

# UNTERSUCHUNG DER TROCKNUNGSGESCHWINDIGKEIT BEI DIFFUSIONSWANDERUNG DER BEFEUCHTENDEN FLÜSSIGKEIT

Von

J. BURGER und T. TARNAY

Lehrstuhl für Chemisches Maschinenwesen und Landwirtschaftliche Industrien,  
Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 7. Februar 1970)

Vorgelegt von Prof. Dr. S. SZENTGYÖRGYI

Nach Schrifttumsangaben [5] ist für die Trocknungsgeschwindigkeit bei Stoffen wie Gelatine, Leim, Seife u. a., die mit der befeuchtenden Flüssigkeit einphasige feste Lösungen bilden, die Diffusion im Stoffinneren bestimmend. Die Diffusion der befeuchtenden Flüssigkeit vom Stoffinneren zur Oberfläche wird angetrieben vom Konzentrationsgradienten, den der Trocknungsvorgang der Oberfläche hervorruft; mit schwindendem Feuchtigkeitsgehalt nimmt die Diffusivität jäh ab. Ist nun die Trocknungsgeschwindigkeit durch die innere Diffusion der Feuchtigkeit bestimmt, so ist sie auch unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Trocknungsgases; auch spielt dessen Feuchtigkeitsgehalt nur insofern mit, da er den Gleichgewichtswert des Feuchtigkeitsgehaltes bestimmt.

Welchen Verlauf jedoch — unter verschiedenen Trocknungsbedingungen — die Trocknungsgeschwindigkeit bei Diffusionswanderung der befeuchtenden Flüssigkeit annimmt, kann nur durch Trocknungsversuche geklärt werden.

## Versuchsmaterial

Zur experimentellen Untersuchung der sich unter verschiedenen Bedingungen ergebenden Trocknungsgeschwindigkeit verwendeten wir aus feuchter Gelatine gefertigte, dünnwandige Hohlkugeln regelmäßiger Gestalt, mit folgenden Angaben:

1. Außendurchmesser durchschnittlich 9 mm, Wandstärke durchschnittlich 0,9 mm.
2. Der Kugelhohlraum war mit hochmolekularem, nicht diffundierendem Öl ausgefüllt.
3. Gewichtsangaben der völlig trockenen (nur gebundene Feuchtigkeit enthaltende) Kugeln, je Stück: Gesamtgewicht durchschnittlich 0,4655 g, davon das Gewicht der Gelatinewand durchschnittlich 0,2168 g.
4. Feuchtigkeitsgehalt zu Beginn der Trocknungsversuche, auf das Gewicht der trockenen Gelatine bezogen, 92—96%.

Nach Schrifttumsangaben [4] ist die Erweichungstemperatur von Gelatine stark vom Feuchtigkeitsgehalt abhängig; bei 95% Feuchtigkeit beträgt sie 28,5 °C. Bei dieser Temperatur verliert bereits die Gelatine ihre Formbeständigkeit, darum müssen die Trocknungsversuche bei niedrigeren Temperaturen ausgeführt werden. Dementsprechend wählten wir 24 °C als Trocknungshöchsttemperatur.

Die Gelatinehohlkugeln stellte uns das Pharmazeutische Werk »Chinoïn«, Budapest, zur Verfügung, wofür wir auch hier danken.

### Versuchsapparatur und Meßmethode

Um den Feuchtigkeitsgehalt eines zu trocknenden Stoffes in einem trocknenden Luftstrom zu verdampfen, müssen bekannterweise zwei Grundbedingungen erfüllt sein [2].

1. Übertragung der zur Verdampfung der Feuchtigkeit benötigten Wärmemenge an das zu trocknende Gut,

2. ein Zustand der Luft, in dem sie die verdampfte Feuchtigkeit aufzunehmen und abzuführen vermag. Je höher die Temperatur der Trocknungsluft, umso größer die Wärmemenge, die zur Verdampfung des Feuchtigkeitsgehaltes des Gutes aufgewendet werden kann, umso größer auch die Feuchtigkeitsmenge, die die Trocknungsluft bis zur Sättigung aufzunehmen und abzuführen vermag. Bei der mit Rücksicht auf die Eigenschaften des zu trocknenden Stoffes gewählten Trocknungstemperatur von 24 °C ist zur Vermeidung eines Gleichgewichtszustandes zwischen Gut und Trocknungsluft, sowie zur Sicherung eines genügenden Feuchtigkeitsaufnahmevermögens, nicht eine Luft mit den Zustandswerten der Umgebung, vielmehr eine solche mit möglichst niedrigem Feuchtigkeitsgehalt erforderlich.

