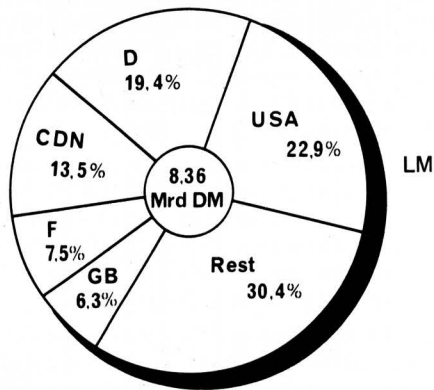


LM/AS-Ausfuhr westlicher Länder 1976



LM/AS 22,17 Mrd DM

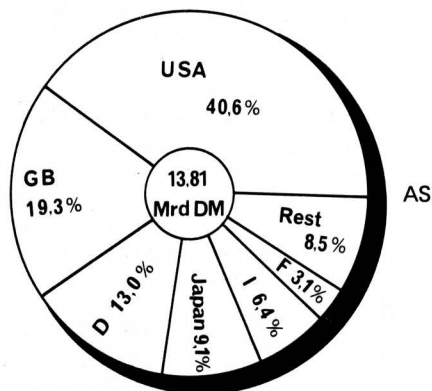


Bild 7. Die Landmaschinen- und Ackerschlepper-Ausfuhr westlicher Industrieländer im Jahre 1976 (VDMA-Statistik).

4. Zusammenfassung

Die Landmaschinen- und Ackerschlepper-Industrie der Bundesrepublik hat mit rund 160 Firmen und 70000 Beschäftigten im Jahre 1976 einen Umsatz von rund 6 Mrd. DM erzielt. Die Hälfte davon blieb auf dem Inlandsmarkt, die andere Hälfte wurde in viele Märkte der Welt exportiert. Hauptabnehmer dieser Exporte waren vor allem die europäischen Länder, wobei Frankreich wiederum den größten Teil importierte. Die Exporte nach Außereuropa haben sich deutlich nur nach Nordamerika verbessern können.

Die Landmaschinen-/Ackerschlepper-Branche hat seit 1950 einen starken Konzentrationsprozeß durchlaufen: Von 360 Firmen sind heute noch 160 in der Landmaschinen- und Ackerschlepper-Fertigung tätig, davon nur rund 25 % als reine Spezialisten. Sowohl Inlandsabsatz als auch Exporte konnten in den 70er Jahren gesteigert werden, wodurch sich der Landmaschinen- und Ackerschlepper-Bereich auf den zweiten Rang innerhalb des deutschen Maschinenbaus verbessern konnte.

Mit einem Produktionswert von mehr als 6 Mrd. DM sind die Landmaschinen- und Ackerschlepper-Hersteller der Bundesrepublik die größte Gruppe in Europa, gefolgt von Italien und Großbritannien.

Die Landmaschinen- und Ackerschlepper-Hersteller der Bundesrepublik haben sich vor allem in den 70er Jahren nachhaltig um die Exportmärkte bemüht und, trotz gewisser Schwierigkeiten, im Welthandel der westlichen Industrieländer den zweiten Platz erreichen können.

Die Bemühungen der nächsten Jahre werden vorrangig den außereuropäischen Märkten zu gelten haben, wobei sicherlich neben dem Export von Maschinen und Geräten auch andere Formen grenzüberschreitenden Handels gefunden werden müssen.

Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten

Von Reinhold Scherer und Heinz Dieter Kutzbach, Stuttgart-Hohenheim*)

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

DK 633.004.12:531.7

Die Kenntnis der physikalischen Stoffeigenschaften der Einzelkörner und der Haufwerke von Körnerfrüchten ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche und funktionsgerechte Konstruktion von landwirtschaftlichen Maschinen und Anlagen.

Die in der Literatur vorhandenen Angaben über physikalische Eigenschaften sind unvollständig. Besonders fehlt es an systematisch ermittelten Ergebnissen für alle Eigenschaften der verschiedenen Körnerfruchtarten.

In der vorliegenden Arbeit werden in Anknüpfung an eine frühere Untersuchung [1] die mechanischen Grundeigenschaften Schüttdichte, Rütteldichte, Hohlraumvolumen und Böschungswinkel von Haufwerken sowie Rein-

dichte, Masse und geometrische Kenngrößen von Einzelkörnern der Körnerfrüchte Mais, Weizen, Gerste, Hafer, Roggen und Raps in Abhängigkeit vom Feuchtegrad wiedergegeben und die verschiedenen Einflußgrößen auf die untersuchten physikalischen Eigenschaften diskutiert.

1. Einleitung

Die Kenntnis der physikalischen Stoffeigenschaften der verschiedenen Körnerfrüchte ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche und funktionsgerechte Konstruktion von landwirtschaftlichen Maschinen und Anlagen. Beim Berechnen solcher Anlagen stellt der Konstrukteur meist fest, daß wohl Berechnungsformeln bekannt sind, es aber an Stoffwerten und vor allem an systematischen Untersuchungen fehlt, die die Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften von den verschiedenen Einflußgrößen aufzeigen [1,2].

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, die in einer früheren Arbeit [1] ermittelten Werte für die Maissorte Inra 258 durch Ergebnisse für andere Maissorten und die Körnerfrüchte Weizen, Gerste, Hafer, Roggen und Raps zu ergänzen, den funktionalen Zusammenhang zwischen Feuchtegrad und Stoffeigenschaft aufzuzeigen und den

*) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist 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).

Einfluß von Erntejahr, Gutart und Sorte auf die verschiedenen physikalischen Stoffeigenschaften darzustellen.

Zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften wurden mit Ausnahme der Rüttelvorrichtung dieselben Apparaturen wie bei der früheren Untersuchung verwendet. Zur Bestimmung der Rütteldichte wurde jetzt anstelle des Vibrators (*Höflinger* und *Karg*) ein Getriebemotor mit Exzenter und Rüttelgestänge eingesetzt und damit die Grundplatte in Schwingungen ($A = 2,0$ mm, $n = 530$ min⁻¹) versetzt. Da bereits früher [1] eine Übersicht über die Veröffentlichungen anderer Autoren zu diesem Fachgebiet gegeben sowie die Versuchsdurchführung ausführlich beschrieben wurde, darf hier darauf verzichtet werden.

2. 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.

