

Die Untersuchungen mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten und Aufwandmengen deuten darauf hin, daß eine bessere Durchdringung des Pflanzendaches mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit und Aufwandmenge möglich ist.

Obwohl bei anderen Untersuchungen ein Einfluß der Tropfengröße auf die biologische Wirksamkeit vor allem bei selektierten Tropfengrößen festgestellt wurde, konnten bei den vorliegenden Untersuchungen solche Einflüsse nicht gefunden werden.

Für das Erstellen eines Bewertungsmaßstabes für Pflanzenschutzmaßnahmen, der einem Niederschlagsbild unter Einbeziehung des Pflanzenbestandes eine entsprechende biologische Wirkung zuordnet, konnten einige Zusammenhänge aufgestellt werden.

Schrifttum

- [1] *Göhlich, H.*: Pflanzenschutzverfahren und Umweltbeeinflussung. Landtechn. Bd. 29 (1974) S. 57/61.
- [2] *Yates, W.E., N.B. Akesson u. D. Bayer*: Effects of spray adjuvants on drift hazards. ASAE-Paper, Nr. 74-1008 (1974).
- [3] *Williamson, R.E. u. E.D. Threadgill*: A simulation for the dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying. Transactions ASAE Vol. 17 (1974) S. 254/61.
- [4] *Bengtsson, A.*: Droppstorleken influytande pa ogräsmedlens verkan. Växtodling (1961) 17, S. 1/149.
- [5] *Holly, K.*: The effects of volume application rate on the activity of 2,4-D and MCPA. J. Sci. Food and Agric. Vol. 3 (1952) S. 308/12.
- [6] *Ennis, W.B. u. R.E. Williamson*: Influence of droplet size on effectiveness of low volume herbicidal sprays. Weeds Vol. 11 (1963) S. 67/72.
- [7] *McKinlay, S., A. Brandt, P. Morse u. R. Ashford*: Droplet size and phytotoxicity of herbicides. Weed Science Vol. 20 (1972) S. 450/52.
- [8] *Buehring, N.W., L.O. Roth u. P.W. Santelmann*: Plant response to herbicide spray drop size and carrier volume. Transactions ASAE Vol. 16 (1973) S. 636/38.
- [9] *Neidermeyer, R.W. u. J.D. Nalewaja*: Barban selectivity for wild oat in wheat. Weed Science Vol. 22 (1974) S. 476/80.
- [10] *Hack, H.*: Untersuchungen zur Translokation von Chlorphenpropmethyl (Bidisin) in Flughaferpflanzen (*Avena fatua*) und die Reaktion verschiedener Varietäten von Flughafers auf Chlorphenpropmethyl. Mitt. BBA Bd. 146 (1971) S. 167/68.
- [11] *Bischof, F. u. H. Walter*: Wirkung von Suffix (Benzoylpropäthyl) in Abhängigkeit von der Applikationsstelle bei Flughafers. Pfl. Krankheiten Pfl. Schutz, Sonderheft VII (1975) S. 223/26.
- [12] *Hebblethwaite, P. u. P. Richardson*: Spray recovery in cereals. Weed Research Vol. 6 (1966) S. 84/85.

Systematische Untersuchungen über einige physikalische Kenngrößen des Getreidekorns in Abhängigkeit vom Feuchtegrad am Beispiel der Maissorte Inra 258

Von Georg Segler und Reinhold Scherer,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 633.004.12:633.15

Die Kenntnis der physikalischen Stoffeigenschaften der verschiedenen Getreidekornarten ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche und funktionsgerechte Konstruktion von Sägeräten, Ernte- und Aufbereitungsmaschinen, Trocknungs- und Förderanlagen sowie von Lagerbehältern. Die in der Fachliteratur vorhandenen Angaben über diese physikalischen Stoffeigenschaften sind unvollständig. Es liegen kaum systematisch ermittelte Ergebnisse aller Eigenschaften der gleichen Körnerfruchtart vor.

In der vorliegenden Arbeit werden die mechanischen Grundeigenschaften und geometrischen Kenngrößen wie Dichte, Schüttdichte, Rütteldichte, Hohlraumvolumen und Böschungswinkel von Haufwerken, sowie Dichte, Masse und Abmessungen des Einzelkornes zunächst am

Beispiel von Körnern der Maissorte Inra 258 in Abhängigkeit vom Feuchtegrad der Körner wiedergegeben. Es ist beabsichtigt, derartige Untersuchungen auch auf andere Maissorten und Getreidekornarten auszudehnen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Bisherige Arbeiten
3. Versuchsdurchführung
4. Charakterisierung des Versuchsgutes
5. Versuchsergebnisse
 - 5.1 Geometrische Kenngrößen, mittlere Kornmasse und mittleres Kornvolumen
 - 5.2 Dichte
 - 5.3 Böschungswinkel
 - 5.4 Schütt- und Rütteldichte, Hohlraumvolumen
6. Zusammenfassung

*) Prof. Dr.-Ing. G. Segler war Inhaber des Lehrstuhls für Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. R. Scherer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet Grundlagen der Landtechnik).

1. Einleitung

Die Kenntnis der physikalischen Stoffeigenschaften der verschiedenen Getreidekornarten ist Voraussetzung für ein wirtschaftliches und funktionsgerechtes Konstruieren von Sägeräten, Ernte- und Aufbereitungsmaschinen, Trocknungs- und Förderanlagen, sowie von Lagerbehältern [1].

Die in der Fachliteratur vorhandenen Angaben über physikalische Stoffeigenschaften sind unvollständig. Vor allem fehlt es an systematischen Untersuchungen, in denen sämtliche physikalischen Größen bestimmter Körnerfrüchte über den gesamten Feuchtebereich ermittelt wurden. Eine solche Darstellung ist aber immer dann notwendig, wenn eine Aussage darüber gemacht werden soll, wie sich die physikalischen Eigenschaften gegenseitig beeinflussen. Aus diesem Grunde war es Ziel dieser Arbeit, den Zusammenhang zwischen Feuchtegrad und den verschiedenen physikalischen Stoffeigenschaften aufzuzeigen und zu erklären. Die Untersuchung beschränkt sich zunächst auf die Maissorte Inra 258, an der exemplarisch die Untersuchungsmethoden erläutert und die Versuchsergebnisse diskutiert werden. Diese Untersuchungen stellen eine Ergänzung für das 1967 am Lehrstuhl für Landtechnik der Universität Hohenheim eingerichtete Archiv für landwirtschaftliche Stoffe [1] dar. Sie sollen auch auf andere Maissorten und Getreidekornarten ausgedehnt werden.

