

Die zulässigen Temperaturen bei der Warmluft-Körnertrocknung¹⁾

(Auswertung einer Studienreise in die Sowjetunion)

Auf dem Gebiete der Trocknung sind mehrere Institute der Sowjetunion außerordentlich intensiv tätig. Allein an der Trocknung landwirtschaftlicher Produkte wird in drei Instituten geforscht, und zwar im Allunions-Institut für Mechanisierung und Elektrifizierung der Landwirtschaft (WIM), im Allunions-Institut für Landmaschinenbau (WISChOM) und im Allunions-Institut für wissenschaftliche Getreideforschung (WNIIS).

Versuchsbeschreibung

Im Institut WIM hat sich kand. d. techn. Wissenschaften PTIZIN mit der Frage beschäftigt, welche Temperaturen Getreide- und sonstige Samenkörner vertragen, ohne daß Schäden zu befürchten sind. Als Kriterium für die Gesundheit des Korns diente dabei die Keimkraft, d. h. der Anteil der nach drei Tagen gekeimten Körner.

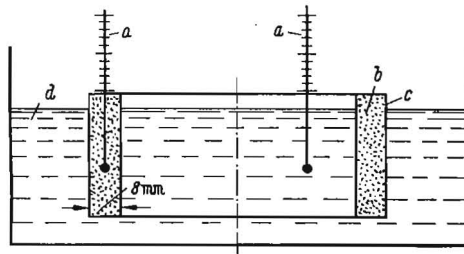


Bild 1. Aufbau des Thermostaten zur Untersuchung von Körnern (schematisch); a Thermometer, b Getreide, c Ringzylinder, d Wasser

Die Versuchsanordnung war verhältnismäßig einfach. In ein auf Untersuchungstemperatur befindliches Wasserbad (Bild 1) wird der als Ringgefäß ausgebildete Körnerbehälter gebracht und die Temperatur im Innern der Körnerschicht mit der Badtemperatur verglichen. Haben die Körner die Badtemperatur erreicht, so beginnt der Versuch. Ein Ringbehälter wurde gewählt, um das Verhältnis Behälteroberfläche : Körnermenge möglichst groß zu machen.

Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit bei konstanter Versuchsdauer

Im ersten Teil der Untersuchung betrug die Dauer der Temperatureinwirkung durchweg 100 min. Die Keimkraftminderung wurde in Hunderten von Versuchen an 12 Körnerkulturen untersucht, darunter Roggen, Weizen, Raps, Hanf, Mais, Bohnen, Erbsen. Die Untersuchung verlief wie folgt:

Eine bestimmte Menge Körner mit konstantem Feuchtigkeitsgehalt wurde in den Ringzylinder gebracht und jeweils 100 min lang verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. Nach dieser Behandlung wurde die Keimkraft festgestellt und mit der Keimkraft des ursprünglichen Materials verglichen.

Das erste Ergebnis dieser Untersuchungen ist in Bild 2 schematisch dargestellt. Es wurde festgestellt:

1. Wie zu erwarten war, sinkt die Keimkraft mit steigenden Temperaturen; der Betrag der Keimkraftminderung ist von der jeweiligen Kultur abhängig.
2. Die Keimkraft sämtlicher Kulturen vermindert sich erst oberhalb einer ganz bestimmten, gemeinsamen, allein vom Feuchtigkeitsgehalt abhängigen Temperatur (bei konstanter Dauer der Temperatureinwirkung).

* Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin (Direktor: Professor Dr. S. ROSEGGGER).

¹⁾ Hierzu sei auch auf BEKASSOW/DENISOW: Handbuch der Körnertrocknung. Berlin: VEB Verlag Technik 1956, hingewiesen.

Der Einfluß der Körnerfeuchtigkeit wurde noch näher untersucht, mit dem Ziel, eine analytische Formulierung für die höchstzulässige Korntemperatur zu finden.

