

(Aus dem Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik der Universität für Bodenkultur, Vorstand: ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. A. Zaussinger)

Untersuchung der Einflüsse von Trocknung und Aufbereitung auf die Saatmaisqualität

2. Teil: Saatmaistrocknung und stress cracks

Von V. NÁPLAVA, H. WEINGARTMANN und J. BOXBERGER

(Mit 9 Abbildungen)

Zusammenfassung

In den Untersuchungen zeigte das Saatgut der Hybride Dea im Vergleich zum Saatgut der Hybride Helga eine wesentlich niedrigere Zahl von stress cracks gleich nach der Trocknung. Diese Tatsache wurde auch bei den gezielten Labortrocknungsversuchen nachgewiesen. Die Erhöhung der stress cracks-Zahl hat auch niedrigere Keimfähigkeits-, vor allem aber Triebkraftswerte verursacht (Qualitätsminderungen). Es zeigte sich, daß die Anfangstrocknungstemperatur und die Trocknungsgeschwindigkeit in den ersten zehn Stunden die wichtigsten Parameter für die stress cracks-Bildung sind. Das Saatgut der Hybride Dea hat bei einer Trocknungstemperatur von 40 °C eine Erhöhung der stress cracks-Zahl gezeigt, das Saatgut der Hybride Helga dagegen schon bei einer Temperatur von 36 °C. Bei beiden wurde die höchste Zahl der stress cracks in der Groß-rund-Fraktion ermittelt.

Eine höhere Zahl von stress cracks bedeutet Festigkeitsverminderungen. Die Körner mit stress cracks brechen bei niedrigerer Bruchkraft (none stress cracks Körner – von 200 N bis 730 N, multiple stress cracks – von 102 N bis 284 N), die Verläufe der Kraft-Deformationskurven sind flacher und es fehlt der sogenannte „bio-yield point“. Diese Tatsache führt bei auftretenden dynamischen Belastungen (Rebeln, Förderung usw.) zu Mengenverlusten.

Schlüsselworte: Mais, Saatguttrocknung, stress cracks, Festigkeitsgrenze.

Quality research of seed maize during drying and conditioning

Part 2: Drying of seedcorn and stress cracks

Summary

During the experiments it was determined that after drying the hybrid Dea (dent corn character) showed a significantly lower number of stress cracks than hybrid Helga (dent corn character). This fact was demonstrated with the laboratory tests too. The increased number of stress cracks caused a lower germi-

native faculty and reduced germinating power (mean quality). The most important parameters for the stress crack formation found by the laboratory tests were the initial drying temperature and the drying rate during the first ten hours. The hybrid Helga showed an increase in stress cracks formation at the temperature of 36 °C, the hybrid Dea only at 40 °C. The large-round kernels showed the highest number of stress cracks in both hybrids.

The higher number of stress cracks cause the decrease of strength of the kernels. The seeds with stress cracks break by lower compressive force (none stress cracks – from 200 N to 730 N, multiple stress cracks – from 102 N to 284 N), their deformation curves are flatter and they do not exhibit a clear bio-yield point. High number of stress cracks increase the quantity of damaged corn caused by dynamic drag (shelling, transit, etc.).

Key-words: maize, drying of seedcorn, stress cracks, breaking point.

1. Einleitung

1.1 Literaturübersicht

In der Literatur sind mehrere Arbeiten über die Bedeutung der Saatmaistrocknung bzw. der stress cracks und ihren Einfluß auf die Qualität des Saatgutes zu finden.

HÄUSLER (1975) hat in Laborversuchen den Einfluß verschiedener Trocknungsluftmengen und Trocknungslufttemperaturen auf die Trocknungsgeschwindigkeit und -zeit von Maiskolben untersucht. BURRIS und NAVRATIL (1980) haben in Versuchen das Saatgut mit einem Erntefeuchtegehalt von 18 % bis 52 % mit Temperaturen von 35 °C, 40 °C, 45 °C und 50 °C auf eine Feuchtigkeit von 7 % – 12 % getrocknet. Als qualitative Maßstäbe haben sie Keimfähigkeit, Cold-Test und Feldaufgang festgestellt. HERTER und BURRIS (1989) haben mehrere wissenschaftliche Arbeiten auf diesem Gebiet durchgeführt. Sie bestimmten den Effekt von Trocknungstemperatur und Trocknungsgeschwindigkeit auf die Saatgutqualität noch näher. ZHANG und LITCHFIELD (1991) bewiesen, daß man mit einem diskontinuierlichen Trocknungsprozeß („inserting a tempering“) die Trocknungsgeschwindigkeit erhöhen kann. SONG et al. (1992) haben in einer der neuesten Untersuchungen mit MMRI („Microscopic magnetic resonance imaging“) gearbeitet. Sie haben gefunden, daß es bei der Maistrocknung zwei wichtige Transportwege für die Ableitung des Wassers gibt: Das Pericarp und die Scutellumschicht.