2. Bisherige Arbeiten

Neben zahllosen Einzelwerten für bestimmte Feuchtegrade liegen systematische Untersuchungen der Dichte von *Chung* und *Converse* [2] für Weizen und Mais, von *Gustafson* und *Hall* [3] und *Mühlbauer* [4] für Mais, der Schüttdichte von [2] für Weizen und Mais, von *Browne* [5] für Weizen, Gerste und Hafer, von *Lorenzen* [6] für Mais, Weizen und Gerste, von *Hall* [7] und [4] für Mais vor. Das Hohlraumvolumen wurde von [2] für Weizen und Mais, von [3] und [4] für Mais, der Böschungswinkel von [6] für Mais, Weizen und Gerste, von *Fowler* und *Wyatt* [8] für Weizen und von [4] für Mais untersucht.

Eine systematische Untersuchung des äquivalenten Kugeldurchmessers¹⁾, der besonders für die Auslegung von Belüftungs- und Trocknungsanlagen von Bedeutung ist, wurde von *Mühlbauer* [4] und von *Matthies* [9] und *Matthies* und *Petersen* [10] durchgeführt. Die Rütteldichte wurde bisher nicht ermittelt.

Mit Ausnahme der Werte von [4], [9] und [10] liegen für in Deutschland angebaute Getreidearten keine Untersuchungen vor. Mais mit hohen Feuchtegraden ($X > 0,4$) wurde bisher nur von *Mühlbauer* [4] untersucht.

Eine Erklärung für die Abhängigkeit der Haufwerkseigenschaften vom Feuchtegrad fehlt in der Literatur bisher für die Getreidekornarten.

3. Versuchsdurchführung

Bei allen Versuchen wurde naturfeuchtes, erntefrisches Gut des Erntejahres 1974, Standort Stuttgart-Hohenheim, verwendet. Zur Bestimmung der Stoffeigenschaften des Maiskorns in Abhängigkeit vom Feuchtegrad wurden die Maisproben auf einem Drahtsieb der Trocknungswirkung der Raumluft von $\vartheta = 18$ °C ausgesetzt und die Messungen bei verschiedenen Feuchtegraden durchgeführt. Zum Messen bei Kornfeuchtegraden unterhalb des bei Raumtemperatur vorliegenden Gleichgewichtsfeuchtegrades von $X < 0,165$ wurden die Proben im Trockenschrank bei 60 °C weiter getrocknet. Parallel dazu wurden gereinigte Maisproben untersucht, die in einem Satzrockner und in einem Durchlauftrockner,

der von *Mühlbauer* [4] ausführlich beschrieben ist, getrocknet worden waren. Mit einer Reinigungseinrichtung (Goldsaat, Typ GS 20 S) waren vorher Lieschen- und Stengelteile, feines Bruchkorn und Staub abgetrennt worden.

Zur Bestimmung der Dichte wurde ein Luftpiknometrier (Chemisches Labor der Tonindustrie Berlin, Nr. 1836180) verwendet. Die Schütt- und Rütteldichte wurde mit einer eigens hierfür gebauten modifizierten Böhme-Schüttvorrichtung ermittelt, **Bild 1**, die nach *Kohn* und *Gonell* [11] die am besten reproduzierbaren Werte liefert. Hierfür wurde eine zuvor abgewogene Menge Versuchsgut mit einem Kunststoffbehälter in den oberen Plexiglaszylinder a ($d_i = 285$ mm) vom Rand her eingeschüttet und mit einem Verteiler b eine ebene Oberfläche geschaffen. Durch Auslösen der Schiebeperrre c wurden anschließend die symmetrisch geteilten Schiebeteile mittels am Rahmen d angebrachter Schraubenfedern e mit einer Zugkraft von je 100 N nach außen gezogen und somit dem Versuchsgut die Möglichkeit gegeben, über den gesamten Querschnitt aus einer Fallhöhe von 0,5 m über das zylindrische Zwischenstück f in den unteren Meßzylinder g auszuströmen. Durch Abnehmen des oberen Versuchszylinders, Umklappen der Schiebereinrichtung und Entfernen des zylindrischen Zwischenstücks konnte nun mit dem Verteiler im unteren Meßzylinder eine ebene Oberfläche geschaffen und die Schütthöhe abgelesen werden. Aus dem Volumen der Schüttgutsäule und deren Masse läßt sich die Schüttdichte berechnen.

Zum Bestimmen der Rütteldichte wurde die Grundplatte aus glattem, geschliffenem Sperrholz h und der untere Meßzylinder mittels eines Vibrators (Höflinger-Karg, Typ LMSE 150) in Schwingungen versetzt (Amplitude $A = 1,0$ mm, Frequenz $f = 50$ Hz) und das Versuchsgut dadurch eingerüttelt. Die Rüttelzeit betrug 10 min, die zum Erreichen der maximalen Rütteldichte ausreichend ist, wie Vorversuche gezeigt hatten.

Der Böschungswinkel wurde nach *Schwedes* [12] an einer kegeligen Schüttgutfläche bestimmt, **Bild 2**. Für die Messung wurde der untere Meßzylinder an einer Zugvorrichtung i befestigt und mittels eines Getriebemotors j mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,1 m/s hochgezogen. Die Höhe des auf der Grundplatte h zurückbleibenden Gutkegels wurde mit der Längenmeßeinrichtung k festgestellt. Aus dieser Höhe und dem Radius der Grundplatte kann der Tangens des Böschungswinkels und daraus der Böschungswinkel selbst bestimmt werden.

Das Hohlraumvolumen läßt sich nach Bestimmen von Dichte und Schüttdichte bzw. Rütteldichte, mit diesen Größen nach den Gleichungen

$$\epsilon_S = 1 - \frac{\rho_S}{\rho} \quad \text{bzw.} \quad \epsilon_R = 1 - \frac{\rho_R}{\rho} \quad (1)$$

und der äquivalente Kugeldurchmesser nach der von *Matthies* [9] angegebenen Gleichung

$$d_K = 1,24 \sqrt[3]{(M_0/z_0) \rho_K} \quad (2)$$

berechnen, wobei M_0 die Masse einer Anzahl z_0 Körner und ρ_K die Korndichte sind.

Die Kolben- und Kornabmessungen der untersuchten Maissorte wurden mit einer Schieblehre gemessen, mittlere Kornmasse, Tausendkornmasse und der Anteil an ganzen Körnern, Bruchkorn und Verunreinigungen mit einer Sauter-Präzisionswaage bei einer Anzeigenauigkeit von 0,01 g ermittelt, die Siebanalyse mit einem Prüfsieb mit quadratischen Maschen nach DIN 4188 durchgeführt. Die Bestimmung des Feuchtegrades erfolgte nach der Trockenschrankmethode – Trocknung während 24 h bei 105 °C. Die Probenmengen wurden entsprechend den Vorschriften in [13] gewählt.

¹⁾ Erläuterungen der verwendeten Bezeichnungen und Formelzeichen am Schluß der Arbeit.