Bei den nachstehenden Untersuchungen wurde deshalb zur Charakterisierung des Versuchsgutes neben der Ermittlung der charakteristischen Korneigenschaften, **Tafel 1**, eine Siebanalyse des Haufwerks durchgeführt, **Bild 1**. Zur Durchführung der Siebanalyse wurde jeweils 1 kg des Versuchsgutes aus einem Probenteiler abgezogen.

Bei allen Versuchen wurde zunächst naturfeuchtes, mit dem Mähdrescher geerntetes und mit einer Reinigungseinrichtung (Goldsaat, Typ GS 205) gereinigtes Gut der Erntejahre 1974, 1975 und 1976 verwendet. Im einzelnen wurden untersucht: Winterweizen *Jubilar*, Sommerweizen *Colibri*, Wintergerste *Dura*, Sommergerste *Carina*, Roggen *Petkuser*, Hafer *Tiger*, Winterraps *Diamant* sowie die Maissorten *Inra 258*, *Anjou*, *Brillant*, *Prior* und *Opaque-2*, die sich sowohl hinsichtlich ihrer Reifezahl als auch ihrer Abmessungen unterscheiden.

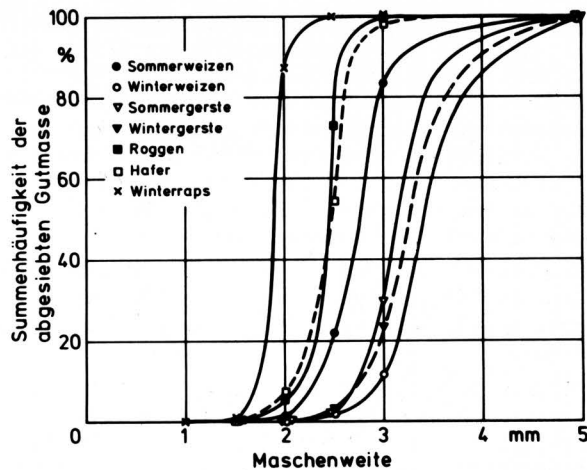


Bild 1. Siebkennlinien des Versuchsgutes bei einem Feuchtegrad von $X = 0,15$.

Um eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Gutarten als Schüttgut geben zu können, sollen im folgenden die gutart- und sortenspezifischen Korneigenschaften, **Tafel 1**, kurz diskutiert werden: Weizen hat eine rundvolle bis länglich ovale Kornform. Das Verhältnis von Kornbreite zu Kornlänge wird von *Aufhammer* und *Fischbeck* [3] bei 1 : 2 mit sehr weit, bei 1 : 1,85 mit eng bezeichnet. Danach liegt dieses Verhältnis bei dem untersuchten Winterweizen mit 1 : 1,79 bzw. 1 : 1,68 unterhalb und bei dem Sommerweizen des Jahres 1976 mit 1 : 1,9 innerhalb und des Jahres 1975 mit 1 : 1,51 unterhalb des normalen Bereiches.

Bezüglich Kornmasse und Kornvolumen weist der Winterweizen die höchsten Werte beim Ährengetreide auf, diejenigen des Sommerweizens liegen zwischen denen von Sommergerste und Roggen.

Gutart	Sorte	Erntejahr	L_K	B_K	D_K	$L_K : B_K : D_K$	$L_K : B_K$	äquiv. Kugel ϕ d_K mm	Tausend-korn Masse g	Reindichte ρ kg/m ³
			mm	mm	mm					
Sommergerste	Carina	1975	7,6	3,6	2,7	2,82 : 1,32 : 1	2,11 : 1	4,8	41,3	1386
		1976	7,1	3,1	2,5	2,90 : 1,28 : 1	2,29 : 1	4,4	33,5	1295
Wintergerste	Dura	1976	8,4	3,5	2,7	3,09 : 1,28 : 1	2,4 : 1	4,8	41,3	1380
Hafer	Tiger	1976	7,8	2,3	1,9	4,11 : 1,23 : 1	3,39 : 1	3,9	24,6	1313
Roggen	Petkuser	1975	7,1	2,6	2,6	2,72 : 1,0 : 1	2,73 : 1	4,3	29,7	1401
		1976	6,5	2,4	2,4	2,75 : 1,0 : 1	2,71 : 1	4,2	27,9	1435
Sommerweizen	Colibri	1975	5,3	3,5	3,0	1,76 : 1,16 : 1	1,51 : 1	4,7	39,7	1337
		1976	5,5	2,9	2,6	1,89 : 1,12 : 1	1,90 : 1	4,4	31,1	1402
Winterweizen	Jubilar	1975	6,2	3,7	3,2	1,95 : 1,17 : 1	1,68 : 1	5,0	47,4	1380
		1976	6,1	3,4	3,0	2,08 : 1,15 : 1	1,79 : 1	4,9	44,8	1357
Mais	Inra 258	1974	10,2	8,7	4,8	2,10 : 1,79 : 1	1,17 : 1	7,3	267,2	1300
		1975	10,7	9,0	5,0	2,16 : 1,80 : 1	1,19 : 1	7,8	316,0	1337
	Prior	1975	10,6	9,7	5,0	2,13 : 1,95 : 1	1,09 : 1	8,0	360,0	1312
	Anjou	1975	9,9	8,4	4,9	2,01 : 1,70 : 1	1,18 : 1	7,4	316,0	1371
	Brillant	1975	10,0	9,5	4,7	2,12 : 2,02 : 1	1,05 : 1	7,7	340,0	1322
	Opaque-2	1975	10,9	8,3	4,8	2,26 : 1,72 : 1	1,31 : 1	7,6	289,0	1266
Winterraps	Diamant	1976	1,9	1,9	1,9			1,9	5,69	1119

Tafel 1. Kenndaten des Versuchsgutes bei einem Feuchtegrad von $X = 0,15$.

Mit einem Breiten-Längen-Verhältnis von 1 : 2,40 (Wintergerste) bzw. 1 : 2,29 und 1 : 2,11 (Sommergerste) kommt die Form des Gerstenkorns derjenigen des Weizens sehr nahe.

Wintergerstenkörner sind im allgemeinen etwas größer und kräftiger als Sommergerstenkörner, was auch bei einem Vergleich der Längen-Breiten-Dicken-Verhältnisse der untersuchten Sorten zum Ausdruck kommt, Tafel 1. Kornmasse und Kornvolumen liegen zwischen den Werten von Sommer- und Winterweizen, wobei die Wintergerste jeweils die größeren Werte besitzt.