Zum Trocknen von körnigen, kristallinen sowie vorgeformten stückigen Gütern eignet sich nach Schrifttumsangaben [1, 3] am besten ein Trockner, bei dem die Trocknungsluft die gesamte Schicht des Gutes durchströmt, mit allen Teilchen in innige Berührung tritt und solcherart wirksames Trocknen ermöglicht.

Entsprechend diesen Grundsätzen haben wir die Versuchsapparatur nach Abb. 1 ausgestaltet.

Die Trocknungsluft wird von einem Ventilator (1) befördert, an dessen Saugstutzen sich drei, mit Silikagel gefüllte und mit Kühlmantel versehene Adsorber (4), zur Abtrennung des Feuchtigkeitsgehalts der Trocknungsluft anschließen. Zur Einstellung der Trocknungslufttemperatur dienen vier serien-geschaltete, der Druckseite des Ventilators angeschlossene Kugelkühler (2), die nicht nur Kühlung, sondern auch Heizung durch Warmwasser ermöglichen. Diesem Luftwärmeaustauscher angeschlossen ist der zylindrische Trocknungs-

raum (3), mit den Abmessungen  $\varnothing 152 \times 240$  mm, in dem mit Distanzhältern versehene, leicht aushebbare Siebböden übereinander angeordnet sind. Die zu trocknenden Gelatinehohlkugeln werden auf den Böden derart untergebracht, daß ihre ganze Lage von der Trocknungsluft durchströmt wird.

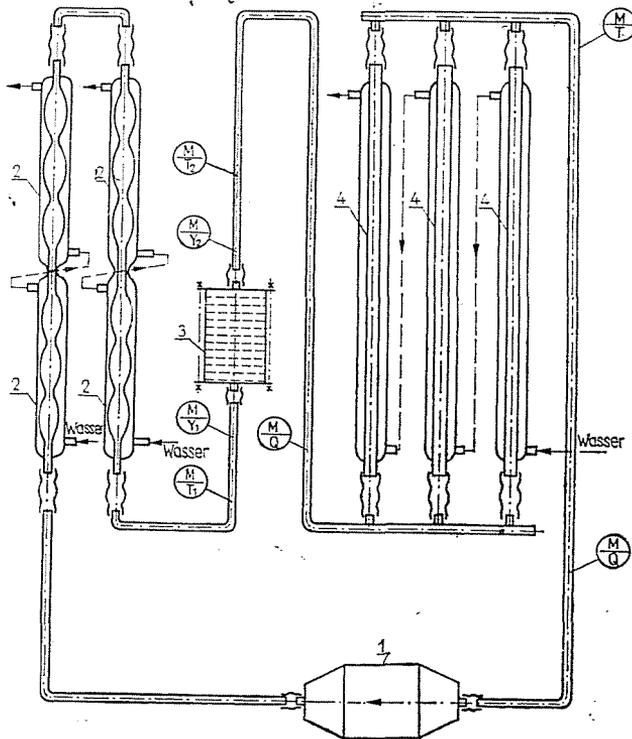


Abb. 1. Schaltskizze des Versuchsapparates

Die Trocknungsluft zirkuliert in einem geschlossenen System, indem sie nach dem Trocknungsraum über die Adsorber zum Saugstutzen des Ventilators zurückkehrt. Dies ermöglicht geringere Abmessungen der Adsorber. Änderungen der Durchtrittsgeschwindigkeit der Luft im Trocknungsraumquerschnitt erfolgen durch Änderungen der Abmessungen dieses Raumes (Austausch des Trocknungsraumes).