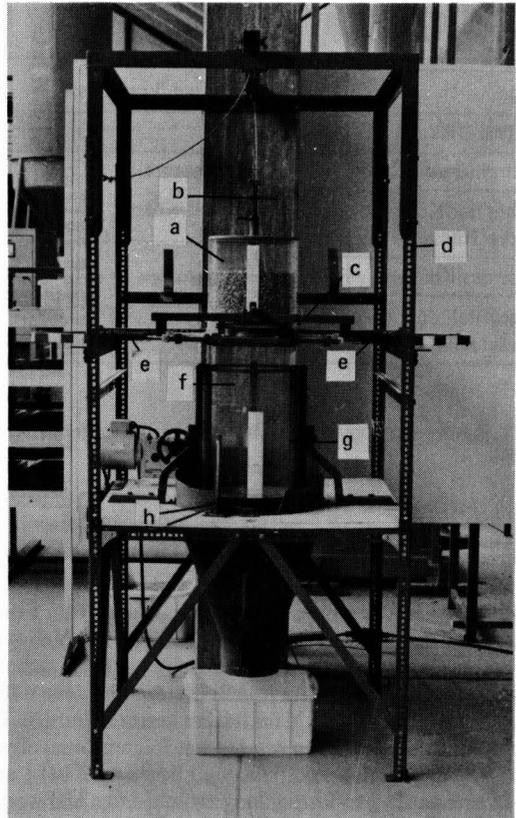
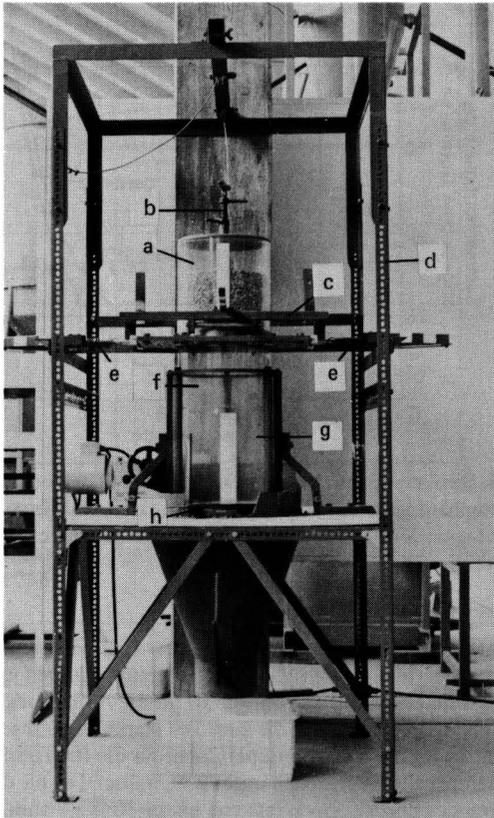


Bild 1. Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Schütt- und Rütteldichte sowie des Böschungswinkels.

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| a oberer Meßzylinder | e Schraubenfeder |
| b Verteiler | f zylindr. Zwischenstück |
| c Schiebersperre | g unterer Meßzylinder |
| d Rahmen | h Grundplatte |

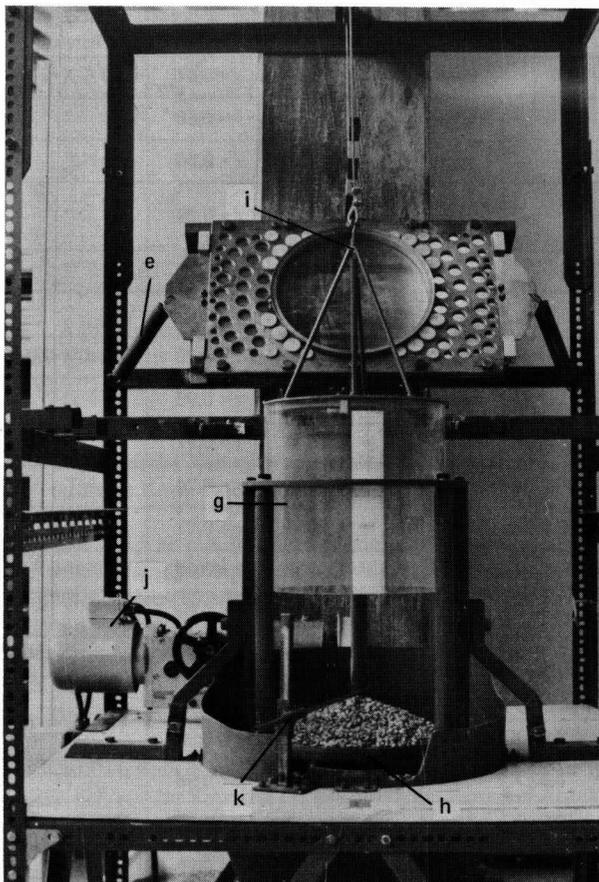


Bild 2. Meßeinrichtung zur Bestimmung des Böschungswinkels.

- | |
|------------------------|
| i Zugvorrichtung |
| j Getriebemotor |
| k Längenmeßeinrichtung |

4. Charakterisierung des Versuchsgutes

Bei der Bestimmung der Stoffeigenschaften von biologischen Stoffen ist die genaue Charakterisierung der untersuchten Proben und der Probenahme unerlässlich, da im Gegensatz zu homogenen anorganischen Stoffen die spezifischen Eigenschaften organischer Stoffe starken Schwankungen unterworfen sind. So weichen die Messungen verschiedener Autoren auch deshalb voneinander ab, weil die untersuchten Proben nicht identisch sind. Dies kann im nachhinein aber oft nicht mehr überprüft werden, weil die Proben nicht mehr verfügbar sind, vor allem aber eine genaue Charakterisierung des Versuchsgutes unterblieben ist.

Bei den nachstehenden Untersuchungen von Maiskörnern der Sorte Inra 258 wurden deshalb die charakteristischen Größen des Kolbens und der Spindel bestimmt, **Tafel 1**, und zur Kennzeichnung des Versuchsgutes die Tausendkornmasse ermittelt (**Tafel 1**), eine Siebanalyse des Haufwerks durchgeführt, **Bild 3**, und der Anteil an ganzen Körnern, Bruchkorn und Verunreinigungen festgestellt (**Tafel 1**).

Zur Durchführung der Siebanalyse und zur Bestimmung der Masseanteile für ganze Körner, Bruchkorn und Verunreinigungen wurde jeweils 1 kg des Versuchsgutes aus einem Probenteiler abgezogen. Zur Ermittlung der charakteristischen Größen des Kolbens und der Spindel wurden 200 Maiskolben verwendet und der Mittelwert aus den Einzelergebnissen gebildet.

Die Meßwerte für die charakteristischen Größen des Kolbens wiesen zum Teil erhebliche Streuungen auf; so war der Variationskoeffizient für die mittlere Kolbendicke 9 %, für die Kolbenlänge 12 % und für die Anzahl der Körner pro Kolben gar 14 %.