Mit einem Breiten-Längen-Verhältnis von 1 : 3,39 weist der Hafer die länglichste Kornform beim Ährengetreide auf. Von allen Ährengetreidearten besitzt er die kleinste Kornmasse und das kleinste Kornvolumen.

Der Roggen hat eine überwiegend längliche, schlanke und nach oben spitz zulaufende Kornform mit einem Breiten- zu Längenverhältnis von 1 : 2,71. Der untersuchte Roggen ist nach [3] in die Roggenkorngruppe mit kleinstem Korn einzuordnen, was auch in den Werten für Kornmasse und Kornvolumen deutlich wird, die nur geringfügig die des Hafers überschreiten. Doch besitzt Roggen beim Ährengetreide die höchsten Werte für die Reindichte.

Das wohl größte Spektrum an Korngröße und Kornform weist der Mais auf. Nach *Rintelen* [4] läßt sich der Mais nach den verschiedenen Kornarten in Hartmais, Zahnmais, Weichmais, Zuckermais, Puffmais und Wachsmas einteilen. Dementsprechend stark schwanken die Werte für die Korneigenschaften der verschiedenen Sorten; beispielsweise bewegt sich die Tausendkornmasse für die untersuchten Sorten bei einem Feuchtegrad von $X = 0,15$ zwischen 260 und 360 g und ist damit um eine Zehnerpotenz höher als die des Ährengetreides. Die Reindichte von Mais liegt in etwa derselben Größenordnung wie die von Weizen und Gerste.

Eine Besonderheit in Bezug auf ihre geometrischen Abmessungen bildet die Ölfrucht Raps, deren Körner Kugelform besitzen. Im Vergleich mit Ährengetreide und Mais hat der Raps jeweils die niedrigsten Werte für Kornabmessungen, Kornmasse, Kornvolumen und aufgrund des hohen Ölgehaltes auch für die Reindichte.

Wie aus Bild 1 hervorgeht, weisen die beiden extremen Kornformen rundes Korn (Raps) und langes Korn (Hafer, Roggen) bei einer Siebanalyse einen relativ engen Bereich der Korngrößenverteilung (1,5 bis 3,0 mm) auf, wohingegen sich dieser bei Weizen bzw. Gerste über einen Bereich von 1,5 bis 5 mm erstreckt.

Gutart	Sorte	Erntejahr	Kornlänge L_K mm	Kornbreite B_K mm	Korndicke D_K mm	Äquivalenter Kugeldurchmesser d_K mm	Mittl. Kornmasse m_K g
Sommergerste	Carina	1974					
		1975	$L_K = 7,6$ $s_r = 1,8 \%$	$B_K = 3,4 + 0,78 X$ $r = 0,42$	$D_K = 2,7$ $s_r = 1,6 \%$	$d_K = 4,5 + 1,54 X$ $r = 0,31$	$m_K = 0,038 + 0,023 X$ $r = 0,80$
		1976	$L_K = 7,3 + 2,24 X$ $r = 0,68$	$B_K = 3,1 + 0,65 X$ $r = 0,47$	$D_K = 2,3 + 1,12 X$ $r = 0,80$	$d_K = 4,2 + 1,37 X$ $r = 0,93$	$m_K = 0,0296 + 0,034 X$ $r = 0,93$
Wintergerste	Dura	1976	$L_K = 7,6 + 2,59 X$ $r = 0,41$	$B_K = 3,0 + 2,59 X$ $r = 0,83$	$D_K = 2,4 + 1,56 X$ $r = 0,49$	$d_K = 4,6 + 0,87 X$ $r = 0,88$	$m_K = 0,0401 + 0,005 X$ $r = 0,75$
Hafer	Tiger	1976	$L_K = 7,8 + 0,11 X$ $r = 0,54$	$B_K = 2,4$ $s_r = 3,9 \%$	$D_K = 1,9$ $s_r = 6,1 \%$	$d_K = 3,7 + 1,66 X$ $r = 0,82$	$m_K = 0,0199 + 0,026 X$ $r = 0,80$
Roggen	Petkuser	1975	$L_K = 6,7 + 2,19 X$ $r = 0,51$	$B_K = 2,4 + 2,23 X$ $r = 0,76$	$D_K = 2,4 + 2,08 X$ $r = 0,99$	$d_K = 4,2 + 0,58 X$ $r = 0,49$	$m_K = 0,028 + 0,014 X$ $r = 0,59$
		1976	$L_K = 6,7$ $s_r = 1,9 \%$	$B_K = 2,4$ $s_r = 1,6 \%$	$D_K = 2,3 + 0,83 X$ $r = 0,60$	$d_K = 4,1 + 1,13 X$ $r = 0,94$	$m_K = 0,0245 + 0,023 X$ $r = 0,93$
Sommerweizen	Colibri	1975	$L_K = 5,2 + 0,92 X$ $r = 0,74$	$B_K = 3,3 + 1,45 X$ $r = 0,90$	$D_K = 2,8 + 1,37 X$ $r = 0,92$	$d_K = 4,5 + 0,75 X$ $r = 0,90$	$m_K = 0,0352 + 0,025 X$ $r = 0,94$
		1976	$L_K = 5,2 + 1,31 X$ $r = 0,69$	$B_K = 2,6 + 1,67 X$ $r = 0,91$	$D_K = 2,3 + 1,19 X$ $r = 0,80$	$d_K = 4,0 + 1,61 X$ $r = 0,98$	$m_K = 0,0243 + 0,039 X$ $r = 0,86$
Winterweizen	Jubilär	1974					
		1975	$L_K = 6,1 + 0,12 X$ $r = 0,94$	$B_K = 3,6 + 0,40 X$ $r = 0,42$	$D_K = 3,1 + 0,24 X$ $r = 0,46$	$d_K = 4,82 + 1,32 X$ $r = 0,95$	$m_K = 0,0419 + 0,041 X$ $r = 0,97$
		1976	$L_K = 5,9 + 0,98 X$ $r = 0,60$	$B_K = 3,4$ $s_r = 1,7 \%$	$D_K = 2,8 + 0,97 X$ $r = 0,64$	$d_K = 4,6 + 1,44 X$ $r = 0,97$	$m_K = 0,0376 + 0,044 X$ $r = 0,98$
Mais	Inra 258	1974	$L_K = 9,8 + 1,31 X$ $r = 0,81$	$B_K = 8,5 + 1,26 X$ $r = 0,88$	$D_K = 4,8 + 0,78 X$ $r = 0,86$	$d_K = 7,0 + 2,05 X$ $r = 0,99$	$m_K = 0,23 + 0,02 X^2 + 0,22 X$ $r = 0,99$
		1975	$L_K = 10,7 + 0,43 X$ $r = 0,44$	$B_K = 8,6 + 1,77 X$ $r = 0,98$	$D_K = 4,8 + 1,06 X$ $r = 0,91$		$m_K = 0,259 - 0,38 X^2 + 0,49 X$ $r = 0,99$
	Prior	1975	$L_K = 10,6$ $s_r = 0,9 \%$	$B_K = 9,6 + 0,84 X$ $r = 0,66$	$D_K = 5,0 + 0,71 X$ $r = 0,78$		$m_K = 0,322 + 0,26 X^2 + 0,16 X$ $r = 0,99$
	Brillant	1975	$L_K = 9,8 + 0,87 X$ $r = 0,85$	$B_K = 9,3 + 1,09 X$ $r = 0,59$	$D_K = 4,7 + 1,43 X$ $r = 0,95$		$m_K = 0,288 - 0,24 X^2 + 0,41 X$ $r = 0,99$
	Opaque-2	1975	$L_K = 9,5 + 5,55 X$ $r = 0,83$	$B_K = 7,7 + 2,67 X$ $r = 0,74$	$D_K = 3,95 + 4,20 X$ $r = 0,94$		$m_K = 0,266 + 1,26 X^2 - 0,15 X$ $r = 0,88$
Winter-raps	Diamant	1976				$d_K = 1,8$ $s_r = 2,6 \%$	$m_K = 0,0045 + 0,005 X$ $r = 0,90$

