

BEREITS VERÖFFENTLICHTE WERKE

DIE GESUNDHEIT DES DARMS - Finn Holm
FoodGroup Denmark - Dänemark - (November 2001)

GENMANIPULIERTE NAHRUNGSMITTEL - Finn Holm
FoodGroup Denmark - Dänemark - (Juni 2002)

DIE MYKOTOXINE - Jean-François Quillien
Institut National de la Recherche Agronomique - Frankreich - (Oktober 2002)

SENSOREN FÜR LEBENSMITTELQUALITÄT - Finn Holm
FoodGroup Denmark - Dänemark - (Januar 2003)

**FUNKTIONELLE BESTANDTEILE IN LEBENSMITTELN
KARDIOVASKULÄRE GESUNDHEIT**
Finn Holm
FoodGroup Denmark - Dänemark - (August 2003)

**FUNKTIONELLE BESTANDTEILE IN LEBENSMITTELN
KREBS UND OXIDATIVE DEGENERATIONSREAKTIONEN**
Finn Holm
FoodGroup Denmark - Dänemark - (Oktober 2003)

NEUE VERFAHREN DER LEBENSMITTELTECHNIK
D. Behnlian, M. regier, M. Stahl
BFE - Institut für Verfahrenstechnik - Deutschland - (November 2003)

VERPACKUNG
Mona Popa and Nastasia Belc
USAMVB & Institute of Food Bioresources - Romania - (November 2003)

**RASCHE BESTIMMUNG VON MIKROORGANISMEN
IN LEBENSMITTELN**
József Farkas
*Ungarische Wissenschaftliche Gesellschaft für die Lebensmittelindustrie (KEKI)
- Ungarn - (November 2003)*



Project n° QLK1-CT - 2000 - 00040

N° ISBN : 2-7380-1146-2
Dezember 2003

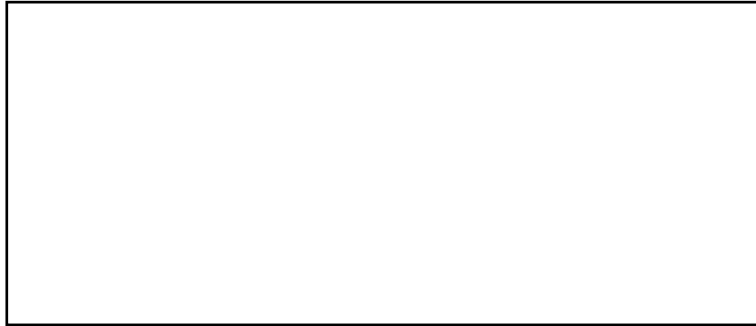
Neuigkeiten in der Lebensmittel- Gefrierforschung in Europa und darüber hinaus



Kostadin Fikiin
Technische Universität von Sofia
Bulgarien

Kleine und mittlere Unternehmen
N° 10





National Network Leader

Die Informationen im vorliegenden Report basieren auf dem derzeitigen in EU-Forschungsprojekten aktuellen Stand der Technik. Obwohl diese Publikation mit der größten Sorgfalt erarbeitet wurde, können weder die zuständigen Stellen und Mitarbeiter der EU, noch der Flair-Flow-Koordinator, das Management-Komitee und der Autor für die Konsequenzen ihrer sachgemäßen oder unsachgemäßen Anwendung haftbar gemacht werden.

Der Inhalt dieser Publikation spiegelt ausschließlich den Standpunkt der Autoren oder des EU-Projekt-Konsortiums wider und entspricht nicht notwendigerweise dem offiziellen Standpunkt der EU.

Bei vollständiger oder auszugsweiser Verwendung von Daten aus dieser Publikation ersuchen wir um korrekte Quellenangaben.