In die verschiedenen, natürlich leicht streuenden Meßpunkte konnte man schließlich eine einfache Hyperbel als gemeinsame Kurve legen.

Die Formel für sie lautet:

$$\vartheta_{kzul} = \frac{q_{100}}{c_k} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

ϑ_{kzul} = zulässige Körnertemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

q_{100} = höchstzulässiger Wärmeinhalt der Körner [kcal/kg] Versuchsdauer 100 min

c_k = spez. Wärme der Körner [kcal/kg $^{\circ}\text{C}$]

Die für alle Kulturen gültige Konstante q_{100} hat den Zahlenwert

$$q_{100} = 23,5 \quad [\text{kcal/kg}]$$

Die spezifische Wärme c_k der Körner errechnet man aus der Summe der spezifischen Wärme der Trockensubstanz (über-

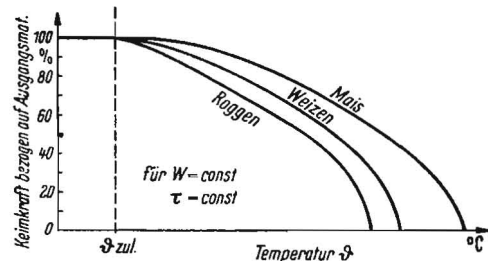


Bild 2. Verminderung der Keimkraft verschiedener Kulturen unter dem Einfluß der Temperatur

wiegend Stärke mit $c = 0,37 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$) und des Wassers ($c = 1 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C}$)

$$c_k = \frac{0,37(100 - f) + f}{100} \quad [\text{kcal/kg } ^{\circ}\text{C}]$$

f = Feuchtigkeit der Körner (bezogen auf Feuchtgewicht) [%]

Die zahlenmäßige Auswertung erfolgt in Tafel 1.

Tafel 1. Zulässige Körnertemperatur bei verschiedener Feuchtigkeit (Dauer der Temperatureinwirkung: 100 min)

f %	0	5	10	15	20	25	30
ϑ_{zul} $^{\circ}\text{C}$	64	58	54	51	47	44	42

Einfluß der Dauer der Temperatureinwirkung

Im zweiten Teil der Untersuchungen befaßte sich PTIZIN mit dem Einfluß der Zeit auf die zulässige Höchsttemperatur. Hierbei wurde die Temperatur konstant gehalten und die Zeit verändert.

Ausgehend von der an sich bekannten Tatsache, daß sich bei chemischen Prozessen die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt, wenn die Temperatur um 5 bis 7grd steigt, wurde zunächst die folgende Formel überprüft:

$$[\tau = \tau_0 \cdot 2^{\frac{\Delta\vartheta}{5}}]$$

τ = Dauer der zulässigen Temperatureinwirkung [min]
 $\Delta\vartheta$ = Temperatursteigerung gegenüber dem bei 100 min zulässigen Wert

Man erkennt unschwer, daß τ bei 5grd Temperaturerhöhung tatsächlich halbiert wird.

Bei der experimentellen Überprüfung stellte sich jedoch heraus, daß die Keimkraft nicht dieser Gesetzmäßigkeit gehorcht, sondern bereits bei einer Temperaturerhöhung um 3 grd nur noch die halbe Einwirkungsdauer verträgt.

Der für alle Körnerarten gültige Zusammenhang zwischen Temperaturänderung und Dauer der Temperatureinwirkung lautet deshalb:

$$\tau = \tau_0 \cdot 2^{-\frac{\Delta\theta}{3}}$$

$\tau_0 = 100 \text{ min}$ = Dauer der Temperatureinwirkung beim Grundversuch

$\Delta\theta$ = Temperatursteigerung gegenüber dem bei 100 min zulässigen Wert.