Bei der Trocknung des Saatgutes kommt es zur sogenannten stress cracks-Bildung. Als die Entstehungsursachen werden von verschiedenen Autoren meist die Volumenänderungen infolge des Wasserverlustes im Innern des Kornes bezeichnet, wobei es zu keinen Veränderungen in der mikroskopischen Struktur und dem histochemischen Verhalten kommt. Stress cracks sind feine Risse (Haarrisse) im Endosperm. Sie sind mit freiem Auge am leichtesten bei Durchleuchtung zu sehen. Der Mittelwert der Breite der stress cracks wurde mit $58 \pm 14 \mu\text{m}$ an seiner weitesten Stelle gemessen (GUNASEKARAN et al. 1985). Nach dem Ausmaß der Schädigung haben SARWAR und KUNZE (1989) stress cracks in vier Gruppen klassifiziert. SONG und LITCHFIELD (1990) fanden heraus: „One of the most troublesome types of damage caused by drying are stress cracks.“ THOMPSON und FOSTER (1963) beschrieben stress cracks als „checked or crazed appearance“. GUSTAFSON et al. (1979) ermittelten die Temperatur- und Spannungsverteilung innerhalb des Kornes bei den verschiedenen Temperaturstufen unter Verwendung der „finite element analysis“. BALASTREIRE et al. (1982), ent-

deckten bei Untersuchungen unter dem Elektronenmikroskop, daß die stress cracks im Endosperm in der Mitte beginnen und durch die Zellwände und um die Stärkekörnchen verlaufen und sich gegen die Kornoberfläche verengen. LITCHFIELD und OKOS (1988) kamen zum Schluß, daß stress cracks die Angriffsstellen für eine Verpilzung des Kornes und für Bakterienbefall bilden, wodurch die Keimfähigkeit leidet, und daß sie weiter den Kornbruch beim Transport und die Respiration erhöhen und die Belüftung begrenzen. SONG (1991) untersuchte und analysierte die Zeit und die Bildungsstelle der stress cracks während der Trocknung und der Abkühlung in Abhängigkeit von jenen Faktoren, die stress cracks beeinflussen (Feuchtigkeitsgradient, Temperatur und Sorte).

Zur Ermittlung der stress cracks wurden mehrere wissenschaftliche Bestimmungsmethoden durchgeführt. GUNASEKARAN und PAULSEN (1986) untersuchten mehrere zerstörungsfreie Methoden zur Quantifizierung des stress cracks-Auftretens. SONG und LITCHFIELD (1990) entwickelten zur Qualifizierung der stress cracks-Bildung während des Trocknungsvorgangs das sogenannte NMRI („Nuclear magnetic resonance imaging“). REID et al. (1991) entwickelten „Computer vision systems“ für die automatische stress cracks-Ermittlung. Das ganze System besteht aus vier aufeinanderfolgenden Stufen: „Windowing, edge detection, feature representation and classification.“

Die einfachste und auch im Labor häufig eingesetzte Methode zur stress cracks-Auswertung ist die visuelle Kontrolle mit dem freien Auge. Diese Bestimmungsmethode ist zeitaufwendig und für den Menschen anstrengend, aber die erreichten Ergebnisse sind vergleichbar mit den anderen Methoden.

Die Festigkeitseigenschaften von Maiskörnern haben mehrere Autoren untersucht. KUSTERMANN und KUTZBACH (1981, 1982) haben z. B. festgestellt, daß das Festigkeitsverhalten von Maiskörnern sehr stark von der Art und vom Umfang der thermischen Behandlung bei der Konservierung (Trocknung) beinflußt wird. Sie haben die Auswirkungen unterschiedlicher thermischer Vorbehandlung, besonders den Einfluß verschieden schneller Abkühlung nach der Trocknung, auf das statische Festigkeitsverhalten des Maiskornes untersucht.

1.2 Problemstellung

Der Trocknungsprozeß ist einer der wichtigsten Faktoren der Saatgutproduktion. Der Saatmais wird in unseren Maisanbaugebieten mit Feuchtegehalten zwischen 30 und 45 % (Naßbasis) gepflückt, und er muß auf den lagerfähigen Zustand von 12 % bis 13 % getrocknet werden. Diese Lagerfähigkeit kann nur durch eine besonders schonende Trocknung der Maiskolben erzielt werden. Zugleich muß sichergestellt werden, daß Keimfähigkeit und Triebkraft der Maiskörner in keiner Weise beeinträchtigt werden. Dieser Feuchtegehalt ist auch der Zustand, bei dem sich die Körner beim Reibeln ohne große Beschädigung des Keimlings von der Spindel lösen können.

Die künstliche Trocknung der frisch geernteten Kolben wird durch Belüftung mit angewärmter Luft in einer Ruheschichttrocknung (Satztrocknung) durchgeführt. Dabei erfolgt sowohl der Wärmetransport zum Trocknungsgut als auch die Abfuhr des Wassers aus dem Feuchtgut durch strömende Luft. Die Trocknungsbox wird jeweils mit Feuchtmalskolben gefüllt und anschließend so lange mit Warmluft belüftet, bis der gewünschte Endwassergehalt erreicht ist. Um die Trocknungstemperaturen erhöhen zu können, also den Trocknungsprozeß zu verkürzen und Energie zu sparen, ist es üblich, sogenannte Zwei- oder Dreiphasen-Trocknungssysteme anzuwenden, dies bedeutet, daß die Trocknungsluft zweimal oder dreimal durch die Gutsschicht geführt wird. Eine Verbesse-

rung bezüglich Gleichmäßigkeit der Trocknung der Kolben sowie der Verteilung und Ausnützung der Trocknungsluft ist zu erreichen, indem man während der Trocknung im Satzrockner die Strömungsrichtung der Trocknungsluft mehrmals ändert. Dieses System ermöglicht, die Trocknungslufttemperatur jeweils den feuchteabhängigen Grenzwerten des Gutes besser anzupassen.

