

Die Gefriertrocknung

Von RUDOLF PLANK, Karlsruhe.

Mitteilung aus der Reichsforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, z. Zt. bei der Technischen Hochschule Karlsruhe

Gefrieren und Trocknen sind die beiden Frischhalteverfahren von Lebensmitteln, an deren Entwicklung in den letzten Jahren am meisten gearbeitet wurde. Es erhebt sich nunmehr die Frage, ob nicht durch Koppelung beider Verfahren ein optimales Ergebnis zu erreichen wäre. Das zu trocknende Gut wird um so schonender behandelt, je tiefer die Temperatur der Trocknung liegt. Denkt man diesen Gedanken zu Ende, dann gelangt man zur Gefriertrocknung, die schon früher bei biologischen und pharmazeutischen Präparaten angewandt wurde. Die Übertragungsmöglichkeit dieses Verfahrens auf die Lebensmitteltechnik hängt davon ab, inwieweit es sich in Großanlagen verbilligen läßt.

Kennzeichen des Verfahrens der Gefriertrocknung

Von den Verfahren zur langfristigen Frischhaltung schnellverderblicher Güter hat einerseits das Gefrieren (besonders in Gestalt der neuzeitlichen Schnellgefrierverfahren) und andererseits das Trocknen größte wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Die Vorteile des Gefrierens brauchen an dieser Stelle nicht besonders hervorgehoben zu werden; die Schwierigkeiten bestehen dabei in der Vermeidung jeglicher Unterbrechung der Kältekette bis zum Verbrauch der Güter.

Der Hauptvorteil des Trocknens liegt in der starken Verminderung des Raumbedarfs bei der Lagerung getrockneter Güter. Daneben wirkt sich natürlich auch die Gewichtsabnahme besonders bei den Transporten günstig aus. Als Nachteil empfindet man aber mit Recht den Einfluß der hohen Trocknungstemperatur, gegen die viele Güter sehr empfindlich sind, besonders in Gegenwart des in allen Verdunstungstrocknern unvermeidlichen Luftsauerstoffs. Man hat versucht, durch Senkung der Trocknungstemperatur diese Nachteile zu mindern und gelangte auf diesem Wege zur Vakuumtrocknung, die als reine Verdampfungstrocknung durchgeführt wird, was zugleich den Vorteil mit sich bringt, daß der oxydierende Einfluß der Luft ausgeschlossen wird. Je niedriger der Druck gehalten wird, um so niedriger sind Verdampfungstemperatur und Temperatur des Gutes.

Verfolgt man diesen Weg konsequent weiter, dann gelangt man schließlich zu so tiefen Dampfdrücken, daß das Wasser bei der zugehörigen Verdampfungstemperatur erstarrt. Es ist ja bekannt, daß man Wasser durch Verdampfung im Vakuum bei Drücken unterhalb 4,5 mm Hg zum Erstarren bringen kann. Das erzielte Sir John Leslie schon im Jahre 1810 in seiner ersten Absorptionskältemaschine¹⁾; es wurde später in großem Maßstab in den Vakuum-Eiszeugern von Linde-Balcke wiederholt²⁾.

In der gleichen Weise ist es natürlich möglich, verschiedene wasserhaltige Güter bei sehr tiefen Temperaturen und sehr niedrigen Drücken zu trocknen, sei es, daß man sie vor dem Trocknen gefriert oder sie erst durch die Verdampfung im Vakuum in den gefrorenen Zustand versetzt. Der Ausschluß der Luft und die Vermeidung höherer Temperaturen haben zur Folge, daß dabei selbst stark temperaturempfindliche Güter keinen Schaden leiden und daß der Vorgang der Trocknung dann weitgehend reversibel wird. Es werden im Gut nicht nur alle wertvollen Bestandteile, sondern auch das Quellungsvermögen wesentlich erhalten.

