

Tiefgefrieren von Lebensmitteln

Horst Weisser*)

DK 664.8.037.5:641.42.037

Es wird ein Überblick über die Grundlagen des Tiefgefrierens von Lebensmitteln, die verschiedenen Tiefgefrierverfahren sowie über das Verpacken und das Lagern des Gefrierguts gegeben.

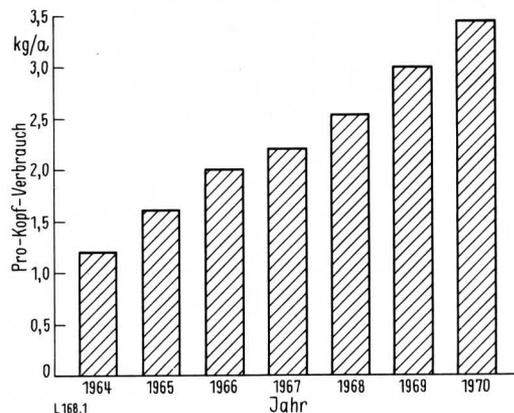
1. Einführung

Während Tiefkühlkost in den Vereinigten Staaten von Amerika, Großbritannien und Skandinavien seit vielen Jahren von breiten Verbraucherkreisen verzehrt wird, erzeugt und verbraucht man tiefgefrorene Lebensmittel in Deutschland erst seit Ende der 50er Jahre in größerem Ausmaß. In der Zwischenzeit wurden etwa 90 % aller einschlägigen Fachgeschäfte und zahlreiche Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland mit Tiefkühltruhen und Tiefkühlschränken ausgestattet. Der Pro-Kopf-Verbrauch an tiefgefrorenen Lebensmitteln stieg in den letzten Jahren ständig an, Bild 1, die Zuwachsraten der entsprechenden Lebensmittelbetriebe liegen weit über dem Durchschnitt der gesamten Lebensmittelindustrie.

Die Wirkung der Kältekonserverung beruht darauf, daß bei einer entsprechenden Temperatursenkung chemische und biochemische Reaktionen langsamer verlaufen und insbesondere das Wachstum der Mikroorganismen behindert bzw. unterbunden wird. Im Gegensatz zu der Kühl- oder Kaltlagerung bei Temperaturen von 4 bis -3°C , bei der durch Temperaturerniedrigung der Frischezustand der Lebensmittel über einen bestimmten Zeitraum weitgehend erhalten bleibt, handelt es sich beim Tiefgefrieren und der anschließenden Gefrierlagerung bei Temperaturen von mindestens -18°C um ein echtes Konservierungsverfahren. Das Gefrieren ermöglicht wesentlich längere Lagerzeiten als das Kühlen. Dabei treten jedoch häufig deutliche Veränderungen in pflanzlichen und in tierischen Geweben auf, so daß Tiefkühlprodukte keine frischen Lebensmittel, sondern frischwertige Konserven sind.

*) Dipl.-Ing. Horst Weisser ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Technologie der Lebensmittelverarbeitung der Universität Karlsruhe.

Bild 1. Anstieg des jährlichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Tiefkühlkost in der Bundesrepublik Deutschland.



2. Grundlagen des Tiefgefrierens

2.1. Mikrobiologische und biochemische Veränderungen

Zu ihrer Vermehrung benötigen Mikroorganismen Wasser, das sie den Lebensmitteln entziehen. Da beim Gefrieren mit sinkenden Temperaturen immer mehr Wasser ausgefrieren, können sich diese Organismen von einer bestimmten Temperatur ab nicht mehr vermehren. Solange nicht alles Wasser ausgefroren ist, vermehren sich kryophile Mikroorganismen auch noch auf gefrorenen Lebensmitteln. Bei -10°C stellen jedoch auch die kälteresistentesten Pilze und Hefen ihre Vermehrungstätigkeit ein. Sie überleben jedoch z.T. den Gefrierprozeß und die anschließende Gefrierlagerung und werden beim Auftauen wieder aktiv, weshalb aufgetaute Lebensmittel keinesfalls steril sind.

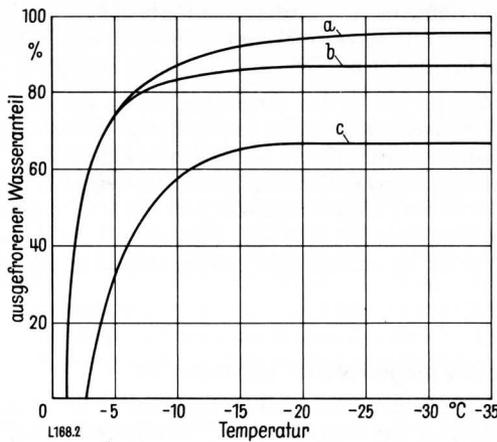
Die in den Lebensmitteln ablaufenden, häufig enzymatisch gesteuerten biochemischen Reaktionen werden bei einer Senkung der Temperaturen auf -18 bis -30°C , wie sie in Gefrierlagerhäusern herrschen, sehr verlangsamt, aber nicht völlig unterbunden. Besonders oxydative und hydrolytische Veränderungen an Fetten sowie Vitaminverluste begrenzen die mögliche Lagerdauer. Allgemein gilt, je tiefer man die Gefrieretemperatur wählt, desto länger lassen sich Tiefkühlprodukte lagern.

