

# Das Festigkeitsverhalten des Maiskorns

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

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

DK 633.004.12:633.15

Die Mechanisierung der Arbeitsprozesse bei Ernte, Konservierung und Aufbereitung von Körnerfrüchten hat als unerwünschte Nebenwirkung einen erhöhten Anteil an Beschädigungen mit sich gebracht, der eine Minderung des Marktwertes der Ware bedeutet. Während die Beschädigungen für die Herstellung von Futtermitteln meist von untergeordneter Bedeutung sind, beeinflussen sie bei der Saatmaisherstellung und der technologischen Verarbeitung zu Halbfabrikaten und Lebensmitteln in einem hohen Maße Quantität und Qualität des Produktes.

In der vorliegenden Arbeit werden die statische Druckfestigkeit des Maiskorns ermittelt, Ursachen und Auswirkungen der in der Praxis auftretenden Beschädigungen erörtert und die bei der thermischen Konservierung von Mais im Endosperm auftretenden Mikrorisse mit Hilfe statischer und dynamischer Festigkeitsprüfmethoden quantitativ erfaßt.

## 1. Einleitung

Die Festigkeitseigenschaften von Mais wie beispielsweise das elastisch-plastische Verhalten und die Druck-, Zug- und Scherfestigkeit sind maßgebende Faktoren für die konstruktive Auslegung der Maschinen und Geräte im Hinblick auf die zulässige Beanspruchung des Gutes. Ihre Kenntnis kann einen Beitrag dazu liefern, daß die beim Drusch, beim mechanischen und pneumatischen Fördern, beim Trocknen und Kühlen des Gutes auftretenden Beschädigungen reduziert oder gar ganz vermieden werden können.

Im Schrifttum sind nur wenige und für ganz bestimmte Randbedingungen geltende Angaben für die Festigkeitseigenschaften zu finden; die von den verschiedenen Autoren ermittelten Werte differieren aufgrund der Anwendung unterschiedlicher Beanspruchungsmethoden sowie idealisierter Theorien bei der Auswertung sehr stark. Dies macht **Tafel 1** am Beispiel der Untersuchungen zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls recht deutlich. Besonders fehlt es an systematischen Untersuchungen zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften im Zusammenhang mit den bei mechanischer und thermischer Behandlung auftretenden Beschädigungen.

Das bis zum Jahre 1968 erschienene Schrifttum wurde bereits von *Mohsenin* [1] referiert. Seither ist eine Reihe von Veröffentlichungen erschienen, die sich mit der Ermittlung der Festigkeitseigenschaften von Mais im Labor befassen [2 bis 7]. Systematische Untersuchungen zur Ermittlung und Reduzierung der bei der pneumatischen Förderung auftretenden Beschädigungen hat *Segler* [8] bereits 1934 durchgeführt. In jüngster Zeit untersuchten mehrere Autoren [9 bis 24] Ursachen, Auswirkungen und Möglichkeiten zur Reduzierung der bei Aufbereitung, Konservierung und Verarbeitung auftretenden Beschädigungen.

Verfasser	Versuchsanordnung	Feuchtegehalt %	Belastungsgeschwindigkeit cm/min	Versuchsgut	Angewandte Theorie	Elastizitätsmodul E N/mm <sup>2</sup>
<i>Shpolyanskaya</i> in [1]	Parallele Platten, ganzes Korn	10–12	–	Lytutestens 62 – WEIZEN	Hertz	14675,3
	Parallele Platten, ganzes Korn	10–12	–	Gordeiforme 10	Hertz	19567,0
<i>Zoerb u. Hall</i> in [1]	Parallele Platten, ganzes Korn	13,5	0,19–1,18	Winterweizen	Hertz	317,2
	Parallele Platten, ganzes Korn	13,5	0,19–1,18	Zahnmais		403,7
<i>Shelef u. Mohsenin</i> in [1]	Parallele Platten, ganzes Korn				Hertz	1709,9
	Kugelpstempel, ganzes Korn	9,09	0,05	Weizen	Hertz	3444,9
	Zylinderstempel, ganzes Korn				Boussinesque	651,6
	Parallele Platten, Kornenden abgeschnitten				Hooke	1584,6
<i>Arnold u. Roberts</i> [2]	Parallele Platten, ganzes Korn	11,5–13	0,66	Weizen	Hertz	719,3 bis 2459,7
	Parallele Platten, Kornenden abgeschnitten				Hooke	1412,3 bis 2831,7

\*) 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).

**Tafel 1.** Übersicht über bisherige Untersuchungen zur Ermittlung des Elastizitätsmoduls von Weizen und Mais.

Die bei der thermischen Konservierung von Mais im Endosperm auftretenden Mikrorisse (stress cracks) wurden im wesentlichen bisher nur qualitativ charakterisiert, so beispielsweise von *Thompson* und *Foster* [24]. Für eine gezielte Aussage über die Auswirkungen der Rißbildung auf den Aufbereitungs- und Verarbeitungsprozeß und über Möglichkeiten zu ihrer Verhinderung oder Reduzierung ist aber eine quantitative Angabe der Festigkeitsverminderung des Maiskorns durch die Rißbildung unbedingt erforderlich. Für in Deutschland angebaute Maissorten liegen mit Ausnahme von [9] bislang keine Untersuchungen vor.