Die vorliegende Arbeit hat folgende Ziele:

- Die Ermittlung kritischer Trocknungstemperaturen, welche zu Endospermrisen führen.
- Die Untersuchung des Einflusses von Endospermrisen auf die Kornfestigkeit.

2. Material und Methoden

2.1 Maishybriden und Probeentnahmen

Die wichtigsten Charakteristiken der untersuchten Maishybriden und Probeentnahmen sind im ersten Teil beschrieben (NÁPLAVA et al. 1994).

2.2 Untersuchungen

An der Universität für Bodenkultur Wien wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Bestimmung der stress cracks
- Trocknungsversuche
- Druckfestigkeit bei quasi-statischer Beanspruchung

2.2.1 Bestimmung der stress cracks

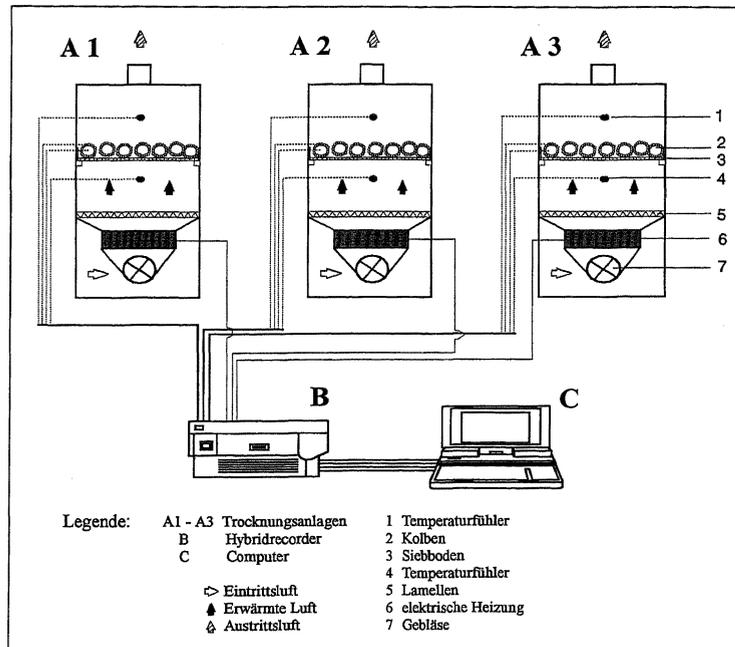
Zur Bestimmung der stress cracks wurden am Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik die visuellen Kontrollen durchgeführt. Die Körner, welche äußerlich keine sichtbaren Beschädigungen aufwiesen (nach der Kontrolle mit dem DYE-Test), wurden mit dem Keimling nach unten auf eine Platte aus Perlinax gelegt. In der Mitte der Platte befand sich ein Loch mit einem Durchmesser von ca. 2,5 mm. Unterhalb dieses Loches wurde eine 100-W-Lampe installiert, deren Licht die Körner durchstrahlte. Mit Hilfe dieser Vorrichtung konnten die stress cracks sichtbar gemacht werden. Mittels Vergrößerungsglas wurden die Körner untersucht und die Zahl der stress cracks festgestellt. Die Klassifizierung der stress cracks war folgende:

- keine Sprünge – none stress cracks (NSC)
- Einfachsprünge – single stress cracks (SSC)
- Doppelsprünge – double stress cracks (DSC)
- Mehrfachsprünge – multiple stress cracks (MSC)

2.2.2 Trocknungsversuche

Die Versuche zur Klärung des Einflusses der Trocknungstemperatur auf die stress cracks-Bildung wurden in der Erntesaison 1992/1993 mit Saatgut der Hybriden Dea und Helga durchgeführt. Dafür wurden drei elektrisch beheizte, mit einem Siebboden ausgestattete Trocknungsanlagen hergestellt, in welchen die frischen Maiskolben (naturfeucht, vor dem Entlieschen und nach dem Entlieschen) in einer einzelnen Kolbenschichte mit variierter Temperatur (von 25 °C bis 50 °C) und konstanter Luftmenge (Strömungsgeschwindigkeit 0,18 m/s) getrocknet wurden. Die gleichmäßige Verteilung der erwärmten Luft konnte mittels einstellbarer Lamellen vorgenommen werden (Abb. 1). Im Laufe der

Abb. 1: Schema der Versuchs-Trocknungsanlagen (Boku Wien)



Versuche wurde das Material nach einer bestimmten Zeit abgewogen und dabei auch die Feuchtigkeit der Körner mit einem Schnellfeuchtebestimmer (Dickey John) gemessen. Um den Einfluß der strömenden Trocknungsluft auf die Wasserabgabe der zugewandten Seite auf ein Minimum zu reduzieren und den erwünschten Ausgleich der Abtrocknung zu erreichen, wurden die Kolben nach der Abwiegung umgeschichtet. (In der Praxis ist dieses Problem in Form der sogenannten Wechselbelüftung gelöst.)