Tafel 2. Gleichungen zur Berechnung der Werte einzelner physikalischer Eigenschaften in Abhängigkeit vom Feuchtegrad.

3. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse, die aus **Tafel 2** und **Bild 2 bis 8** ersichtlich sind, weisen im wesentlichen dieselben charakteristischen funktionalen Zusammenhänge zwischen Stoffeigenschaft und Feuchtegrad auf, wie sie in der früheren Untersuchung [1] für die Maissorte Inra 258 gefunden wurden, so daß sie als allgemeine Gesetzmäßigkeiten für Körnerfrüchte angesehen werden können. Auf die graphische Darstellung der einfachen linearen Beziehungen zwischen dem Feuchtegrad einerseits und geometrischen Kenngrößen, der mittleren Kornmasse, dem mittleren Kornvolumen und der Reindichte andererseits wurde verzichtet; die entsprechenden Gleichungen können aus **Tafel 2** entnommen werden.

Der Zusammenhang zwischen Stoffeigenschaft und Feuchtegrad wurde bereits ausführlich diskutiert [1], so daß an dieser Stelle darauf verzichtet werden kann. Besonderes Augenmerk soll vielmehr in dieser Untersuchung dem Unterschied zwischen den einzelnen Gutarten und den einzelnen Sorten sowie dem Einfluß des Erntejahres auf die verschiedenen physikalischen Stoffeigenschaften geschenkt werden.

3.1 Gutart- und sortenbedingte Unterschiede






Im folgenden wird näher auf die Unterschiede zwischen den Gutarten und Sorten eingegangen und versucht zu klären, inwieweit die z.T. sehr unterschiedlichen geometrischen Abmessungen, Korngrößenverteilungen und Kornstrukturen der verschiedenen Gutarten und Sorten für das unterschiedliche Verhalten als Schüttgut verantwortlich gemacht werden können:

Wohl am einfachsten läßt sich für die Ölfrucht Raps eine Erklärung für das Verhalten als Schüttgut geben; da alle Körner die Form einer Kugel besitzen und sich die Durchmesser der Körner um weniger als den Faktor 2 unterscheiden, kann bei Raps von einem Gleichkornhaufwerk gesprochen werden [5]. In **Tafel 3** sind die wichtigsten regelmäßigen Packungsarten sowie die zugehörige Koordinationszahl und das Hohlraumvolumen aufgeführt. Beim Einschütten in einen Behälter stellt sich keine geordnete Lagerung mit einer definierten Packungsart ein, sondern es sind mehrere Packungszustände nebeneinander in der Schüttung vorhanden; unmittelbar an der Behälterwand lagern sich die Körner nach einer 6er-Packung (kubisch). Beim untersuchten Winterraps wurden für das