In der vorliegenden Arbeit wird die statische Druckfestigkeit des Maiskorns ermittelt, Ursachen und Auswirkungen der verschiedenen Beschädigungen erörtert und etwas näher auf die bei thermischer Behandlung auftretenden Mikrorisse im Endosperm eingegangen.

## 2. Beschädigungen am Maiskorn

Die bei Ernte, Aufbereitung, Konservierung und Verarbeitung auftretenden Beschädigungen lassen sich in folgende Kategorien einteilen, **Bild 1**:

### 1. Deformationsbeschädigungen

Diese treten fast ausschließlich bei hoher Feuchte des Gutes auf. Das Korn weist hierbei an seiner Oberfläche Schürfnungen, Quetschungen und Schalenrisse auf. Diese Beschädigungsart tritt vorwiegend beim Drusch und daneben auch beim Fördern von feuchtem Gut auf.

### 2. Bruchkorn

Hierunter ist die Abtrennung einzelner Teilstücke vom Gesamtkorn zu verstehen. Zu dieser Beschädigung kommt es sowohl im feuchten Zustand des Gutes beim Drusch und beim Fördern als auch im trockenen Zustand beim Fördern und Aufbereiten.

### 3. Mikrorisse (stress cracks)

Diese Beschädigungsart ist als Primärbeschädigung oder Vorstadium der Bruchkornbildung zu betrachten: äußerlich ist zunächst keine Beschädigung sichtbar, im Endosperm sind jedoch Mikrorisse vorhanden, die bei relativ geringen äußeren Belastungen zur Sekundärbeschädigung (also Makrorissen) aufbrechen und dazu führen, daß das Korn in zwei oder mehr Teile zerfällt. Zu dieser Beschädigung kommt es bei der Heißlufttrocknung und der schnellen Rückkühlung der Körner. Außerdem kann es zur Bildung dieser Mikrorisse bei entsprechender Witterung bereits innerhalb des Vegetationszeitraumes kommen.

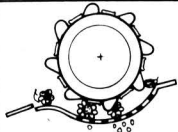

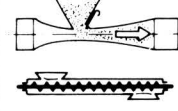

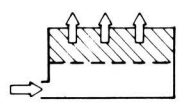

Die zuletzt genannte Beschädigungsart, die stress cracks — auf die im Rahmen dieser Arbeit etwas näher eingegangen werden soll — können im wesentlichen darauf zurückgeführt werden, daß bei der Trocknung des Maiskorns — im Gegensatz zu homogenen Stoffen — nur ein unwesentlicher Anteil der Feuchte über die Maiskornschale abgegeben wird, da deren dichter Aufbau dies verhindert. Hauptkanal für den Austritt der Feuchtigkeit bei mechanisch unbeschädigtem Mais ist der Embryo und die ihn unmittelbar umgebenden Zonen. Hieraus resultiert die ungleichmäßige Feuchtigkeitsverteilung im Korn. Der Feuchtgradient verbunden mit einem relativ großen Temperaturgradienten innerhalb des Korns bei der Heißlufttrocknung und anschließenden schnellen Rückkühlung der Körner in der Kühlzone des Trockners führen zur Bildung der stress cracks im Endosperm.

Aufgrund der Existenz dieser Mikrorisse genügen bereits relativ geringe äußere Belastungen, die zum Bruch des Korns führen. Die Probleme, die die stress cracks bereiten, sind offensichtlich: Beim Transport, bei der Förderung und Aufbereitung von stress crack geschädigtem Mais fällt ein erheblicher Anteil von Bruchkorn an, der für die technologische Weiterverarbeitung eine erhebliche Qualitätsminderung bedeutet. Darüber hinaus bereiten selbst stress crack geschädigte Körner, die noch im ungebrochenen Zustand in die Maismüllerei kommen, Probleme, und zwar aus folgenden Gründen: Bei der Maisvermahlung spielt neben dem Fettgehalt der einzelnen Fraktionen die Granulation der Endospermprodukte eine wichtige Rolle. Sollen Partikel in der Größenordnung größer als 3 000 µm, beispielsweise für die Cornflakes-Herstellung, erzeugt werden, so ergibt Mais mit Endospermrisen fast immer schlechtere Resultate als derjenige ohne.

Die stress cracks lassen sich sehr leicht unter einem Stereomikroskop sichtbar machen. *Thompson* und *Foster* [24] haben auf diese Weise die Rißbildung im Maiskorn qualitativ charakterisiert und eine Einteilung der Proben in mehrere Kategorien (z.B. ein Mikroriß oder 2 Mikrorisse, die sich kreuzen) vorgenommen. Für eine gezielte Aussage darüber, welche Belastungen das Maiskorn bei Aufbereitung und Verarbeitung ohne Bruch aufzunehmen vermag, ist aber eine quantitative Aussage über die Festigkeitsverminderung durch die stress cracks unbedingt erforderlich.

In eigenen Untersuchungen wurden deshalb Maiskörner mit unterschiedlicher thermischer Vorbehandlung einer statischen und dynamischen Belastung unterworfen und die Festigkeitsverminderung durch vorhandene stress cracks im Endosperm quantitativ erfaßt.