Durchlaufend wurden folgende Daten grafisch registriert (Hybridrecorder) und mittels für diesen Versuch entwickelter Software direkt vom PC übernommen:

* Eintrittsluft

Druck (mbar)
Temperatur (°C)
relative Feuchtigkeit (%)

* In jeder der drei Trocknungsanlagen

Temperatur unter Siebboden (°C)
Temperatur über Siebboden (°C)
Körnertemperatur (°C)
Spindeltemperatur (°C)

Zur Durchführung der Temperaturmessungen in den Körnern wurde im feuchten Zustand in mehrere durchbohrte Körner am Kolben eine Sonde (Thermoelement) gesteckt. Die zweite Sonde wurde in die Spindel des gleichen Kolbens gesteckt. Die Messungen der Korntemperatur (bzw. Spindeltemperatur) sind sehr wichtig, weil die Korntemperatur bei der Trocknung entscheidend für die Beschädigungen (Keimlingschädigung, stress cracks-Bildung) des Kornes ist.

Nach der Trocknung wurde das Material handgerebelt, es wurden ISTA (1985) Warm- und Kalttests durchgeführt. Die Körner, welche äußerlich keine sichtbaren Beschädigungen ausgewiesen haben (Dye-Test), wurden auf stress cracks untersucht.

Tabelle 2

Stress cracks an den Probeentnahmestellen 5 bis 7

| | Probeentnahmestelle | | |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 5 – vor dem Rundlochs. | 6 – nach dem Rundlochs. | 7 – nach dem Rundlochs. |
| | NG | M | G |
| Relative Anteile (%) | | | |
| Dea, Partie 1 | 4,6 | 3,6 | 2,9 |
| Dea, Partie 2 | 4,0 | 2,5 | 2,5 |
| Helga, Partie 1 | 11,9 | 12,4 | 26,8 |
| Helga, Partie 2 | 18,8 | 15,7 | 31,1 |

Tabelle 3

Stress cracks an den Probeentnahmestellen 6 bis 11

| | Probeentnahmestelle | | | | | |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | 6 – nach dem Rund- lochs. | 8 – nach dem Schlitz- lochs. | 9 – nach dem Schlitz- lochs. | 7 – nach dem Rund- lochs. | 10 – nach dem Schlitz- lochs. | 11 – nach dem Schlitz- lochs. |
| | M | MF | MR | G | GF | GR |
| Relative Anteile (%) | | | | | | |
| Dea, Partie 1 | 3,6 | 1,7 | 1,8 | 2,9 | 1,6 | 3,7 |
| Dea, Partie 2 | 2,5 | 1,6 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,2 |
| Helga, Partie 1 | 12,4 | 5,2 | 15,9 | 26,8 | 13,5 | 31,5 |
| Helga, Partie 2 | 15,7 | 10,4 | 19,9 | 31,1 | 16,5 | 32,9 |

Tabelle 4

Stress cracks an den Probeentnahmestellen 8 bis 15

| | Probeentnahmestelle | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | 8-nach dem Schlitz- lochs. | 12-nach dem Gewichts- ausl. | 9-nach dem Schlitz- lochs. | 13-nach dem Gewichts- ausl. | 10-nach dem Schlitz- lochs. | 14-nach dem Gewichts- ausl. | 11-nach dem Schlitz- lochs. | 15-nach dem Gewichts- ausl. |
| | MF | MP | MR | MR | GF | GS | GR | GR |
| Relative Anteile (%) | | | | | | | | |
| Dea, Partie 1 | 1,7 | 2,0 | 1,8 | 4,0 | 1,6 | 1,4 | 3,7 | 4,9 |
| Dea, Partie 2 | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 2,2 | 3,6 |
| Helga, Partie 1 | 5,2 | 5,5 | 15,9 | 14,5 | 13,5 | 16,3 | 31,5 | 35,3 |
| Helga, Partie 2 | 10,4 | 14,3 | 19,9 | 16,0 | 16,5 | 25,1 | 32,9 | 39,5 |

Das Saatgut der Hybride Dea hat im Vergleich zum Saatgut der Hybride Helga gleich nach der Trocknung eine wesentlich niedrigere Zahl von stress cracks gezeigt (Dea – 1,8 % bzw. 3,5 %; Helga 14,5 % bzw. 27,4 %), obwohl die Trocknungstemperaturen ähnliche waren. Die grafischen Darstellungen der mechanischen Beschädigungen (s. Teil 1) und der stress cracks an den einzelnen Probeentnahmestellen und ihre Auswirkung auf die Keimfähigkeit bzw. Triebkraft sind aus den Abbildungen 2 und 3 ersichtlich. Die Unterschiede in den mechanischen Beschädigungen und in den stress cracks bei einzelnen Fraktionen und Hybriden sind in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

