

Kryogenes Frosten – qualitätsschonend und schnell



Abb. 1:
Vor allem bei empfindlichen und teuren Lebensmitteln sind hohe Gefrier-
geschwindigkeiten entscheidend für die Qualität der Produkte

Lebensmittel sollten so schonend wie möglich tiefgefroren werden, damit sie nach dem Auftauen appetitlich und frisch auf den Tisch kommen. Voraussetzung dafür ist „schnelle Kälte“. Nur bei sehr hohen Gefriergeschwindigkeiten (über 5 cm/h) kristallisiert das Zellwasser so rasch, dass nur sehr kleine Eiskristalle entstehen, die das Zellmaterial nicht schädigen.

Dieses Tiefgefrieren lässt sich am besten und wirtschaftlichsten mit den tiefkalten Gasen Stickstoff oder Kohlendioxid (handelsüblich auch als Kohlensäure bezeichnet) realisieren. Bei den kryogenen Gefrierverfahren, die Messer unter dem Markennamen Cryogen®-Rapid zusammengefasst hat, kommt das Kältemittel in unmittelbarem Kontakt mit dem Gefriergut. Durch die tiefen Temperaturen im

Froster genügen geringste Feuchtigkeitsspuren, um die Atmosphäre mit Wasser zu sättigen. Dies verhindert in allen Cryogen®-Rapid-Frostern das Austrocknen der Ware und somit unerwünschte Gewichtsverluste.

Vor allem bei teuren oder bereits vorbereiteten Lebensmitteln wie Fleisch, Fleischzubereitungen, Fertiggerichte, Backwaren, Fisch, Schalentiere, Spargel, Pilze und Beerenobst lohnt sich das Tiefgefrieren mit kryogenen Gasen (Abb. 1). Auch das Anhärten bzw. Unterkühlen von Eiscreme, Torten und Obstkuchen mit dem schnellen Cryogen®-Rapid-Gefrierprozess bringt Vorteile, weil damit ein Verlaufen der Konturen bzw. „Formverluste“ beim Verpacken vermieden werden.

Stickstoff und Kohlensäure – vielseitige Kältemittel

Das Cryogen®-Rapid-System nutzt die in den kryogenen, d.h. tiefkalt verflüssigten Gasen Stickstoff (LN₂) und Kohlensäure (LCO₂) gespeicherte Kälte. Die Auswahl des Kältemittels ist dabei von der jeweiligen Anwendung abhängig. Beide Kälte-träger verhalten sich gegenüber Lebensmitteln neutral und können ohne Bedenken direkt auf das Gefriergut gesprüht werden. Im Sinne der EG-Richtlinie Nr. 95/2/EG sind Stickstoff und Kohlendioxid Zusatzstoffe und als solche zur Herstellung von Lebensmitteln zugelassen. Die Gase entstammen der Umgebungsluft bzw. natürlichen oder industriellen Quellen und gelangen nach Abgabe ihrer Kälte-Energie wieder zurück in die Umwelt.

Schnelles und schonendes Tiefgefrieren

Unter Tiefgefrieren versteht man das Abkühlen von wasserhaltigen Lebensmitteln von Umgebungstemperatur (z.B. +20 °C) auf eine Temperatur weit unter den Gefrierpunkt (min. unter -15 °C). Bei dieser Temperatur ist die Ware längere Zeit ohne wesentliche Qualitätsverluste lagerbar. Das Tiefgefrieren schließt das Erstarren bzw. die Kristallisation des Wasseranteils ein.

Zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit eines Gefrierverfahrens ist die mittlere Gefriergeschwindigkeit \bar{w} (angegeben in cm/h) wie folgt definiert:

$$\bar{w} = d_0/z_0$$

dabei sind d_0 der kürzeste Abstand zwischen Produktkern und Produktoberfläche und die Gefrierzeit z_0 die Zeitspanne für das Abkühlen des Produktkerns von 0 °C auf -10 °C. Gemäß dieser Definition lassen sich Gefrieranlagen wie folgt einteilen:

- **Langsames Gefrieren**, z.B. in einer Haushaltsgefriertruhe:
 $\bar{w} \leq 0,1$ cm/h
- **Langsames Gefrieren**, z.B. in einer Gefrierzelle:
 $\bar{w} \leq 0,1 - 0,5$ cm/h
- **Schnelles Gefrieren**, z.B. in einem Kaltluftwirbelbett: $\bar{w} \leq 0,5 - 5$ cm/h