## 3. Charakterisierung des Versuchsgutes

Ursache der Beschädigung	Beschädigungsart	Beschädigte Körner in %
 <p>Drusch</p>	 <p>Deformationsbeschädigungen Bruchkorn</p>	bis 15 (60)
 <p>Transport Förderung Aufbereitung</p>	 <p>Bruchkorn</p>	bis 20 (85)
 <p>Trocknung und Kühlung</p>	 <p>stress-cracks</p>	bis 85

**Bild 1.** Arten der Beschädigungen am Maiskorn.

Bei der Bestimmung der Stoffeigenschaften von biologischen Stoffen ist die genaue Charakterisierung der untersuchten Proben unerlässlich, da im Gegensatz zu homogenen anorganischen Stoffen die spezifischen Eigenschaften organischer Stoffe starken Schwankungen unterworfen sind.

Bei den nachstehenden Untersuchungen wurden deshalb zur Charakterisierung des Versuchsgutes die Korneigenschaften bestimmt. Die Daten können aus dem Archiv für landwirtschaftliche Stoffe des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim abgerufen werden.

Für die Untersuchungen wurde mit dem Mähdescher in Stuttgart-Hohenheim gemerktes Gut der Erntejahre 1975 bis 1977 verwendet. Den Festigkeitsprüfungen wurden nur solche Maiskörner unterzogen, die äußerlich keine sichtbare Beschädigung aufwiesen.

Die Versuche unter statischer Belastung wurden in den Ernteperioden 1975 und 1976 mit erntefrischem und anschließend getrocknetem Gut durchgeführt; für die Versuche unter dynamischer Beanspruchung, die im Juli 1978 durchgeführt wurden, wurde Versuchsgut verwendet, das 1976 und 1977 geerntet und getrocknet worden war, bis zum Versuchszeitpunkt in einer Tiefkühltruhe aufbewahrt worden ist und dann für den Test an der Umgebungsluft aufgetaut wurde.

Die mit "heißluftgetrocknet" charakterisierten Proben wurden in einem mit hohen Trocknungslufttemperaturen betriebenen Versuchstrockner ohne Kühlzone getrocknet und anschließend auf einem Drahtsieb in strömender Luft rückgekühlt.

#### 4. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

##### 4.1 Statische Festigkeitsprüfung

Für die Ermittlung der Druckfestigkeit der Maisproben bei statischer Belastung wurde eine Instron-Festigkeitsprüfmaschine eingesetzt, die in den USA bereits als Standardgerät für die Festigkeitsprüfung biologischer Stoffe gilt.

Die Druckkraft wird mit einem im unteren Querhaupt befestigten kugelförmigen Stempel ( $d = 1/16'' \approx 1,6 \text{ mm}$ ) mit einer Geschwindigkeit von  $0,5 \text{ cm/min}$  aufgebracht und mittels einer Kraftmeßdose gemessen. Die Messung der Deformation des Versuchsgutes erfolgt mit einem induktiven Weggeber. Die elektrischen Signale für Druckkraft und Deformation werden mit zwei Trägerfrequenzmeßverstärkern verstärkt und auf einem X,Y-Schreiber registriert.

Kraft und Deformation können unter Berücksichtigung des Kalibrierfaktors dem Meßschieb direkt entnommen werden; die Energie wurde durch gravimetrische Integration ermittelt. Für die Bestimmung der Festigkeitseigenschaften in Abhängigkeit von den Einflußgrößen wurden jeweils 25 Maiskörner verwendet, die aus einem Probenteiler abgezogen worden waren.

##### 4.2 Dynamische Festigkeitsprüfung

Für die Ermittlung des Festigkeitsverhaltens unter dynamischer Beanspruchung wurde eine in Bild 2 dargestellte, am Institut für Agrartechnik entwickelte Apparatur verwendet. Das Maiskorn wird hierbei mittels einer vorgespannten Druckfeder mit Geschwindigkeiten im Bereich von  $0,1 \text{ m/s}$  bis über  $20 \text{ m/s}$  gegen eine Prallplatte geschleudert. Die beim dynamischen Belastungsvorgang auftretende Kraft wird mit einem piezoelektrischen Meßglied b aufgenommen, das Meßsignal im Verstärker c verstärkt und auf einem Oszilloskop d zur Anzeige gebracht. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt mittels zweier Lichtschranken f in Verbindung mit einer elektronischen Zeitmeßeinrichtung g.

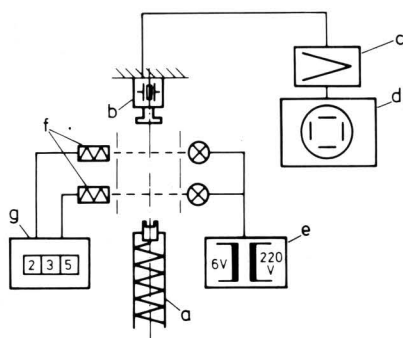


Bild 2. Einrichtung zur Untersuchung der dynamischen Festigkeit.