2.2. Ausfrieren von Wasser

Das in den Lebensmitteln vorhandene ausfrierbare Wasser kommt nie allein, sondern stets als ungesättigte Lösung von Zucker, Salzen, Säuren und sonstigen löslichen Substanzen vor. Daher gefriert das Wasser in Lebensmitteln nicht bei 0°C ; sondern je nach der Konzentration der gelösten Stoffe liegt der Gefrierbeginn erst bei $-0,5$ bis -3°C . Mit sinkender Temperatur gefriert immer mehr Wasser aus; dabei nimmt die Konzentration der ungefrorenen Restlösung

Bild 2. Massenanteil an ausgefrorenem Wasser in Erdbeeren, Rindfleisch und Weißbrotkrume im Bereich zwischen Gefrierbeginn und $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ nach Werten von *L. Riedel*.

- a Erdbeeren
- b Rindfleisch
- c Weißbrot



ständig zu. Bild 2 zeigt den ausgefrorenen Wasseranteil einiger Lebensmittel vom Gefrierbeginn bis zu $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ für einige charakteristische Lebensmittel. Man sieht, daß bei wasserreichen Lebensmitteln der Hauptteil des Wassers zwischen dem Gefrierbeginn und $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ erstarrt und unter $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei allen Lebensmitteln nur noch wenig Wasser ausfriert. Bei -20 bis $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist der Gefriervorgang praktisch beendet. Der bei diesen tiefen Temperaturen nicht ausgefrorene Wasseranteil entspricht dem an andere Lebensmittelbestandteile, insbesondere an Eiweiß und Kohlenhydrate, fest gebundenen Wasser.

2.3. Tiefgefriervorgang

Das Gefrieren unterteilt sich gem. Bild 3 in drei Bereiche:

1. Abkühlen der Lebensmittel von der Einbringtemperatur bis auf die Temperatur des Gefrierbeginns,
2. Gefrieren des größten Teils vom ausfrierbaren Wasser unter Entzug der Erstarrungswärme durch Temperatursenkung auf $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
3. Nachkühlen bis auf die gewünschte Gefrierlagertemperatur.

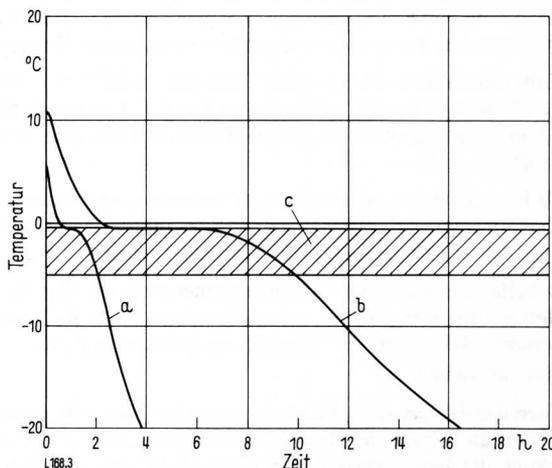


Bild 3. Schematischer Temperaturverlauf beim Tiefgefrieren von Lebensmitteln mit unterschiedlicher Gefriereschwindigkeit.

- a schnelles Gefrieren
- b langsames Gefrieren
- c kritischer Bereich

Die Einbringtemperatur wird durch den vorausgegangenen Verarbeitungsprozeß beeinflusst und kann u.U. recht hoch liegen. Daher sollte man das Gut möglichst außerhalb der Gefrieranlage in einer Vorkühleinrichtung bis nahe an den Gefrierbeginn vorkühlen, um die Verweilzeit im eigentlichen Gefrierapparat zu verkürzen.

Das Temperaturgefälle während des Gefrierens von den kalten Randschichten zum wärmeren Kern hin wird durch die physikalischen Stoffeigenschaften der Lebensmittel, deren Form und deren Abmessungen sowie durch die Temperatur des Gefriermediums und die Art des Gefrierverfahrens beeinflusst. Bis im Kern z.B. $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht sind, haben die Randschichten eine viel tiefere Temperatur. Nach dem Ausbringen aus dem Gefrierapparat findet ein Temperatursgleich statt; die Kerntemperatur sinkt weiter, so daß die in den „Leitsätzen für tiefgefrorene Lebensmittel“ für Tiefkühlprodukte geforderte Kerntemperatur von $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder tiefer mit Sicherheit erreicht wird. Will man bei den heute üblichen tieferen Lagertemperaturen von bis zu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ lagern, so müssen beim Einfrieren auch entsprechend tiefere Kerntemperaturen durch längeres Gefrieren oder mittels tieferer Kälte-träger- bzw. Kältemittel-Temperaturen erzeugt werden.