Mittl. Kornvolumen V_K cm^3	Reindichte ρ kg/m^3	Schüttdichte ρ_S kg/m^3	Hohlraumvolumen ϵ_S m^3/m^3	Böschungswinkel α_S $^\circ$
		$\rho_S = 649,2 - 900,7 X^2 + 344,2 X; r = 0,79$	$\epsilon_S = 0,526 - 0,165 X^2 - 0,063 X; r = 0,64$	$\alpha_S = 26,5 + 42,9 X^2 + 18,3 X; r = 0,67$
$V_K = 0,0267 + 0,022 X; r = 0,83$	$\rho = 1419 - 185,3 X; r = 0,75$	$\rho_S = 730,1 - 529,5 X^2 + 107,9 X; r = 0,93$	$\epsilon_S = 0,477 - 0,53 X^2 + 0,199 X; r = 0,83$	$\alpha_S = 20,9 - 154,8 X^2 + 45,7 X; r = 0,87$
$V_K = 0,0227 + 0,027 X; r = 0,93$	$\rho = 1299 - 49,2 X; r = 0,59$	$\rho_S = 642,2 - 1226 X^2 + 260 X; r = 0,93$	$\epsilon_S = 0,502 + 62,4 X^2 - 13,9 X; r = 0,80$	$\alpha_S = 25,3 + 118,2 X^2 + 22,9 X; r = 0,82$
$V_K = 0,0273 + 0,016 X; r = 0,92$	$\rho = 1383; s_r = 0,3 \%$	$\rho_S = 639,9 - 746,1 X^2 + 86,6 X; r = 0,70$	$\epsilon_S = 0,528 - 0,284 X^2 + 0,124 X; r = 0,63$	$\alpha_S = 24,9 + 268,2 X^2 + 65,2 X; r = 0,56$
$V_K = 0,0155 + 0,017 X; r = 0,75$	$\rho = 1344; s_r = 0,8 \%$	$\rho_S = 525,8 - 686,1 X^2 + 348,5 X; r = 0,92$	$\epsilon_S = 0,606 + 0,267 X^2 - 0,198 X; r = 0,89$	$\alpha_S = 30,8 + 142,4 X^2 - 30,5 X; r = 0,88$
$V_K = 0,020 + 0,012 X; r = 0,71$	$\rho = 1417 - 107,3 X; r = 0,60$	$\rho_S = 739,7 - 747,6 X^2 + 154,9 X; r = 0,64$	$\epsilon_S = 0,456 - 2,2 X^2 + 0,37 X; r = 0,66$	$\alpha_S = 22,2 - 126,7 X^2 + 11,2 X; r = 0,76$
$V_K = 0,0169 + 0,0169 X; r = 0,96$	$\rho = 1442 - 50,9 X; r = 0,67$	$\rho_S = 732,7 - 3239 X^2 + 631,2 X; r = 0,81$	$\epsilon_S = 0,491 + 203,1 X^2 - 41,4 X; r = 0,63$	$\alpha_S = 29,0 + 445,3 X^2 - 106,7 X; r = 0,94$
$V_K = 0,0256 + 0,023 X; r = 0,97$	$\rho = 1371 - 209,6 X; r = 0,99$	$\rho_S = 733,4 - 2629 X^2 + 895 X; r = 0,97$	$\epsilon_S = 0,464 + 1,87 X^2 - 0,44 X; r = 0,96$	$\alpha_S = 28,8 + 409,6 X^2 - 96,5 X; r = 0,96$
$V_K = 0,0169 + 0,029 X; r = 0,96$	$\rho = 1435 - 243,4 X; r = 0,87$	$\rho_S = 738,7 - 980 X^2 + 216 X; r = 0,91$	$\epsilon_S = 0,468 + 27,4 X^2 + 3,3 X; r = 0,83$	$\alpha_S = 29,3 + 296,8 X^2 - 76,2 X; r = 0,86$
		$\rho_S = 733,4 + 2573 X^2 - 184,9 X; r = 0,96$	$\epsilon_S = 0,456 - 1,56 X^2 + 0,115 X; r = 0,88$	$\alpha_S = 26,3 - 122,3 X^2 + 9,67 X; r = 0,97$
$V_K = 0,0296 + 0,034 X; r = 0,97$	$\rho = 1413 - 193,4 X; r = 0,88$	$\rho_S = 775,1 - 1324 X^2 + 231,9 X; r = 0,80$	$\epsilon_S = 0,446 + 0,605 X^2 - 0,14 X; r = 0,54$	$\alpha_S = 24,8 + 170,8 X^2 - 32,0 X; r = 0,80$
$V_K = 0,0267 + 0,039 X; r = 0,97$	$\rho = 1379 - 126,8 X; r = 0,80$	$\rho_S = 703,9 - 3226 X^2 + 895 X; r = 0,96$	$\epsilon_S = 0,486 + 2,2 X^2 - 0,654 X; r = 0,87$	$\alpha_S = 26,2 + 191,0 X^2 - 54,9 X; r = 0,56$
$V_K = 0,175 + 0,03 X^2 + 0,18 X; r = 0,99$	$\rho = 1353 + 78,4 X^2 - 179,4 X; r = 0,99$	$\rho_S = 661,4 + 630,1 X^3 - 464,0 X^2 + 20,4 X; r = 0,91$	$\epsilon_S = 0,513 - 0,56 X^3 + 0,48 X^2 - 0,11 X; r = 0,96$	$\alpha_S = 22,2 - 112,4 X^3 + 99,5 X^2 + 3,87 X; r = 0,96$
		$\rho_S = 732,9 + 2097 X^3 - 1301 X^2 + 55,8 X; r = 0,99$		$\alpha_S = 23,8 - 288,6 X^3 + 228,9 X^2 - 32,5 X; r = 0,99$
		$\rho_S = 728,6 + 6004 X^3 - 4822 X^2 + 86,2 X; r = 0,89$		$\alpha_S = 25,5 - 374,4 X^3 + 295,3 X^2 - 45,7 X; r = 0,99$
		$\rho_S = 774,8 + 2004 X^3 - 1291 X^2 + 20,6 X; r = 0,99$		$\alpha_S = 25,5 - 379,5 X^3 + 299,3 X^2 - 46,4 X; r = 0,99$
		$\rho_S = 703,3 - 727 X^3 - 1720 X^2 + 366 X; r = 0,96$		$\alpha_S = 25,6 + 69,5 X^3 + 386,2 X^2 - 88,7 X; r = 0,90$
$V_K = 0,0039 + 0,006 X; r = 0,85$	$\rho = 1126 - 63,2 X; r = 0,52$	$\rho_S = 695,2 + 118 X^2 - 141 X; r = 0,83$	$\epsilon_S = 0,373 - 82,0 X^2 + 27,0 X; r = 0,67$	$\alpha_S = 22,3 + 11,9 X^2 - 6,3 X; r = 0,89$

Gültigkeitsbereich der angegebenen Beziehungen W.-Raps: $0,05 \leq X \leq 0,20$, Mais: $0,05 \leq X \leq 0,85$, alle übrigen: $0,05 \leq X \leq 0,25$

Hohlraumvolumen im geschütteten Zustand Werte zwischen 0,381 und 0,403 gemessen, für das Hohlraumvolumen im gerüttelten Zustand lagen die Werte zwischen 0,340 und 0,381; dies läßt darauf schließen, daß in der Rapsschüttung überwiegend die orthorhombische Packung mit einem Hohlraumvolumen von $\epsilon = 0,395$ vorlag.

Packungsart		k	$1-\epsilon$	ϵ
kubisch primitiv		6	$\pi/6$	0,477
orthorhombisch		8	$(\pi/6) (2/\sqrt{3})$	0,395
tetragonalsphenoidal		10	$(\pi/6) (2/\sqrt{3})^2$	0,302
rhombohedral (hexagonal)		12	$(\pi/6) (2/\sqrt{2})$	0,259
tetragonal		12	$(\pi/6) (2/\sqrt{2})$	0,259

Tafel 3. Koordinationszahl k und Hohlraumvolumen ϵ von regelmäßigen Kugelpackungen (nach [5] und [6] verändert).