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| a Beschleunigungsvorrichtung       | e Transformator                  |
| b piezoelektrischer Kraftaufnehmer | f Fototransistoren               |
| c Verstärker                       | g elektronischer Universalzähler |
| d Oszilloskop                      |                                  |

Der Kraftverlauf während der Belastung wird vom Leuchtschirm des Oszilloskops abfotografiert, für die Auswertung werden die fotografischen Aufnahmen verwendet.

#### 5. Versuchsergebnisse

##### 5.1 Druckfestigkeit bei statischer Beanspruchung

Das Maiskorn als biologischer inhomogener Stoff weist ein wesentlich komplizierteres Festigkeitsverhalten auf als beispielsweise die Werkstoffe Stahl und Gummi: Im Gegensatz zum linear elastischen Stahl und nichtlinear elastischen Gummi handelt es sich beim Maiskorn um einen Stoff mit viskoelastischem-viskoplastischem Verhalten. Hinzu kommt, daß sich Embryo und Endosperm in ihrem Kraft-Deformationsverhalten recht deutlich unterscheiden, wie aus Bild 3 hervorgeht: Der Embryo läßt sich aufgrund seines jeweils höheren Feuchte- und Fettgehaltes durch geringere Belastungen wesentlich stärker verformen als das Endosperm. Der Embryo erfährt über den gesamten Feuchtebereich und das Endosperm bei Feuchtegehalten über 20 % durch die statische Belastung Beschädigungen durch Verformung des entsprechenden Kornteils sowie durch Schalenbruch. Beim Endosperm mit Feuchtegehalten unter 20 % tritt mit abnehmendem Feuchtegehalt reiner Kornbruch auf, d.h. eine zunehmende Zerteilung des Korns in zwei oder seltener mehrere Fraktionen.

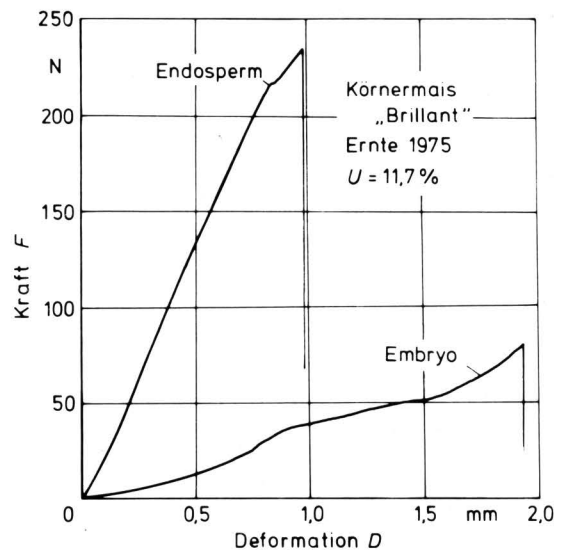


Bild 3. Kraft-Deformationsverhalten von Embryo und Endosperm des Maiskorns.

In Bild 4 ist die Abhängigkeit der Bruchkraft vom Feuchtegehalt für das Endosperm von mit Umgebungsluft getrockneten Maiskörnern ohne stress cracks dargestellt. Die Werte sind jeweils als Mittelwerte zu verstehen; z.T. ist mit größeren Streuungen zu rechnen, wie aus dem relativ großen Wert der mittleren Standardabweichung ( $\bar{s}_r = 19,9 \%$ ) hervorgeht. Für eine Beschädigungsanalyse ist es deshalb sinnvoller, die Summenhäufigkeit sowie den relativen Anteil der beschädigten Körner in Abhängigkeit von der jeweiligen Meßgröße aufzutragen. Wie Bild 5 zeigt, erlaubt diese Darstellung eine präzisere Aussage über die maximal zulässige Belastung, wenn ein bestimmter Bruchkornanteil nicht überschritten werden darf.

Zwischen den Flint-Dent Sorten Inra, Brillant, Anjou, Limac und Prior waren nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der Bruchfestigkeit zu verzeichnen. Die proteinreiche Sorte Opaque-2 besitzt hingegen nur etwa die Hälfte der Bruchfestigkeit dieser Sorten.

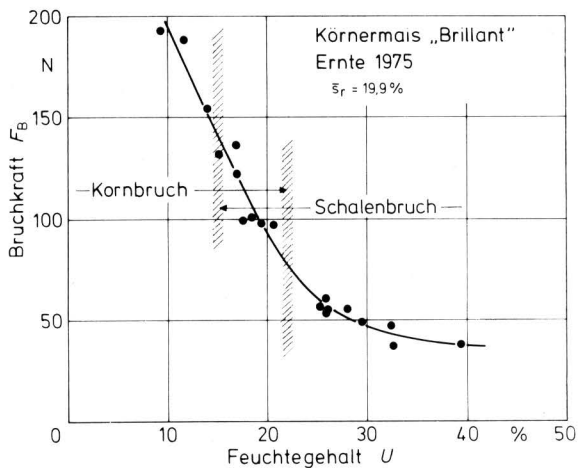


Bild 4. Mittlere Bruchkraft  $F_B$  in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt.