2.4. Einfluß der Gefriereschwindigkeit auf das Tiefgefrieren

Beim Tiefgefrieren von Lebensmitteln dringt die Eisfront von der Oberfläche zum Kern vor. Die Gefriereschwindigkeit ist ein Maß dafür, wie schnell dieser Vorgang abläuft. Nach *R. Planck* ergibt sich die mittlere Gefriereschwindigkeit v_m gemäß

$$v_m = l/z_0$$

aus der kürzesten Entfernung l von der Oberfläche bis zum Kern des Gefrierguts und aus der Gefrierzeit z_0 .

Beim industriellen Tiefgefrieren von Lebensmitteln unterscheidet man etwa die folgenden drei Bereiche für die Gefriereschwindigkeit:

1. langsames Gefrieren mit $v_m = 0,1$ bis $0,5\text{ cm/h}$,
2. schnelles Gefrieren mit $v_m = 0,5$ bis 5 cm/h ,
3. sehr schnelles Gefrieren mit $v_m > 5\text{ cm/h}$.

Schnelles Gefrieren mit hohen Gefriereschwindigkeiten ergibt eine feinkristalline Eisstruktur und somit die kleinsten histologischen Veränderungen im Zellgewebe. Da hierbei nur wenig Zeit für Diffusions- und Entmischungsvorgänge zur Verfügung steht, bilden sich die Eiskristalle vornehmlich an den Stellen, an denen sich der Zellsaft bei Gefrierbeginn befand. Beim späteren Auftauen wird das Wasser dann fast völlig wieder aufgenommen, so daß es nur zu unbedeutenden Tropfsaftverlusten kommt.

Die Vorteile einer hohen Gefriereschwindigkeit wurden in der Vergangenheit ohne Zweifel erheblich überschätzt. Zwischen schnell und langsam gefrorenen Produkten treten nur in wenigen Fällen organoleptische Unterschiede auf, z.B. bei Gurken und Spargel. Der Hauptvorteil des Schnellgefrierens liegt außer in der größeren Wirtschaftlichkeit (bessere Ausnutzung des Gefrierapparats, weniger Platzbedarf für gleiche Gefrierleistung) darin, daß das beim Gefrieren als kritischer Bereich bezeichnete Temperaturintervall von -1 bis $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, in dem noch zahlreiche unerwünschte Veränderungen im Lebensmittel auftreten können, schnell überwunden wird.

2.5. Gefriereignung der Rohware

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Erzeugen einwandfreier, hochwertiger Tiefgefrierkost ist die Auswahl gefrier-tauglicher Rohwaren. Durch Sortenwahl und Neuzüchtungen – z.B. bei Erbsen und Erdbeeren – ist es gelungen, besonders zum Gefrieren geeignete Pflanzensorten zu finden, deren organoleptische Eigenschaften nach dem Gefrieren denen entsprechender Frischprodukte nahe kommen. Von ausschlaggebender Bedeutung ist bei pflanzlichen Lebensmitteln das für das Gefrieren optimale Reifestadium, durch das Farbe, Aroma, Geschmack, Konsistenz und Gehalt an Inhaltsstoffen, wie Zucker und Vitamine, bestimmt werden.

Allgemein gilt, daß die Qualität tiefgefrorener Lebensmittel niemals besser als die verwendeten Rohwaren im Frischzustand sein kann. Daher soll auch der Zeitraum zwischen der Ernte, dem Schlachten bzw. dem Herstellen des Ausgangsprodukts (abgesehen vom Abhängen und Reifen von Fleisch) bis zum Gefrieren so klein wie möglich sein, da in dieser Zeit unweigerlich Qualitätsverluste auftreten. Unvermeidbare Vor- und Zwischenlagerungen sollte man wenigstens in gekühlter Umgebung unter 10 °C vornehmen.

3. Tiefgefrierverfahren

Zum Gefrieren von Lebensmitteln werden folgende Verfahren verwendet:

1. Gefrieren im Kaltluftstrom (Luftgefrieren),
2. Gefrieren im Kontakt mit gekühlten Platten und gekühlten Flächen (Kontaktgefrieren),
3. Gefrieren in kalten Flüssigkeiten (Solegefrieren),
4. Gefrieren mit verflüssigten Gasen oder flüssigen Kältemitteln.