Maiskolben Feuchtegrad X = 0,48	Mais Korn, Haufwerk Feuchtegrad X = 0,16	
Länge	16,9 cm	Tausendkornmasse
mittlere Dicke	4,2 cm	267 g
Kornreihenzahl	14	Masseanteil
Anzahl der Körner pro Reihe	26	ganze Körner
Masse des Kolbens	148 g	gereinigt
Masseanteil der Spindel am Kolben	24,4 %	ungereinigt
		Bruchkorn
		gereinigt
		ungereinigt
		Verunreinigungen
		gereinigt
		ungereinigt

Tafel 1. Kenndaten der untersuchten Maisproben der Sorte Inra 258.

5. Versuchsergebnisse

Die Abhängigkeit der untersuchten Eigenschaften vom Feuchtegrad ist aus den folgenden Bildern und den von den Meßwerten abgeleiteten Gleichungen in Tafel 2 ersichtlich. Die Ergebnisse stellen Repräsentativwerte für jeweils drei verschiedene untersuchte Proben dar, die mit dem Mährescher geerntet wurden. Die Konstanten der Gleichungen wurden mit Regressionsanalysen ermittelt. Die Korrelationskoeffizienten r liegen nahe bei 1 und bestätigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Meßwerten und den angegebenen Funktionen.

Kenngröße	Probe	Gleichung	Einheit	Wert für X = 0	Korrelationskoeffizient r	Gültigkeitsbereich	
Kornlänge	Einzelkorn	$L_K = L_{K0} + 1,31 X$	mm	$L_{K0} = 9,8$	$r = 0,81$	$0,03 \leq X \leq 0,85$	
Kornbreite	Einzelkorn	$B_K = B_{K0} + 1,26 X$	mm	$B_{K0} = 8,5$	$r = 0,88$	"	
Korndicke	Einzelkorn	$D_K = D_{K0} + 0,78 X$	mm	$D_{K0} = 4,8$	$r = 0,86$	"	
äquivalenter Kugeldurchmesser	Einzelkorn	$d_K = d_{K0} + 2,05 X$	mm	$d_{K0} = 7,0$	$r = 0,99$	"	
mittlere Kornmasse	Einzelkorn	$m_K = m_{K0} + 0,02 X^2 + 0,22 X$	g	$m_{K0} = 0,23$	$r = 0,99$	"	
mittl. Kornvolumen	Einzelkorn	$V_K = V_{K0} + 0,03 X^2 + 0,18 X$	cm ³	$V_{K0} = 0,175$	$r = 0,99$	"	
Dichte	Einzelkorn	$\rho = \rho_0 + 78,4 X^2 - 179,4 X$	kg/m ³	$\rho_0 = 1353,41$	$r = 0,99$	$0,06 \leq X \leq 0,85$	
	ungereinigt	$\rho = \rho_0 + 131,5 X^2 - 244,8 X$	kg/m ³	$\rho_0 = 1371,18$	$r = 0,98$	"	
Schüttdichte	gereinigt	$\rho_S = \rho_{S0} + 630,1 X^3 - 464,0 X^2 + 20,4 X$	kg/m ³	$\rho_{S0} = 661,44$	$r = 0,91$	"	
	ungereinigt	$\rho_S = \rho_{S0} + 214,4 X^3 + 104,0 X^2 - 188,0 X$	kg/m ³	$\rho_{S0} = 634,57$	$r = 0,94$	"	
Rütteldichte	gereinigt	$\rho_R = \rho_{R0} + 424,2 X^3 - 265,0 X^2 + 13,8 X$	kg/m ³	$\rho_{R0} = 667,89$	$r = 0,91$	"	
	ungereinigt	$\rho_R = \rho_{R0} + 127,9 X^3 + 196,3 X^2 - 188,1 X$	kg/m ³	$\rho_{R0} = 645,50$	$r = 0,96$	"	
Hohlraumvolumen	gereinigt	geschüttet	$\epsilon_S = \epsilon_{S0} - 0,56 X^3 + 0,48 X^2 - 0,11 X$	-	$\epsilon_{S0} = 0,513$	$r = 0,96$	"
		gerüttelt	$\epsilon_S = \epsilon_{S0} - 0,39 X^3 + 0,31 X^2 - 0,10 X$	-	$\epsilon_{R0} = 0,508$	$r = 0,96$	"
	ungereinigt	geschüttet	$\epsilon_R = \epsilon_{R0} - 0,19 X^3 + 0,01 X^2 + 0,05 X$	-	$\epsilon_{S0} = 0,537$	$r = 0,98$	"
		gerüttelt	$\epsilon_R = \epsilon_{R0} - 0,14 X^3 - 0,06 X^2 + 0,04 X$	-	$\epsilon_{R0} = 0,530$	$r = 0,99$	"
Böschungswinkel (Grundplatte: Holz, Grundplattendurchmesser d = 285 mm)	gereinigt	geschüttet	$\alpha_S = \alpha_{S0} - 112,4 X^3 + 99,5 X^2 + 3,87 X$	°	$\alpha_{S0} = 22,22$	$r = 0,96$	"
		gerüttelt	$\alpha_R = \alpha_{R0} - 158,7 X^3 + 156,2 X^2 - 12,9 X$	°	$\alpha_{R0} = 23,53$	$r = 0,98$	"
	ungereinigt	geschüttet	$\alpha_S = \alpha_{S0} - 118,1 X^3 + 121,7 X^2 - 0,82 X$	°	$\alpha_{S0} = 25,75$	$r = 0,98$	"
		gerüttelt	$\alpha_R = \alpha_{R0} - 130,5 X^3 + 143,1 X^2 - 7,00 X$	°	$\alpha_{R0} = 26,44$	$r = 0,99$	"

Tafel 2. Gleichungen zur Berechnung der einzelnen physikalischen Größen in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Maissorte Inra 258).

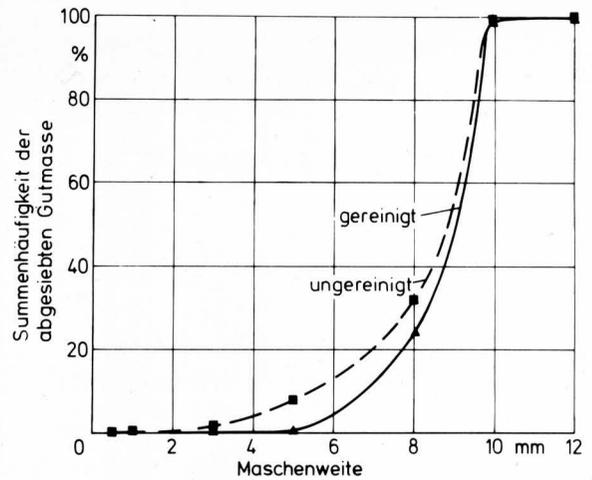


Bild 3. Siebkennlinien der natürlich getrockneten Versuchsproben; Summenhäufigkeit der abgießten Gutmasse, Mais Inra 258; Feuchtegrad X = 0,153, Sieb mit quadratischen Maschen nach DIN 4188.