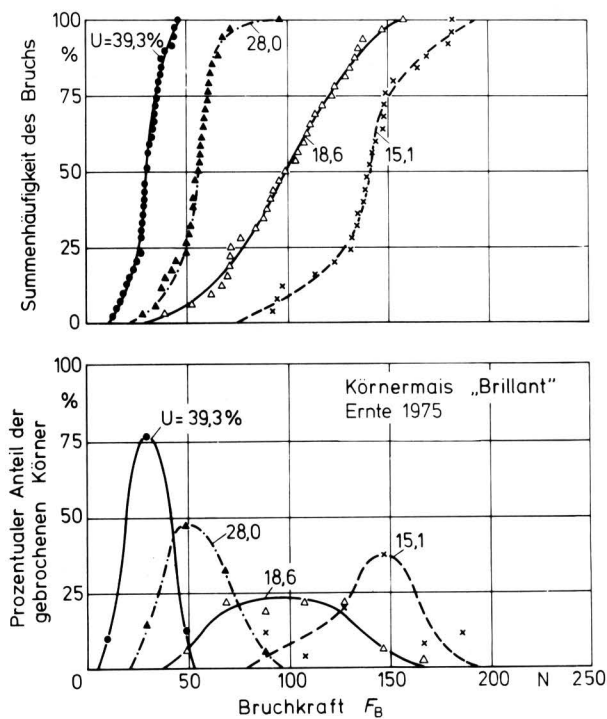


Bild 5. Summenhäufigkeit und relative Häufigkeit der gebrochenen Körner als Funktion der aufgewandten Kraft für verschiedene Feuchtegehalte des Maiskorns.

### 5.2 Quantitative Erfassung der Festigkeitsverminderung durch stress cracks

Die Festigkeitsverminderung durch die stress cracks im Endosperm läßt sich bei einer statischen Belastung auf der Instron-Festigkeitsprüfmaschine recht deutlich machen. In Bild 6 sind die Kraft-Deformationsdiagramme eines Maiskorns mit stress cracks und eines Maiskorns ohne stress cracks dargestellt. Das Maiskorn ohne stress cracks war mit Umgebungsluft, das Maiskorn mit stress cracks mit einer Lufttemperatur von 140 °C getrocknet worden. Während das Korn ohne stress cracks nach der Einwirkung einer relativ hohen Kraft in zwei Stücke zerfällt, bricht das stress crack geschädigte Korn bereits bei etwa der Hälfte dieser Kraft und weist den für Körner mit mehreren stress cracks typischen sägezahnförmigen Verlauf der Kraft-Deformationskurve auf.

Ein ähnliches Ergebnis erhält man bei einer Belastung des Maiskorns mit der dynamischen Festigkeitsprüfeinrichtung, Bild 7.

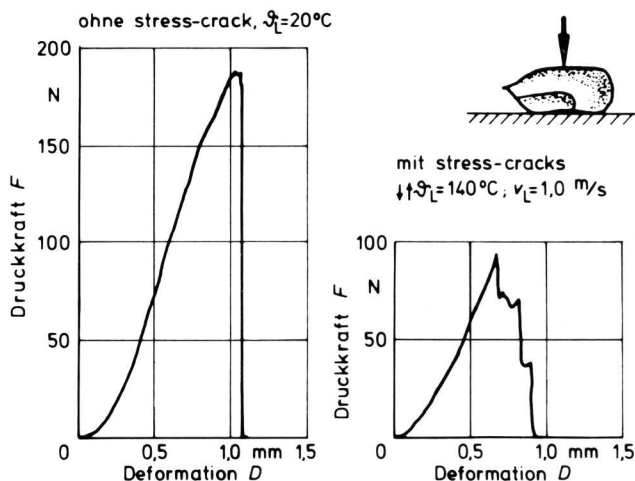


Bild 6. Kraft-Deformationsdiagramme eines Maiskorns ohne stress cracks und eines Maiskorns mit stress cracks ( $U = 13,5\%$ ).

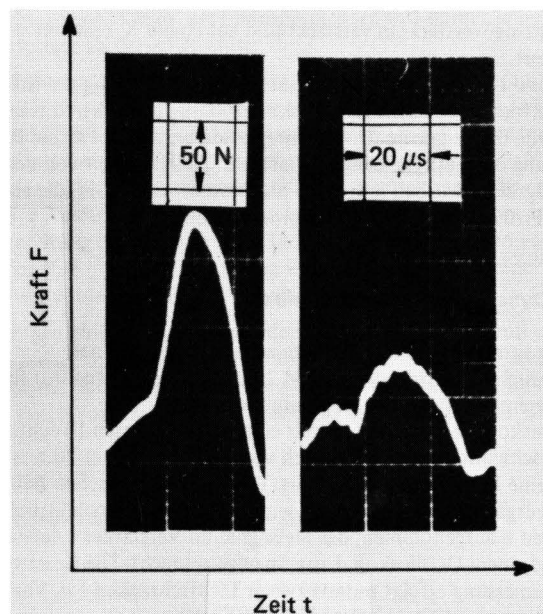


Bild 7. Kraftverlauf bei dynamischer Beanspruchung für ein Maiskorn ohne stress cracks und ein Maiskorn mit stress cracks (Aufprallgeschwindigkeit  $v = 10\text{ m/s}$ ;  $U = 10\%$ ).