Das Gefrieren im Kaltluftstrom eignet sich besonders gut für ungleichförmiges Gut (z.B. Geflügel), für großstückiges Gut (wie Rinderviertel und Schweinehälften) und für Gefrierbetriebe, in denen die Größe und die Form der Verpackung häufig wechseln. Nach Art der Gutsbewegung kennt man Hordenwagen-, Band-, Ketten-, Karussell- und Paternostergefrierapparate, die bis auf den Hordenwagen-Gefrierapparat, der auch für absatzweisen Betrieb eingesetzt wird, alle kontinuierlich arbeiten. Das auf Horden, Ketten oder Bändern liegende Gut gelangt über Schleusen in die Gefrierapparate. Lüfter wälzen die gekühlte Luft mit einer mittleren Geschwindigkeit von 3 bis 7 m/s im Gegen- oder im Kreuzstrom zum Gefriergut um und sorgen dadurch für eine gute Wärmeabfuhr. Zur Luftkühlung dienen Rippenrohrkühler, in denen Ammoniak oder andere Kältemittel bei - 35 bis - 50 °C verdampfen, so daß die Luft entsprechend Temperaturen von - 30 bis - 45 °C annimmt. Die mit dem Luftgefrieren wirtschaftlich erzielbaren Gefriereschwindigkeiten liegen meist bei 1 bis 3 cm/h.

Eine für rieselfähige, kleinstückige Lebensmittel eingesetzte Sonderbauart der Luftgefrierapparate ist der Fließbett-Gefriertunnel, bei dem unter Anwendung des Flotationsprinzips das Gut im von unten nach oben gerichteten Luftstrom aufgewirbelt und in sehr kurzer Zeit gefroren wird, ohne daß dabei die einzelnen Stücke zusammenfrieren. Erbsen, Erdbeeren, Rosenkohl, Pommes frites und ähnliche Güter werden in wenigen Minuten gefroren, was Gefriereschwindigkeiten von 5 bis 10 cm/h entspricht.

Das Gefrieren im Kontakt mit gekühlten Platten dürfte heute das am häufigsten angewendete Verfahren sein, das sich besonders gut für einheitliche, planparallele Kleinpackungen eignet. Die Produkte werden dabei zwischen kalte Platten von - 30 bis - 40 °C gebracht. Eine geeignete Vorrichtung drückt die Platten leicht auf das Gut. Die Plattenkühlung geschieht durch direkte Kältemittelverdampfung oder durch Umwälzen von Kühlsole. Flexible Schlauchleitungen führen das Kühlmedium zu den Platten. Mehrplattengefrierapparate werden vorwiegend mit horizontalen Platten, seltener mit vertikalen Platten hergestellt und arbeiten meist absatzweise. Die übliche Gefriereschwindigkeit in Plattengefrierapparaten liegt bei 3 bis 5 cm/h.

Zum Gefrieren flüssiger Lebensmittel benutzt man Kratzkühler oder Walzengefrierapparate. Insbesondere das Einfrieren von Rahm mit Walzenfroster hat in den letzten Jahren bei der Butterherstellung große Bedeutung für den Ausgleich jahreszeitlich bedingter Konsistenzschwankungen und für das Einlagern zeitweiser Überproduktionen erlangt. Infolge der kleinen Schichtdicke ist die Gefriereschwindigkeit mit etwa 15 cm/h besonders groß.

Das Gefrieren in flüssigen Kälte-trägern (Kühlsole aus Propylen-glykol, Magnesium- oder Natriumchlorid-Lösungen) wird nur bei verpackten Lebensmitteln, wie in Dosen abgefüllten Säften und Saftkonzentraten und in Schrumpffolien verpacktem Geflügel, angewendet, da man eine Beeinträchtigung des Guts durch die Sole unbedingt vermeiden muß.

Der bei der Sauerstoffgewinnung als Nebenprodukt anfallende Stickstoff kann ebenfalls zum Gefrieren verwendet werden. Die extrem tiefe Verdampfungstemperatur des verflüssigten Stickstoffs von - 196 °C bewirkt eine sehr große Gefriereschwindigkeit von 5 bis 15 cm/h. Infolge der schnellen Erhärtung der äußeren Schichten des Guts und der Ausdehnung des gefrierenden Kerns kann es bei zu schnellem Gefrieren zu unerwünschter Rißbildung kommen. Das Besprühen mit flüssigem Stickstoff liefert daher bessere Ergebnisse als das Eintauchen des Guts in den flüssigen Stickstoff.

In jüngster Zeit hat man in den Vereinigten Staaten von Amerika ein neues Gefrierverfahren amtlich zum Gefrieren von Lebensmitteln zugelassen, bei dem auf dem Gut siedendes Kältemittel R 12 (Difluordichlormethan) als Kälte-träger dient. Im Gegensatz zu den tiefsiedenden Gasen Luft und Stickstoff läßt sich R 12 vergleichsweise einfach rekondensieren (da es bei 1 bar bei rd. - 30 °C siedet) und somit, bis auf die auftretenden Leckverluste, mehrmals verwenden.