Die Streuungen sind für die Meßwerte der Haufwerkeigenschaften Dichte, Schüttdichte, Rütteldichte, Hohlraumvolumen und Böschungswinkel wesentlich geringer als für die Abmessungen und die Masse des Einzelkorns, die zum Teil starke Streuungen aufweisen. So lag der Variationskoeffizient für die Haufwerkeigenschaften bei allen Versuchen unter 2 %, während er für die Eigenschaften des Einzelkorns Werte von bis zu 10 % annahm.

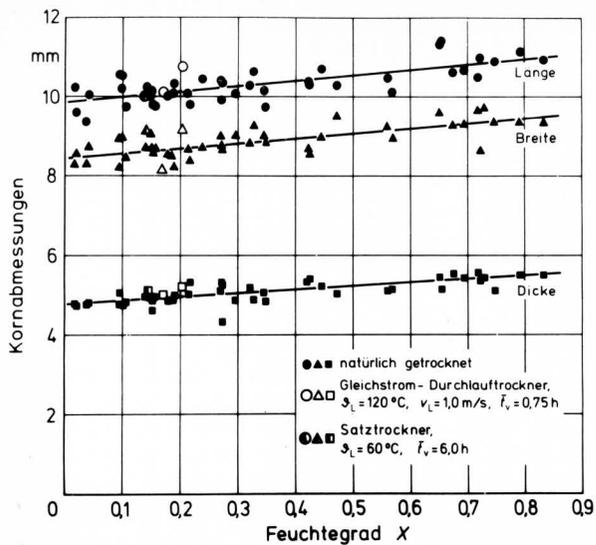


Bild 4. Kornabmessungen in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258).

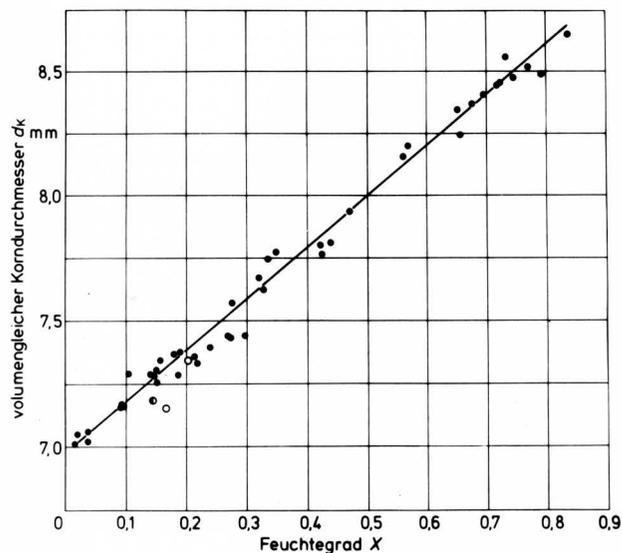


Bild 5. Äquivalenter Kugeldurchmesser in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258). (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

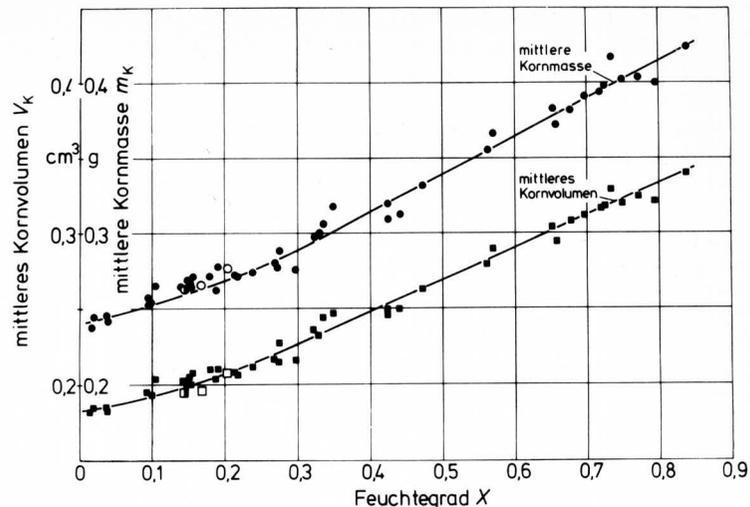


Bild 6. Mittlere Kornmasse und mittleres Kornvolumen in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258). (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

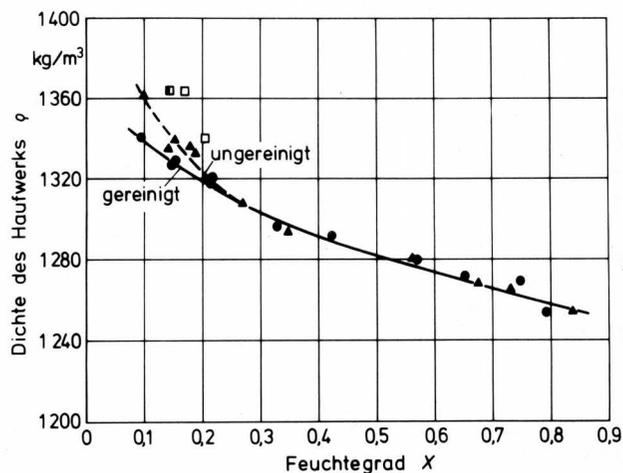


Bild 7. Dichte des Kornhautwerks in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258). (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

5.1 Geometrische Kenngrößen, mittlere Kornmasse und mittleres Kornvolumen

Wie **Bild 4** und **5** zeigen, besteht zwischen dem Feuchtegrad und den Kornabmessungen bzw. dem äquivalenten Kugeldurchmesser eine lineare Abhängigkeit; zwischen mittlerer Kornmasse bzw. mittlerem Kornvolumen und dem Feuchtegrad besteht ein parabolischer Zusammenhang, **Bild 6**.

5.2 Dichte

Die Dichte wird mit zunehmendem Feuchtegrad kleiner, **Bild 7**; das läßt sich aus der Tatsache erklären, daß das Korn bei Aufnahme von Feuchtigkeit sein Volumen stärker vergrößert als seine Masse.

Wie **Bild 7** zeigt, ist die Dichte der im Satz- und Durchlauftrockner getrockneten Proben bei gleichem Feuchtegrad größer als bei den natürlich getrockneten Proben. Dies beruht darauf, daß das Versuchsgut bei höheren Lufttemperaturen stärker schrumpft als z.B. bei Raumtemperatur (**Bild 4 bis 6**). Diese Feststellung deckt sich mit den Ergebnissen von *Gustafson* und *Hall* [3].

5.3 Böschungswinkel

Die Abhängigkeit des Böschungswinkels vom Feuchtegrad ist in **Bild 8** dargestellt. An eine geringfügige Abnahme des Böschungswinkels im Bereich $0,02 < X < 0,13$ schließt sich ein sehr starker Anstieg bis etwa $X = 0,35$ an. Oberhalb $X = 0,35$ nimmt der Böschungswinkel nur noch wenig zu, um dann bei sehr hohen Feuchtegraden infolge einer Gleitwirkung des Oberflächenwassers sogar leicht abzusinken.