### 5.3 Einfluß der Trocknungsbedingungen auf die Bruchfestigkeit

Eine Reduzierung der stress cracks ist selbstverständlich durch die Anwendung niedriger Trocknungslufttemperaturen möglich. Da die Trocknungsleistung jedoch sehr wesentlich von der Trocknungslufttemperatur abhängt und die Trocknung aufgrund des hohen Erntefeuchtegehaltes sowieso schon den Engpaß bei der Körnermaisproduktion darstellt, erscheint diese Möglichkeit wenig sinnvoll. Es gilt somit bei der Heißlufttrocknung durch entsprechende Betriebsbedingungen und Verfahrensführung dafür zu sorgen, daß die während des Konservierungsprozesses auftretende thermische Belastung möglichst nicht die zur Bildung der stress cracks führende Belastung überschreitet.



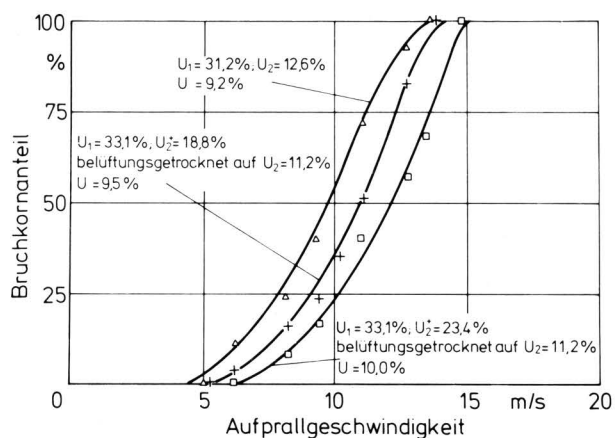
Einen Weg zur Reduzierung der stress cracks bei gleichzeitiger Leistungssteigerung und Energieeinsparung haben *Thompson* und *Foster* bereits in den 60er Jahren mit dem Dryeration-Verfahren aufgezeigt. Hierbei werden die Maiskörner in einem Durchlauf-trockner mit hohen Lufttemperaturen auf einen Feuchtegehalt von  $U = 18$  bis  $19\%$  vorgetrocknet, ohne Rückkühlung im warmen Zustand in einen Belüftungsbehälter gebracht und dort zunächst 4 bis 8 h ohne Belüftung gelagert. Durch dieses sogenannte "Tempern" wird ein Feuchteausgleich zwischen dem Korninnern und der Kornoberfläche erreicht; die in den Körnern gespeicherte Wärmeenergie wird bei der anschließenden Belüftung zum Entzug der restlichen Feuchte ausgenutzt.

Durch das langsame Abkühlen der Körner sowie die niedrige Trocknungsgeschwindigkeit im Feuchtebereich von  $19$  bis  $14\%$  – in dem das Maiskorn sein relativ großes Verformungsvermögen zugunsten einer zunehmenden Sprödigkeit einbüßt – läßt sich der Anteil an stress crack geschädigten Körnern gegenüber der schnellen Abkühlung beim reinen Durchlaufverfahren nach *Thompson* und *Foster* um bis zu  $50\%$  reduzieren.

Um den Einfluß thermischer Behandlung auf die Bruchfestigkeit weiter zu klären, wurden in eigenen Untersuchungen unterschiedlich getrocknete Körner einer dynamischen Festigkeitsprüfung unterzogen und der Anteil der gebrochenen Körner nach der Belastung festgestellt.

Die Maiskörner wurden in einer Versuchs-Trocknungsanlage, die ohne Kühlzone betrieben wurde, getrocknet, wobei zunächst der Luftführung im Trockner und dem Feuchtegehalt  $U_2^*$  nach der Heißlufttrocknung als Möglichkeiten zur Reduzierung der stress cracks besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Die Untersuchungen haben zu folgenden Resultaten geführt, die als erste Ergebnisse zu werten sind:

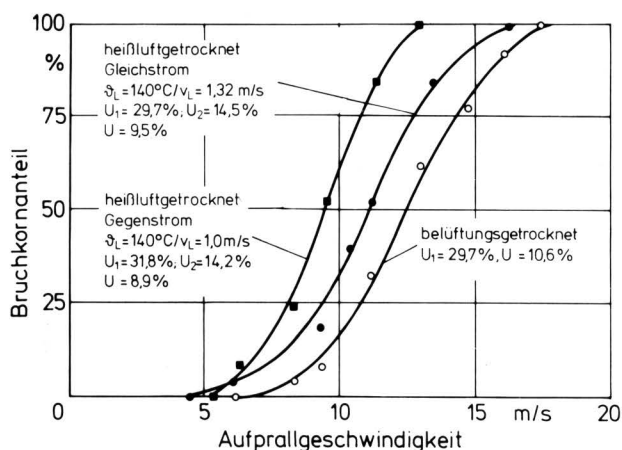
Wird die Heißlufttrocknung bereits bei höheren als beim Dryeration-Verfahren üblichen Feuchtegehalten zwischen  $U_2^* = 23\%$  und  $25\%$  abgebrochen und die restliche Feuchte durch Belüftungstrocknung entzogen, so kann hierdurch die Bruchfestigkeit – wie **Bild 8** zeigt – positiv beeinflusst werden. Während die eine Probe auf einen Endfeuchtegehalt von  $U_2 = 12,6\%$  getrocknet wurde, wurde bei den beiden anderen die Trocknung im Durchlaufverfahren bei Feuchtegehalten von  $U_2^* = 18,8\%$  bzw.  $23,4\%$  unterbrochen und die restliche Feuchte durch Belüftungstrocknung entzogen. Nach dem gesamten Trocknungsprozeß wurden die Maisproben beim Feuchtegehalt  $U$  der dynamischen Festigkeitsprüfung unterzogen. **Bild 8** macht deutlich, daß die Bruchfestigkeit der Maisproben umso höher ist, je höher der Feuchtegehalt liegt, bei dem die Heißlufttrocknung abgebrochen wird; so



