnach den Strömungswiderstand. Will man bei der Trocknung einen erhöhten Leistungsbedarf des Gebläses für die Belüftung vermeiden, empfiehlt es sich, den gedroschenen Mais durch einen Vorreiniger zu säubern.

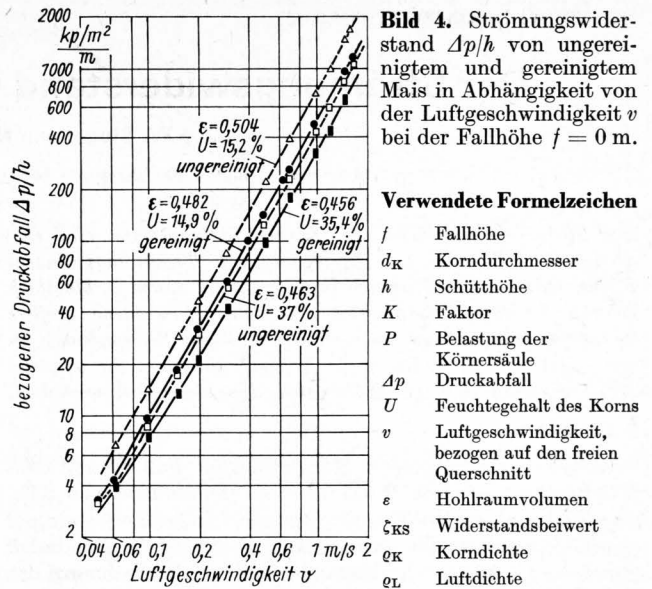


Bild 4. Strömungswiderstand $\Delta p/h$ von ungereinigtem und gereinigtem Mais in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit v bei der Fallhöhe $f = 0$ m.

Verwendete Formelzeichen

- f Fallhöhe
- d_K Korndurchmesser
- h Schütthöhe
- K Faktor
- P Belastung der Körnersäule
- Δp Druckabfall
- U Feuchtegehalt des Kornes
- v Luftgeschwindigkeit, bezogen auf den freien Querschnitt
- ϵ Hohlraumvolumen
- ζ_{KS} Widerstandsbeiwert
- ρ_K Korndichte
- ρ_L Luftdichte

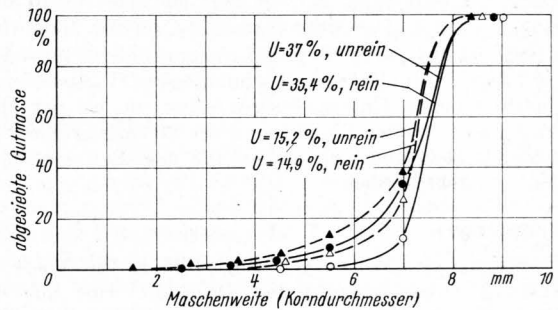


Bild 5. Siebkennlinie der zu Bild 4 verwendeten Maissorten.

4.4 Belastung der Maisschüttung

Bei manchen Trocknern ist die Körnerschüttung mehrere Meter hoch. Dadurch sind die unteren Kornschichten stärker als die oberen belastet. Diese Belastung wurde durch Gewichte auf dem Siebdeckel i in Bild 1 simuliert. Die größte Belastung von 25 kp entspricht einer Kornschütthöhe von 1,2 m, wenn man vernachlässigt, daß sich die Körnerschüttung an der Behälterwand abstützt.

Die in Bild 6 aufgetragenen Kurven zeigen, daß der Strömungswiderstand von feuchtem, ungereinigtem Mais bei Belastung mit 25 kp etwa um 50% zunimmt. Da der Widerstand jedoch nach der Entlastung nur wenig zurückgeht, ist die Zunahme durch eine Verkleinerung des Hohlraumvolumens infolge Ver-