4. Verpacken tiefgefrorener Lebensmittel

Tiefgefrorene Lebensmittel müssen aus hygienischen Gründen, zur Qualitätserhaltung und zum Schutz vor Austrocknung geeignet verpackt werden. Die Verpackung hat die Aufgabe, das Gut für die handelsübliche Lagerdauer vor atmosphärischen Einflüssen, vor dem Befall von Mikroorganismen, vor Austrocknung sowie vor Verlust und vor Übertragung von Geruchs- und Geschmacksstoffen ausreichend zu schützen. Der Packstoff muß geruchs- und geschmacksneutral sowie gesundheitlich unbedenklich sein. An eine geeignete Tiefgefrierpackung sind die folgenden Forderungen zu stellen:

Eine ausreichende mechanische Festigkeit soll gewährleisten, daß die Verpackung den Beanspruchungen beim Füllen, Gefrieren, (Volumenzunahme infolge Eisbildung), Verschließen, Lagern, Transportieren und Auftauen standhält. Die Verpackung muß möglichst eng am Gut anliegen, da sonst bei der Gefrierlagerung der unerwünschte Gefrierbrand auftritt; darunter versteht man eine Austrocknung des Guts an den Stellen, an denen Hohlräume in der Verpackung sind. Eine kleine Wasserdampfdurchlässigkeit der Verpackung ist zu fordern, damit der Massenverlust klein bleibt. Bei sehr wasserhaltigen Gütern, wie Fisch, Spinat, Beeren, muß außerdem Naßfestigkeit und Tropfsicherheit verlangt werden.

In einzelnen Fällen bestehen darüber hinaus noch Forderungen bezüglich der Gasdichtigkeit (Schutz vor Oxydation, Aromadichtigkeit) und u.U. einer ausreichenden Lichtundurchlässigkeit (Schutz vor Verfärbungen). Da die Verpackung in der Tiefkühltruhe unter den „Mitkonkurrenten“ auffallen soll, ist schließlich auch eine werbewirksame Bedruckung erwünscht. Die ideale, preiswerte Verpackung, die alle diese Anforderungen gleich gut erfüllt, gibt es nicht. Man muß von Fall zu Fall eine optimale Lösung suchen. Für die Auswahl stehen insbesondere folgende Packungen zur Verfügung:

1. Einwickler und Beutel aus paraffiniertem, lackiertem oder beschichtetem Papier, wetterfestem Zellglas, Kunststoffolien, Aluminiumfolien und aus Verbundfolien aus den genannten Stoffen,
2. als Faltschachteln oder Faltschälpackungen ausgebildete Kartonpackungen, die entweder auf der Innenseite geeignet beschichtet sind oder einen Einsatzbeutel erhalten,
3. Behälter aus Kunststoff, Metall, seltener auch aus Glas für flüssige und breiige Güter, z.B. Aluminiumschalen für Fertigerichte; dabei kann die Verpackung gleichzeitig als Eßgeschirr dienen.

Von seiten der deutschen Tiefkühlwirtschaft hat man sich schon sehr früh auf die folgenden Füllmassen für Kleinverbraucherpackungen geeinigt, die dem Verbraucher Preisvergleiche sehr erleichtern: Gemüse (außer Suppengrün), Obst, Kartoffelerzeugnisse, Teigwaren, Milchprodukte, Fischerzeugnisse (mit Ausnahme von Forellen, Fischfilet und Fischsteaks) in Portionen zu 150, 300, 450, 600 und 750 g. Fischfilet und Fischsteaks in Portionen zu 200, 400, 600 und 800 g.

5. Lagern tiefgefrorener Lebensmittel

5.1. Veränderungen bei der Gefrierlagerung

Gefrieränderungen beruhen auf biochemischen und auf physikalischen Prozessen, die im gefrorenen Gut ablaufen und zu Beeinträchtigungen des Geschmacks, der Konsistenz, des Geruchs, des Aussehens (Farbe und Formerhaltung) führen sowie eine Abnahme des Gehalts an wichtigen Lebensmittel-Inhaltsstoffen, z.B. Vitaminen, bedingen. Fast immer wird die zulässige Lagerzeit in erster Linie durch die Geschmacksveränderungen beeinflusst.

Enzyme werden beim Tiefgefrieren nicht zerstört, häufig aber durch das Absterben des tierischen oder pflanzlichen Gewebes aus ihrem natürlichen Verband und ihrer bisherigen Aufgabe herausgerissen, so daß sie schädliche Veränderungen herbeiführen können, wenn man sie nicht vor dem Gefrieren durch Blanchieren inaktiviert hat. Obwohl die Enzymaktivität bei den üblichen Gefrierlagertemperaturen von -20 bis -30 °C oft nur noch ein Hundertstel von der bei Zimmertemperatur ist, reicht diese kleine Restaktivität aus, im Verlauf der längeren Lagerdauer zu einer Denaturierung von Eiweiß oder zum Fettverderb durch Oxydation oder Hydrolyse zu führen.

Der Vitamingehalt tiefgefrorener Lebensmittel nimmt mit zunehmender Lagerzeit meist leicht ab; dennoch haben tiefgefrorene Produkte einen höheren Vitamingehalt als länger gelagertes Frischgemüse und hitzesterilisierte Konserven.

