

# Das Trocknungsverhalten von Einzelkornschichten von Körnermais bei hohen Lufttemperaturen

Von Albert Scheuermann und Werner Mühlbauer, Stuttgart-Hohenheim

Es werden erste Ergebnisse von Untersuchungen des Trocknungsverhaltens von Einzelkornschichten bei Körnermais mit hohem Anfangsfeuchtegehalt und bei der Trocknung mit hohen Lufttemperaturen mitgeteilt. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen bestätigten die Vermutung, daß sich mit zunehmendem Anfangsfeuchtegehalt und steigender Lufttemperatur das Trocknungsverhalten entscheidend ändert. Die auf Grund der Messung gewonnene Gleichung stellt einen ersten Versuch dar, die verschiedenen Einflußfaktoren wie Lufttemperatur und Anfangsfeuchtegrad bei konstanter Luftgeschwindigkeit rechnerisch zu erfassen. Die Versuche werden fortgesetzt, um weitere Einflußgrößen wie Luftgeschwindigkeit, Kornart und -beschaffenheit zu erfassen.

## 1. Einleitung

Um eine Grundlage für die Berechnung von Trocknern zu erhalten [1 bis 6] sind Messungen an Einzelkornschichten erforderlich.

Die bisherigen Untersuchungen an Einzelkornschichten beziehen sich vorwiegend auf Weizen [1; 7 bis 12]. Für Körnermais jedoch liegen nur wenige Versuchswerte vor; sie können aus verschiedenen Gründen nicht übernommen werden. Die amerikanischen Untersuchungen beschränken sich bei Körnermais auf einen Anfangsfeuchtegehalt von unter 30%. Demgegenüber wird der Körnermais der Bundesrepublik in der Regel mit 40% Anfangsfeuchtegehalt und mehr geerntet. Bei einem höheren Anfangsfeuchtegehalt weist der Körnermais besonders im Bereich der Anfangstrocknung ein wesentlich anderes Trocknungsverhalten auf.

Einen großen Einfluß auf das Trocknungsverhalten von Körnermais hat die Lufttemperatur, vor allem im Bereich über 100°C; in diesem Temperaturbereich liegen nur einzelne Untersuchungsergebnisse [5] vor. Bei Temperaturen über 100°C nimmt auch der Einfluß der Luftgeschwindigkeit zu; dies wird bei früheren Forschungsarbeiten nur ungenügend beachtet. Ferner unterscheiden sich die in der Bundesrepublik und in Amerika angebaute Maissorten in ihren Trocknungseigenschaften bedingt durch Größe und Form der Körner.

Für die qualitative Beurteilung des Trocknungsprozesses ist die Korntemperatur von entscheidender Bedeutung. Sie wird in früheren Arbeiten [3; 5; 8; 9] zwar gemessen, aber bei der Berechnung stets mit der Lufttemperatur gleichgesetzt. Dieses Verfahren vereinfacht zwar die Berechnung des Trocknungsvorganges, stellt aber eine sehr grobe Näherung dar.

Aus den vorgenannten Gründen schien es erforderlich, eigene Messungen an Einzelkornschichten vorzunehmen. Hierbei wurde auch der Bereich hoher Lufttemperaturen berücksichtigt.

## 2. Die Berechnung der Feuchtegradabnahme von Einzelkornschichten

Zur analytischen Behandlung des Feuchtegradverlaufs sind zwei Verfahren bekannt geworden.

### 2.1. Theoretisch abgeleitete Gleichungen

Über die theoretischen Grundlagen der Trocknung hygroscopischer Stoffe haben Lykow [13], Lewis [14] und Sherwood [15] berichtet, ebenso Chin Shu Chen und Johnson [16]; in diesem Zusammenhang ist auch das Buch von Lykow und Mikhailow zu erwähnen [17]. Die von Hukill [1], Henderson [8] und Hustrulid [9] angegebenen Gleichungen geben die tatsächliche Feuchtegradabnahme im Bereich hoher Lufttemperaturen nur ungenau wieder. Zum Bestimmen der Konstanten für verschiedene Trocknungsbedingungen sind viele Versuche nötig, da in den angegebenen Gleichungen der Einfluß der Luftgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und des Anfangsfeuchtegehalts nicht berücksichtigt wird.