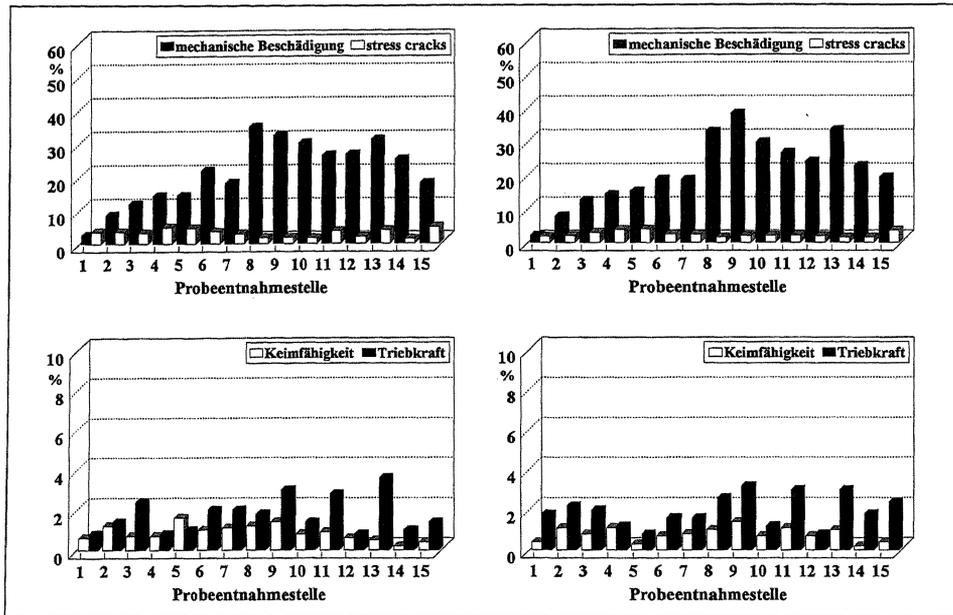


Abb. 2: Auswertung der mechanischen Beschädigungen und stress cracks bei einzelnen Probeentnahmestellen und ihre Auswirkung auf Keimfähigkeit- bzw. Triebkraft (100%-Wert), Hybride Dea, Partie 1 und 2

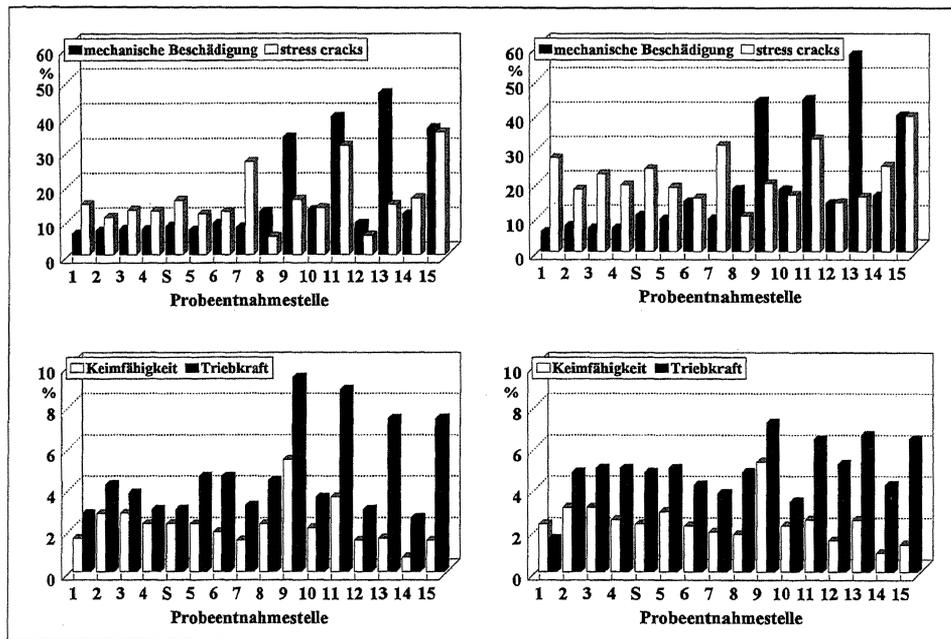


Abb. 3: Auswertung der mechanischen Beschädigungen und stress cracks bei einzelnen Probeentnahmestellen und ihre Auswirkung auf Keimfähigkeit- bzw. Triebkraft (100%-Wert), Hybride Helge, Partie 1 und 2