Man bezeichnet ein solches Verfahren sinngemäß als Gefriertrocknung; es vereinigt in sich die Vorteile des Gefrierens und des Trocknens.

Entwicklung der Gefriertrocknung

Der entscheidende Anstoß zur praktischen Verwendung der Gefriertrocknung kam von Seiten der Bakteriologie und datiert vom Jahre 1935, obwohl das Verfahren auch schon früher in primitiver Art zur Steigerung der Stabilität und zur unveränderten Aufrechterhaltung der biologischen Charakteristik von Mikroorganismen verwendet wurde. E. W. Flosdorf, Professor für Bakteriologie an der Universität von Pennsylvania, beschrieb gemeinsam mit S. Mudd zwei Verfahren, nach denen die Gefriertrocknung biologischer Präparate im Laboratorium durchgeführt werden kann³⁾. Bei dem in Bild 1 dargestellten Apparat wird der aus dem gefrorenen Gut unter der Wirkung des Vakuums entwickelte Wasserdampf in Form von Eiskristallen in der Flasche a niedergeschlagen, die in ein Dewar-Gefäß mit zerkleinertem

Trockeneis e versenkt ist. Dem Trockeneis ist ein Lösungsmittel beigegeben, das als „Methyl-Cellosolve“ bezeichnet wird.

Es seien hier noch die Werte des Dampfdrucks über Eis bei sehr tiefen Temperaturen angegeben:

Temperatur °C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
Dampfdruck mm Hg	4,581	1,946	0,772	0,280	0,093	0,029	0,007

Bei einem zweiten, von den gleichen Verfassern beschriebenen Verfahren wird der Wasserdampf nicht bei tiefer Temperatur kondensiert, sondern von besonders präpariertem, hochporösem Calciumsulfat (Gips, CaSO_4) absorbiert, über dessen Semihydrat der Dampfdruck des Wassers nur 0,004 mm Hg beträgt. Das Calciumsulfat kann beliebig oft durch Hitze regeneriert und wieder verwendet werden; es hat vor Schwefelsäure und Phosphor-pentoxid, die früher verwendet wurden, den Vorteil, daß es keinen eigenen Dampfdruck besitzt, das zu behandelnde Gut nicht schädlich beeinflussen kann und sehr billig ist.

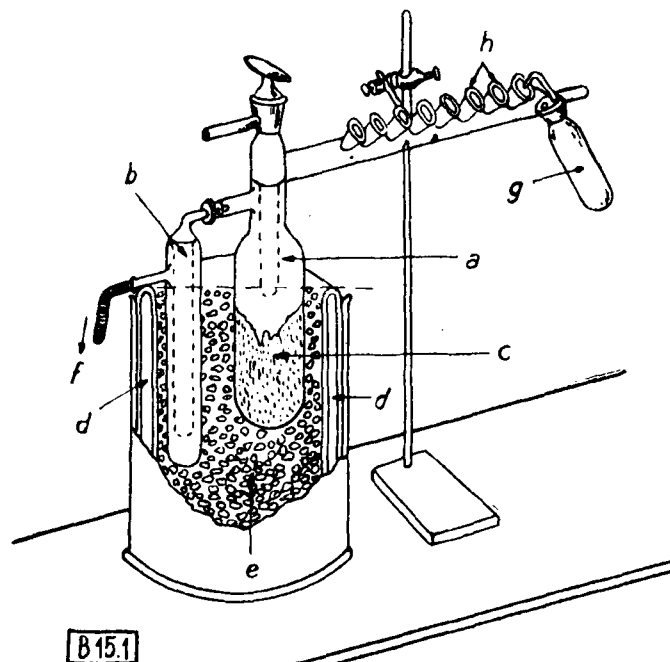


Bild 1

Laboratoriumsgerät für Gefriertrocknung a Hauptkondensator, b Nebenkondensator, c Eisniederschlag, d Vakuum-Mantel, e feste Kohlendensäure mit Lösungsmittel, f Leitung zur Vakuumpumpe, g Flasche mit dem zu trocknenden Gefriergut, h Anschlußöffnungen für weitere Flaschen