In diesem Beitrag bedeuten:

$A_1, A_2$	Stoffkonstante
$B_1, B_2$	Exponenten der Temperatur
$C_1, C_2$	Exponenten des Anfangsfeuchtegrades
$D, E$	Konstante

$$U = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad \text{Feuchtegehalt des Gutes}$$

$$X = \frac{m_w}{m_s} \quad \text{Feuchtegrad des Gutes}$$

$m_w$  Masse der Feuchtigkeit

$m_s$  Masse der Trockensubstanz

$X_0$  Anfangsfeuchtegrad zur Zeit  $t = 0$

$X_{g1}$  Gleichgewichtsfeuchtegrad

$$\xi = \frac{X - X_{g1}}{X_0 - X_{g1}} \quad \text{Feuchtegradverhältnis}$$

$t$  Zeit

$v_L$  Luftgeschwindigkeit bezogen auf den freien Querschnitt des Versuchssiebess

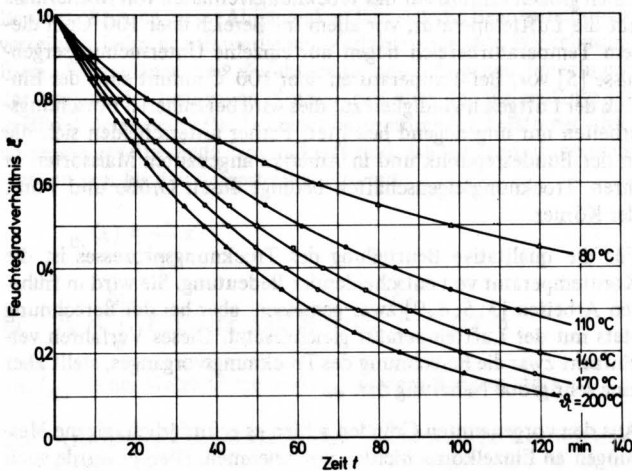
Dipl.-Ing. Albert Scheuermann und Dipl.-Ing. Werner Mühlbauer sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim (Direktor Prof. Dr.-Ing. Georg Segler)

## 2.2. Empirisch aufgestellte Gleichungen

Ein anderes Verfahren benutzen *Sprenger* [18], *Page* [11], *van Rest* und *Isaacs* [10] sowie *Thompson* [5]. Sie ermittelten experimentell die Feuchtegradabnahme in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Versuchsbedingungen und wählten eine Näherungsfunktion für die Feuchtegradabnahme. Die Konstanten der Gleichung wurden mit Hilfe einer Regressionsanalyse bestimmt. Ausgangspunkt dieser empirisch gefundenen Gleichungen ist bei allen Forschern der Ansatz nach einer Exponentialfunktion, wie ihn auch schon *Hukill* [1] bei seiner Gleichung benützt. Die Gleichungen zeigen nur in einem begrenzten Bereich eine gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Werten; ferner ist in den Gleichungen der eben genannten Forscher der Einfluß von Lufttemperatur, -geschwindigkeit und Anfangsfeuchtegehalt des Korns nicht berücksichtigt. Die in **Bild 1** dargestellten Trocknungskurven für verschiedene Lufttemperaturen wurden nach der Gleichung von *Thompson* [5] berechnet, der erstmals in seinem Ansatz die Lufttemperatur berücksichtigt. Für den späteren Vergleich mit eigenen Messungen ist zu bemerken, daß *Thompson* seine experimentellen Untersuchungen bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten ( $v_L = 0,1 \dots 0,3$  m/s) und z.T. bei sehr niedrigen Anfangsfeuchtegehalten ( $U_0 = 0,19 \dots 0,33$ ) vornahm. Zur dimensionslosen Darstellung der Trocknungskurven in Form des Feuchtegradverhältnisses ist, wie auch *van Rest* und *Isaacs* [10] feststellten, zu bemerken, daß der für den Verlauf der Trocknungskurve wichtige Einfluß des Anfangsfeuchtegrades  $X_0$  nicht unmittelbar erkennbar ist.

## 3. Die Trocknungsgeschwindigkeit bei Einzelkornschichten

Untersuchungen des Trocknungsverhaltens von Weizen zeigten, daß die Trocknung bei den vorkommenden Anfangsfeuchtegehalten im Bereich abnehmender Trocknungsgeschwindigkeit (zweiter Trock-



**Bild 1.** Verlauf des Feuchtegradverhältnisses  $\xi$  in Abhängigkeit von der Trocknungszeit  $t$  berechnet nach der Gleichung von *Thompson* [5].

nungsabschnitt) verläuft. Da Körnermais mit einem wesentlich höheren Anfangsfeuchtegehalt geerntet wird, ist insbesondere bei höheren Trocknungslufttemperaturen zu untersuchen, ob kurzzeitig auch eine Periode konstanter Trocknungsgeschwindigkeit (erster Trocknungsabschnitt) auftritt.