Infolge der durch die Regelung der Kältemaschine bedingten unvermeidbaren kleinen Temperaturschwankungen von $\pm 0,5$ bis 1 °C im Gefrierraum kommt es auch im Gefriergut zu Temperaturschwankungen, die zu Umkristallisationen führen. Bei Temperaturanstieg schmilzt Wasser von den kleinen Eiskristallen, die einen etwas höheren Dampfdruck und einen entsprechend niederen

Schmelzpunkt haben, und gefriert beim Abfallen der Temperatur an benachbarten größeren Kristallen an. Mit der Zeit wachsen also die großen Kristalle auf Kosten der kleinen an; das Kristallgefüge wird gröber. Auf dem gleichen Effekt beruht auch das Auftreten des Gefrierbrandes. Hierbei sublimiert, solange das Gut wärmer ist, Wasserdampf aus dem Gut und schlägt sich in Form von Eiskristallen an der nicht fest am Gut anliegenden kälteren Verpackung nieder. Die dabei auftretende Austrocknung des Produkts führt meist zu irreversiblen Denaturierungen des Zellgewebes, so daß später eine Wiederbefeuchtung unmöglich ist.

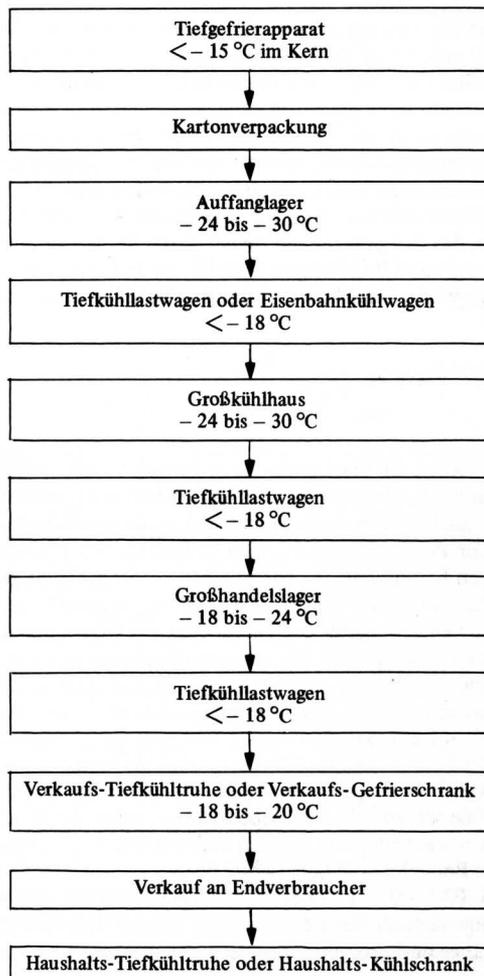
5.2. Zeit-Temperatur-Abhängigkeit der Qualität

Umfangreiche Untersuchungen der Zeit-Temperatur-Abhängigkeit („Time-Temperature-Tolerance“, TTT) ergaben, daß die unerwünschten Gefrierlagerveränderungen sehr von der Lagerzeit und der Lagertemperatur abhängen. Es zeigte sich, daß der Qualitätsabfall tiefgefrorener Lebensmittel bei Schwankungen der Gefrierlagertemperatur lediglich vom zeitlichen Mittelwert der Temperatur des Guts und nicht von der Frequenz ihrer Schwankung abhängt. Diese Beziehung kann auch auf die Tiefkühlkette (dies ist der Weg des Produkts vom Erzeuger über den Vertrieb zum Groß- und Einzelhändler bis zum Endverbraucher) angewendet werden, **Tafel 1.**

5.3. Zulässige Lagerzeit

Die mögliche Lagerdauer tiefgefrorener Lebensmittel hängt hauptsächlich von der Ausgangsqualität der Rohware und von der angewendeten Gefrierlagertemperatur ab, wenn eine sachgerechte Verarbeitung und eine geeignete Verpackung vorausgesetzt werden. Die Lagerdauer einiger wichtiger Tiefkühlprodukte, die sich ohne bemerkenswerten Qualitätsverlust bei -18 , -24 und -30 °C erzielen läßt, wurden in **Tafel 2** nach Angaben von *J. Gutschmidt* zusammengestellt. Man sieht, daß insbesondere oxydationsempfindliche Produkte, wie z.B. Fisch und fettes Fleisch, bei -30 °C gelagert werden müssen, wenn eine Lagerzeit von 1 a erwünscht ist.

Tafel 1. Schema der Tiefkühlkette vom Gefrierbetrieb bis zum Endverbraucher.



Tafel 2. Mögliche Lagerdauer einiger Lebensmittel bei -18 , -24 und -30 °C nach Angaben von *J. Gutschmidt*.