In beiden Verfahren ist es notwendig, in der Apparatur ein hohes Vakuum durch Anschluß an eine Luftpumpe (bei f in Bild 1) aufrecht zu erhalten. Beim Kondensationsverfahren soll nach Flosdorf und Mudd der Druck unterhalb 0,7 mm Hg liegen, die besten Ergebnisse wurden aber bei 0,01 bis 0,05 mm Hg erhalten. Beim Absorptionsverfahren soll der Druck nicht über 1 bis 2 mm Hg steigen, doch ist es günstiger, ihn bei 0,3 bis 0,6 mm Hg zu halten.

Die Vakuumpumpen

Für die Aufrechterhaltung so niedriger Drücke muß man entweder rotierende Ölluftpumpen verwenden, oder von Diffusionspumpen mit Quecksilber oder Öl als Treibstoff Gebrauch machen, die in Deutschland von W. Gaede⁴⁾ und in Amerika von J. Langmuir⁵⁾ und K. C. D. Hickman⁶⁾ entwickelt wurden. Die Wirkungsweise solcher Pumpen darf als bekannt vorausgesetzt

¹⁾ W. Gaede, Ann. Physik, (4), 41, 337 [1913].

²⁾ J. Langmuir, Phys. Rev., 8, 48 [1916] und Gen. Electr. Rev., 10, 1060 [1916].

³⁾ Vgl. z. B. H. Ebert in: Der Chemie-Ingenieur, Bd. 11, Dritter Teil, S. 61, Akad. Verl.-Anstalt, Leipzig 1933. Ausführlich bei S. Dushman, Die Grundlagen der Hochvakuumtechnik, deutsch von R. G. Berthold und E. Reimann, S. 64 bis 89, Berlin 1926.

⁴⁾ R. Plank, Z. Ver. dtsch. Ing., 78, 1003 [1934].

⁵⁾ H. Tietz, Eiszeugung durch Teilverdampfung im Vakuum, Z. Ver. dtsch. Ing., 82, 61 [1938].

⁶⁾ E. W. Flosdorf u. S. Mudd, J. Immunology, 29, 239 [1935]; vgl. a. Refrig. Engng., 36, 379 [1938] u. P. Grabar, Froid 1943 Nr. 21, S. 8.

werden⁷⁾. Ihre Verwendung blieb lange Zeit auf physikalische und chemische Laboratorien beschränkt, wobei es sich nur um relativ kleine Volumenströme handelte. Immerhin wurden schon Quecksilber-Diffusionspumpen gebaut, die bei einem Druck von 0,3 mm Hg 400 l/s Helium absaugten⁸⁾. Auch Öl-Diffusionspumpen mit größerem Volumenstrom wurden schon hergestellt⁹⁾. Ende 1940 baute K. C. D. Hickman Diffusionspumpen mit einem Volumenstrom von 12000 l/s (bei einem Durchmesser von 20"). Das erzielbare Grenzvakuum liegt bei mehrstufigen Diffusionspumpen bei etwa 10^{-8} mm Hg, doch liegen diese extremen Werte außerhalb des Bereichs technischer Anwendungen.

Es muß hier ausdrücklich betont werden, daß der bei der Trocknung gebildete Wasserdampf nicht etwa von der Vakuumpumpe abgesaugt und auf Atmosphärendruck verdichtet werden soll. Es muß im Gegenteil dafür gesorgt werden, daß der ganze Wasserdampf in dem vor der Pumpe liegenden Kondensator oder Absorptionsapparat niedergeschlagen wird. Die Pumpe soll lediglich die bei dem hohen Vakuum durch undichte Stellen unvermeidlich eindringende Luft laufend fortschaffen.