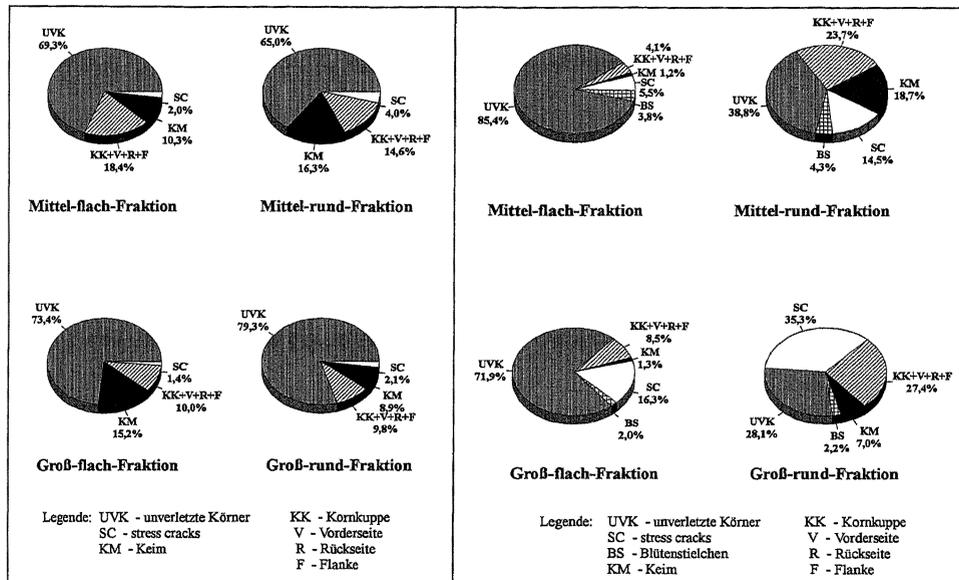


Abb. 4: Dye-Test und stress cracks-Auswertung nach dem Gewichtsausleser, Hybride Dea, Partie 1

Abb. 5: Dye-Test und stress cracks-Auswertung nach dem Gewichtsausleser, Hybride Helga, Partie 1

3.2 Trocknungsversuche

Bei beiden Hybriden wurden Trocknungsversuche sowohl mit gleichbleibender als auch mit während des Prozesses steigender Temperatur (gleiche Bedingungen wie in der Praxis) durchgeführt. Die Höhe der Trocknungstemperatur wurde dann nach dem Feuchtegehalt entsprechend den Empfehlungen der Fa. PIONEER eingestellt. Wie in Kapitel 2.2.1 ausgeführt ist, bestand die Hauptaufgabe der Trocknungsversuche darin, den Einfluß der Trocknungstemperatur auf stress cracks-Bildung, Keimfähigkeit und Triebkraft zu finden. Aus den Ergebnissen folgt:

- Die Korntemperatur liegt meistens zwischen der Temperatur unter und der Temperatur über dem Siebboden.
- Die Spindeltemperatur ist um 2 °C bis 4 °C niedriger als die Korntemperatur und erst nach 20 bis 30 Stunden gleichen sie sich an.
- Die höchste Trocknungsgeschwindigkeit wurde bei beiden Hybriden in den ersten zehn Stunden ermittelt.
- Hybride Dea zeichnet sich durch höhere Trocknungsgeschwindigkeiten, aber trotzdem geringere stress cracks-Bildung aus.
- Die höheren Anfangstemperaturen bei der Hybride Dea (über 40 °C) haben eine Erhöhung der stress cracks-Bildung verursacht und auch die Keimfähigkeits- bzw. Triebkraftswerte teilweise beeinflusst.
- Die Anfangstrocknungstemperaturen über 36 °C bei der Hybride Helga haben eine stärkere Erhöhung der stress cracks-Bildung und auch niedrigere Keimfähigkeits-, vor allem aber niedrigere Triebkraftswerte verursacht.

Mit den laufend gemessenen Daten, Abwiegungen und Feuchtigkeitsmessungen des Materials wurde es aber auch möglich, die Verläufe der gemessenen Parametern und der Trocknungsgeschwindigkeit festzustellen. Die Trocknungs-

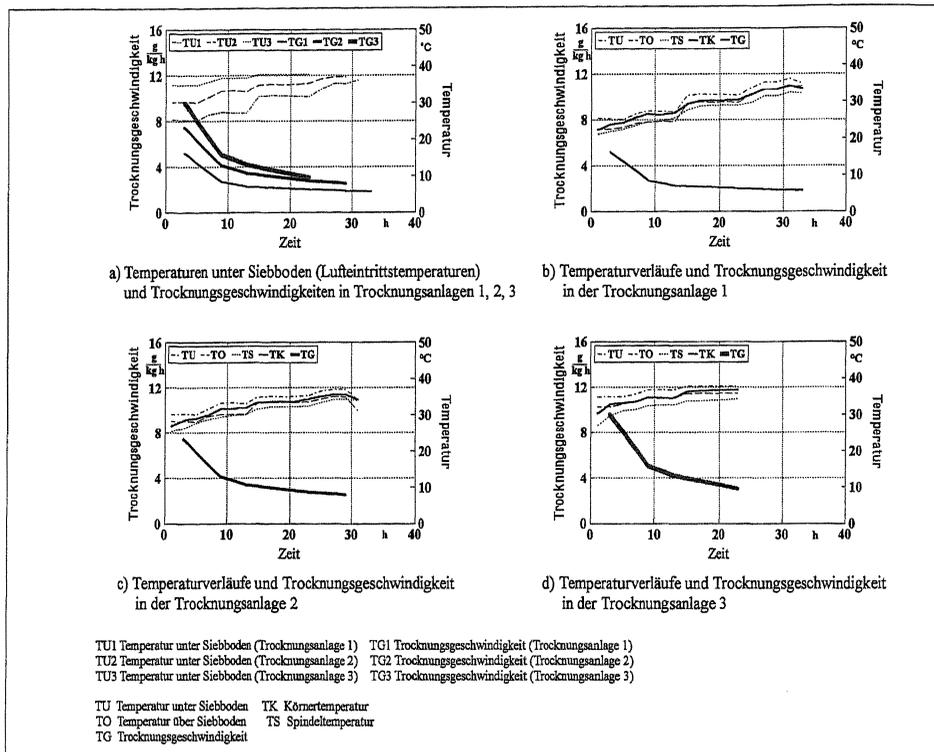


Abb. 6: Trocknungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur, Hybride Helga, Steigerung der Trocknungstemperatur, 28. September 1992