**Bild 8.** Bruchkornanteile in Abhängigkeit von der Aufprallgeschwindigkeit für unterschiedlich getrocknete Maisproben. Die Proben wurden im Gleich-/Gegenstrom mit Vorwärmung ( $\vartheta_{L1} = 200\text{ °C} / v_{L1} = 1,0\text{ m/s}$ ;  $\vartheta_{L2} = 120\text{ °C} / v_{L2} = 0,5\text{ m/s}$ ) auf  $U_2$  bzw.  $U_2^+$  getrocknet bzw. vorgetrocknet.

weist die lediglich auf  $23,4\%$  heißluftvorgetrocknete Probe im Mittel bei derselben Belastung gegenüber der auf  $18,8\%$  heißluftgetrockneten Probe ca.  $10\%$  weniger Bruchkorn auf, bei höheren Belastungen steigt dieser Wert auf bis zu  $25\%$  an. Gegenüber der bis auf  $12,6\%$  heißluftgetrockneten Probe betragen die Unterschiede bis zu  $40\%$ .

Bei den mit dem Versuchstrockner durchgeführten Versuchen hat sich nach den bisher vorliegenden Ergebnissen gezeigt, daß eine Luftführung im Gleichstrom hinsichtlich der Bruchfestigkeit des getrockneten Gutes günstiger ist als eine Luftführung im Gegenstrom. Dies geht aus **Bild 9** hervor, in dem die Werte für im Gleichstrom und im Gegenstrom bei derselben Trocknungslufttemperatur getrocknete Maisproben dargestellt sind. Zusätzlich sind die Werte für eine Vergleichsprobe mit aufgenommen worden, die mit Umgebungsluft getrocknet worden war. Das Bild zeigt, daß die Bruchfestigkeit der im Gleichstrom getrockneten Probe größer ist als die der im Gegenstrom getrockneten und derjenigen der Vergleichsprobe schon nahe kommt. Dieses Resultat läßt sich damit erklären, daß beim Gegenstromverfahren die heiße Luft auf das bereits nahezu trockene und spröde Korn trifft, was zu hohen Spannungen im Korn führt.



**Bild 9.** Bruchkornanteile in Abhängigkeit von der Aufprallgeschwindigkeit für belüftungstrockneten und bei  $140\text{ °C}$  im Versuchstrockner heißluftgetrockneten Mais.