Über den Rahmen bakteriologischer Anwendungen hinaus wurde die Gefriertrocknung auch bei Muttermilch, Drüsenextrakten, pharmazeutischen Präparaten und neuerdings besonders beim Blutplasma für Transfusionszwecke verwendet¹⁰⁾. Das gesammelte Blut wird zunächst zentrifugiert, wobei sich die roten Blutkörperchen ausscheiden und ein gelbliches Plasma resultiert. Dieses wird in Flaschen gefüllt, gefroren und auf Untersätzen in Vakuum-Kammern aufgestellt. Das Vakuum beträgt etwa 0,5 mm Hg. Am Ende der Trocknung erhält man ein elfenbeifarbenes Pulver, das in den Flaschen hermetisch verschlossen wird.

Da sich das Trockengut durch die fortschreitende Verdampfung immer weiter abkühlen und sich die Verdampfungsgeschwindigkeit dadurch verlangsamen würde, läßt man durch die Untersätze, auf denen das gefrorene Trockengut lagert, angewärmtes Wasser umlaufen, das man beispielsweise dem Kältemaschinen-Verflüssiger entnehmen kann. Die Wärmezufuhr muß so geregelt werden, daß das Trockengut weder auftaut, noch sich zu tief abkühlen kann. Die Aufrechterhaltung des gefrorenen Zustandes und der tiefen Temperatur ist erforderlich, um alle bei fortschreitendem Wasserentzug möglichen chemischen Reaktionen zu verlangsamen (z. B. die Denaturierung der Proteine).

Die Gefriertrocknung hat in den letzten Jahren in den Vereinigten Staaten und auch in England einen erheblichen Umfang erreicht und umfaßt immer weitere Anwendungsgebiete¹¹⁾. Die älteste Firma, welche Einrichtungen für solche Anlagen lieferte, ist die F. J. Stokes Machine Company in Philadelphia, deren Forschungs- und Entwicklungsabteilung Professor E. W. Flösdorff leitet. Im Jahre 1938 gründete die bekannte Herstellerfirma optischer Instrumente Eastman Kodak in Verbindung mit der General Mills Corp. die Distillation Product Inc. in Rochester N. Y.; hier wirkt Dr. Kenneth C. D. Hickman als Chef der Forschungsabteilung. Zuletzt wurde im Jahre 1940 die National Research Corporation in Boston, Mass., gegründet, deren wissenschaftliche Leitung in den Händen von Richard S. Morse liegt. Diese Firma hat eine Tochtergesellschaft, die Vacuum Food Corporation für die Entwicklung der Gefriertrocknung von Lebensmitteln angeschlossen.

Wahl des Vakuums

Durch die Gefriertrocknung im Hochvakuum können bis zu 99,95% des in dem zu trocknenden Gut enthaltenen Wassers entfernt werden. Über die zweckmäßigste Wahl des Vakuums sind die Ansichten verschieden. Während die Firma Stokes sich mit 0,2 mm Hg begnügt, behauptet die National Research Corp., daß sich eine wesentliche Qualitätsverbesserung verbunden mit einer Verkürzung der Trockenzeit erreichen läßt, wenn man das Vakuum auf 0,01 mm Hg herabsenkt, wobei sie von Diffusions-

⁷⁾ K. C. D. Hickman u. C. R. Sanford, Rev. Sci. Instrum. (N. S.) 1, 140 (1930).

⁸⁾ W. Gaede u. W. H. Keesom, Proc. Acad. Amsterdam, 31, 985 (1928).

⁹⁾ J. D. Cockcroft u. E. T. S. Walton, Nature, 129, 620 (1932).

¹⁰⁾ Ein gewisser Elser hat schon im Jahre 1931 in Amerika ein Patent auf die Gefriertrocknung von Serum angemeldet, das ihm 1934 erteilt wurde. Er empfahl auch schon das Trocknen in dünnen Schichten unter Wärmezufuhr durch Glühlampen.