N₂ und CO₂ – die idealen Kältemittel

Flüssiger Stickstoff

Stickstoff ist ein inertes reaktionshemmendes Gas. Es ist mit 78 Vol.-% Hauptbestandteil der Luft und wird in flüssiger Form durch Tieftemperatur-Luftzerlegung gewonnen. Tiefkalter flüssiger Stickstoff (LN₂) hat bei Atmosphärendruck eine Siedetemperatur von -196 °C; bei einem Lagerdruck von 3 bar sind es -185 °C. Verdampft bei 3 bar gelagerter Stickstoff an der Produktoberfläche, so werden ca. 183 kJ/kg an Wärme aufgenommen. Neben der aufnehmbaren Wärmemenge für den Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase, der Verdampfungsenthalpie, kann das dann kalte Stickstoffgas beim Erwärmen auf eine Temperatur von z.B. -20 °C nochmals die gleiche Wärmemenge aufnehmen. Insgesamt steht damit ein theoretischer Energie-Inhalt von etwa 363 kJ/kg zum Kühlen zur Verfügung (Abb. 2).

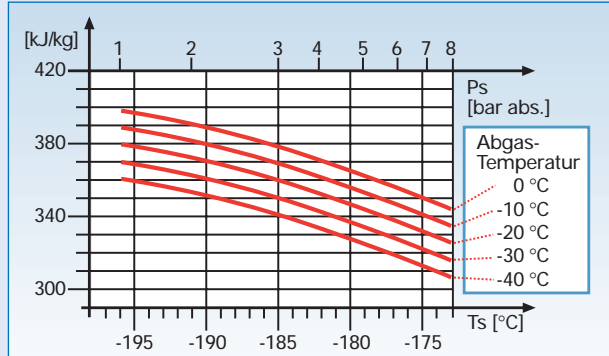


Abb. 2: Enthalpie von flüssigem Stickstoff abhängig von Siedezustand und Temperatur des Stickstoff-Abgases

Flüssiges Kohlendioxid

Kohlendioxid (CO₂) stammt aus natürlichen Quellen oder industriellen Prozessen. Es ist unter Normalbedingungen (0 °C/1 bar) ebenfalls ein inertes, geruch-, ge-

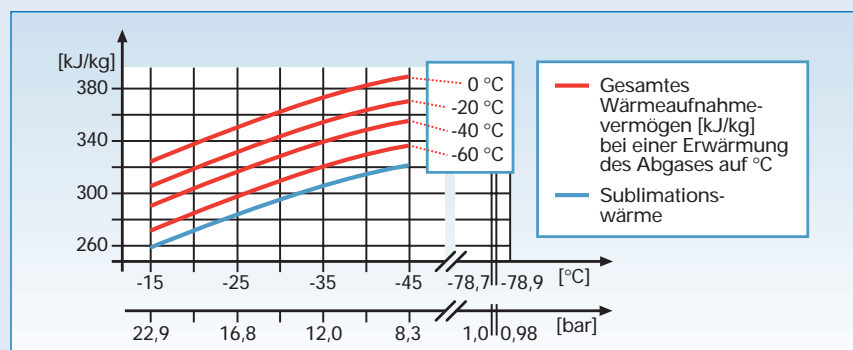


Abb. 3: Wärmeeaufnahmevermögen von flüssigem CO₂ abhängig vom Druck

schmack- und farbloses, nicht brennbares Gas. Bei Atmosphärendruck existiert CO₂ nur fest (Trockeneis) oder gasförmig. In flüssiger Form gibt es CO₂ nur bei Drücken über 5,18 bar. Kohlensäure wird in flüssiger Form bei ca. 17 bar und einer entsprechenden Temperatur von -25 °C in wärmeisolierten Tanks gelagert. Beim Entspannen von 1 kg dieses flüssigen Produkts auf Atmosphärendruck entsteht jeweils ca. 0,5 kg Trockeneis-Schnee mit einem Kälte-Inhalt von ca. 285 kJ und 0,5 kg Kohlendioxid-Gas. Beide CO₂-Phasen haben durch das Entspannen eine Temperatur von -78,8 °C. Beim direkten Kontakt mit der wärmeren Produktoberfläche sublimiert der Schnee, geht also unmittelbar in den gasförmigen Zustand über. Beim Erwärmen des Gases auf -20 °C beträgt die gesamte aufgenommene Wärmemenge ca. 330 kJ/kg (Abb. 3). Durch Unterkühlen des CO₂ mit dem von Messer entwickelten Thermocool-Verfahren lässt sich der Kälte-Inhalt noch um 15 % steigern. Für Lebensmittel ebenfalls von Bedeutung: CO₂ hat eine bakterio-statische (bakterienhemmende) Wirkung. (Alle Druckangaben als Absolutdrücke)