Diese Versuchsanordnung ermöglicht die Aufnahme der beiderseitigen Stoffbilanz. Zur Aufnahme der luftseitigen Stoffbilanz sind meßbar: die Lufttemperaturen beim Ein- und Austritt des Trocknungsraumes (mit Quecksilberthermometern), die Luftfeuchtigkeitsgehalte (mit Taupunktmessern) sowie die Luftströmungsmengen (mit Pitot-Rohren). Zur Erleichterung der Aufnahme

der gutseitigen Stoffbilanz ist der Trocknungsraum derart ausgestaltet, daß er aus dem System leicht und schnell herausgehoben und gewogen werden kann, bzw. kleinere Materialmengen aus dem Trocknungsraum leicht entleert werden können. Die Aufnahme der gutseitigen Stoffbilanz erfolgt durch Wägungen.

### Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse enthalten Abb. 2 und 3, von denen Abb. 2 die auf Grund der stoffseitigen Bilanzen aufgenommenen Trocknungskurven (Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes  $X$  mit der Zeit  $\tau$ ), Abb. 3 die auf Grund der

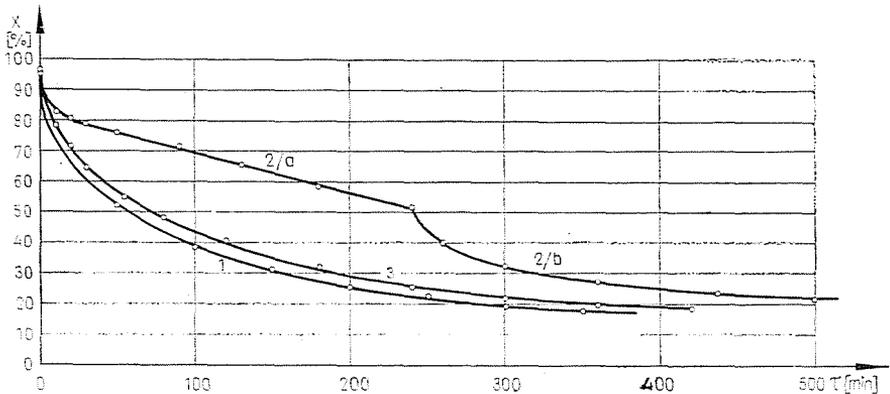


Abb. 2. Die verschiedenen Trocknungskurven

Trocknungskurven berechneten Kennlinien der Trocknungsgeschwindigkeit (Änderung der Trocknungsgeschwindigkeit  $\Delta X/\Delta \tau$  in Abhängigkeit der Konzentration  $X$ ). Die Zusammengehörigen Kennlinien sind gleichbezeichnet.

Die erste Versuchsserie wurde mit der Luftgeschwindigkeit  $v = 12,9$  cm/sec und der Lufttemperatur  $t = 24$  °C durchgeführt. Die Menge des Gutes betrug 422 Stück, seine Oberfläche  $F = 1073,31$  cm<sup>2</sup>. Kennlinie 1 in Abb. 3 zeigt, daß hier die Trocknungsgeschwindigkeit durchwegs von der Geschwindigkeit der Diffusion der Feuchtigkeit im Stoffinneren bestimmt war; die Strecke mit konstanter Trocknungsgeschwindigkeit fehlt.

Die zweite Versuchsserie erfolgte bei der Luftgeschwindigkeit  $v = 12,9$  cm/sec und der Lufttemperatur  $t = 21$  °C. Im ersten Teil dieser Versuchsserie betrug die Menge des Trocknungsgutes 2130 Stück, seine Oberfläche  $F = 417,44$  cm<sup>2</sup> (Kennlinie 2/a, in Abb. 2 und 3), im späteren die Menge 403 Stück, die Oberfläche  $F = 1024,99$  cm<sup>2</sup> (Kennlinie 2/b). Diese beiden Kennlinien zeigen, daß im ersten Abschnitt des Trocknungsvorgangs wegen der großen Gutmenge die an die Oberfläche diffundierende Feuchtigkeit von der

Luft nicht in der Rate fortgetragen werden konnte, in der sie an die Oberfläche gelangt war, so daß sich eine konstante Trocknungsgeschwindigkeit einstellte (Kennlinie 2/a). Nach herabgesetzter Stoffmenge wurde es dem Luftstrom möglich, die gesamte, an die Oberfläche des Gutes diffundierende Feuchtigkeit in entsprechender Rate aufzunehmen, so daß von hier an die Trocknungsgeschwindigkeit abermals durch die Diffusion der Feuchtigkeit im Gelatineinneren bestimmt war.