Institut National de la Recherche Agronomique
147, rue de l'Université 75338 PARIS cedex 07 - France

Koordinator : Jean-François Quillien
quillien@rennes.inra.fr

Fair Flow Europe 4 (FFE 4) ist ein Projekt, das direkt von der Europäischen Kommission in die Wege geleitet worden ist. Es bezweckt die Verbreitung der Ergebnisse der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der industriellen Nahrungs- und Genussmittel. Das Projekt ist in den Tätigkeitsbereich des 5. Rahmenprogramms für Forschung und technologische Entwicklung eingefügt, und 24 Länder nehmen daran teil.

Die beiden Ziele von FFE 4:

- 1 - Verbreitung der europäischen Forschungsergebnisse im Nahrungs- und Genussmittelbereich an die Nutzer, nämlich Unternehmen der Nahrungs- und Genussmittelbranche, Verbraucherverbände und Angehörige der medizinischen Berufe;
- 2 - Organisation eines Dialogs zwischen den verschiedenen Nutzergruppen und den Wissenschaftlern über Themen, welche die Forschung auf dem Gebiet der Nahrungs- und Genussmittel betreffen.

www.flair-flow.com

NEUIGKEITEN IN DER LEBENSMITTEL- GEFRIERFORSCHUNG IN EUROPA UND DARÜBER HINAUS

Kostadin Fikiin

Technische Universität von Sofia
Bulgarien

agf@tu-sofia.bg

Diese Unterlage wird im Rahmen des Projekts FAIR FLOW EUROPE 4 verbreitet. Sie ist Teil einer Reihe halbjährig erscheinender Informationen für Verbraucher, Angehörige der medizinischen Berufe sowie kleine und mittlere Unternehmen der Nahrungs- und Genussmittelbranche.

Inhalt

	<i>Seite</i>
I- Lebensmittelkühlung, weltweite Ernährung und das Wohlergehen der europäischen Bevölkerung	4
II- Stand der Technik und konventionelle Gefriermethoden	8
III- Einige aufkommende Methoden der Nahrungsmittelgefrieretechnik	15
III.1- IQF von Nahrungsmitteln durch Hydrofluidisation und pumpfähiges Binäreis	15
III.2- Hochdruckfrieren	21
III.3- Magnetresonanzfrieren	25
IV- Erstellung und Optimierung von Gefrierkosterzeugung	27
IV.1- Thermophysikalische Eigenschaften und ungleichmäßige Wärmeübertragung	27
IV.2- Computergestützte Strömungslehre	32
IV.3- Qualität von gefrorenen Lebensmitteln	35
V- Neue Anregungen und Perspektiven	42
VI- Danksagungen	46
VII- Abkürzungen	47
VIII- Fertiggestellte und laufende EU-unterstützte Projekte auf dem Gebiet der Lebensmittelgefrierforschung	48
IX- Referenzen	54

Bild : Frigoscandia Equipment – FMC FoodTech

I- Lebensmittelkühlung, weltweite Ernährung und das Wohlergehen der europäischen Bevölkerung

Hitze und Kälte sind nur zwei Aspekte ein und desselben physikalischen Phänomens. Ihre Rollen in der Entwicklung in der menschlichen Zivilisation könnten jedoch unterschiedlicher nicht sein. Prometheus, dem sagenumwobenen Held, der der Menschheit das Feuer brachte, wurde in zahlreichen poetischen und musikalischen Werken ein unsterbliches Denkmal gesetzt. Die Pioniere der Kühltechnik hingegen werden nicht mit künstlerischem Lob bedacht. Seit Jahrtausenden wird die Kälte eher mit Winter, Krankheit und Leid in Verbindung gebracht, als mit ihrer erwiesenen Fähigkeit, biologische Stoffe zu konservieren. Doch nun, in der industrialisierten Welt stellt die Nahrungsmittelkühlung ein gewichtiges Instrument zur Verbesserung der Lebensqualität dar.

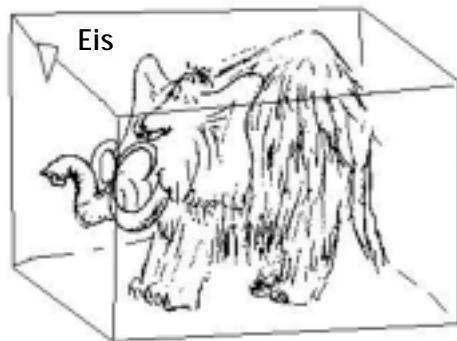


Abbildung 1. Der konservierende Effekt von niedrigen Temperaturen ist bereits seit Jahrtausenden bekannt [Ref. 1].