Mit einem Hohlraumvolumen von 0,4 und darunter, Bild 2, weist der Raps bei den untersuchten Gutarten den geringsten Wert auf und damit trotz der kleinsten Reindichte eine Schütt- und Rütteldichte, die größer als die von Gerste und Hafer ist, Bild 3, was hauptsächlich auf die kugelige Form und den geringen Wert für die interpartikuläre Reibung zurückzuführen ist. Diese Faktoren sind auch der Grund dafür, daß sich der Raps neben Mais von allen Gutarten – bezogen auf die Schüttdichte – am wenigsten durch Rütteln verdichten läßt, Tafel 4, weil das Haufwerk von sich aus bereits eine dichte Packung einnehmen kann. Wie Tafel 4 verdeutlicht, besteht zwischen der Größe des Böschungswinkels und damit der inneren Reibung und dem Verhältnis von erreichbarer Rütteldichte zu Schüttdichte eine allgemeingültige Beziehung: je größer der Böschungswinkel ist, umso stärker läßt sich das Haufwerk – bezogen auf die Schüttdichte – beim Rütteln verdichten; so weist der Hafer mit dem größten Böschungswinkel die größte Verdichtung und Mais und Raps mit den kleinsten Böschungswinkeln die geringsten Verdichtungen auf.

Vergleicht man die verschiedenen Ährengetreidearten untereinander, so fällt auf, daß nur z.T. eine direkte Korrelation zwischen Reindichte und Schüttdichte bzw. Rütteldichte besteht: Roggen und Sommerweizen besitzen die höchsten Werte für die Reindichte und auch für Schütt- und Rütteldichte. Anders verhält es sich bei Winterweizen und Wintergerste: obwohl der Winterweizen eine geringere Reindichte als die Wintergerste hat, weist er für Schütt- und Rütteldichte ebenso hohe Werte auf wie Roggen und Sommerweizen, Bild 3, Tafel 2; dies kann damit begründet werden, daß der Weizen zum einen eine rundlichere Form aufweist und zum anderen eine wesentlich geringere innere Reibung (Böschungswinkel) besitzt, Bild 4, was beides eine dichtere Lagerung begünstigt. Keine direkte Korrelation zwischen Reindichte und Schütt- bzw. Rütteldichte ergibt sich auch beim Vergleich von Sommergerste und Hafer: während die Reindichte des Hafers im selben Erntejahr sogar geringfügig über der der Sommergerste liegt, ist die Schütt- und Rütteldichte des Hafers wesentlich geringer als die der Sommergerste, was sich wiederum auf die sperrigere Form der Haferkörner sowie den wesentlich größeren Böschungswinkel zurückführen läßt.

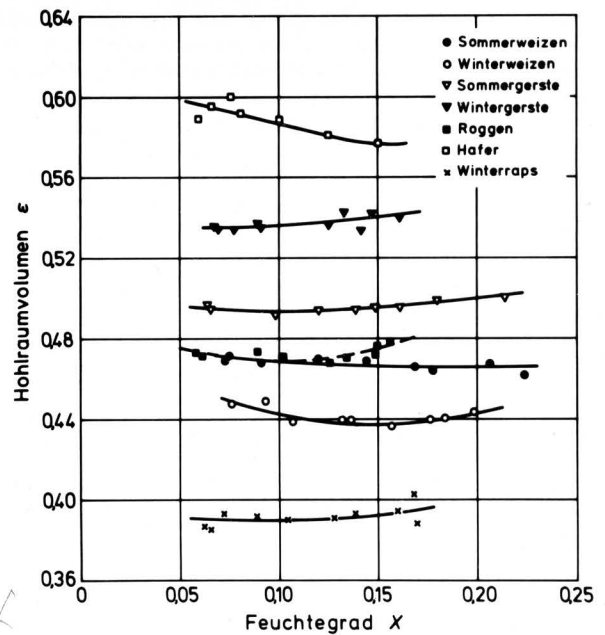


Bild 2. Hohlraumvolumen von gereinigten Haufwerken verschiedener Körnerfruchtarten im geschütteten Zustand in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Erntejahr 1976).

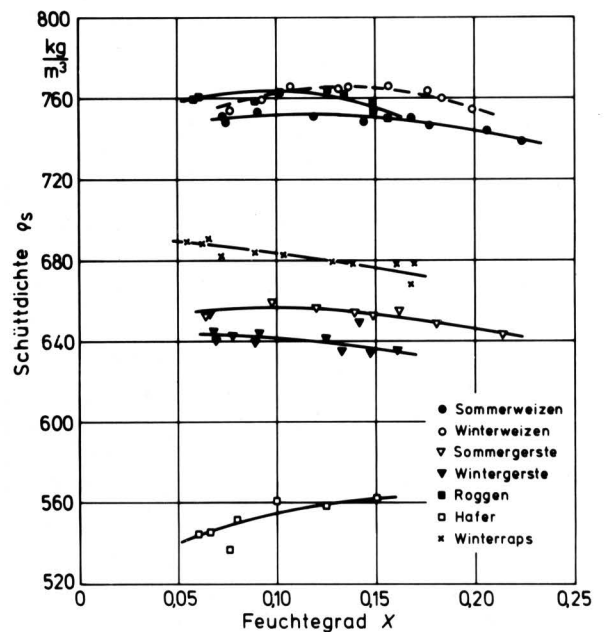


Bild 3. Schüttdichte von gereinigten Haufwerken verschiedener Körnerfruchtarten in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Erntejahr 1976).

Stellt man einen Sortenvergleich bei den Ährengetreidearten bezüglich ihrer Haufwerkseigenschaften an, so sind – prozentual gesehen – im wesentlichen nur bei Gerste nennenswerte Unterschiede zu verzeichnen, die sich vor allem beim Böschungswinkel und damit der inneren Reibung zeigen und bei der Wintergerste gegenüber der Sommergerste um bis zu 20 % höher liegen.

Bei einem Vergleich der Gutart Mais mit Ährengetreide und Raps ist keine pauschale Aussage möglich, da aufgrund des außerordentlich großen Spektrums an Kornformen und Kornabmessungen auch die Haufwerkseigenschaften der verschiedenen Maissorten entsprechend weiter streuen. Grundsätzlich kann jedoch für die untersuchten Sorten folgendes gesagt werden:

Im entsprechenden Feuchtebereich liegen alle Werte für die Schütt- und Rütteldichte zwischen denjenigen des Ährengetreides, wobei

die Sorte Prior die höchsten und die Sorte Opaque-2 die niedrigsten Werte aufweist. Der Böschungswinkel der Maissorten liegt im entsprechenden Feuchtbereich zwischen demjenigen des Roggens an der oberen Grenze und demjenigen des Rapses an der unteren Grenze.