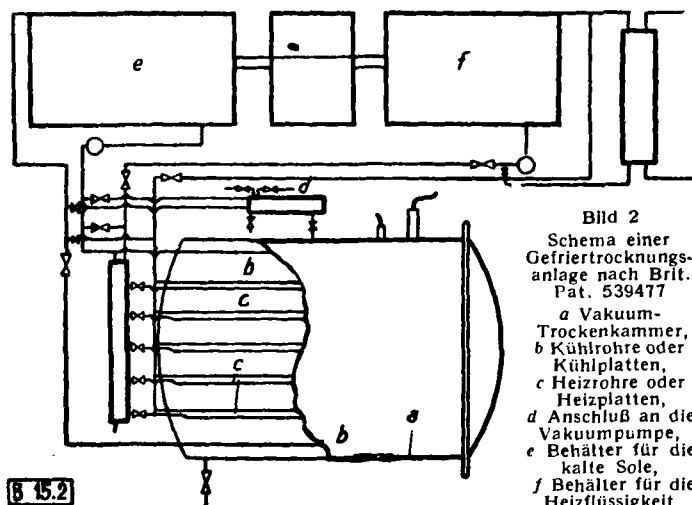
¹¹⁾ Über den Stand der Gefriertrocknung in den Ver. Staaten v. Amerika, vgl. z. B. den Aufsatz „High Vacuum“ in Fortune, August 1944, S. 147. Neuere Literatur: R. I. N. Greaves, Hygiene 41, Febr. 1942, No. 5, 6 u. 9. Vgl. auch Modern Refr. April 1945, S. 81.

pumpen Gebrauch macht. Sie läßt den Wasserdampf bei -80° kondensieren und verwendet in ihren Kondensatoren rotierende Schaufeln, um das abgeschiedene Eis dauernd abzukratzen; dadurch läßt sich erheblich an Kühlfläche sparen. Es ist aus den Vorgängen in Luftkühlern von Kälteanlagen bekannt, daß der Schnee sich bei so tiefen Temperaturen in sehr lockerer Form absetzt und leicht von der Kühlfläche entfernt werden kann. Der Firma ist es auch gelungen, das Verfahren kontinuierlich zu gestalten. Natürlich ist der Energiebedarf bei Verwendung eines höheren Vakuums und einer sehr tiefen Kondensationstemperatur größer, und es fragt sich, ob die erzielbaren Vorteile diesen Mehrbedarf rechtfertigen.

Gefriertrocknung von Lebensmitteln

An dieser Stelle dürfte besonders die Gefriertrocknung von Lebensmitteln und deren wirtschaftliche Aussichten interessieren. Die ersten Schritte wurden auch hier von der Firma Stokes unternommen, wobei die Lebensmittel zuerst gefroren und dann in Vakuumkammern bei 0,2 mm Hg getrocknet wurden. Die getrocknete Ware wird in Behältern unter Vakuum verschlossen und hält sich praktisch unbegrenzt. Kurz vor dem Gebrauch wird der Ware nach Öffnen der Behälter Wasser zugesetzt, wobei sie wieder in den normalen Frischzustand zurückkehrt. Sehr gute Erfolge erzielte Stokes mit Orangesäften; bedeutend schwieriger gestaltete sich bisher der Absatz von getrocknetem Fleisch, obwohl es geschmacklich ausgezeichnet sein soll. Die National Research Corporation macht auch bei der Gefriertrocknung von Lebensmitteln von Diffusionspumpen Gebrauch und senkt den Druck auf 0,01 mm Hg.