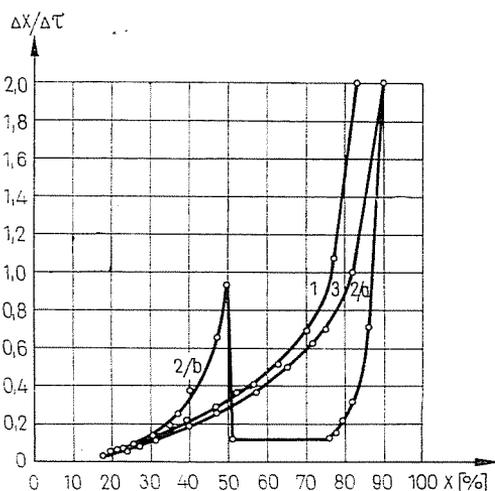


Abb. 3. Die Trocknungsgeschwindigkeitskurven

Bei der dritten Versuchsserie betrug die Luftgeschwindigkeit  $v = 141,5$  cm/sec, die Lufttemperatur  $t = 22$  °C, die Gutmenge 151 Stück, die Oberfläche  $F = 384,05$  cm<sup>2</sup>. Hier ging es darum, den Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit bei gesteigerter Luftgeschwindigkeit zu klären. Kennlinie 3 in Abb. 3 zeigt den gleichen Verlauf wie Kennlinie 1; der Unterschied der beiden ist auf die unterschiedlichen Trocknungslufttemperaturen zurückzuführen.

### Schlussfolgerungen

Die Versuchsergebnisse gestatten den Schluß, daß bei Stoffen (z. B. Gelatine), bei denen die befeuchtende Flüssigkeit infolge der im Stoffinneren stattfindenden Diffusion an die Stoffoberfläche gelangt, die Trocknungsgeschwindigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft nicht in allen Fällen unabhängig ist. Solange die Trocknungsluft die aus dem Stoffinneren an die Oberfläche gewanderte Feuchtigkeit schneller zu entfernen vermag, als deren Zuwanderung vor sich geht, ist die Trocknungsgeschwindigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft unabhängig und nur

durch die Diffusionsgeschwindigkeit der Feuchtigkeit im Stoffinneren bestimmt. Unterhalb dieses Grenzwertes wird jedoch die Trocknungsgeschwindigkeit von der Luftgeschwindigkeit in bedeutendem Grade beeinflusst.

### Zusammenfassung

Die Verfasser untersuchten die Änderung der Trocknungsgeschwindigkeit unter verschiedenen Bedingungen für einen Stoff (Gelatine), bei dem die befeuchtende Flüssigkeit infolge der im Stoffinneren stattfindenden Diffusion an die Oberfläche gelangt. Die Versuche erfolgten bei niedrigen Temperaturen, in einem Trockner, mit an Adsorbens vorgetrockneter Luft. Die Ergebnisse zeigen, daß solange die Trocknungsluft die aus dem Stoffinneren an die Oberfläche gewanderte Feuchtigkeit schneller zu entfernen vermag, als die Zuwanderung vor sich geht, die Trocknungsgeschwindigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft unabhängig ist, unterhalb dieses Grenzwertes jedoch von der Luftgeschwindigkeit in bedeutendem Grade beeinflusst wird.

### Literatur

1. GINZBURG, A. Sz.: Szárítás az élelmiszeriparban (Trocknung in der Lebensmittelindustrie). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.
2. KNEULE, F.: Das Trocknen. Verlag H. R. Sauerländer, Frankfurt am Main 1959.
3. KRISCHER—KRÖLL: Trocknungstechnik. Bd. I—II. Springer Verlag, Berlin 1956.
4. KUHN, A.: Kolloidkémiái zsebkönyv (Kolloidchemisches Taschenbuch). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1963.
5. TREYBAL, R. E.: Diffúziós vegyipari műveletek (Diffusionsprozesse in der chemischen Industrie). Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961.

Dr. János BURGER }  
Tihamér TARNAY } Budapest XI., Stoczek u. 2—4. Ungarn