Gutart	Sorte	Erntejahr	Böschungswinkel in °	Dichtezunahme in %
Sommergerste	Carina	1976	25,4	4,6
	Dura	1976	28,9	7,4
Hafer	Tiger	1976	34,2	9,2
Roggen	Petkuser	1976	22,8	4,9
Sommerweizen	Colibri	1976	24,5	4,8
	Jubilär	1976	22,2	5,3
Mais	Inra 258	1974	23,3	2,9
		1975	22,8	3,3
	Prior	1975	22,6	2,6
	Opaque-2	1975	22	2,2
Winterraps	Diamant	1976	20,8	3,5

Tafel 4. Erhöhung der Haufwerksdichte durch Rütteln für die untersuchten Gutarten bei einem Feuchtegrad von $X = 0,15$.

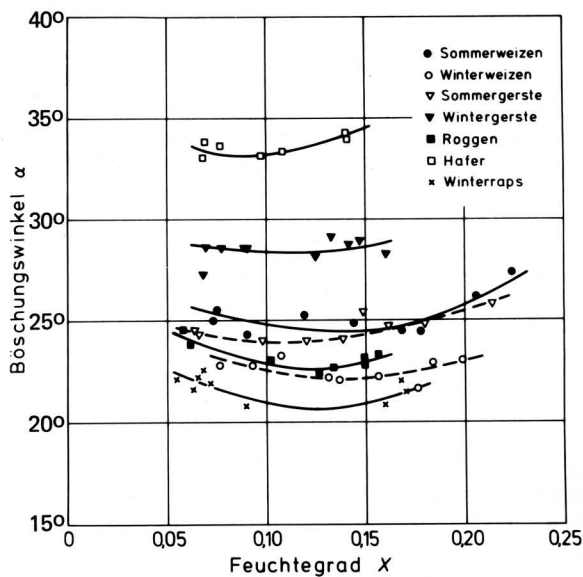


Bild 4. Böschungswinkel von gereinigten Haufwerken verschiedener Körnerfruchtarten im geschütteten Zustand in Abhängigkeit vom Feuchtegrad (Erntejahr 1976).

Den Sorteneinfluß bei Mais auf die Haufwerkeigenschaften Schüttdichte und Böschungswinkel verdeutlichen Bild 5 und 6. Es zeigt sich sowohl für die Schüttdichte als auch für den Böschungswinkel ein nicht unwesentlicher Sorteneinfluß, der bei einer Auslegung von Maschinen und Anlagen berücksichtigt werden muß. Die Differenzen können mit den unterschiedlichen geometrischen Abmessungen, Kornformen und Kornstrukturen erklärt werden.

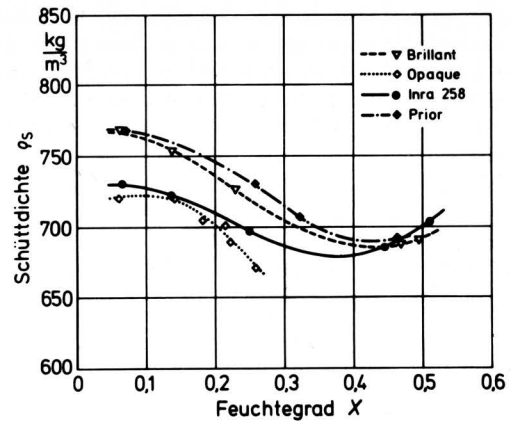


Bild 5. Schüttdichte von gereinigten Haufwerken verschiedener Maissorten (Erntejahr 1975).

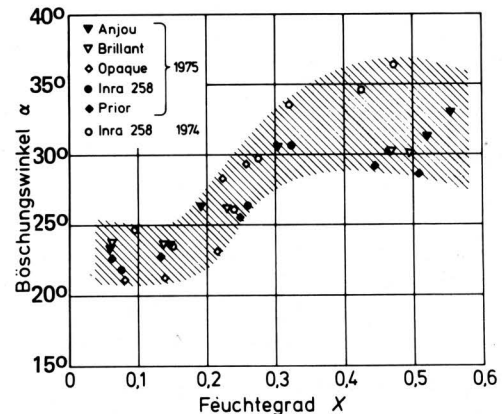


Bild 6. Böschungswinkel von gereinigten Haufwerken verschiedener Maissorten im geschütteten Zustand.

3.2 Einfluß des Erntejahres

Ähnlich wie ein Sorteneinfluß nur bei Gerste und Mais und bestimmten Eigenschaften festgestellt werden konnte, so ist auch der Einfluß des Erntejahres wieder nur bei den Gutarten Mais und Gerste nennenswert ausgeprägt, was sowohl für die geometrischen Abmessungen und die Reindichte, Tafel 1, als auch die Haufwerkeigenschaften und dabei insbesondere die Schüttdichte gilt. Wie in Bild 7 am Beispiel der Schüttdichte dargestellt ist, bestehen bei Weizen nur geringe Unterschiede zwischen den Proben verschiedener Erntejahre, während sie bei der Sommergerste beträchtlich sind.

Die großen Differenzen zwischen der Schüttdichte von Sommergerste für die Erntejahre 1974, 1975 und 1976 liegen in den extremen klimatischen Verhältnissen während der Vegetationszeiträume der Jahre 1974 (extrem feucht) und 1976 (extrem trocken) begründet. Die Proben beider Erntejahre haben eine geringere Schüttdichte als die Gerste aus dem Jahre 1975, das als durchschnittlich bezeichnet werden kann.

Wie die Gerste weist auch Mais eine wesentliche Abhängigkeit vom Erntejahr auf, die beispielsweise in der Tausendkornmasse, Tafel 1, oder der Schüttdichte, Bild 8, zum Ausdruck kommt. Bild 8 zeigt, daß sich für die Werte derselben Sorte Inra 258 aus den zwei Jahren 1974 und 1975 größere Unterschiede ergeben als für die Sorten Inra 258 und Brilliant des Erntejahres 1975. Zu diesem Ergebnis ist jedoch zu sagen, da die extrem feuchtkalte Witterung zu Ende des Vegetationszeitraumes im Erntejahr 1974 und der Umstand, daß im Zustand der Gelbreife geerntet werden mußte, zu dieser großen Differenz geführt haben, die unter normalen Verhältnissen wesentlich geringer ist.