In England wurde die Gefriertrocknung im Jahre 1938 von der Low Temperature Research Station in Cambridge, die zum Food Investigation Board gehört, aufgegriffen¹²⁾. Die Entwicklungsarbeiten, die auf eine industrielle Verwertung des Verfahrens für die Frischhaltung von Lebensmitteln hinzielten, sind an die Namen von F. Kidd, T. Moran und E. C. Bate-Smith geknüpft. Die konstruktive Durchbildung der Apparatur wurde in Zusammenarbeit mit der bekannten Kältemaschinenfabrik J. und E. Hall Ltd. in Dartford festgelegt. Die ersten Versuche galten der Trocknung von Milch, wobei eine praktisch vollständige Umkehrbarkeit des Prozesses erzielt wurde. Die getrocknete Milch unterschied sich nach entsprechendem Wasserzusatz in nichts von der frischen Milch, insbesondere konnte auch das Aufsteigen des Rahms an die Oberfläche festgestellt werden. Wird aber die Vollmilch vor dem Trocknen homogenisiert, dann erhält man auch nach dem Trocknen bei Wasserzugabe eine stabile, nicht aufrahmende Mischung. Milch wird aber schon in bestehenden älteren Anlagen nach anderen Verfahren in so großem Umfang getrocknet, daß erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden sein werden, um dem neuen Verfahren die Wege zu ebnen.



[5.52]

Bessere Aussichten erhofft man bei der Trocknung von Apfelpektin, bei dem die bisher angew. Trocknungsverfahren nicht voll befriedigen, ferner von Gelatine Agar-Agar u. a.

Weitere Versuche in England galten, der Gefriertrocknung von Fleisch. Die frischen Fleisch-Schnitten wurden in

¹²⁾ E. C. Bate-Smith, Modern Meat Marketing, Mai 1943. Vgl. a. Modern Refrigeration vom 20. Mai 1943, S. 112.

flachen Schalen auf elektrisch heizbare Matten oder auf ein System von Heizrohren innerhalb der Vakuumkammer gesetzt, von der Heizung wird aber zu Beginn des Prozesses kein Gebrauch gemacht. Durch die Verdampfung des Wassers im hohen Vakuum wird das Fleisch schnell gefroren. Der entwickelte Wasserdampf setzt sich an der Oberfläche von Kühlrohren ab, die in der Vakuumkammer verlegt sind und durch die eine sehr kalte Sole zirkuliert. Erst in den späteren Phasen des Trocknungsvorganges wird die Heizung regelbar eingeschaltet, um die Verdampfung zu beschleunigen. Bei größeren Fleischstücken bereitet aber die Rückbildung des ursprünglichen Zustandes bei der Wasseraufnahme noch Schwierigkeiten; das aufgenommene Wasser haftet nur locker zwischen den Fässern und dringt in sie nicht ein.

Bild 2 zeigt das Schema einer Gefriertrocknungsanlage.

Qualität der erhaltenen Lebensmittel

Die bei der Gefriertrocknung erhaltenen Lebensmittel bilden ebenso wie die durch Wärmetrocknen, Schnellgefrieren oder Sterilisieren in Dosen gewonnenen Produkte eine Qualität *sui generis* und sollten nicht mit frischen Lebensmitteln verglichen, sondern in ihrer Güte absolut gewertet werden. Aus den bisherigen Meldungen geht hervor, daß die durch Gefriertrocknung konservierten Lebensmittel sowohl geschmacklich wie auch in Bezug auf die Erhaltung aller Nähr- und Wirkstoffe eine sehr hohe Klasse darstellen. Dazu kommen noch die Leichtigkeit ihrer Aufbewahrung bei gewöhnlicher Temperatur und der geringe Platzbedarf. Trotzdem lassen sich die wirtschaftlichen Aussichten dieses Verfahrens gegenwärtig noch nicht klar beurteilen.

Energiebedarf

Betrachtet man die Vorgänge bei der Gefriertrocknung vom rein energetischen Standpunkt, so gewinnt man einen recht unerfreulichen Eindruck. Während man bei dem gewöhnlichen Gefrierverfahren das in den Lebensmitteln enthaltene Wasser darin beläßt und es nur mit Hilfe einer Kältemaschine aus dem flüssigen in den festen Zustand überführt, wobei lediglich die Erstarrungswärme bei tiefer Temperatur abzuführen ist, muß das Wasser bei der Gefriertrocknung folgende Kette von Aggregatzustandsänderungen durchlaufen:

1. Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand innerhalb der Lebensmittel vor Beginn der Trocknung.
2. Übergang aus dem festen in den dampfförmigen Zustand (Sublimation) während der Trocknung, wobei sich das Wasser räumlich vom Lebensmittel trennt.
3. Rückwärtiger Übergang vom dampfförmigen in den festen Zustand an der Oberfläche der Kühlelemente des Kondensators.