## 6. Zusammenfassung

Die Kenntnis der Festigkeitseigenschaften des Maiskorns ist notwendige Voraussetzung für eine Reduzierung der bei Ernte, Aufbereitung, Konservierung und Verarbeitung auftretenden Beschädigungen. In der vorliegenden Arbeit wurde die statische Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Maiskorns ermittelt. Die verschiedenen Beschädigungsformen wurden definiert und ihre Ursachen und Auswirkungen erörtert. Mit Hilfe einer statischen und einer dynamischen Festigkeitsprüfmethode wurde die Festigkeitsverminderung durch stress cracks im Endosperm quantitativ erfaßt. Es wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie sich die stress cracks reduzieren lassen und die Bruchfestigkeit damit weitgehend erhalten bleibt. Weitere Untersuchungen, die sowohl im Labor als auch an ausgeführten Anlagen durchgeführt werden, sollen zeigen, welche Maßnahmen getroffen werden müssen, damit die bei Aufbereitung, Konservierung und Verarbeitung auftretenden Beschädigungen weiter reduziert werden können.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • *Mohsenin, N.N.*: Physical properties of plant and animal materials, Bd. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties. New York, London, Paris: Gordon and Breach Science Publishers, 1970.
- [ 2 ] *Arnold, P.C. u. N.N. Mohsenin*: Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 1, S. 78/84.
- [ 3 ] *Burkhardt, T.H. u. B.A. Stout*: A high-velocity, high-momentum impact testing device for agricultural materials. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 3, S. 455/57.
- [ 4 ] *Cooke, J.R. u. J.W. Dickens*: A centrifugal gun for impact testing of seeds. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 1, S. 147/55.
- [ 5 ] *Srivastava, A.K., F.L. Herum u. K.K. Stevens*: Impact parameters related to physical damage to corn kernel. Trans. ASAE Bd. 19 (1976) Nr. 6, S. 1147/51.
- [ 6 ] *Jindal, V.K. u. N.N. Mohsenin*: Analysis of a simple pendulum impacting device for determining dynamic strength of selected food materials. Trans. ASAE Bd. 19 (1976) Nr. 4, S. 766/70.
- [ 7 ] *Jindal, V.K. u. N.N. Mohsenin*: Dynamic hardness determination of corn kernels from impact tests. J. agric. Engng. Res. Bd. 23 (1978) Nr. 1, S. 77/84.
- [ 8 ] • *Segler, G.*: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Mannheim: im Selbstverlag des Verfassers, 1934.
- [ 9 ] *Flatow, J. u. W. Siegel*: Pneumatische Förderung von Körnermais in waagerechten Rohren. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 125/28.
- [ 10 ] *Sands, L.D. u. G.E. Hall*: Damage to shelled corn during transport in a screw conveyor. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 3, S. 584/85; 589.
- [ 11 ] *Fiscus, D.E., G.H. Foster u. H.H. Kaufmann*: Physical damage of grain caused by various handling techniques. Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 3, S. 480/85; 491.
- [ 12 ] *Keller, D.L. et.al.*: Corn kernel damage due to high velocity impact. Trans. ASAE Bd. 15 (1972) Nr. 2, S. 330/38.
- [ 13 ] *Hall, G.E.*: Damage during handling of shelled corn and soybeans. Trans. ASAE Bd. 17 (1974) Nr. 2, S. 335/38.
- [ 14 ] *Feuilletoy, P.*: Sensibilité du maïs à la casse due au séchage à l'air chaud et au transport mécanique. Informationstagung der C.N.E.E.M.A. de Montoldre (Allier), 1974.
- [ 15 ] *Foster, G.H. u. L.E. Holman*: Grain breakage caused by commercial handling methods. Marketing Research Report Nr. 968. US Government Printing Office, 1973.
- [ 16 ] *Stephens, L.E. u. G.H. Foster*: Reducing damage to corn handled through gravity spouts. Trans. ASAE Bd. 20 (1977) Nr. 2, S. 367/71.
- [ 17 ] *Chowdhury, M.H. u. W.F. Buchele*: Development of a numerical damage index for critical evaluation of mechanical damage of corn. Trans. ASAE Bd. 19 (1976) Nr. 3, S. 428/32.
- [ 18 ] *Brekke, O.L.*: Corn dry milling: stress crack formation in tempering of low moisture corn and effect on degerminator performance. Cereal Chem. Bd. 45 (1968) Nr. 4, S. 291/305.
- [ 19 ] *Ross, I.J. u. G.M. White*: Discoloration and stress cracking of white corn as affected by overdrying. Trans. ASAE Bd. 15 (1972) Nr. 2, S. 327/29.
- [ 20 ] *White, G.M. u. I.J. Ross*: Discoloration and stress cracking in white corn as affected by drying temperature and cooling rate. Trans. ASAE Bd. 15 (1972) Nr. 3, S. 504/507.
- [ 21 ] *Katic, Z.*: Maiskornbeschädigung bei künstlicher Trocknung. Die Mühle und Mischfuttertechnik Bd. 110 (1973) Nr. 34, S. 534/38.
- [ 22 ] *Thompson, T.L., G.H. Foster u. R.M. Peart*: Comparison of concurrent-flow, crossflow, and counterflow grain drying methods. Washington D.C.: US Government Printing Office, 1969.
- [ 23 ] *Martin, C.R. u. L.E. Stephens*: Broken corn and dust generated during repeated handling. Trans. ASAE Bd. 20 (1977) Nr. 1, S. 168/71.
- [ 24 ] *Thompson, R.A. u. G.H. Foster*: Stress cracks and breakage in artificially dried corn. USDA, AMS Marketing Research Report Nr. 631, 1963.

## Zum Stand der betriebstechnischen Datenermittlung im Bereich der Körnerfruchtconservierung

Von Dieter Albrecht, Stuttgart-Hohenheim\*)

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

DK 664.8.047:658.23

Zur Optimierung von Gesamtbetrieben sind Optimierungen von Betriebszweigen notwendig. Deren Planungserfolg wird von der Qualität der Einflußgrößen bestimmt. Im Bereich der Körnerfruchtconservierung ist deren Zahl beträchtlich. Der Kenntnisstand zu diesen Größen ist sehr unterschiedlich, so daß sich verschiedene Aufgabenstellungen für künftige Untersuchungen ergeben.

\*) *Dipl. agr. oec. Dieter Albrecht ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 beim Fachgebiet: Verfahrenstechnik in der Tierproduktion (Leiter: Prof. Dr. Th. Bischoff) am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.*

### 1. Einleitung

Die Ausdehnung des Getreideanbaues insgesamt sowie die Ausweitung des Körnermaisbaues in vielen Betrieben erfordert zwangsläufig eine Zunahme der Konservierung der Ernteprodukte. Für Planungen und Entscheidungen im landwirtschaftlichen Betrieb und der einschlägigen Landmaschinenindustrie sind gesamtwirtschaftliche, betriebliche sowie verfahrens- und konservierungsartbedingte Faktoren zu berücksichtigen [1, 2]. Am Beispiel des Betriebszweiges Körnerfruchtconservierung erfolgt die Darstellung der Bedeutung der Betriebstechnik, eine Bewertung der Qualität der Einflußgrößen, ergänzt durch Ausführungen über künftig notwendige Untersuchungen zu dieser Fragestellung.