## 4. Verlauf der Korntemperatur bei konstanten Trocknungsbedingungen

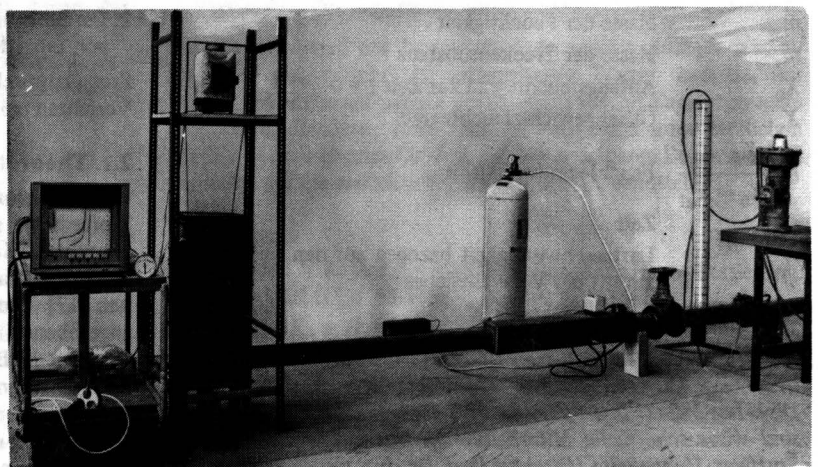
Für das Beurteilen des Trocknungsprozesses ist der Verlauf der Korntemperatur von entscheidender Bedeutung. Bei der Anwendung hoher Trocknungslufttemperaturen ist zum Vermeiden einer Schädigung im Nährstoffgehalt des Körnermaises die genaue Kenntnis des Verlaufs der Korntemperatur sogar unerlässlich. *Hustrulid* und *Flikke* [9] sowie *Henderson* und *Pabis* [8] nahmen Untersuchungen bei niedrigen Anfangsfeuchtegehalten und Lufttemperaturen unter  $100^\circ\text{C}$  in dieser Richtung vor. Die von ihnen aufgestellte Gleichung erlaubt nur eine näherungsweise Bestimmung der Korntemperatur. Zuverlässiger kann die Korntemperatur experimentell mit Hilfe von im Mais Korn angebrachten Thermoelementen bestimmt werden. Bei unseren Untersuchungen wurde die Korntemperatur bei Lufttemperaturen über  $80^\circ\text{C}$  und bei höheren Anfangsfeuchtegehalten des Körnermaises gemessen.

## 5. Versuchsbeschreibung

Für die Untersuchungen wurde die in **Bild 2** gezeigte Versuchsanlage benutzt. Der Luftdurchsatz wurde mittels Meßleitung und eingebauter Blende bestimmt. Zum Erwärmen der Trocknungsluft dienten Gasbrenner verschiedener Wärmeleistung. Durch Regeln des Gasdrucks war ein Einstellen der gewünschten Lufttemperatur in weiten Bereichen möglich. In einem Ausgleichsbehälter war eine Kiesschicht eingebracht worden, um eine gleichmäßige Luftströmung zu erhalten. Eine Feuchteregelelung der Trocknungsluft war bei diesen Versuchen nicht vorgesehen. Die relative Feuchte der Luft lag bei sämtlichen Versuchen im Bereich  $< 0,05$ . Zum fortlaufenden Aufzeichnen der Außen- und Trocknungslufttemperatur diente ein 24-Punkt-Kompensationsschreiber. Die Gewichtsabnahme der Einzelkornschicht wurde in bestimmten Zeitabständen mit der Laborwaage ermittelt.

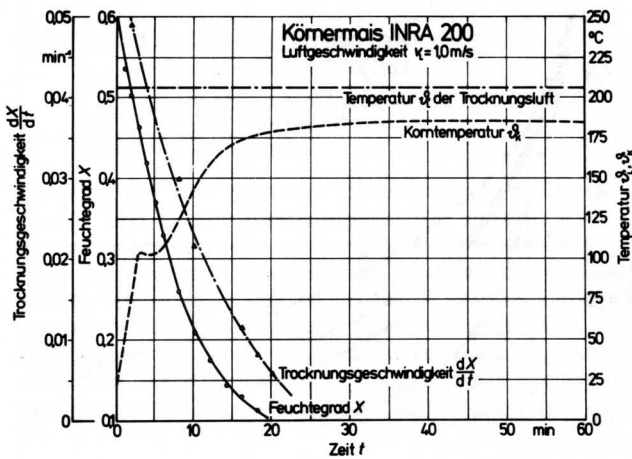
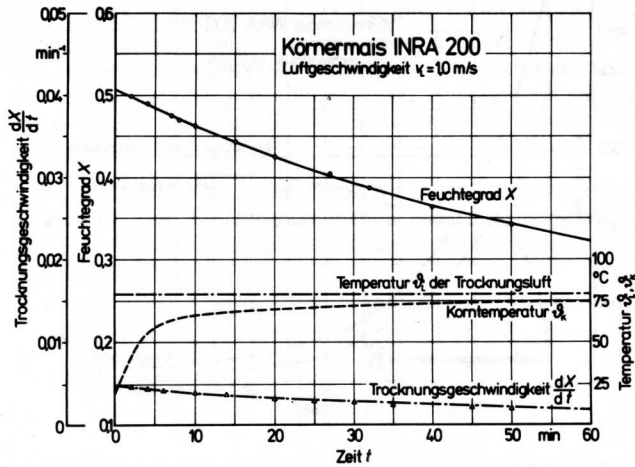
## 6. Versuchsausführung