Die Vorgänge unter 1. und 2. können sich teilweise überdecken, wenn das Gefrieren nicht als selbständiger Vorgang durchgeführt wird, sondern sich als Folgeerscheinung der Verdampfung eines Teils des Wassers im Vakuum einstellt. Die aus 1 kg flüssigen Wassers gebildete Eis- und Dampfmenge läßt sich dann leicht berechnen: bezeichnet i' die Enthalpie von 1 kg flüssigem Wasser bei der Ausgangstemperatur t , i_0 die Enthalpie des Eises und r_0 die Sublimationswärme (beide bezogen auf die tiefe Endtemperatur t_0), x die gebildete Dampfmenge und daher $1-x$ die gebildete Eismenge, dann ist $x = (i' - i_0)/r_0$.

Bei $t = +20^\circ$ und $t_0 = -40^\circ$ (entsprechend einem Druck von rund 0,1 mm Hg) wird $i' = 20$, $i_0 = -100$ und $r_0 = 700$ kcal/kg. Man findet dann $x = \frac{120}{700} \approx 0,17$, es werden also 0,17 kg Wasser verdampft und dabei 0,83 kg in Eis verwandelt. Diese Eismenge muß nun durch äußere Wärmezufuhr ebenfalls verdampft werden, was aber wegen des tiefen Temperaturniveaus schon durch Wärme von normaler Umgebungstemperatur (Wasserleitung) oder allenfalls durch billige Abwärme erfolgen kann.

Am bedenklichsten ist der Posten 3). Denn nun muß durch eine Kältemaschine bei sehr tiefer Temperatur der ganze gebildete Wasserdampf in Eis verwandelt werden. Die Temperatur der Kühlfläche muß dabei wesentlich unterhalb der Temperatur des im Gefrierzustand verdampfenden Lebensmittels liegen, weil sonst der Dampf von der Vakuumpumpe mitgerissen und diese ungebührlich belasten würde. Die Kondensationstemperatur muß so tief sein, daß ein genügendes Dampfdruckgefälle zwischen dem gefrorenen Lebensmittel und der bereiften Kühlfläche be-

steht. Für das erwähnte Beispiel wird man eine Kondensationstemperatur von etwa -60° annehmen können (die National Research Corp. kondensiert sogar bei -80°). Die Sublimationswärme beträgt dann rd. 710 kcal je kg gebildeten Eises. Diese Kälteleistung muß durch die Kältemaschine bei einer Verdampfungstemperatur von -60° (oder tiefer) gedeckt werden. Das normale Gefrierverfahren erfordert demgegenüber nur 80 kcal je kg Eis bei etwa -40° . Der Energieverbrauch der Kälteanlage ist daher bei der Gefriertrocknung etwa 15 mal größer als beim normalen Gefrierverfahren, wobei allerdings nicht übersehen werden darf, daß beim Gefrierverfahren erhebliche Energiebeträge für die Lagerung der Gefrierware benötigt werden. Diese können bei etwa neunmonatiger Lagerung leicht das 3- bis 4-fache des Energiebedarfs für das eigentliche Gefrieren betragen. Der Energiebedarf für die Kälteerzeugung bei der Gefriertrocknung ist daher insgesamt nur 3 bis 4 mal größer als beim Gefrierverfahren, und dieses Verhältnis könnte noch weiter gesenkt werden, wenn sich die Gefriertrocknung ohne Herabsetzung der Qualität der Ware bei etwas höheren Drücken und Temperaturen durchführen ließe.