- **Sehr schnelles Gefrieren** mit kryogenen Flüssigkeiten (Stickstoff oder Kohlendioxid): $\bar{w} \geq 5 \text{ cm/h}$

Um eine Gefriergeschwindigkeit von über 5 cm/h zu erreichen, ist nicht nur ein hohes Temperaturgefälle (Abb. 4), sondern auch das direkte Sieden des Stickstoffs bzw. Sublimieren des CO₂-Schnees auf der Oberfläche des Gefrierguts erforderlich. Dort erfolgt der Wärmeübergang nach folgender Formel:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Danach ist die pro Zeiteinheit an die vorgegebene Produktoberfläche A (m²) übertragene Wärmemenge Q abhängig von dem Temperaturgradienten ΔT (K) und dem Wärmeübergangskoeffizienten α (W/m²K). Nur bei sehr hohen Gefriergeschwindigkeiten (über 5 cm/h) kristallisiert das Zellwasser so schnell, dass nur äußerst kleine Eiskristalle entstehen, die das Zellmaterial nicht schädigen (Abb. 5). Tropfverluste, die bei Einsatz konventioneller Anlagen bis zu 5 % betragen können, liegen beim kryogenen Gefrieren unter 1 %, so dass das Produkt nach dem Auftauen wieder saftig und appetitlich ist.

Kryogene Gefrieranlagen

Die Kälteleistung konventioneller Gefrieranlagen ist meist nur für eine bestimmte Leistung ausgelegt. Die mit flüssigem Stickstoff oder flüssigem Kohlendioxid betriebenen Cryogen®-Rapid-Gefrieranlagen haben dagegen eine große Leistungsbandbreite und sind bei vergleichsweise geringen Anschaffungskosten sehr flexibel einsetz- und problemlos erweiterbar. Sie sind zudem kleiner als vergleichbare konventionelle Systeme. Besondere bauliche Maßnahmen (z.B. ein Maschinenhaus mit entsprechend großer elektrischer Leistung) sind nicht erforderlich. Cryogen-Rapid®-Anlagen sind nicht platzgebunden und leicht zu transportieren. Die erforderlichen Speicherbehälter für das Kältemittel stehen im Freien.

Um die Stärken der kryogenen Gase Stickstoff und Kohlendioxid optimal auszunutzen, hat Messer den unterschied-

lichsten Anforderungen entsprechende Gefrieranlagen entwickelt, die im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Cryogen®-Rapid-Langtunnel

Die hohe Wirtschaftlichkeit dieses Anlagentyps basiert auf der optimalen Kaltgasführung, die z.B. bei Einsatz von flüssigem Stickstoff im Gegenstrom zum Produkt einlauf erfolgt. Das Kältemittel wird temperaturgesteuert über ein Regelventil und ein Düsensystem auf dem unverpackten Produkt versprüht (Abb. 6). Das entstehende Kaltgas wird durch Umwälzventilatoren an den Produktflächen verwirbelt und nach Abgabe seiner Kälte durch das Absauggebläse aus dem Tunnel entfernt. Die feuchtigkeitsgesättigte Atmosphäre und die kurze Gefrierzeit verhindern ein Austrocknen der Ware und unerwünschte Gewichtsverluste. Konditoren nutzen diese Langtunnelfroster auch zum Stabilisieren kunstvoller Verzierungen vor dem konventionellen Durchfrosten einer Torte.

Vorteilhafte Konstruktionsmerkmale: Die Modultechnik ermöglicht eine Anpassung

der Gefrierleistung, wenn sich der Bedarf ändert; die Förderbänder und andere produktberührte Bauteile lassen sich durch das Hochfahren des Isolationsoberteils oder das Absenken des -unterteils einfach reinigen (Abb. 7). Eine Integration der Anlage in vorhandene Produktionslinien ist meist problemlos möglich.