Wie **Bild 8** verdeutlicht, haben die Verunreinigungen und die Packungsdichte der Schüttung, besonders bei hohen Feuchtegraden, einen großen Einfluß auf den Böschungswinkel. Diese Tatsache dürfte überall dort interessant sein, wo das Fließverhalten des Gutes eine entscheidende Rolle spielt. Sie erklärt die Schwierigkeiten, die bei der Förderung von sehr feuchtem Gut auftreten können.

Der Böschungswinkel von gereinigten, künstlich getrockneten Proben ist aufgrund einer höheren Oberflächenrauigkeit größer als der der natürlich getrockneten Proben.

Um den von *Kohn* und *Gonell* [11] festgestellten Einfluß des Durchmessers der Grundplatte auf den Böschungswinkel zu überprüfen, wurden im Feuchtebereich $0,02 < X < 0,35$ zusätzlich zur

Grundplatte aus glattem, poliertem Sperrholz mit dem Durchmesser 285 mm auch Versuche mit einer Grundplatte von 200 mm Durchmesser durchgeführt. Wie Bild 9 zeigt, ist der Böschungswinkel bei den Messungen mit der größeren Grundplatte größer, eine Feststellung, die sich mit den Ergebnissen von Kohn und Gonell [11] deckt.

Zur Klärung der Frage, ob der Böschungswinkel auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Grundplatte abhängt, wurden Messungen mit verschiedenen Werkstoffen durchgeführt. Die Ergebnisse, die in Bild 10 dargestellt sind, zeigen, daß der Böschungswinkel von der Oberflächenbeschaffenheit der Grundplatte beeinflusst wird.

Der Einfluß des Durchmessers und der Oberflächenbeschaffenheit der Grundplatte verdeutlichen, daß der Böschungswinkel des Körnerhaufwerks nicht ausschließlich eine Stoffeigenschaft darstellt, wie das für den Winkel der inneren Reibung der Fall ist.

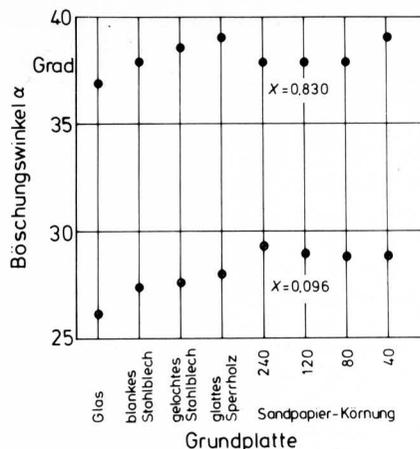


Bild 10. Böschungswinkel des Haufwerks aus gereinigtem Mais (Inra 258) in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Grundplatte ($d = 285$ mm).

5.4 Schütt- und Rütteldichte, Hohlraumvolumen

Bild 11 zeigt die Abhängigkeit der Schütt- und Rütteldichte vom Feuchtegrad des Gutes. Aus dem Bild ist ersichtlich, daß Schütt- und Rütteldichte im Bereich $0,02 < X < 0,13$ geringfügig zunehmen, im Bereich $0,13 < X < 0,35$ abnehmen und bei Feuchtegraden $X > 0,35$ wieder ansteigen. Der Bereich niedriger Gutfeuchte wurde bisher von anderen Autoren nicht untersucht, so daß ein Vergleich nicht möglich ist. Für den Bereich $X > 0,35$ liegen nur Ergebnisse von Mühlbauer [4] vor. Dieser stellte abweichend von den eigenen Ergebnissen eine lineare Abnahme der Schüttdichte mit zunehmendem Feuchtegrad über den ganzen von ihm untersuchten Feuchtebereich $0,1 < X < 0,6$ fest. Dies dürfte hauptsächlich darauf zurückzuführen sein, daß Mühlbauer kein standardisiertes Einfüllverfahren benutzte und so der Meßvorgang sehr stark subjektiven Einflüssen unterworfen war.

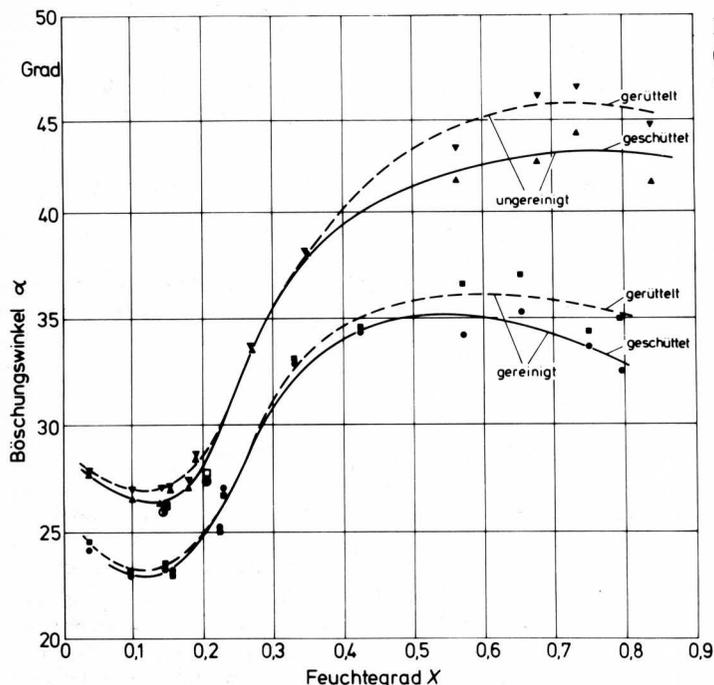


Bild 8. Böschungswinkel des Kornhaufwerks in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258), Grundplatte: glattes, geschliffenes Sperrholz, $d = 285$ mm. (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

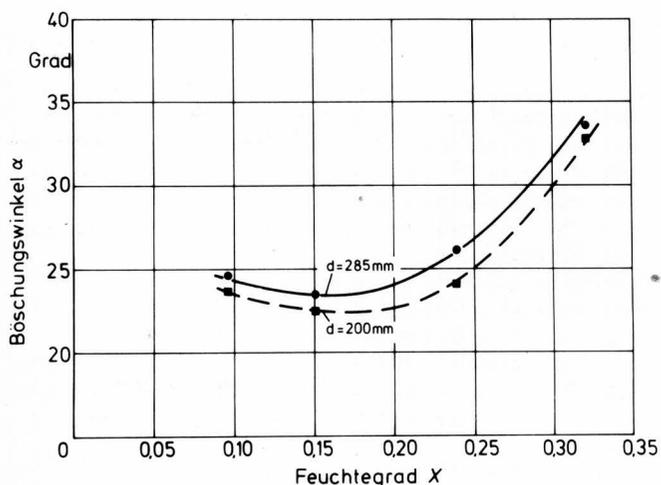


Bild 9. Böschungswinkel des Haufwerks aus gereinigtem Mais (Inra 258) in Abhängigkeit vom Feuchtegrad bei verschiedenem Durchmesser d der Grundplatte aus glattem, geschliffenem Sperrholz.