Der hohe Energieverbrauch bei der Gefriertrocknung hängt offenbar damit zusammen, daß mit jeder Gefriertrocknungsanlage eine „Eisfabrik“ verbunden ist, wobei das Eis als Abfallprodukt entsteht. Es liegt nun der Gedanke sehr nahe, dieses Eis in irgendeiner Weise, am besten im Prozeß selbst, zu verwerten, und es wäre erstaunlich, wenn dieser Gedanke bisher noch nicht realisiert worden wäre. Man könnte das gebildete sehr kalte Eis von der Kühlfläche abschaben (was die National Research Corp. ohnehin tut), es periodisch aus dem Vakuumbehälter entfernen und es entweder für die Vorkühlung und das teilweise Gefrieren der Lebensmittel, oder, noch einfacher, für die Kühlung des Verflüssigers der Kältemaschine verwenden. Der Energieverbrauch der Kältemaschine ließe sich dadurch erheblich senken und man käme mit einem zweistufigen Verdichter aus, während man sonst bei -60° schon einen dreistufigen benötigen würde.

Neben der Kältemaschine muß noch die Vakuumpumpe betrieben werden, wodurch ein zusätzlicher Energieverbrauch entsteht. Nach jeder Charge muß die Luft aus der Apparatur abgesaugt werden, und es muß anschließend die durch undichte Stellen eindringende und in den Lebensmitteln gelöste Luft dauernd entfernt werden. Der damit verbundene Energiebedarf kann schwer geschätzt werden; im Falle einer Diffusionspumpe läßt er sich durch Wärmezufuhr decken; bei mechanisch angetriebenen Luftpumpen muß aber hochwertige Energie verbraucht werden.

Ob sich im industriellen Großbetrieb die Kondensation des Wasserdampfes durch die Absorption mit Hilfe von Trockenmitteln (z. B. Gips) ersetzen läßt, wobei die Kältemaschine in Fortfall käme, möchten wir bezweifeln, weil die Regenerierung des Trockenmittels in Großanlagen umständlich sein dürfte.

Betriebsfragen

Neben den geäußerten Bedenken energetischer Natur muß man sich darüber klar sein, daß auch noch manche konstruktiven und betrieblichen Schwierigkeiten zu überwinden sein werden. Auf die dauernde Entfernung und eventuelle Verwertung des gebildeten Eises haben wir schon hingewiesen. Beim Betrieb von Diffusionspumpen muß das Mitreißen von Wasserdampf in die Pumpe peinlich vermieden werden, da sonst das gewünschte Vakuum nicht aufrecht erhalten werden kann und sich in der Pumpe eine Emulsion bilden würde.

Verpackung und Lagerung des Gutes

Die richtige Behandlung des in Pulverform gewonnenen Trockenprodukts bei der Verpackung und Lagerung bildet ein weiteres Problem. So hat z. B. Fleischpulver ein Schüttgewicht von 0,5 kg/l. Man kann es leicht auf 1 kg/l zusammenpressen und spart dadurch nicht nur an Lagerraum, sondern braucht dann die hermetisch zu verschließenden Blechdosen nicht mehr zu evakuieren, da die geringe Menge der verbleibenden Luft keine nennenswerten oxydativen Veränderungen mehr verursachen kann.

Trotz der vorgebrachten kritischen Bemerkungen sind wir der Ansicht, daß man auch in Deutschland die Entwicklung der Gefriertrocknung aufmerksam verfolgen und sich an der praktischen Erprobung des Verfahrens aktiv beteiligen sollte. Denn wenn es sich auch für die Frischhaltung von Lebensmitteln aus wirtschaftlichen Gründen nicht einbürgern sollte, so wird es doch bei hochwertigen temperaturempfindlichen Gütern zweifellos in wachsendem Umfang angewendet werden. [B 15] Eingeg. 28. November 1946