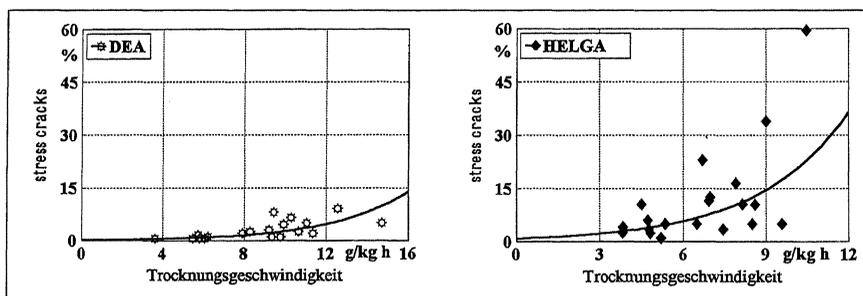


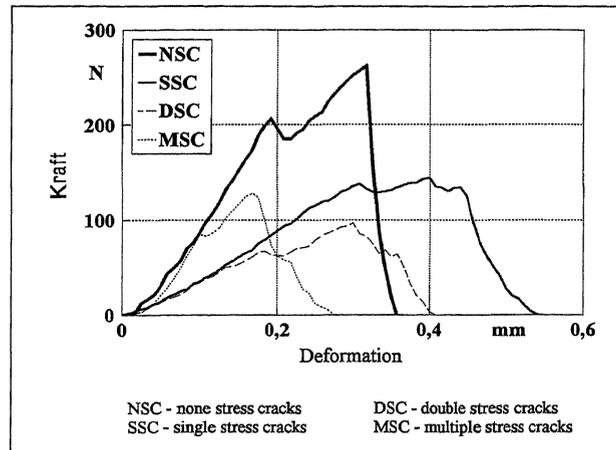
Abb. 7: Einfluß der Trocknungsgeschwindigkeit auf die stress crack-Bildung

geschwindigkeit wurde auf die frische Masse bezogen ($\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{h})$). Als Beispiele sind einzelne Kurven in der Abbildung 6 gezeigt. Der Einfluß der Trocknungsgeschwindigkeit (innerhalb der ersten drei Stunden) auf die stress cracks-Bildung ist in der Abbildung 7 dargestellt.

3.3 Druckfestigkeit bei quasi-statischer Beanspruchung

Aus den Druckfestigkeitsuntersuchungen folgt, daß Mais ein uneinheitliches und kompliziertes Festigkeitsverhalten aufweist. Deshalb wurde bei der Auswertung die Summenhäufigkeit statt der Mittelwerte angegeben. Beispiele der Deformationskurven für eine bestimmte Art der stress cracks sind aus der Ab-

Abb. 8: Die Kraftdeformationskurven für die Anzahl der stress cracks je Korn; Hybride Helga, Groß-rund-Fraktion, Deformationsgeschwindigkeit 5 mm/min



bildung 8 ersichtlich. Der Zusammenhang zwischen Deformation und Bruchkraft der Maiskörner bei verschiedener Art der stress cracks ist für die Groß-rund-Fraktion der Hybride Helga in der Abbildung 9 dargestellt. Aus den Ergebnissen folgt:

- Höhere Zahl der stress cracks je Korn bedeutet eine Festigkeitsverminderung.
- Die Körner ohne stress cracks brechen nach der Einwirkung einer hohen Kraft und zerfallen plötzlich in zwei Stücke.

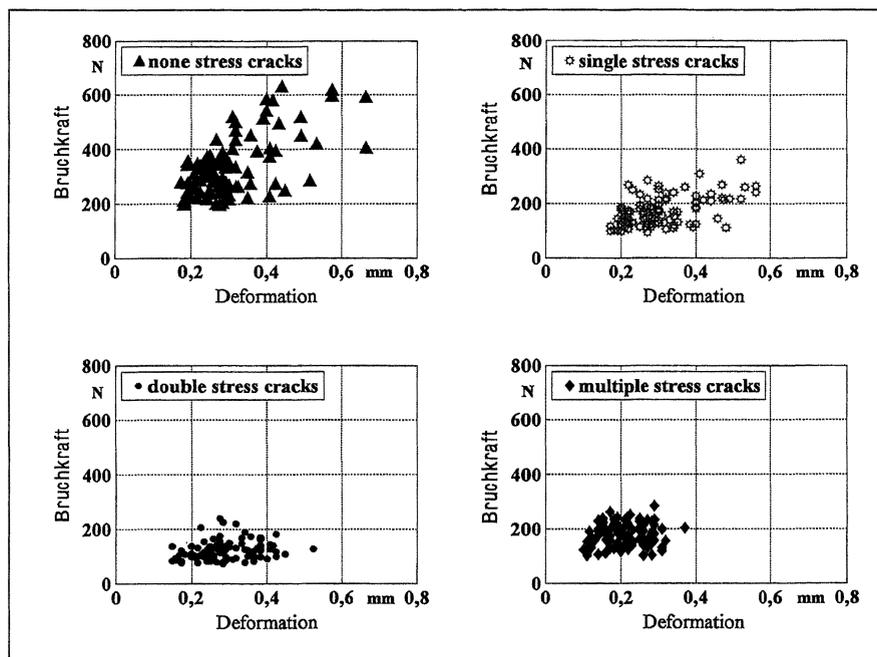


Abb. 9: Zusammenhang zwischen Deformation und Bruchkraft der Maiskörner bei verschiedener Art der stress cracks, Hybride Helga, Groß-rund-Fraktion, Deformationsgeschwindigkeit 5 mm/min