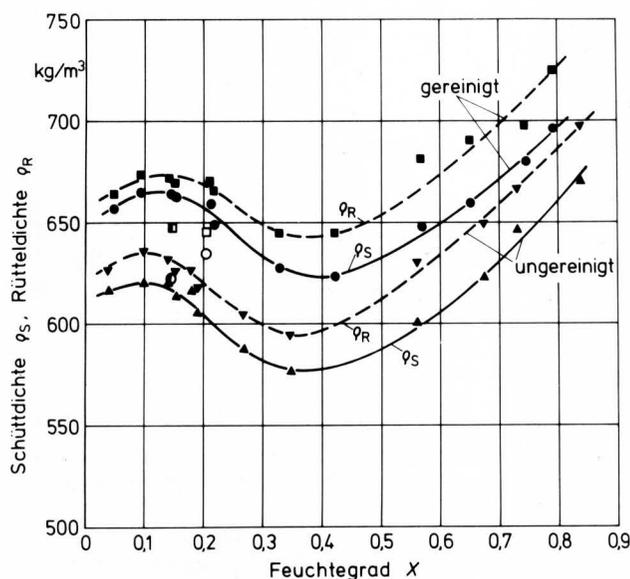


Bild 11. Schütt- und Rütteldichte in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Mais Inra 258). (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

Die in Bild 11 dargestellte Abhängigkeit der Schütt- und Rütteldichte vom Feuchtegrad des Gutes läßt sich mit dem Verlauf der Dichte allein nicht erklären, da diese mit dem Feuchtegrad kontinuierlich abnimmt, Bild 7. Geht man davon aus, daß der Böschungswinkel in erster Näherung gleich dem Winkel der inneren Reibung ist oder zumindest in der Tendenz das Reibungsverhalten Gut-Gut ausdrückt, so läßt sich die bei den eigenen Untersuchungen festgestellte Zunahme der Schütt- und Rütteldichte im Bereich $0,02 < X < 0,13$ mit der Tatsache erklären, daß der Reibungskoeffizient des Haufwerks in diesem Bereich sinkt, Bild 8, und das Haufwerk sich somit dichter lagert. Die Abnahme der Schütt- und Rütteldichte im Bereich $0,13 < X < 0,35$ ist darauf zurückzuführen, daß die Dichte abnimmt und der Reibungskoeffizient stark ansteigt, Bild 8. Der Anstieg von Schütt- und Rütteldichte im Bereich $X > 0,35$ beruht darauf, daß einerseits der Reibungskoeffizient in diesem Bereich nur noch unwesentlich ansteigt, bei hohen Feuchtegraden infolge einer Gleitwirkung des Oberflächenwassers sogar leicht absinkt, Bild 8, und daß andererseits das Haufwerk sich bei höheren Feuchtegraden zunehmend plastisch verformt. Diese Erscheinung wurde auch bei Untersuchungen an Belüftungstrocknungsanlagen beobachtet. Sie führte dort infolge der Verringerung des Hohlraumvolumens zu einer Erhöhung des Belüftungswiderstandes [14].

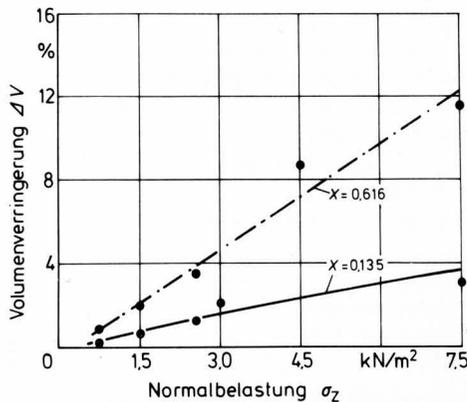


Bild 12. Volumenverringerng eines Haufwerks aus gereinigtem Mais (Inra 258) in Abhängigkeit von der statischen Belastung bei zwei verschiedenen Feuchtegraden.

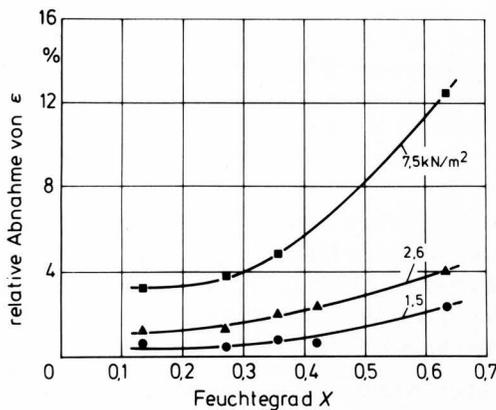


Bild 13. Relative Abnahme des Hohlraumvolumens ϵ eines Haufwerks aus gereinigtem Mais (Inra 258) in Abhängigkeit vom Feuchtegrad bei unterschiedlicher statischer Belastung.

Zur Absicherung dieser Aussage wurden ergänzende Untersuchungen gemacht, bei denen die Körnerschüttung statisch durch Auflagen verschiedener Gewichtstücke belastet wurde. Die Ergebnisse, die in Bild 12 und 13 dargestellt sind, zeigen, daß die bleibende

Volumenverringerng und demzufolge die Zunahme der Schütt- und Rütteldichte und die Abnahme des Hohlraumvolumens infolge einer plastischen Verformung des Körnerhaufwerks bei höheren Feuchtegraden wesentlich größer ist als bei niedrigen Feuchtegraden. Dies bestätigt die oben gemachte Aussage.

Der Verlauf des Hohlraumvolumens in Abhängigkeit vom Feuchtegrad ist dem von Schütt- und Rütteldichte reziprok, Bild 14.

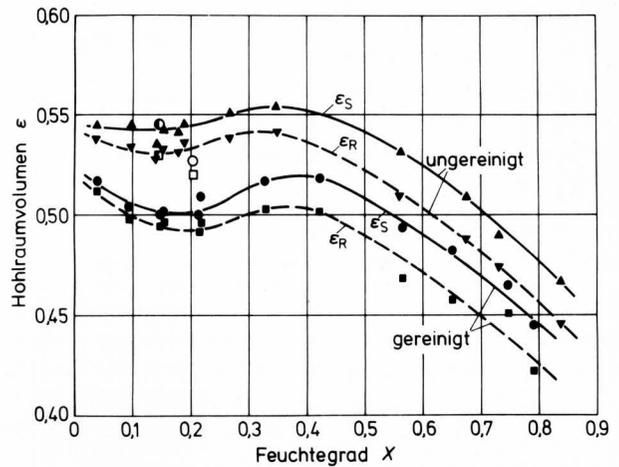


Bild 14. Hohlraumvolumen von Haufwerken (Mais Inra 258) bei Schütt- und Rütteldichte in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Bedeutung der Meßpunkte wie in Bild 4).