Die empfindliche Reaktion von Mais bezüglich seiner Kornstruktur auf klimatische Veränderungen ist auch ein Grund dafür, daß die industrielle Verwertung von deutschem Mais aufgrund der vielen kleinen unterschiedlichen Partien, bedingt durch unterschiedlichen Standort und damit unterschiedliche Vegetationsbedingungen bislang gescheitert ist.

Berücksichtigt man, daß die Erntejahre 1974, 1975 und 1976 sich extrem in ihren klimatischen Verhältnissen unterscheiden, so darf unterstellt werden, daß die ermittelten Werte für diese Erntejahre den Bereich abdecken, in dem die Werte für andere Erntejahre liegen.

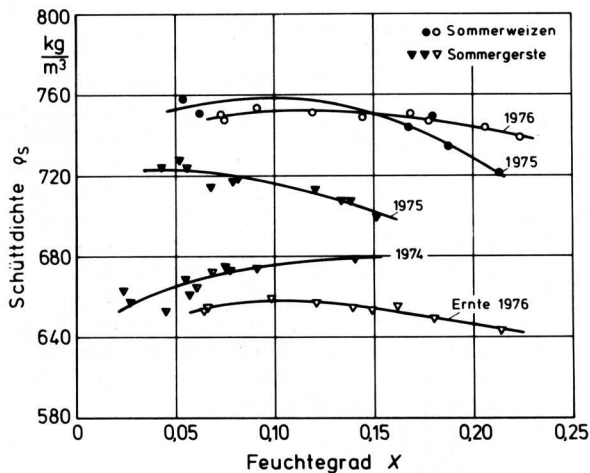


Bild 7. Schüttdichte von gereinigten Haufwerken der Gutarten Sommerweizen und Sommergerste mehrerer Erntejahre.

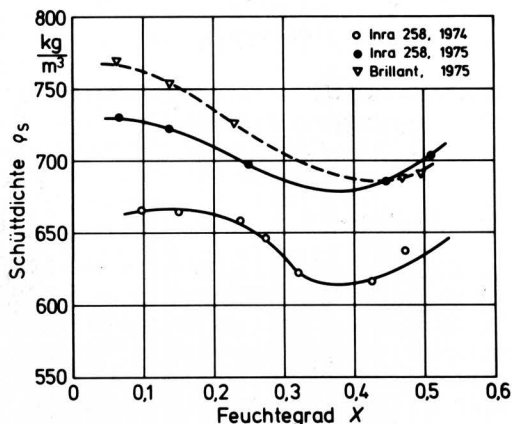


Bild 8. Schüttdichte von gereinigten Maishaufwerken der Sorte Inra 258 und Brilliant.

4. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die in einer früheren Untersuchung [1] ermittelten Werte durch Messungen der mechanischen Grundeigenschaften und geometrischen Kenngrößen von Gerste, Hafer, Roggen, Weizen, Mais und Raps ergänzt. Der funktionale Zusammenhang zwischen den Stoffeigenschaften und Feuchtegrad erwies sich im wesentlichen bei allen Gutarten für dieselbe Kenngröße als gleichartig, so daß die Ergebnisse als allgemeine Gesetzmä-

ßigkeit für Körnerfrüchte angesehen werden können. Die gutart- und sortenspezifischen Korneigenschaften können als Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Gutarten und Sorten als Haufwerk herangezogen werden.

Die systematische Untersuchung der Einflußgrößen Sorte und Erntejahr ergab, daß ein ausgeprägter Sorten- und Jahreseinfluß nur bei den Gutarten Mais und Gerste zu verzeichnen ist. Die Werte für die Korn- und Haufwerkeigenschaften sind bei der Einführung neuer Sorten sowie bei ganz extremen Verhältnissen während eines Vegetationszeitraumes neu zu bestimmen; standardisierte Meßverfahren sollten dabei eine schnelle Bestimmung von zuverlässigen Werten ermöglichen.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Segler, G. u. R. Scherer: Systematische Untersuchungen über einige physikalische Kenngrößen des Getreidekorns in Abhängigkeit vom Feuchtegrad am Beispiel der Maissorte Inra 258. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 4, S. 121/28.
- [2] Segler, G.: Verfahrenstechnik in der Landwirtschaft. VDI-Zeitschrift Bd. 109 (1967) Nr. 9, S. 394/400.
- [3] ●Aufhammer, G. u. G. Fischbeck: Getreide – Produktionstechnik und Verwertung. Frankfurt: DLG-Verlag 1973.
- [4] ●Rintelen, P.: Mais – Ein Handbuch über Produktionstechnik und Ökonomik. Frankfurt: DLG-Verlag 1971.
- [5] Schmidt, P.: Die dichte Lagerung körniger Stoffe, insbesondere im feindispersen Bereich. Aufbereitungstechnik Bd. 15 (1974) Nr. 7, S. 355/65.
- [6] ●Rumpf, H.: Mechanische Verfahrenstechnik. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1975.

Verwendete Formelzeichen

B_K	mm	Kornbreite
d	mm	Durchmesser
d_K	mm	äquivalenter Kugeldurchmesser, Durchmesser einer Kugel mit dem gleichen Volumen wie das Korn
D_K	mm	Korndicke
k		Koordinationszahl, Anzahl der Berührungspunkte eines Partikels zu Nachbarpartikeln
L_K	mm	Kornlänge
m_K	g	mittlere Kornmasse
r		Korrelationskoeffizient
s_r		relative Standardabweichung
V_K	cm ³	mittleres Kornvolumen
X	kg/kg	Feuchtegrad des Korns, Wassermasse bezogen auf die Trockenmasse
a	°	Böschungswinkel
ϵ	m ³ /m ³	Hohlraumvolumen, das auf das Volumen der Gesamtschüttung bezogene Lückenvolumen (Luftvolumen)
ρ	kg/m ³	Reindichte des Korns
Indizes:		
S		Schütt-
R		Rüttel-
0		Werte der verschiedenen Größen für $X = 0$

Die Verfasser danken der landw. techn. Assistentin Frl. D. Dörner und Frl. cand. agr. M. Tigges für die sorgfältige Durchführung der Messungen.