Lebensmittel	mögliche Lagerdauer in Monaten		
	bei -18 °C	bei -24 °C	bei -30 °C
Fleisch			
Rindfleisch	9 bis 12	15 bis 18	–
Schweinefleisch mager	5 bis 7	9 bis 11	12 bis 15
Schweinefleisch fett	4 bis 5	7 bis 9	10 bis 12
Geflügel			
Hähnchen	6 bis 8	10 bis 12	–
Hähnchen gebraten	3 bis 4	–	12 bis 14
Fisch			
Magerfisch	5 bis 7	7 bis 10	10 bis 14
Fettfisch	2 bis 4	4 bis 6	6 bis 8
Molkereiprodukte			
Butter	6 bis 8	10 bis 12	–
Sahne	2 bis 3	4 bis 6	–
Eiskrem	–	2	4 bis 6
Eimasse	8 bis 10	12 bis 15	–
Gemüse			
Bohnen	8 bis 10	16 bis 18	22 bis 24
Erbsen	10 bis 12	18 bis 20	über 24
Gurkenscheiben	5 bis 6	7 bis 9	10 bis 12
Pommes frites	6 bis 8	9 bis 12	–
Obst			
Erdbeeren	10 bis 12	18 bis 20	über 24
Himbeeren	10 bis 12	18 bis 20	–
Himbeeren*)	16 bis 18	22 bis 24	–
Pfirsiche*)	8 bis 10	12 bis 14	–
Pfirsiche*) mit Ascorbinsäure	12 bis 14	16 bis 18	–

*) in Zuckerlösung.

6. Schlußbetrachtung

Alle Tiefkühlprodukte, die dem Verbraucher angeboten werden, haben eine Temperaturgeschichte entsprechend der durchlaufenen Tiefkühlkette. Bei sachgemäßer Handhabung entsprechend den „Leitsätzen für tiefgefrorene Lebensmittel“ haben die Lagerung und der Transport immer bei Temperaturen von -18°C oder tiefer zu geschehen; nur bei der Entnahme ist ein unvermeidbarer kurzzeitiger Anstieg auf höchstens -15°C erlaubt. Das Wiedereingefrieren auf- oder angetauter Produkte ist grundsätzlich verboten, läßt sich aber nur schwer überwachen. Obwohl es bereits heute mit Indikatoren ausgestattete Verpackungen gibt, die anzeigen, ob im Verlauf der Tiefkühlkette die zulässige Temperatur überschritten wurde, hat sich dieses Verfahren bisher aus Kostengründen nicht durchgesetzt. Der Verbraucher muß und kann sich auf die Redlichkeit der Tiefkühlindustrie und ihres Verteilnetzes verlassen. Gelegentliche Verstöße gibt es meist nur im Einzelhandel, bei dem aus Unachtsamkeit oder Unwissenheit die Tiefkühlmöbel überladen oder die Verdampfer nicht vorschriftsmäßig abgetaut werden, so daß sich die Ware in unzulässigem Maß erwärmt. Beim Einkauf von Tiefkühlkost sollte man möglichst auf folgendes achten:

1. Man nehme aus der Tiefkühltruhe bzw. aus Tiefkühl-Gefrierschränken nur Packungen, die fest gefroren sind. Zur Kontrolle eignet sich besonders Eiskrem, das infolge seines hohen Milchfettgehalts bereits bei Temperaturen über -18°C weich zu werden beginnt.
2. Tiefgefrorene Lebensmittel, die über den Truhenrand oder über die Markierungsgrenze gestapelt sind, sind nicht ausreichend gefroren. Sehr vereiste Gefriermöbel sind ein Zeichen dafür, daß für eine längere Zeit nicht abgetaut wurde; dadurch steigt die Truhentemperatur unzulässig hoch an.
3. Nur unbeschädigte Verpackungen gewährleisten eine einwandfreie Aroma- und Massenerhaltung. Eine merkliche Schnee- oder Eisaufbildung innerhalb der Verpackung deutet oft darauf hin, daß die Ware zumindest angetaut war. Unzureichend verpackte Ware kann Gefrierbrand haben, der sich als weiße oder braun-rötliche Verfärbung bemerkbar macht.

Bei Beachtung dieser Punkte darf man sicher gehen, ein hochwertiges Tiefkühlprodukt mit entsprechender Qualität zu erhalten, das sich z.B. im Kühlschrank einen Tag und im Zwei-Sterne-Gefrierfach bei -12°C bis zu zwei Wochen lagern läßt, sofern keine eigene Haushalts-Tiefkühltruhe zur Verfügung steht.