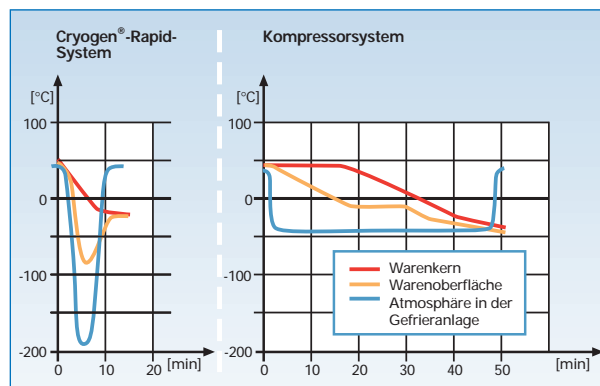


Abb. 4: Typischer Temperaturverlauf bei einem Cryogen®-Rapid-System im Vergleich zu einem konventionellen Kaltlufttunnel

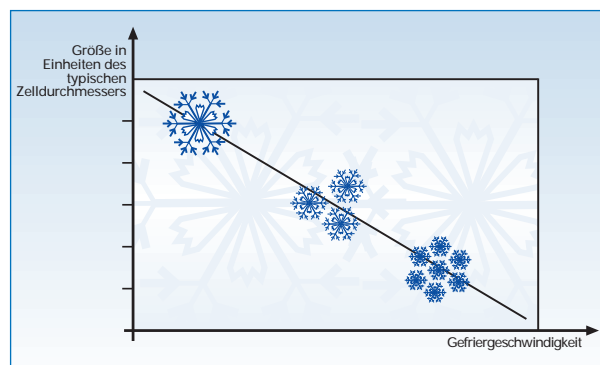


Abb. 5: Nur beim kryogenen Tiefgefrieren bleiben die Eiskristalle so klein, dass sie die Zellwände nicht schädigen

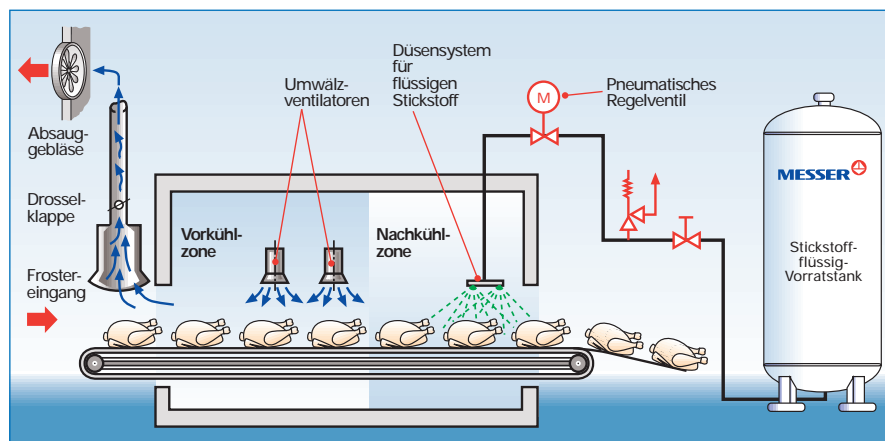


Abb. 6: Schematische Darstellung des Tiefgefrierens in einem Langtunnel

Cryogen®-Rapid-Wendelbandtunnel

Überall da, wo aus Platzgründen keine langen Transportbänder möglich sind, bietet der Cryogen®-Rapid-Wendelbandtunnel (Abb. 8) hohe Gefrierleistungen bei geringem Raumbedarf. Zusätzlich sind Produkt-ein- und -auslauf an die Platz- und Produktionsverhältnisse anpassbar. Im Wendelbandfroster wird ein sehr langes Transportband nach dem Prinzip einer Wendeltreppe über mehrere Etagen geführt. Bei einer Gefrierleistung von 1000 kg/h kann der Wendelbandfroster eine Kantenlänge von nur 5 m haben.

Wendelbandfroster werden auch als Doppel- oder Tandem-Anlagen konzipiert, um das Kältemittel noch besser auszunutzen: Die erste Anlage kühlt vor, die zweite frostet die Lebensmittel bis zum Kern durch.

Vertikaler Cryogen®-Rapid-Krustenfroster

Das Schneiden von Produkten wie z.B. Fleisch ist schwierig, wenn diese zu weich sind. Abhilfe schafft das Anfrosten der Oberfläche. Chargenweises Anfrieren kann wegen der kontinuierlichen Produktionsabläufe zu aufwendig sein. Andererseits brauchen kontinuierlich arbeitende Langtunnel eine größere Stellfläche (oft in teuren Reinräumen). Die Lösung ist der vertikale Krustenfroster. Er wird z.B. eingesetzt, um die Produktoberfläche von Schinkenblöcken „inline“ vor der Schneidmaschine anzufrosten. Durch das rasche Abkühlen werden die Qualität der Scheiben und die hygienischen Bedingungen verbessert sowie die Abfallmengen reduziert. Die Schneidgeschwindigkeit steigt um den Faktor 3 bis 4. Der Krustenfroster arbeitet kontinuierlich bei geringem Platzbedarf (Grundfläche ca. 4 m²).

Von der Schneidmaschine gesteuert, bewegen Schaukeln das Produkt ca. 10 Minuten lang in der Gefrierzone des Krustenfrosters auf und ab (Abb. 9). Sobald ein Block in die Schneidmaschine gelangt, wird automatisch ein neuer Block in den Krustenfroster geschoben.

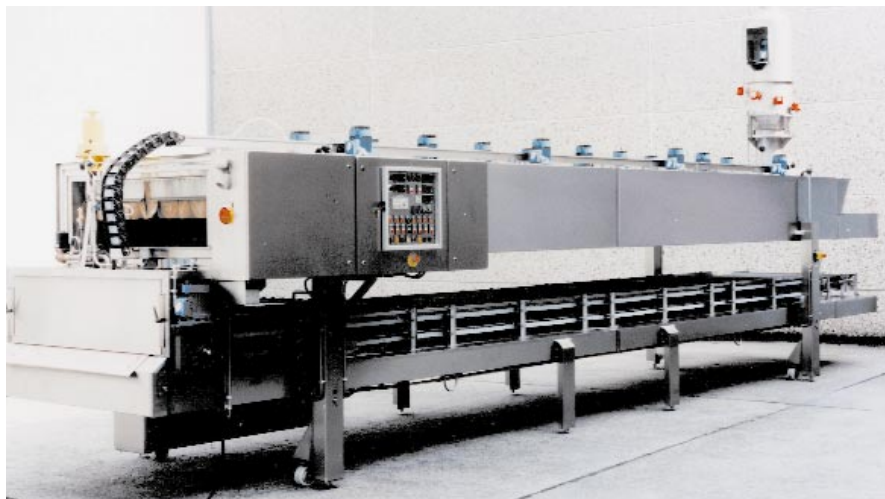


Abb. 7: Durch seine Modulbauweise ist der Cryogen®-Rapid-Langtunnel jederzeit erweiterungsfähig



Abb. 8: Der Wendelbandfroster bietet eine hohe Gefrierleistung auf wenigen Quadratmetern Grundfläche



Abb. 9: Kompakter Vertikalfroster zum Krustenfrosten vor dem Schneiden z.B. von Schinken



Abb. 10: Der Schrankfroster ist für das chargenweise An- und Tiefgefrieren bei hohen Gefrierleistungen geeignet

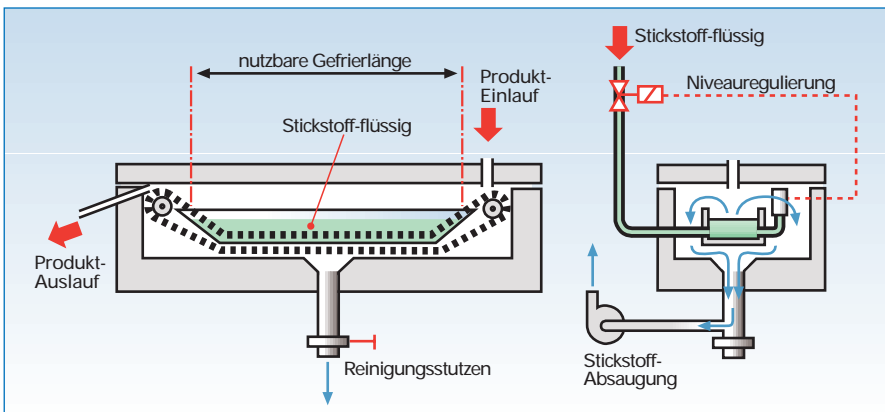


Abb. 11: Verfahrensprinzip eines Cryogen®-Rapid-Tauchfrosters

Cryogen®-Rapid-Schrank

Der Cryogen®-Rapid-Schrankfroster kommt für kleinere Frostleistungen und für den chargenweisen Betrieb zum Einsatz. Er eignet sich zum Kühlen, Anfrieren und Frosteten. Das Produkt wird auf die Etagen eines Hordenwagens gelegt und der Wagen in den Schrankfroster eingeschoben (Abb. 10). Ventilatoren drücken die Umluft gezielt zwischen die Etagen und sorgen so für einen optimalen Wärmeübergang und ein besonders gleichmäßig gekühltes bzw. gefrorenes Produkt. Die Schrankfroster sind so konzipiert, dass die Hordenwagen ohne Rampen und Hebesysteme ein- und ausgefahren werden können.

Durch ihre Modulbauweise eignen sich die Schrankfroster besonders gut zur stufenweisen Anpassung an steigende Produktionsmengen. Bei Doppelschränken

sorgt zudem die wechselseitige Kaltgasnutzung für eine hohe Energie-Effizienz. Dazu wird das Abgas eines Schrankes, in dem bereits Lebensmittel gefrostet werden, dem anderen Froster zum Vorkühlen zugeführt. Bei der nächsten Charge wechselt der Frostvorgang. Das Verfahren eignet sich für Wurst-, Fleisch- und Backwaren gleichermaßen und ist eine interessante Lösung für Catering-Firmen und Fernküchen.

Cryogen®-Rapid-Drehrohrfroster

Einzel gefrorene Produkte liegen voll im Trend, da sie portionsweise aus Großpackungen entnehmbar sind. Hierzu ist besonders der kontinuierlich arbeitende Cryogen®-Rapid-Drehrohrfroster geeignet, der stückige Fisch- und Fleischteile, Hackfleisch und Gemüse in IQF-Qualität (IQF = Indi-

vidually Quick Frozen) friert. Als Kältemittel ist wahlweise Stickstoff-flüssig oder ein CO₂-Schneewirbel möglich.

Die Produktzuführung erfolgt mit hoher Geschwindigkeit über ein Transportriemensystem in ein verlängertes, isoliertes Drehrohr. Die permanente Rotation des Drehrohrs verhindert das Verklumpen oder Anfrieren der Produkte untereinander und an der Rohrwand. Der Drehrohrfroster sichert so gleichmäßige, reproduzierbare Ergebnisse und ermöglicht auch das behutsame Frosteten von Einzelkomponenten für Komplettmenüs.

Entsprechend den Anforderungen von Produkt-Art, -Durchsatz und -Eingangstemperatur lassen sich die Betriebsparameter regeln. Dazu gehören Kältemitteldurchsatz, Abgasstrom sowie Drehzahl und Neigungswinkel des Drehrohrs. Aufgrund seiner glatten Innenflächen lässt sich der Cryogen®-Rapid-Drehrohrfroster einfach reinigen.

Cryogen®-Rapid-Tauchfroster

Im Tauchfroster wird das Produkt auf einem Transportband durch ein niveauregeltes Stickstoff-flüssig-Bad hindurchgeführt (Abb. 11). Durch Nutzung des hohen Wärmeübergangskoeffizienten von verdampfendem flüssigen Stickstoff ($\approx 2.300 \text{ W/m}^2\text{K}$) erreichen Cryogen®-Rapid-Tauchfroster Frostzeiten von weniger als einer Minute. Das Tiefgefrieren durch Eintauchen in tiefkalten flüssigen Stickstoff ist vor allem für pastöse Lebensmittel mit geringer Wärmeleitfähigkeit und hoher Eingangstemperatur empfehlenswert. Insbesondere heiß aus Extrudern austretende Produkte werden im Stickstoff-flüssig-Bad zuverlässig, schnell und ohne unerwünschte Nachreaktionen wie z.B. Farbveränderungen gefrostet. Zur Steigerung der Durchsatzleistung kann man den Cryogen®-Rapid-Tauchfroster auch vor einen anderen Froster (z.B. Langtunnel- oder Mehretagenfroster) schalten.

Stickstoff-flüssig-Bad

Ein gleichmäßiger Fruchtüberzug von Speiseeis lässt sich durch kurzes Eintauchen in ein Bad mit flüssigem Stickstoff verwirk-



Abb. 12: Für das Frosten von flüssigen und pastösen Produkten ist der Pelletizer die richtige Lösung

lichen. Dazu wird der Eisrohling zuerst in flüssigen Stickstoff getaucht und die Oberfläche dabei so weit abgekühlt, dass beim anschließenden Eintauchen des Rohlings in Fruchtsauce diese schnell und gleichmäßig anfriert. Durch weitere Bäder abwechselnd mit Fruchtsauce und flüssigem Stickstoff lässt sich die Dicke des Fruchtüberzugs bestimmen. Das letzte Bad in flüssigem Stickstoff unterkühlt das fertige Eis so weit, dass es sich ohne zu schmelzen verpacken lässt.

Cryogen®-Rapid-Pelletizer

Zum Frosten von flüssigen und pastösen Produkten in Form von leicht dosierbaren Pellets ist der Cryogen®-Rapid-Pelletizer die richtige Lösung (Abb. 12). Hier fließt, durch spezielle Pumpen gefördert, flüssiger Stickstoff gleichmäßig durch eine Pelletierrinne. Das flüssige Produkt wird am Anfang der Pelletierrinne in den flüssigen Stickstoff vertropft und im Stickstoffstrom bis zum Ende der Rinne als Kugel fixiert. Die Pellets gelangen anschließend auf ein engmaschiges Förderband, durch das der nicht verbrauchte Stickstoff abfließt und in den Kreislauf zurückgeführt wird. Das Durchfrieren der Pellets erfolgt beim Transport

zum Austrag in dem aus verdampfendem Stickstoff entstehenden Kaltgasstrom.

Zum Einsatz kommt dieses Verfahren in der Lebensmittel- und chemischen Industrie sowie im Pharmabereich. So werden z.B. Bakterien-Starterkulturen für die Käse-, Joghurt- und Rohwurstherstellung bereits seit einigen Jahren zu lose rollenden Pellets mit wenigen Millimetern Durchmesser gefroren. Bedingt durch ihre geringe Größe lassen sich Pellets extrem schnell gefrieren, so dass sich hohe Überlebensraten der Bakterien (bis zu 95 %) ergeben. Die gefrorenen Kulturen können problemlos tiefgefroren gelagert, versandt und „frisch“ als Eispellets für Reifeprozesse eingesetzt werden. Nach dem Einfrieren ist aber auch eine Gefrier-trocknung möglich, so dass die Starterkulturen bei Raumtemperatur lagerfähig sind. Diese Verfahrenskombination ist besonders wirtschaftlich, da das Trocknen bei pelletiertem Ausgangsmaterial mit vergleichsweise geringem Energieaufwand abläuft.

Im Pharmabereich dient das Verfahren unter anderem zum Pelletieren von Veterinär-Impfstoffen. Für eine Produktion unter Sterilbedingungen wurde der Cryogen®-Rapid-Pelletizer weiterentwickelt: Sterili-

Cryogen®-Rapid: Vorteile auf einen Blick

- Hohe Qualität der gefrosteten Ware
- geringe Austrocknungsverluste
- niedrige Investitionskosten
- einfach zu bedienen
- einfacher Aufbau; weniger Reparaturkosten
- schnelle Betriebsbereitschaft
- geringe Standfläche

sierbare Anlagen für Starterkulturen und Schoko-Pellets sind bereits im Einsatz. Mit Pellets lassen sich auch ganz neue Produktideen verwirklichen. So werden z.B. Fruchteis, Dessertzusätze, Fruchtsäfte sowie Molkereiprodukte und Saucen pelletiert. Aufgrund der hohen Gefriergeschwindigkeit bleiben dabei die wertvollen Inhalts- und Aromastoffe erhalten.

*Dipl.-Phys. Monika Lammertz
Dipl.-Ing. Wolfgang Hoffmanns
Messer Griesheim GmbH
Dipl.-Ing. Nathalie Brixy
Messer France*

Literatur:

- [1] „Continuous process and production improvements by application of refrigeration with cryogenic gases“, M. Lammertz, N. Brixy; *Rapid Cooling of Food Conference; Bristol 2001*
- [2] „Kryogene Kälte für Lebensmittel“, S. Kosock, W. Hoffmanns u. a.; *KI Luft- und Kältetechnik; 12/2001*
- [3] „What freezer for what food?“, G. Dinglinger, J. Buchmüller; *focus on gas No.3; June 1986*