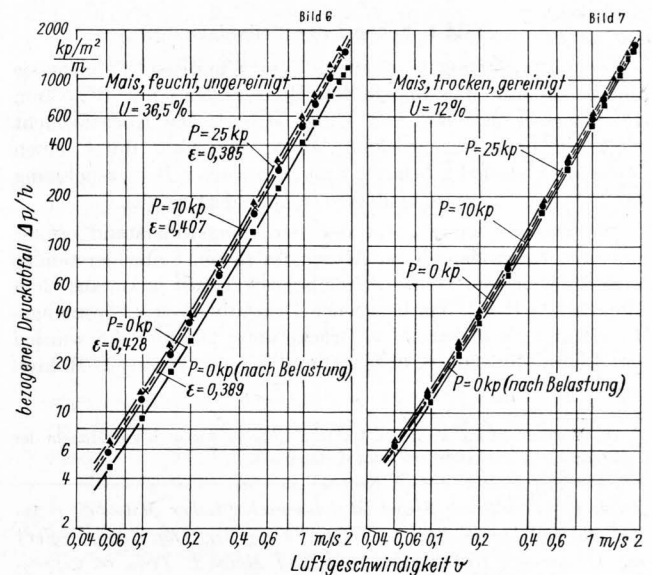


Bild 6 und 7. Strömungswiderstand $\Delta p/h$ von ungereinigtem, feuchtem (Bild 6) bzw. gereinigtem, trockenem Mais (Bild 7) bei verschiedener Belastung P der Körnerschüttung.

schiebung und plastischer Verformung der Körner und nicht durch die Elastizität der Körner bedingt. Bei größerer Fallhöhe während des Einfüllens würden die Körner von vorn herein schon dichter lagern, und der Strömungswiderstand würde sich mit zunehmender Belastung nur entsprechend dem Einfluß der plastischen Verformung ändern.

Unbedeutender ist der Einfluß der Belastung bei trockenem Mais, Bild 7. Hier liegen die Punkte bei Belastung mit 25 kp und nach der Entlastung ziemlich genau auf einer Kurve. Wenn bei trockenem Mais der Strömungswiderstand in den unteren Schichten größer als in den oberen ist, dann ist das weniger auf die größere Kornbelastung der unteren Schichten als auf die größere Fallhöhe zu Beginn der Einlagerung zurückzuführen.

5 Folgerungen für die Maistrocknung

Nach den Ausführungen in Abschnitt 4 kann der Strömungswiderstand bei einer Maisschüttung durch ungünstige Einlagerung der Körner 100% oder 150% höher als im günstigsten Fall liegen. Um den Strömungswiderstand und damit die Gebläseleistung klein zu halten, empfiehlt es sich, den Mais vorzureinigen und von gleichmäßig geringer Fallhöhe sanft einzulagern.

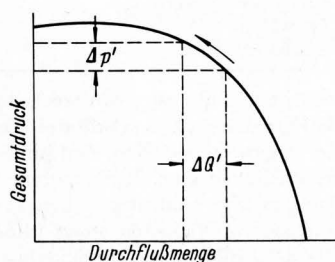


Bild 8. Gebläsekennlinie eines Radialgebläses.

$\Delta p'$ Druckänderung
 $\Delta Q'$ Durchflußänderung

Bei den gewöhnlich verwendeten Axial- oder Radialgebläsen mit flacher Gebläsekennlinie, Bild 8, ist die geförderte Luftmenge stark druckabhängig. Durch ungünstige Einlagerung und dadurch bedingten hohen Strömungswiderstand sinkt nach Bild 8 die Luftmenge und damit die Trocknungsleistung. Beim Bau von Trocknern empfiehlt es sich, das Gebläse für den Strömungswiderstand bei ungünstigster Einlagerung auszulegen und die erforderliche Luftgeschwindigkeit bei kleinerem Strömungswiderstand durch eine Drosselklappe einzustellen.

DK 621.867.8

Pneumatische Förderung von Körnermais in waagerechten Rohren

Von J. Flatow und W. Siegel, Hohenheim

Aus den Arbeiten des Instituts für Landtechnik der Universität Hohenheim

Für die Auslegung von pneumatischen Förderanlagen für Körnermais ist es vor allem notwendig, den Druckverlust in der Behälterstrecke, die Stopfgrenze und die Kornbeschädigung zu kennen. Da im Schrifttum hierüber nur unvollständige Angaben vorhanden waren, wurden an vier Meßanlagen mit verschiedenem Rohrdurchmesser Förderversuche mit feuchtem und trockenem Körnermais durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen, daß sich pneumatische Getreideförderanlagen für die Förderung von Körnermais verwenden lassen.