Untersuchungen über den Strömungswiderstand landwirtschaftlicher Halmgüter

DK 533.6.013.124 : 631.365.33

Der Landwirtschaft entstehen alljährlich riesige Verluste durch verdorbenes Futter. Man bemüht sich daher seit langem, diesen Verlusten durch Trocknen des Grünfutters und durch Belüften der gelagerten Futtermittel entgegenzuwirken. Für das Auslegen solcher Trocknungs- und Belüftungsanlagen muß der Druckverlust der durchströmten Schüttgüter bekannt sein. Die hierfür bislang zur Verfügung stehenden Unterlagen waren sehr mangelhaft. Es handelte sich durchweg um empirisch gewonnene Näherungsbeziehungen von nur beschränkter Gültigkeit, die insbesondere wegen der zahlreichen Einflußgrößen mit sich überlagernden Effekten keine physikalisch eindeutigen Abhängigkeiten erkennen ließen. Auch theoretische Ansätze auf Grund von Modellvorstellungen aus anderen Bereichen der Technik blieben unbefriedigend, da es aussichtslos erscheint, die verwickelten Zusammenhänge beim Durchströmen von Haufwerken aus natürlich gewachsenen Halmen und Blättern exakt zu erfassen. Die umfangreichen Untersuchungen von *H. Holze*¹⁾ brachten hier wesentlich neue Erkenntnisse. Er nahm zunächst Druckverlustmessungen an Modellhaufwerken vor. Dabei handelte es sich um Polyvinylchlorid-Fäden mit einer Kunstseideneinlage, die man auf genau bemessene Längen-Durchmesser-Verhältnisse zuschnitt. Außerdem änderten sich diese Modellschüttungen während der Versuche nicht. Die Versuche gaben daher Aufschluß über die grundlegenden physikalischen Vorgänge und insbesondere auch über den großen Einfluß des Längen-Durchmesser-Verhältnisses von Halmgut beim Füll- und beim Entleerungsvorgang. Die weiteren Versuche erstreckten sich dann auf natürliche Erntegüter, bei denen gegenüber den Modellhalmen noch die Verschiedenartigkeit der Formen und der Oberflächenbeschaffenheit bei jeder Gutart sowie der Feuchtegehalt des Gutes als zusätzliche Einflußgrößen hinzukommen. Die untersuchten Erntegüter umfaßten Wiesengras, Luzerne, Rübenblatt, Mais, Wicken, Hafer-

stroh und Weizenstroh mit jeweils verschiedenen Häcksellängen von 15 bis 90 mm. Diese Versuche erwiesen, daß es nicht möglich ist, Kenngrößen festzulegen, mit denen sich die Struktur von natürlichen Halmgütern eindeutig kennzeichnen und in Beziehung zum Druckverlust der von Luft durchströmten Säule setzen läßt. *H. Holze* versuchte daher, anstatt der wirklichen Einflußgrößen Ersatzgrößen einzuführen, die sich empirisch ermitteln lassen und mittels Ähnlichkeitsbetrachtungen zu einem Widerstandsgesetz zu gelangen, das den praktischen Bedürfnissen für den Entwurf von Trocknungs- und Belüftungsanlagen für landwirtschaftliche Erntegüter entspricht. Das Widerstandsgesetz lautet in seiner endgültigen Form

$$\Delta p = k_H c_F \zeta_{Ks} \frac{h}{d_H} \frac{1}{\epsilon_H} \frac{Q}{2} w^2.$$

Darin bedeuten Δp den Druckverlust des halm- oder blattförmigen Gutes über die Schütthöhe h , Q die Luftdichte, w die mittlere Anströmgeschwindigkeit der Schüttung, ϵ_H das spezifische Hohlraumvolumen der Schüttung, ζ_{Ks} den Widerstandsbeiwert einer unregelmäßigen Kugelschüttung entsprechend einer geeignet gebildeten Reynoldszahl für das Halmgut sowie k_H , c_F , d_H und t die für die verschiedenen Erntegüter aus Tafeln oder aus Diagrammen zu entnehmenden Ersatzgrößen. Die Ersatzgröße k_H ist eine von der Gutart und der Häcksellänge abhängige Stoffkonstante. Die Größe d_H kennzeichnet einen äquivalenten Halmdurchmesser, der von den gleichen Einflußgrößen wie k_H und vom Feuchtegehalt abhängt. Der Feuchtegehalts-Faktor c_F wird als Funktion der Gutart, der Häcksellänge und des Feuchtegehalts abgelesen. In die vierte Ersatzgröße schließlich, den Exponenten t , gehen die gleichen Einflußgrößen wie bei c_F ein. Die entwickelte Druckverlustgleichung liefert im Bereich der üblicherweise benutzten Luftgeschwindigkeiten $w = 0,03$ bis $0,18$ m/s befriedigend genaue Werte. Die Ersatzgröße „äquivalenter Halmdurchmesser“ nimmt degressiv mit der Häcksellänge und progressiv mit dem Feuchtegehalt zu.

Düsseldorf

Dr. phil. *Horst W. Hahnemann* VDI

¹⁾ *Holze, H.*: Untersuchungen über den Strömungswiderstand landwirtschaftlicher Halmgüter. VDI-Forsch.-Heft 545. Düsseldorf: VDI-Verlag 1971. 32 S. m. 49 Bild. u. 3 Taf. Preis 41,50 DM, im Abonnement 37,50 DM (VDI-Mitglieder erhalten 10 % Preisnachlaß). Danach dieses Referat.