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden erstmals die geometrischen Kenngrößen des Getreidekorns und einige mechanische Eigenschaften von Körnerhaufwerken geschlossen an einer Maissorte (Inra 258) in Abhängigkeit vom Feuchtegrad ermittelt und dargestellt. Die angewandten Untersuchungsmethoden erwiesen sich als ausreichend genau und die Messungen als gut reproduzierbar. Für die Abhängigkeit der mechanischen Haufwerkeigenschaften vom Feuchtegrad wurde eine Erklärung gegeben, deren Aussagen durch Versuche belegt wurden. Im Gegensatz zu Untersuchungen im vorhandenen Schrifttum ergaben die eigenen Messungen, daß die Schüttdichte bei Mais mit zunehmendem Feuchtegrad nicht kontinuierlich linear abnimmt, sondern ab einem Feuchtegrad von $X = 0,35$ wieder ansteigt. Bei der Untersuchung des Böschungswinkels stellte sich heraus, daß dieser nicht ausschließlich eine Stoffeigenschaft darstellt und seine Definition einer Änderung bedarf.

Es ist beabsichtigt, die durchgeführten Untersuchungen durch Messungen an anderen Maissorten und Getreidearten auszudehnen.

Verwendete Formelzeichen

d	mm	Durchmesser
d_K	mm	äquivalenter Kugeldurchmesser, Durchmesser einer Kugel mit dem gleichen Volumen wie das Korn
m_K	g	mittlere Kornmasse
t_v	s	mittlere Verweilzeit
V_K	cm ³	mittleres Kornvolumen
v_L	m/s	Luftgeschwindigkeit
X	kg/kg	Feuchtegrad des Getreidekorns und des Haufwerks, Wassermasse bezogen auf die Trockenmasse

α	°	Böschungswinkel des Körnerhaufwerks
α_S	°	Böschungswinkel bei Schüttdichte
α_R	°	Böschungswinkel bei Rütteldichte
ϵ	m^3/m^3	Hohlraumvolumen, das auf das Volumen der Gesamtschüttung bezogene Lückenvolumen (Luftvolumen)
ϵ_S	m^3/m^3	Hohlraumvolumen bei Schüttdichte
ϵ_R	m^3/m^3	Hohlraumvolumen bei Rütteldichte
ϑ_L	°C	Lufttemperatur
ρ	kg/m^3	Dichte des Haufwerks
ρ_S	kg/m^3	Schüttdichte des Haufwerks
ρ_R	kg/m^3	Rütteldichte des Haufwerks
ρ_K	kg/m^3	Korndichte
σ_Z	N/m^2	Normalbelastung
Index "0"		Werte der verschiedenen Größen für $X = 0$

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] Segler, G.: Verfahrenstechnik in der Landwirtschaft. VDI-Zeitschrift Bd. 109 (1967) Nr. 9, S. 394/400.
- [2] Chung, D.S. u. H.H. Converse: Effect of moisture content on some physical properties of grains. Trans. ASAE Vol. 14 (1971) Nr. 4, S. 612/14; 620.
- [3] Gustafson, R.J. u. G.E. Hall: Density and porosity changes of shelled corn during drying. Trans. ASAE Vol. 15 (1972) Nr. 3, S. 523/25.
- [4] •Mühlbauer, W.: Untersuchungen über die Trocknung von Körnermais unter besonderer Berücksichtigung des Gleichstromtrocknungsverfahrens. Dissertation Universität Stuttgart 1974.
- [5] Browne, D.A.: Variation of the bulk density of cereals with moisture content. J. Agr. Engng. Res. Vol. 7 (1962) Nr. 4, S. 288/90.
- [6] •Lorenzen, R.T.: Effect of moisture content on mechanical properties of grain. M.S. thesis, University of California, Davis, 1957.
- [7] Hall, G.E.: Test weight changes of shelled corn during drying. Trans. ASAE Vol. 15 (1972) Nr. 2, S. 320/23.
- [8] Fowler, R.T. u. F.A. Wyatt: The effect of moisture content on the angle of repose of granular solids. Australian Journal for Chemical Engineers 1960. Zitiert nach •Mohsenin, N.N.: Physical properties of plant and animal materials. New York, London, Paris: Gordon and Breach Science Publishers, 1970.
- [9] •Matthies, H.J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsheft 454, Düsseldorf: VDI-Verlag 1956.
- [10] Matthies, H.J. u. H. Petersen: Ausbau eines Verfahrens zur Berechnung des Strömungswiderstandes ruhender kornförmiger Schüttgüter. Grndl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 2, S. 50/53.
- [11] Kohn, H. u. H.W. Gonell: Schüttungskenngrößen staubförmiger Stoffe und ihre Messung. Staub Bd. 22 (1950) S. 293/322 u. Bd. 23 (1951) S. 420/56.
- [12] •Schwedde, J.: Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern. Weinheim: Verlag Chemie 1968.
- [13] •Herrmann, R.: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Bd. 5: Die Untersuchung von Saatgut. Neudamm u. Berlin: Verlag Neumann 1941.
- [14] •Segler, G.: Untersuchungen von Belüftungstrocknungsanlagen für Körnermais. Unveröffentlichter Bericht Hohenheim, 1973.

Farbmetrische Schnellmethode zum Erkennen einer Proteinschädigung bei der Trocknung von Maiskörnern mit hohen Lufttemperaturen

Von Werner Mühlbauer, Walter Huss und Heinz Kuppinger, Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 664.8:664.8.047:641.12

Die Leistung von Körnermaistrocknungsanlagen kann in erster Linie durch die Anwendung hoher Trocknungslufttemperaturen gesteigert werden. Gleichzeitig läßt sich dadurch der Energiebedarf senken. Dabei besteht aber die Gefahr, daß infolge zu hoher Korntemperatur und zu langer Einwirkungsdauer dieser Temperatur die Qualität der Körner negativ beeinflusst wird. Eine Minderung der Qualität der Nährstoffe kann durch analytische

Methoden in Verbindung mit Tierversuchen nachgewiesen werden. Da diese Methoden mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind, haben sie bislang in der Praxis bei der laufenden Qualitätsbeurteilung von Futtermais keinen Eingang gefunden.

Es wird über erste Versuche zur Entwicklung einer Schnellmethode zum Nachweis einer Qualitätsveränderung des Maisproteins infolge der Trocknung berichtet. In einer systematischen Untersuchung wurden Maiskörner bei unterschiedlichen Bedingungen getrocknet und der Lysingehalt sowie die farbliche Veränderung der Körner gemessen. Die Untersuchungen zeigten, daß zwischen der farblichen Veränderung der Körner infolge der Trocknung und der thermisch bedingten Lysinabnahme ein linearer Zusammenhang besteht, der unabhängig von den Trocknungsbedingungen ist.

*) Dr.-Ing. Werner Mühlbauer ist Oberingenieur am Institut für Agrartechnik und Prof. Walter Huss Leiter des Fachgebietes Futtermittelkunde an der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. Heinz Kuppinger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des genannten Sonderforschungsbereichs 140.