1 Einleitung

Begünstigt durch die Züchtung von neuen Maissorten hat der Maisanbau in Europa in den letzten Jahren stark zugenommen. Nach der Ernte durch den Mähdröschler ist der Mais wegen seines meist hohen Feuchtegehalts noch nicht lagerfähig, sondern muß erst getrocknet werden. Für die dabei notwendigen Förder-

Dipl.-Ing. Jürgen Flatow und Dipl.-Ing. Wolfgang Siegel sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Georg Segler) der Universität Hohenheim.

Beim Satzrockner mit größerer Schütthöhe, der von einem Punkt aus beschickt wird, nimmt die Fallhöhe der Körner mit wachsender Schütthöhe ab. Dadurch wird nach Abschnitt 4.1 der Strömungswiderstand oben in der Schüttung kleiner als unten. Wird ein derartiger Trockner waagrecht von der Trocknungsluft durchströmt, Bild 9, dann ist die Luftgeschwindigkeit im oberen Teil der Schüttung größer als im unteren. Bis die Trocknung im unteren Teil des Trockners abgeschlossen ist,

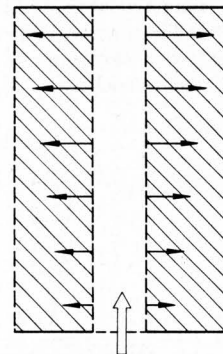


Bild 9. Schema eines Satzrockners mit waagrechttem Luftstrom.

strömt oben ein Teil der Trocknungsluft ungenutzt ins Freie, und die Kornfeuchte wird nach der Trocknung unten größer als oben sein. Deshalb arbeiten Trockner mit senkrechttem Luftstrom besser als Trockner mit waagrechttem, wenn es nicht gelingt, den Strömungswiderstand über die Schütthöhe konstant zu halten.

6 Schrifttum

- [1] Barth, W.: Strömungstechnische Probleme der Verfahrenstechnik. Chemie-Ing.-Techn. **26** (1954) Nr. 1, S. 29/34.
- [2] Mathies, H. J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. Diss. TH Braunschweig 1954 [VDI-Forsch.-heft 454. Düsseldorf: VDI-Verl. 1956].
- [3] Segler, G.: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Diss. TH München 1934.
- [4] Shedd, C. K.: Resistance of grains and seeds to air flow. Agric. Engng **34** (1953) Nr. 9, S. 616/19.
- [5] Welschhof, G.: Pneumatische Förderung bei großen Fördergutkonzentrationen. Diss. TH Stuttgart 1962 [VDI-Forsch.-heft 492. Düsseldorf: VDI-Verl. 1962].

vorgänge hat sich bei anderen Getreidearten die pneumatische Förderung bewährt. Bisher sind nur wenige Untersuchungen der pneumatischen Förderung von Körnermais bekannt [1]. In der vorliegenden Arbeit soll deshalb untersucht werden, inwieweit die pneumatische Förderung für den Transport von Körnermais geeignet ist.

2 Versuchsdurchführung

Die pneumatischen Förderversuche wurden an vier mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft aufgebauten waagerechten Förderanlagen mit 50, 100, 200 und 400 mm Rohrdurchmesser durchgeführt, Bild 1. Die wichtigsten Daten der Anlagen sind aus Tafel 1 ersichtlich.

Dem vom Gebläse gelieferten Luftstrom wird der Mais durch eine Zellenradschleuse zugeführt. Das Korn-Luft-Gemisch strömt in geraden Rohrstrecken und Krümmern zum Zyklonabscheider, wo die Körner abgeschieden werden. Aus dem Abscheider gelangt das Versuchsgut durch eine Meßdüse wieder in die Rohrleitung. Der Luftdurchsatz wird nach dem Zyklonabscheider mit einer Meßblende nach DIN 1952 gemessen.