Nachdem zu Beginn der Versuche Luftgeschwindigkeit und -temperatur auf konstante Werte eingestellt waren, wurde nach Erreichen des gewünschten Betriebszustandes eine 300-g-Probe gleichmäßig auf einem Maschensieb verteilt (nur unbeschädigte Körner, kein Bruchkorn) und in den Luftstrom gebracht. Die Gewichtsabnahme der Einzelkornschicht wurde im Bereich der Anfangstrocknung alle 30 s abgelesen. Im Bereich der Endtrocknung genügte eine Ablesung in Abständen von 10 min. Die Gewichtsabnahme konnte ohne Unterbrechung des Trocknungsvorgangs ermittelt werden



**Bild 2.**  
Versuchsanlage zur Ermittlung des Trocknungsverhaltens von Einzelkornschichten.

**Bild 3.** Ergebnisse eines Trocknungsversuchs bei  $\vartheta_L = 80^\circ\text{C}$  und  $v_L = 1,0\text{ m/s}$ .



**Bild 4.** Ergebnisse eines Trocknungsversuchs bei  $\vartheta_L = 200^\circ\text{C}$  und  $v_L = 1,0\text{ m/s}$ .

und ließ sich im Bereich der Anfangstrocknung ausreichend genau erfassen. Gemessen wurde bei Lufttemperaturen von  $\vartheta_L = 80, 110, 140, 170$  und  $200^\circ\text{C}$  und mit den beiden Luftgeschwindigkeiten  $v_L = 0,5$  und  $1\text{ m/s}$ .

## 7. Versuchsergebnisse

### 7.1. Trocknungskurven

In den **Bildern 3 und 4** sind der Verlauf von Feuchtegrad, Trocknungsgeschwindigkeit und Korntemperatur für zwei verschiedene Lufttemperaturen bei konstanter Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Die Diagramme geben die Verhältnisse am unteren und oberen Grenzwert ( $\vartheta_L = 80$  und  $200^\circ\text{C}$ ) des untersuchten Temperaturbereichs wieder; sie zeigen deutlich den großen Temperatureinfluß auf die ermittelten Größen.

### 7.2. Einfluß der Lufttemperatur

**Bild 5** gibt den Einfluß der Lufttemperatur auf die Feuchtegradabnahme bei konstanter Luftgeschwindigkeit wieder. Die ausgezogenen Kurven wurden mit Hilfe der aus den Versuchsergebnissen abgeleiteten Gl. (1) (vgl. Abschnitt 8.) berechnet. Zum besseren Vergleich der Kurven wurde die dimensionslose Darstellung in Form des Feuchtegradverhältnisses  $\xi$  gewählt. Aus dem Verlauf der Kurven in **Bild 5** ist der Einfluß der Lufttemperatur auf das Trocknungsverhalten von Körnermais ersichtlich. So wird nach 20 min bei  $\vartheta_L = 80^\circ\text{C}$  ein Feuchtegradverhältnis von  $\xi = 0,82$  und

bei  $\vartheta_L = 200^\circ\text{C}$  ein  $\xi$  von 0,18 erreicht; dies bedeutet, daß bei einer Lufttemperatur von  $200^\circ\text{C}$  nach 20 min die Trocknung abgeschlossen ist, während man sich bei  $\vartheta_L = 80^\circ\text{C}$  noch im Bereich der Anfangstrocknung befindet.

### 7.3. Einfluß der Luftgeschwindigkeit

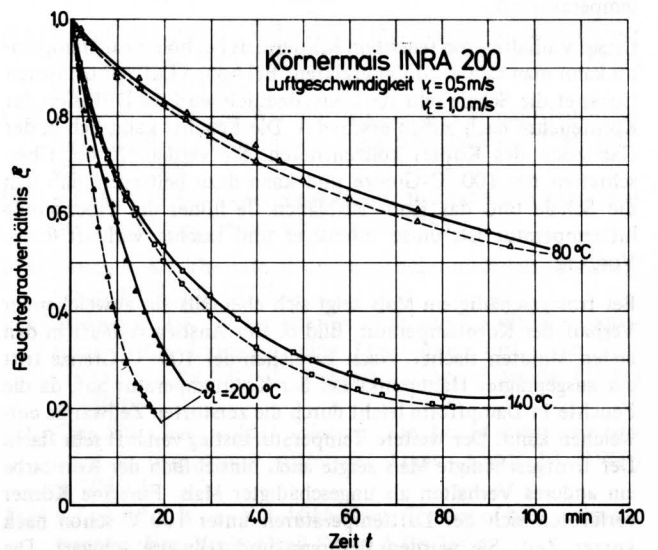
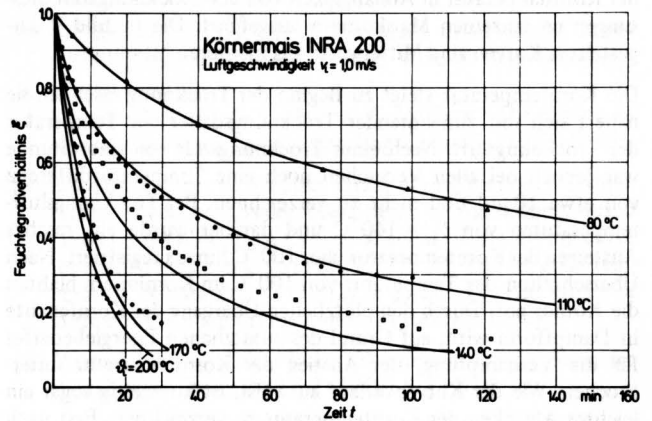
Um den Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf das Trocknungsverhalten von Einzelkornschichten zu überprüfen, wurden die Versuche mit zwei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten  $v_L = 0,5$  und  $1,0\text{ m/s}$  ausgeführt. Die in **Bild 6** aufgetragenen Kurven zeigen, daß mit zunehmender Lufttemperatur auch ein steigender Einfluß der Luftgeschwindigkeit vorhanden ist.

### 7.4. Einfluß des Anfangsfeuchtegrades

Der Anfangsfeuchtegrad des Körnermais lag bei den Versuchen zwischen  $X_0 = 0,48$  und  $0,62$  (dies entspricht einem Anfangsfeuchtegehalt von  $U_0 = 0,32$  und  $0,37$ ). Wie bereits vorstehend festgestellt, beeinflusst der Anfangsfeuchtegrad des Körnermais das Trocknungsverhalten weitgehend. Bei gleichen Trocknungsbedingungen erhöht sich die Trocknungsgeschwindigkeit  $dX/dt$  mit zunehmendem Anfangsfeuchtegrad  $X_0$ . Die **Bilder 1 und 5** zeigen anschaulich den Einfluß des Anfangsfeuchtegrades. Die mit Hilfe

**Bild 5.** Verlauf des Feuchtegradverhältnisses  $\xi$  in Abhängigkeit von der Trocknungszeit  $t$  für Lufttemperaturen  $\vartheta_L = 80 \dots 200^\circ\text{C}$ ,  $v_L = 1,0\text{ m/s}$ .

Die experimentell ermittelten Werte sind als Meßpunkte eingezeichnet. Ausgezogene Linien geben berechneten Verlauf nach Gl. (1) wieder



**Bild 6.** Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf das Trocknungsverhalten von Einzelkornschichten.

der Gleichung von *Thompson* berechneten Kurven, Bild 1, ergeben bei gleichen Lufttemperaturen einen flacheren Verlauf von  $\xi$ , da er seine Gleichung auf Grund von Versuchen bei niedrigen Anfangsfeuchtgraden aufstellte. Der Vergleich bestätigt ferner den früheren Hinweis, daß bei der dimensionslosen Darstellung der Trocknungskurven der Anfangsfeuchtgrad des untersuchten Gutes anzugeben ist.

### 7.5. Auswirkungen von Frostschädigungen

Um den in der Literatur erwähnten Einfluß einer Frostschädigung auf das Trocknungsverhalten festzustellen, wurden Versuche mit Körnermais vorgenommen, der einige Tage lang Frost ausgesetzt war. In Bild 7 sind Feuchtgradverlauf, Trocknungsgeschwindigkeit und Korntemperatur von einem Versuch mit frostgeschädigtem Gut bei  $\vartheta_L = 140^\circ\text{C}$  und  $v_L = 1,0\text{ m/s}$  aufgetragen. In Bild 8 ist der Einfluß der Frostschädigung auf das Trocknungsverhalten im Vergleich zu ungeschädigtem Gut dargestellt. Aus dem Kurvenverlauf ist ein erheblicher Einfluß der Frostschädigung auf die Trocknungsgeschwindigkeit erkennbar. Sie liegt wesentlich höher als bei ungeschädigtem Mais. Die Ursache dürfte in einer teilweisen Zerstörung der Zellwände zu suchen sein. Dadurch wird die Diffusion der Feuchte aus dem Korninnern an die Oberfläche begünstigt.

### 7.6. Verlauf der Korntemperatur

Bei den einzelnen Versuchen wurden zum Ermitteln des Verlaufs der Korntemperatur in Abhängigkeit von der Trocknungszeit Messungen an einzelnen Maiskörnern ausgeführt. Die in Bild 9 dargestellten Kurven sind Mittelwerte aus mehreren Messungen.

Die Korntemperatur steigt zu Beginn der Trocknung rasch an, sie nähert sich mit zunehmender Trocknungsdauer der Temperatur der Trocknungsluft. Nach einer Trocknungszeit von einer Stunde war jedoch bei allen Versuchen noch eine Temperaturdifferenz von etwa 10 Grad und mehr zu verzeichnen. Bei Trocknungslufttemperaturen von  $\vartheta_L = 140^\circ\text{C}$  und darüber wurde ein rasches Ansteigen der Korntemperatur über  $100^\circ\text{C}$  hinaus registriert. Nach Überschreiten der Temperatur von  $100^\circ\text{C}$  im Korninnern blähten die Körner auf. Durch den plötzlichen Übergang der Kornfeuchte in Dampfform wird, auf Grund des zusätzlichen Energiebedarfes für die Verdampfung, der Anstieg der Korntemperatur unterbrochen. Wie der Kurvenverlauf ausweist, ist kurzzeitig sogar ein leichtes Absinken der Korntemperatur zu verzeichnen. Erst nach einigen Minuten tritt wieder ein langsames Ansteigen der Korntemperatur auf.

Dieses Verhalten von feuchtem Körnermais bei hoher Lufttemperatur kann man sich wie folgt erklären: Bei hohen Lufttemperaturen trocknet die Schale sehr stark aus; dadurch wird die Diffusion der Kornfeuchte nach außen erschwert. Die Feuchte kann sich in der Randzone des Kornes konzentrieren. Sie verdampft bei Überschreiten der  $100^\circ\text{C}$ -Grenze und kann dazu beitragen, daß sich die Schale und das Korn aufblähen. Je höher die Trocknungslufttemperatur ist, umso intensiver und rascher verläuft dieser Vorgang.

Bei frostgeschädigtem Mais zeigt sich ebenfalls ein abweichender Verlauf der Korntemperatur, Bild 6. Der Anstieg verläuft in den ersten Minuten flacher. Nach Erreichen der  $100^\circ\text{C}$ -Grenze tritt ein ausgeprägter Haltepunkt bei der Korntemperatur auf, da die Feuchte in Dampfform leicht durch die zerstörten Zellwände entweichen kann. Der weitere Temperaturanstieg verläuft sehr flach. Der frostgeschädigte Mais zeigte auch hinsichtlich der Kornfarbe ein anderes Verhalten als ungeschädigter Mais. Einzelne Körner verfärbten sich bei Lufttemperaturen unter  $100^\circ\text{C}$  schon nach kurzer Zeit: Sie wurden tiefbraun und teilweise schwarz. Die Ursache für dieses Verhalten dürfte in Veränderungen der Stärke, des Eiweißes und anderer Stoffe liegen. Eine genauere Untersuchung dieses Vorganges ist vorgesehen.

Bild 7. Ergebnisse eines Trocknungsversuchs mit frostgeschädigtem Mais.

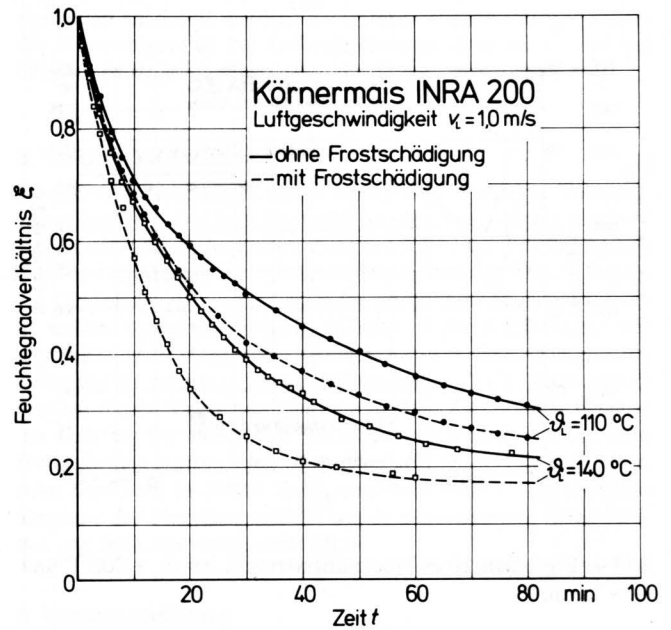
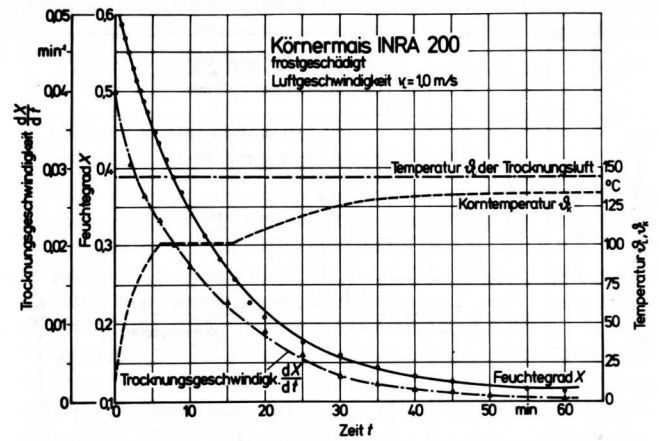


Bild 8. Einfluß der Frostschädigung auf das Trocknungsverhalten von Körnermais.

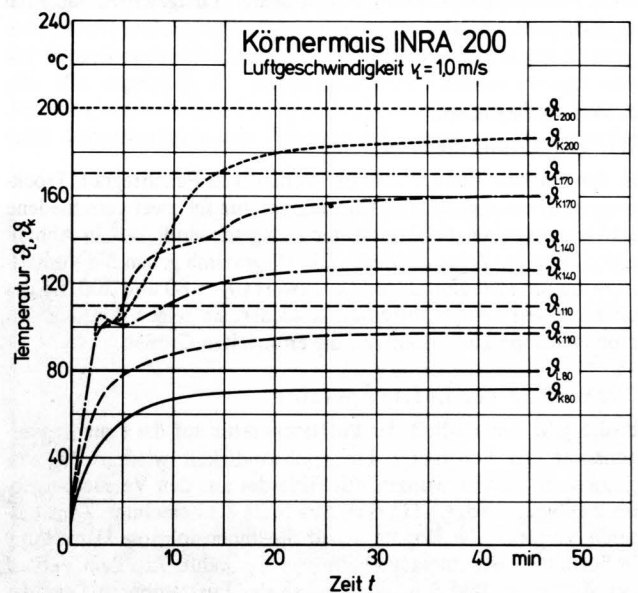


Bild 9. Verlauf der Korntemperaturen bei konstanter Luftgeschwindigkeit.

## 8. Analytische Behandlung des Feuchtegradverlaufes

Zur analytischen Untersuchung der Versuchsdaten diente ein Digitalrechner; sie sollte dazu dienen, eine mathematische Beziehung zwischen dem Feuchtegradverhältnis  $\xi$  und der Zeit  $t$  in Abhängigkeit von den Versuchsparametern Lufttemperatur  $\vartheta_L$  und Anfangsfeuchtegrad  $X_0$  aufzustellen. Die Berücksichtigung des Luftgeschwindigkeitseinflusses mußte zurückgestellt werden, da die Anzahl der Versuche für eine solche Analyse nicht ausreichte.

Auf Grund der vorliegenden Daten wurde zwischen der Trocknungszeit  $t$ , dem Feuchtegradverhältnis  $\xi$ , der Lufttemperatur  $\vartheta$  und dem Anfangsfeuchtegrad  $X_0$  folgender funktionaler Zusammenhang ermittelt

$$t = A_1 \left[ \frac{\vartheta_L - 79}{30} \right]^{B_1} \cdot \left[ \frac{X_0 - 30}{D} \right]^{C_1} \cdot \ln \xi + A_2 \left[ \frac{\vartheta_L - 79}{30} \right]^{B_2} \cdot \left[ X_0 - E \right]^{C_2} \cdot (\ln \xi)^2 \dots \dots (1),$$

wobei die Größen  $A_i, B_i, C_i$ , für  $i = 1, 2$  in getrennten Rechnungen mit Hilfe der Regressionsanalyse bestimmt wurden.

Diese Gleichung ist in folgenden Bereichen gültig:

$$\begin{aligned} 80^\circ\text{C} &\leq \vartheta_L \leq 200^\circ\text{C} \\ 0,45 &\leq X_0 \leq 0,65 \\ 0,5 \text{ m/s} &\leq v_L \leq 1,0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Die Werte der Konstanten und Exponenten sind in Tafel 1 für  $v_L = 0,5$  und  $1,0$  m/s zusammengefaßt. Die aufgeführten Stoffkonstanten und Exponenten beinhalten die in vorstehender Gleichung nicht erfaßten Einflußgrößen wie Luftgeschwindigkeit, Gutart, -beschaffenheit und andere. Ferner ist in Tafel 1 der Vertrauensbereich der Regressionskoeffizienten angegeben. In Bild 5 sind für den untersuchten Temperaturbereich die experimentell ermittelten Werte (s. Meßpunkte) vergleichsweise mit den nach Gl. (1) errechneten (s. ausgezogene Kurven) aufgetragen.

Tafel 1. Mit Hilfe der Regressionsanalyse bestimmte Konstanten und Exponenten für Gl. (1).

Stoffkonstanten, Exponenten	$v_L = 0,5 \text{ m/s}$		$v_L = 1 \text{ m/s}$	
	Regressionskoeffizient	Vertrauensbereich $p = 0,1$	Regressionskoeffizient	Vertrauensbereich $p = 0,1$
$A_1$	21,6	$\pm 0,4$	4,2	$\pm 5,6$
$A_2$	e22,3	$\pm 6,7$	e13,6	$\pm 10,3$
$B_1$	-0,46	$\pm 0,25$	-0,43	$\pm 0,2$
$B_2$	0,9	$\pm 2,9$	-3,66	$\pm 5,3$
$C_1$	0,58	$\pm 1,6$	0,43	$\pm 1,79$
$C_2$	-7	$\pm 3,9$	-1,4	$\pm 4,3$
$D$	20	-	1	-
$E$	32	-	44	-

Bild 5 zeigt, daß das Trocknungsverhalten von Körnermais, mit Ausnahme des Bereiches von  $140^\circ\text{C}$  Lufttemperatur, mit guter Näherung durch Gl. (1) erfaßt wird. Wegen der begrenzten Anzahl von Versuchen war eine genauere Analyse nicht möglich. Die Unstetigkeit im Temperaturbereich  $140^\circ\text{C}$  ist vermutlich durch das thermische Verhalten des Maiskornes bedingt. Wie aus Bild 9 zu ersehen ist, steigt bei  $140^\circ\text{C}$  Lufttemperatur die Korntemperatur schon nach kurzer Zeit über  $100^\circ\text{C}$  an. Hierbei treten Veränderungen in der Struktur des Maiskornes auf, bedingt durch das Verdampfen des im Korninneren enthaltenen Wassers (wie bereits in Abschnitt 7.6. beschrieben). Beim Überschreiten der Temperatur von  $100^\circ\text{C}$  im Korninneren ergibt sich somit ein anderes Trocknungsverhalten.

Ferner zeigen die gemessenen Werte, Bild 5, daß bei der Trocknung von feuchtem Körnermais mit hohen Lufttemperaturen eine Periode konstanter Trocknungsgeschwindigkeit auftritt. Da die Versuche für eine eindeutige Aussage nicht ausreichten, wurde im Ansatz von Gl. (1) der lineare Teil der Trocknungskurven im Bereich der Anfangstrocknung noch nicht berücksichtigt. Zu einer besseren Annäherung des tatsächlichen Trocknungsverlaufs bei der Trocknung von Einzelkornschichten mit einem verbesserten Gleichungsansatz sind weitere Untersuchungen nötig.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] • Hukill, W. V.: Drying of grain. In: J. A. Anderson u. A. V. Alcock: Storage of cereal grains and their products. Amer. Ass. of Cereal Chemists. St. Paul/Minn. 1954, S. 402/35.
- [2] Isaacs, G. W.: Compute simulation — a help in research and design. Braunschweig: VDI-Fachgruppe Landtechnik 1967.
- [3] Zachariah, G. L., u. G. W. Isaacs: Simulating a moisture-control-system for a continuous flow drier. Trans. ASAE 9 (1966) S. 297/302.
- [4] Schroeder, M. E., u. R. M. Peart: Dynamic programming method of air allocation in a grain dryer. Trans. ASAE 10 (1967) S. 96/99.
- [5] Thompson, T. L., R. M. Peart u. G. H. Foster: Mathematical simulation of grain drying — a new model. ASAE-Paper Nr. 67-313. Saskatoon, Saskatchewan Juni 1967.
- [6] Graham, D. L.: Concurrent-flow grain dryer design study and proposal. Unpublished report. M. & W. Gear Company, Gibson City/III.
- [7] Simmonds, W. H., G. T. Ward u. E. McEven: The drying of wheat grain. Trans. Instn. chem. Engr., London (1953) S. 265.
- [8] Henderson, S. M., u. S. Pabis: Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. J. Agr. Engng. Res. 6 (1961) S. 169/74; II. A Critical analysis of the drying curve for shelled maize. 6 (1961) S. 272/77; III. The air/grain temperature relationship. 7 (1962) S. 21/26; IV. The effect of airflow rate on the drying index. 7 (1962) S. 85/89.
- [9] Hustrulid, A., u. A. M. Flickle: Theoretical drying curve for shelled corn. Trans. ASAE 2 (1959) S. 112/14.
- [10] van Rest, D. J., u. G. W. Isaacs: Exposed-layer drying rates of corn. Trans. ASAE 11 (1968) S. 236/39.
- [11] Page, G. E.: Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers. M.S. thesis, Purdue Univ. Lafayette/Ind. 1949.
- [12] • Dietrich, N.: Die Warmlufttrocknung von naturfeuchtem und künstlich befeuchtetem Weizen-Einzelkorn. Diss. T. H. München 1956.
- [13] • Lykow, A. W.: Experimentelle und theoretische Grundlagen der Trocknung. Berlin: VEB Verlag 1955.
- [14] Lewis, W. K.: The rate of drying of solid materials. Ind. Eng. Chem. (1921) S. 427/32.
- [15] Sherwood, T. K.: I. Application of theoretical diffusion equations to the drying of solids. Trans. Amer. Inst. chem. Eng. (1931) S. 190/220; II. The air drying of solids. (1936) S. 150/68.
- [16] Chin Shu Chen u. W. H. Johnson: Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. Trans. ASAE 12 (1969) S. 109/13.
- [17] • Lykow, A. W., u. Y. A. Mikhailow: Theory of heat and mass transfer. New York: Danil Davey & Co 1965.
- [18] Sprenger, J. J. I.: Vorschlag für die Berechnung von Trocknern, insbesondere von Darren. Ch. Chemische Technik 3 (1957) S. 27/35.