Formel für die zulässige Temperatur

Verbindet man die beiden Gesetzmäßigkeiten, so gelangt man zur vollständigen Formel nach PTIZIN:

$$\vartheta_{kzul} = \frac{23,5}{c_k} + (20 - 10 \lg \tau) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

c_k = spez. Wärme des Kornes [kcal/kg $^\circ\text{C}$]

τ = Dauer der Temperatureinwirkung [min].

In Bild 3 wurde diese Formel im Bereich 1 bis 1000 min graphisch ausgewertet.

Bereits HUTCHINSON hat für den selben Zweck eine Formel ermittelt; sie lautet (nach Umrechnung in $^\circ\text{C}$):

$$\vartheta_{kzul} = 130 - 5 \lg \tau - 44 \lg f \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Für 100 min Temperatureinwirkung liefert diese Formel Werte, die gegenüber der PTIZINSchen Formel um etwa 8 grd zu hoch liegen. Der Einfluß der Versuchsdauer auf die zulässige Temperatur ist nur halb so groß angenommen, wie bei der PTIZINSchen Formel, d. h. bereits bei 1,5 grd Temperatursteigerung vermindert sich die zulässige Dauer der Temperatureinwirkung auf die Hälfte.

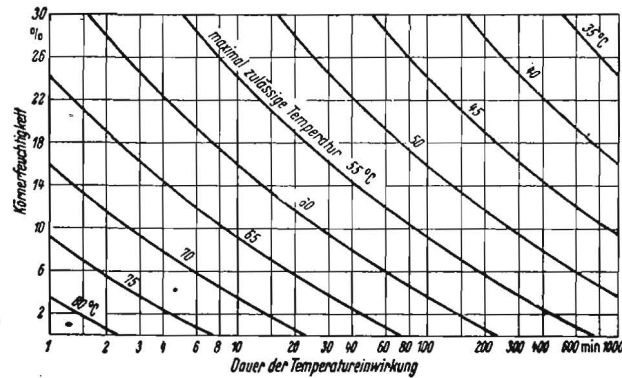


Bild 3. Die zulässige Körnerhöchsttemperatur in Abhängigkeit von Körnerfeuchtigkeit und Dauer der Temperatureinwirkung

Die bestehenden Differenzen zwischen den beiden Formeln lassen sich sowohl durch unterschiedliche Untersuchungsmethoden und Materialien als auch durch unterschiedliche Auswertung der Keimkraftkurven erklären. Der kritische Punkt der Kurve ist ja nicht durch einen Knick eindeutig festgelegt, sondern muß recht subjektiv eingetragen werden.

Die PTIZINSche Formel gibt höhere zulässige Temperaturen an, als wir bisher angenommen hatten. Diese sind aber auf der anderen Seite niedriger als die nach HUTCHINSON ermittelten Temperaturen. Auch aus Sicherheitsgründen ist deshalb die PTIZINSche Formel der von HUTCHINSON vorzuziehen.

Anwendung beim Schachttrockner

Kennt man erst einmal die für das Korn zulässige Höchsttemperatur, so kann man auch die höchstzulässige Lufttemperatur beispielsweise in einem Schachttrockner ermitteln.

Durch den Einfluß der Dauer der Temperatureinwirkung auf die höchstzulässige Temperatur ist es notwendig, diejenige

Zeit zu bestimmen, während der das Korn der höchsten Temperatur ausgesetzt ist. Am Beispiel eines Schachttrockners soll der Rechnungsgang näher erläutert werden (Bild 4).

Die gefährdete Getreideschicht ist zweifelsohne die, die dem warmen Luftstrom unter den Dachkanälen direkt ausgesetzt ist. Es gilt: Die Aufenthaltsdauer in der Warmzone verhält sich (bei konstanter Wanderungsgeschwindigkeit) zur gesamten Durchlaufzeit wie die Strecken l_w zur Gesamtstrecke:

$$\frac{\tau_w}{\Sigma \tau} = \frac{l_w}{\Sigma l}$$

Die Durchlaufzeit $\Sigma \tau$ läßt sich aus dem Fassungsvermögen Q kg und der Trocknerleistung G kg/h errechnen:

$$\Sigma \tau = \frac{Q}{G} \text{ [h]}$$

Errechnet man z. B. für einen bestimmten Trockner eine Warmzeit τ_w von 10 min, und nimmt man an, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Kornoberfläche mit seiner empfindlichsten Stelle, dem Keim, durch die unmittelbare Berührung mit der Warmluft praktisch Null ist, wenn die Temperatur auf gefährlich hohe Werte ansteigt, so ergibt sich nach PTIZIN als zulässige Höchsttemperatur an der Oberfläche:

$$\vartheta_{kzul} = \frac{23,5}{0,37} + (20 - 10 \lg 10) = 74 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Da die trockene Kornoberfläche praktisch die Lufttemperatur erreicht, ist der ermittelte Wert gleichzeitig als die höchstzulässige Lufttemperatur anzusehen (Bild 5).

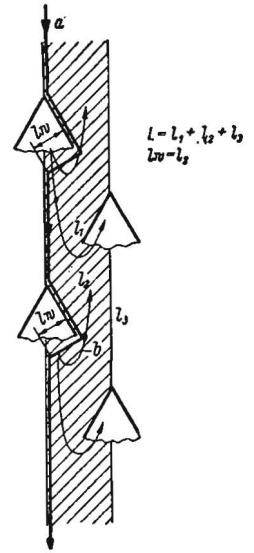


Bild 4. Getreideweglängen; Ausschnitt aus einem Schachttrockner. a Weg des gefährdeten Getreides, b Luftströmung

Zusammenfassung

In der Sowjetunion wird in den zahlreichen außerordentlich gut ausgerüsteten Laboratorien wesentlich mehr erforscht als veröffentlicht. Deshalb ist es nicht verwunderlich, daß auch von den Arbeiten PTIZINS bisher bei uns nichts bekannt geworden ist. PTIZIN hat die Keimkraftminderung unter dem Einfluß von Temperatur, Feuchtigkeit und Zeit untersucht und dabei eine Formel gefunden, die es gestattet, die höchstzulässige Temperatur (bei voller Erhaltung der Keimkraft) für eine bestimmte Feuchtigkeit und eine bestimmte Dauer der Temperatureinwirkung zu errechnen. Die Keimkraft ist die empfindlichste Eigenschaft von Körnern; bleibt sie erhalten, so ist auch keine andere Eigenschaft, wie Keimfähigkeit, Backzahl, Kleberqualität usw. ungünstig verändert worden.

Die Anwendung der PTIZINSchen Formel in der Trocknerpraxis hat eine große wirtschaftliche Bedeutung. Geht man nämlich mit der Lufttemperatur möglichst nahe an den

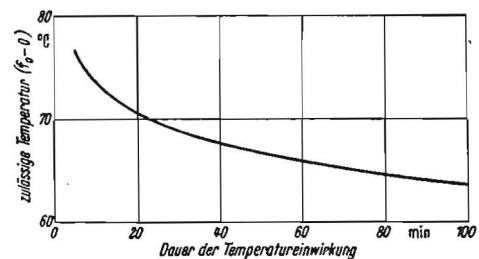


Bild 5. Zulässige Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Dauer der Temperatureinwirkung

Die Hopfentrocknung

Die Trocknung ist wohl die älteste, primitivste und billigste Methode der Konservierung von Grün- bzw. Naßgut. Durch die Trocknung wird den fäulnisserregenden Bakterien und Pilzen das lebensnotwendige Wasser entzogen und dadurch eine Konservierung erreicht.

Die *Lufttrocknung* ist die ursprüngliche Form der Trocknung überhaupt und auch die ursprüngliche Form der Hopfentrocknung. Heute wird sie nur noch in Notfällen angewandt, da sie zu primitiv ist und ihr Gelingen außerordentlich stark von der herrschenden Witterung abhängt.

Der Grünhopfen wird dabei auf die Holzfußböden der Dachböden von Häusern und Scheunen in dünner Schicht ausgebreitet und zweimal täglich mit einem Holzrechen gewendet. Die Trockendauer hängt ganz von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Durchlüftungsmöglichkeit der Bodenräume ab. Sie schwankt normal zwischen zwei und zehn Tagen. Bei zu langer Trockenzeit verliert der Hopfen seinen Glanz, ein Zeichen dafür, daß Inhaltsstoffverluste eintreten, die im Endeffekt bis zur Wertlosigkeit des Trockengutes führen können.

Wegen des zu hohen Raumbedarfs von 80 m² Bodenfläche zur Erzeugung von 50 kg Trockenhopfen wurden mehrere mit Drahtgeflechtböden versehene Horden übereinandergestellt. Wenngleich so der Raumbedarf eingeschränkt wurde, die Trockenzeit und damit das Risiko des Qualitätsverlustes konnten hiermit nicht verringert werden.

Durch die Verwendung von Horden wurde jedoch der erste grundlegende Gedanke für die künstliche Trocknung geboren. Unter den übereinandergestellten Horden brauchte nur noch eine künstliche Wärmequelle angebracht werden, um die Abhängigkeit von der herrschenden Witterung auszuschalten und dadurch die Trockenzeit zu verkürzen.

Allein die *künstliche Trocknung* bietet dem Anbauer Gewähr, daß er den in mühevoller, monatelanger Arbeit erzeugten Hopfen in seiner bei der Pflücke vorhandenen Qualität erhalten und ein ansprechendes Produkt in den Handel bringen kann.

Bis vor etwa 80 Jahren wurde der Hopfen luftgetrocknet. Zu Beginn der Einführung der künstlichen Trocknung hielt man sich noch mehr an die bei der natürlichen Trocknung gewohnten Temperaturen von anfänglich 20 bis 30°, später 40°C. Die Forderung der Unabhängigkeit von der Witterung war mit diesen Temperaturen bereits erfüllt. Mit steigenden Erträgen forderte man ständig höhere Leistung der Darren und man war folglich gezwungen, die Darrtemperaturen zu erhöhen. Die übliche Temperatur in den modernen Trocknungsanlagen beträgt 60°C. Temperaturen über 65°C bringen sichtbare Schäden.

Mit der Einführung der künstlichen Trocknung im Hopfenbau entstand eine Vielzahl von Darrsystemen, die im Laufe der

*) Institut für Acker- und Pflanzenbau der Friedrich-Schiller-Universität Jena (Direktor: Prof. Dr. KLITSCH).

(Schluß von S. 216)

höchstzulässigen Wert, so steigt die Trocknerleistung auf eine optimale Größe. Bisher mußte man aus mangelnder Kenntnis sicherheitshalber weit unter der zulässigen Temperatur bleiben, z. B. durfte Saatgetreide nicht über 40°C warm werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt, wie wichtig es ist, sich auch auf dem Gebiete der Trocknung mit den Forschungsergebnissen aus der Sowjetunion vertraut zu machen. Eine direkte Verbindung mit den einzelnen Instituten ist dabei am fruchtbarsten.

A 3489

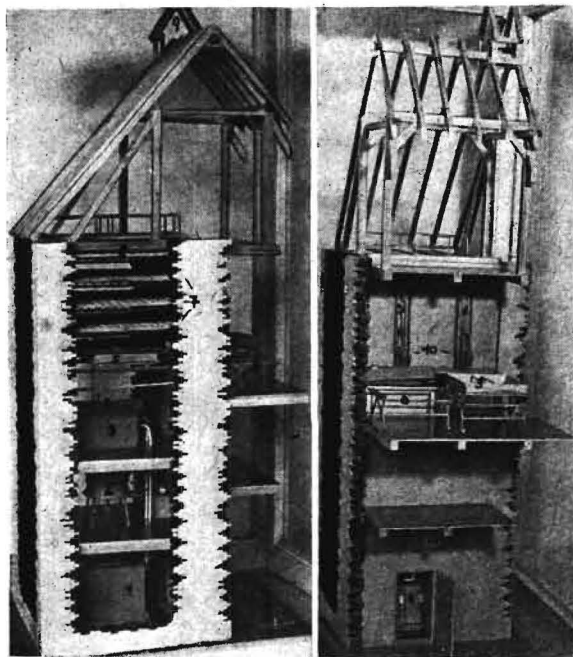


Bild 1a und b. Ansicht eines Hopfentrocknermodells „Dampfluftheritzer“ des VEB Mälzerei- und Speicherbau, Erfurt.
1 Dampfkessel, 2 Gebläse, 3 Wärmeaustauscher, bestehend aus Dampfplatten, 4 Luftverteiler, 5 Auszugshorde, 6 Auszugswagen, 7 Kippborden, 8 Aufschütthorde, 9 Dunstfänger, 10 Bedienungshebel für die Kippborden

Zeit bis auf einige wenige verschwunden sind. Bei den primitivsten Darren, die anfänglich benutzt wurden, führte man die Feuergase direkt durch die Horden. Wegen hoher Brandgefahr, Verunreinigungen durch hochfliegende Ascheteilchen und starker Aromabeeinträchtigung durch Rauchgase wurden diese Typen als erste verworfen.

Heute ist ein moderner Hopfenbau ohne leistungsfähige und geeignete Trocknungsanlagen nicht mehr denkbar [3]. Die Trocknungsanlagen arbeiten im Prinzip so, daß die in Heizaggregaten verschiedenster Bauart über einen Wärmeaustauscher erzeugte Warmluft entweder - dem Wärmegesetz folgend - selbsttätig im Darrschacht aufsteigt oder von Ventilatoren bzw. in Luftverteilersystemen zwangsläufig durch die Horden geführt wird. Der Hopfen wandert im Gegenstromprinzip von Horde zu Horde nach unten. Die Horden bestehen aus schmalen, quer nebeneinanderliegenden Jalousien aus Drahtgewebe oder gestanztem Blech, die sich mit in handlicher Höhe angebrachten Hebeln wechselseitig einzeln kippen lassen und den aufliegenden Hopfen ohne mühevollen Handarbeit auf die nächstuntere Horde abkippen. Die unterste Horde ist als Auszugshorde gearbeitet, sie läuft mit Rollen auf Schienen und kann aus dem Schacht auf einen, den Schienen in der Verlängerung angepaßten Wagen herausgezogen werden. Auf diesem Transportwagen wird die Auszugshorde auf den Boden zum Abkippen gefahren und hier entweder durch Drehen um eine waagerechte Achse oder durch Öffnen des Bodens entleert. Nach Einschieben der geleerten Auszugshorde wird Horde auf Horde nach unten abgekippt und die freigewordene oberste Horde, die Aufschütthorde, neu beschickt.

In der DDR sind zwei Hopfentrocknertypen in Gebrauch, nämlich Hopfendarren mit natürlichem und solche mit künstlichem Luftauftrieb.

Die Hopfendarren mit natürlichem Luftauftrieb stammen aus der ÖSR. Die Rauchgase werden nach Verlassen des Heizaggregates durch mehrfach gewinkelte Rohre mit 30 bis 40 cm Dmr. geleitet und erhitzt diese. An diesen Rohren erwärmt sich die am Fuße des Darrschachtes eintretende Frischluft und steigt dadurch selbsttätig in die Höhe, wo sie durch ein pyramidenförmiges Blechdach vor Eintritt in die drei Trockenhorden mit den Abmessungen $4,75 \times 4,75 \text{ m} = 22,5 \text{ m}^2$, die