- Die Körner mit stress cracks brechen bei niedrigerer Bruchkraft (die Höhe ist von der Art der stress cracks abhängig) in zwei oder mehrere Stücke.
- Bei den Körnern mit stress cracks fehlt der sogenannte „bio-yield point“ (die erste sichtbare Abnahme der Deformationskraft, obwohl die Deformation steigt) und die Verläufe der Kraft-Deformationskurve sind flacher und weisen ein langsames und teilweise sägezahnförmiges Abfallen auf.

Danksagung

Der Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung in Wien sowie der Firma Pioneer Hi-Breds in Parndorf sei herzlich für die Kooperationsbereitschaft gedankt.

Literatur

- BALASTREIRE, L. A., K. K. HERUM and J. L. BLAISDELL, 1982: Fracture of corn endosperm in bendig, Part II. Fracture analysis by fractography and optical microscopy. Transactions of ASAE 25, 1062–1065.
- BURRIS, J. S. and R. J. NAVRATIL, 1980: Drying high-moisture seed corn. Journal Paper No. J-10117 of the Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station, Ames, Iowa: 116–132.
- GUNASEKARAN, S., S. S. DESHPANDE, M. R. PAULSEN and G. C. SHOVE, 1985: Size characterization of stress cracks in corn kernels. Transactions of the ASAE 28, 1668 – 1672.
- GUNASEKARAN, S. and M. R. PAULSEN, 1986: Automatic, nondestructive detection of corn kernels defects. Vol 12, Gordon and Breach Science Publishers, NY: 95–116.
- GUSTAFSON, R. J., D. R. THOMPSON and S. SOKHANSANJ, 1979: Temperature and stress analysis of corn kernel – finite element analysis. Transactions of the ASAE 22, 955–960.
- HÄUSLER, F., 1975: Einfluß der Luftmenge und Lufttemperatur bei der Trocknung von Saatmais. Die Bodenkultur 26, 205–214.
- HERTER, U. and J. S. BURRIS, 1989: Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. Can. J. Plant Sci. 69, 763–774.
- ISTA, 1985: Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. Seed Sci. & Technol., 13, Suppl. 1, 1–241. ISTA Zürich, Schweiz.
- KUSTERMANN, M. and H. D. KUTZBACH, 1981: Der Einfluß thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern. Teil 1: Schrifttumsübersicht, Grundlagen und Methoden. Grundl. Landtechnik 31, Nr. 5.
- KUSTERMANN, M. and H. D. KUTZBACH, 1982: Der Einfluß thermischer Vorbehandlung auf die statische Festigkeit von Maiskörnern. Teil 2: Versuchsergebnisse und Diskussion. Grundl. Landtechnik 32, Nr. 1.
- LITCHFIELD, J. B. and M. R. OKOS, 1988: Prediction of corn kernel stress and breakage induced by drying, tempering, and cooling. Transactions of the ASAE 31, 585–594.
- NÁPLAVA, V., H. WEINGARTMANN and J. BOXBERGER, 1994: Untersuchung der Einflüsse von Trocknung und Aufbereitung auf die Saatmaisqualität, 1. Teil: Mechanische Beschädigungen. Die Bodenkultur 45, 333–348.
- REID, J. F., C. KIM and M. R. PAULSEN, 1991: Computer vision sensing of stress cracks in corn kernels. Transactions of the ASAE 34, 2236–2244.
- SARWAR, G. and O. R. KUNZE, 1989: Relative humidity increases that cause stress cracks in corn. Transactions of the ASAE 32, 1737–1743.
- SONG, H., 1991: Measurement of transient moisture profiles and structural changes during drying and cooling of maize using MRI. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- SONG, H. and J. B. LITCHFIELD, 1990: Nondestructive measurement of transient moisture profiles in ear corn during drying using NMR imaging. Transactions of the ASAE 33, 1286–1290.
- SONG, H., J. B. LITCHFIELD and H. D. MORRIS, 1992: Three-dimensional microscopic MRI of maize kernels during drying. J. agric. Engng. Res. 53, 51–69.
- THOMPSON, R. A. and G. H. FOSTER, 1963: Stress cracks and breakage in artificially dried corn. Marketing Research Bulletin No. 631, TFRD, AMS, USDA, October.
- ZHANG, Q. and J. B. LITCHFIELD, 1991: An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. Drying Technology 9, 233–244.

(Manuskript eingelangt am 19. Juli 1994, angenommen am 28. November 1994)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr. Vladimír NÁPLAVA, Univ.-Doz. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Herbert WEINGARTMANN und o. Univ.-Prof. Dr. J. BOXBERGER, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien