

J. F. Bergmann, München i Springer-Verlag, Heidelberg und Berlin  
(Nicht im Handel)

## Grenzwerte der relativen Feuchtigkeit und des Wassergehaltes getrockneter Lebensmittel für den mikrobiellen Befall.

Von

Bernd Stille.

Mitteilung aus der Reichsforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung in Karlsruhe.

Mit 1 Textabbildung.

(Eingegangen am 17. Februar 1947.)

Wachstum und Entwicklung aller Mikroorganismen sind an die Gegenwart von Wasser gebunden. Infolgedessen sind getrocknete oder wasserarme Lebensmittel vor mikrobiellem Verderb geschützt. So tritt für die Trocknungsindustrie die Frage in den Vordergrund, bis zu welcher Grenze der Wasserentzug voranzutreiben ist, um Haltbarkeit und Lagerfähigkeit ihrer Erzeugnisse zu gewährleisten, während die Vorratspflege wissen will, wieweit unter ungünstigen Lagerbedingungen gegebenenfalls eine Wiederaufnahme von Wasser aus der umgebenden Luft erfolgen kann, ohne merkliche durch Mikroben verursachte Veränderungen der Lebensmittel befürchten zu müssen.

Die Ermittlung dieser Grenzwerte setzt zunächst die Kenntnis der Wasseransprüche der Mikroorganismen voraus. Diese sind sehr unterschiedlich, und es ist einleuchtend, daß hier nur jene Arten von Interesse sind, die sich durch einen besonders geringen Wasserbedarf auszeichnen. Man bezeichnet sie nach Walter<sup>1</sup> als xerophile Organismen. Zu ihnen gehören ausschließlich Schimmelpilzarten, unter denen nach den bisherigen Feststellungen, insbesondere von Heintzeler<sup>2</sup> und Stille<sup>3</sup>, *Aspergillus glaucus* das Extrem darstellt. Wir sind somit berechtigt, *Aspergillus glaucus* als die Leitform unter den xerophilen Arten zu betrachten.

Die anspruchsloseste Lebensäußerung der Schimmelpilze ist die Sporenkeimung. Sie erfolgt bei *Aspergillus glaucus* noch bei einer relativen Feuchtigkeit von 70% und erfordert somit eine Saugkraft des Protoplasten von etwa 400 Atmosphären. Dieser niedrige Feuchtigkeitswert wird allerdings nur dann erreicht, wenn dem Pilz gleichzeitig optimale Temperaturbedingungen geboten werden (28 bis 30° C). Über- und unteroptimale Temperaturen verschieben diesen Grenzwert beträchtlich, wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist.

Die weitere Entwicklung des Pilzes ist jedoch im engeren Bereiche dieser Feuchtigkeitsgrenze nur sehr beschränkt; es bilden sich stets nur sehr kurze Hyphen

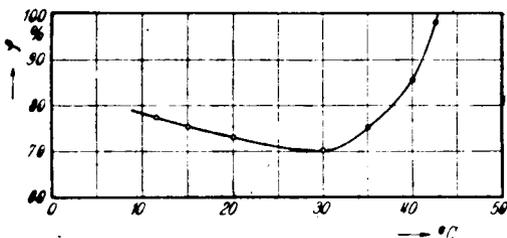


Abbildung 1. *Aspergillus glaucus*; Grenzwerte der zur Sporenkeimung erforderlichen relativen Luftfeuchtigkeit ( $\varphi$ ) bei verschiedenen Temperaturen.

<sup>1</sup> H. Walter, Z. f. Botanik 13, 353 (1924); Die Hydratur der Pflanze. Jena: G. Fischer (1931).

<sup>2</sup> I. Heintzeler, Arch. f. Mikrobiologie 10, 92 (1939).

<sup>3</sup> B. Stille, Vorratspflege u. Lebensmittelforsch. 5, 403 (1942).

aus, deren Wachstum bald völlig zum Stillstand kommt. Zur Entfaltung eines verzweigten Mycel und zur Sporenbildung bedarf es bei optimalen Temperaturverhältnissen einer relativen Feuchtigkeit von mindestens 73%, und erst nach Überschreitung von 75% läßt sich nach längerer Beobachtungsdauer eine geringfügige Ausbreitung des Pilzes makroskopisch erkennen.

Mit diesen Feststellungen läßt sich für die Praxis der Trocknungsindustrie und der Vorratshaltung aussagen, daß der Wassergehalt eines Trockenproduktes so hoch sein darf, daß er mit 75% relativer Feuchtigkeit der umgebenden Luft im Gleichgewicht steht; man braucht dann nicht zu befürchten, daß selbst bei einer langfristigen Lagerung unter ungünstigen Temperaturbedingungen ein Befall durch Mikroorganismen eintritt.

Der absolute Wassergehalt der Lebensmittel und deren Wasserdampfspannung sind zwei voneinander völlig unabhängige Größen — eine Erscheinung, die vor allem auf den unterschiedlichen Anteil an löslichen Stoffen, auf das Vorhandensein von Quellungskörpern und auf kapillare Kräfte zurückzuführen ist. So ist z. B. ein Mehlkleister, der 50% Wasser enthält, physiologisch betrachtet wasserreich und ermöglicht durch seine hohe Wasserdampfspannung eine starke Mikroorganismenflora, während eine 50%ige Rohrzuckerlösung physiologisch wasserarm und den Mikroorganismen nur schwer zugänglich ist. Somit ist also nicht der Wassergehalt, sondern der Grad der Wasserbindung für die Verderbsbereitschaft der Lebensmittel entscheidend.

Überträgt man ein wasserarmes Substrat in einen feuchten Raum, so nimmt es aus der umgebenden Luft soviel Wasser auf, bis seine Wasserdampfspannung schließlich im Gleichgewicht zu der relativen Luftfeuchtigkeit seiner Umgebung steht. Ist dagegen die Wasserdampfspannung des Substrates größer als die seiner Umgebung, so gibt es Wasser ab und wird damit leichter.

Wie bereits erwähnt, sind getrocknete Lebensmittel bis zu einer Dampfspannung, die 75% relativer Feuchtigkeit entspricht, mit Sicherheit vor Schimmelpilzbefall geschützt. Somit verdient die Frage besonderes Interesse, wie groß ihr tatsächlicher Wassergehalt im Bereiche dieses Grenzwertes ist.

Für die Versuche standen verschiedene wasserarme Lebens- und Genußmittel von einwandfreier Beschaffenheit zur Verfügung, von denen bestimmte Probenmengen abgewogen und in Exsikkatoren, die als feuchte Kammern dienten, übertragen wurden. Die gewünschte relative Luftfeuchtigkeit von 75% innerhalb der Versuchsgefäße wurde durch verdünnte  $H_2SO_4$  (spez. Gewicht = 1,2185) aufrechterhalten. Während der Versuchsdauer befanden sich die Gefäße bei einer konstanten Temperatur von 20° C. Wiederholte Wägungen verfolgten die Gewichtszunahme der Proben, und erst, nachdem längere Zeit Gewichtskonstanz erreicht war, wurde die Lagerung abgebrochen. Schließlich wurden die Proben 20 Stunden lang bei 102° C getrocknet, um Wassergehalt und Trockensubstanz zu ermitteln.

Es ergibt sich also, daß der tatsächliche Wassergehalt der untersuchten Trockenprodukte im Gleichgewicht zu einer relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft von 75% sehr beträchtliche Unterschiede aufweist. Den höchsten Wert nimmt das getrocknete Sauerkraut an, und auch die übrigen Trockengemüsearten können recht ansehnliche Wassermengen aufnehmen, ohne dem Befall durch Mikroorganismen anheimzufallen, eine Tatsache, die auf den hohen Anteil an löslichen Stoffen in diesen Erzeugnissen zurückzuführen ist. Demgegenüber weisen jene Produkte, die sich vorwiegend aus wasserunlöslichen Stoffen zusammensetzen, einen wesentlich geringeren Wasseranteil beim Erreichen der kritischen Grenze auf.

Wassergehalt verschiedener Nahrungs- und Genußmittel im Gleichgewichtszustand mit einer relativen Feuchtigkeit von 75 %.

Trockenprodukt	Anfangsgewicht g	% H <sub>2</sub> O*	Endgewicht g	% H <sub>2</sub> O*	Trockengewicht g
Trockenkartoffeln	25,00	6,9	26,97	13,7	23,28
Spinat	25,00	8,2	26,58	13,7	22,94
Grünkohl	25,00	8,7	26,29	13,2	22,83
Wirsing	25,00	12,9	27,65	21,3	21,77
Steinpilze	25,00	9,6	27,00	16,3	22,61
Suppenkräuter	25,00	14,5	27,06	21,0	21,37
Karotten	25,00	11,4	27,96	20,5	22,14
Sauerkraut	25,00	12,1	33,16	33,7	21,98
Rotkohl	25,00	13,9	27,24	21,0	21,51
Weizenmehl	25,00	10,5	25,93	13,7	22,38
Weizengries	25,00	10,7	25,79	13,4	22,33
Roggenmehl	25,00	10,0	25,96	13,4	22,49
Haferflocken	25,00	9,0	25,87	12,0	22,76
Kartoffelmehl	25,00	10,8	25,98	14,2	22,30
Nudeln	25,00	9,1	25,66	11,5	22,72
Knäckebröt	25,00	7,8	26,47	12,9	23,06
Keks	25,00	8,6	26,03	12,3	22,84
Zwieback	25,00	7,2	26,82	13,6	23,19
Reis	25,00	12,4	25,37	13,6	21,91
weiße Bohnen	25,00	10,6	25,77	13,3	22,34
Erbsen	25,00	10,8	25,67	13,1	22,30
Volleipulver	25,00	5,6	26,35	10,4	23,61
schwarzer Tee	25,00	10,8	25,31	11,9	22,30
Rohkaffee	25,00	8,6	25,34	9,8	22,85
Röstkaffee	25,00	4,2	26,46	9,7	23,95
Rauchtobak	20,00	16,0	20,74	19,0	16,80
Zigaretten	19,92	14,1	20,69	17,3	17,11
Zigarren I	26,35	12,7	27,20	15,5	23,00
Zigarren II	24,20	12,5	25,01	15,6	21,12

\* Der in der Tabelle angegebene prozentuale Wassergehalt bezieht sich stets auf das Gesamtgewicht; bei Umrechnung auf Trockensubstanz erhöhen sich die Werte entsprechend.

Die beschriebene Methode gestattet also, in mikrobiologischer Hinsicht eine sichere Aussage über die Haltbarkeit verschiedener wasserarmer Lebens- und Genußmittel zu machen. Es genügt also, eine bestimmte Probemenge der zu untersuchenden Substanz in eine feuchte Kammer zu übertragen, in der eine relative Feuchtigkeit von 75% herrscht: nimmt die Probe darin an Gewicht zu oder bleibt sie gewichtskonstant, dann ist ihre weitere Haltbarkeit auf alle Fälle gewährleistet, verliert sie dagegen an Gewicht, so ist ihr absoluter Wassergehalt zu hoch, so daß — falls die Lagertemperatur 30° C beträgt — mikrobielle Zersetzungen zu befürchten sind.

Unter praktischen Verhältnissen wählt man indessen nach Möglichkeit erheblich tiefere Lagertemperaturen, um alle unerwünschten Veränderungen der Trockenprodukte wesentlich zu verzögern, und in diesen Fällen darf sowohl der Wassergehalt des Lagergutes noch größer sein als auch eine relative Luftfeuchtigkeit von über 75% im Lagerraum herrschen, da die Ansprüche der Mikroorganismen an die Wasserdampfspannung ihrer Umgebung mit sinkender Temperatur steigen. Die mitgeteilten Werte stellen also in mikrobiologischer Hinsicht eine allgemeine Sicherheitsgrenze für die Haltbarkeit der Trockenprodukte unter extrem ungünstigen Lagerbedingungen dar. Sie gelten daher insbesondere auch für das Füllgut von Tropenpackungen, die ja besonderen Temperatureinflüssen gewachsen sein müssen.

Damit bietet sich für die Trocknungsindustrie die Möglichkeit, auf einfache Weise zu ermitteln, wieweit bei den verschiedenen Verfahren der Wasserentzug mindestens voranzutreiben ist, während die Vorratshaltung mit dieser Methode in Zweifelsfällen mit einfachen Mitteln und sicher die weitere Lagerfähigkeit eines ihr anvertrauten Lagergutes überwachen kann.

### Zusammenfassung.

Nach Erörterungen über den Wasserbedarf extrem xerophiler Mikroorganismen (insbesondere *Aspergillus glaucus*) wird festgestellt, daß für den mikrobiellen Befall getrockneter Lebens- und Genußmittel nicht so sehr deren absoluter Wassergehalt, sondern die darin herrschende Wasserdampfspannung entscheidend ist. Am ungünstigsten liegen die Verhältnisse bei etwa 30°C: dort darf die relative Feuchtigkeit 75% nicht übersteigen, falls das Auftreten von Schimmelpilzen vermieden werden soll. Dagegen darf sowohl bei höheren als auch bei niedrigeren Lagertemperaturen eine höhere relative Feuchtigkeit in den Trockenprodukten herrschen, ehe sie den Mikroorganismen anheimfallen. Es wird eine Methode mitgeteilt, die relative Feuchtigkeit in getrockneten Lebensmitteln im kritischen Grenzbereich festzustellen. Gleichzeitig wird an Hand einer Tabelle eine Übersicht über den absoluten Wassergehalt verschiedener Trockenprodukte im Gleichgewichtszustand zu 75% relativer Luftfeuchtigkeit gegeben.