Obwohl die Agro-Nahrungsmittelindustrie nur 8% der in der Industrie Beschäftigten (2% der Gesamtbeschäftigten) stellt, repräsentiert der EU-Nahrungsmittelsektor mit ungefähr 480 Mrd. Euro einen höheren Wert als jener der USA oder Japans. Derzeit sind 7,2 Mio. Menschen in Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie beschäftigt, eine Zahl die mit dem Beitritt neuer Staaten zur EU deutlich steigen wird. Kühlung ist

die einzige vernünftige Möglichkeit, die Nahrungsressourcen der Menschheit haltbar zu machen. Weltweit werden jährlich 5 Mrd. Tonnen Nahrungsmittel hergestellt, wovon 2 Mrd. eine gekühlte Weiterverarbeitung benötigen, es werden jedoch nur 400 Mio. tatsächlich eingekühlt. Die weltweiten jährlichen Investitionen in Kühlgeräte betragen 170 Mrd. US\$, die gesamten gekühlten Nahrungsmittel stellen im Vergleich dazu einen Wert von 1200 Mrd. US\$ dar (das ist mehr als das 3-fache des US-Militärbudgets). Auf dem gesamten Planeten existieren zwischen 700 und 1000 Mio. Haushaltskühlschränke und 300 Mio. m³ an Kühlraum. Die jährliche Produktion von gefrorenen Lebensmitteln beläuft sich weltweit auf ca. 50 Mio. Tonnen (plus 20 Mio. Tonnen Speiseeis und 30 Mio. Tonnen Fisch) und weist mit 10% pro Jahr eine beachtliche Wachstumsrate auf. Kühlung ist ein essentieller Bestandteil fast aller Lager-, Transport- und Weiterverarbeitungstechniken in Zusammenhang mit pflanzlichen oder tierischen Produkten. Einfrieren hat sich wiederum als einzig kommerziell einsetzbare Methode, die natürlichen Qualitätsmerkmale verderblicher Nahrungsmittel über einen längeren Zeitraum zu erhalten, etabliert. Die zu erwartende Ausdehnung der EU und damit ihres Lebensmittelmarktes stellen den Gefriersektor vor neue Herausforderungen. Erstens weckt die Entwicklung neuer, innovativer Gefriermethoden (HFM, Verwendung von Eisbrei, Hochdruckfrier-, neuartige Lyophilisierungs- und Magnetresonanz-gefriermethoden) das Interesse von Forschern und Firmeneigentümern. Zweitens könnten sowohl konventionelle als auch neue Gefriermethoden durch die Verwendung fortschrittlicher Forschungsmethoden zur Vertiefung des theoretischen Verständnisses der genauen Abläufe (z.B. Wärmeleitung, Flüssigkeitsströmung und biochemische Prozesse), weiterentwickelt und verbessert werden. Die EU-Kommission finanzierte deshalb eine Reihe erfolgreicher Forschungsprojekte zum Thema Gefriertechniken, deren Erkenntnisse nach ihrer Implementation eine längere Haltbarkeit und verbesserte Qualität von Gefrierprodukten ermöglichen. Weiters konnten Investitions- und Betriebskosten sowie der Energieverbrauch gesenkt und die Umweltverträglichkeit erhöht werden.

Die derzeitigen Herausforderungen an die europäische Gefrierkostindustrie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Verbrauch von Tiefkühlkost pro Kopf liegt in der EU noch immer hinter dem der USA (Abb. 2).
- Praktische Neuerungen werden von der Industrie noch nicht umgesetzt.
- Die Gefrierkostherstellung und die dazugehörige Forschungsarbeit sind im Vergleich mit anderen High-Tech-Wirtschaftszweigen (IT, Elektronik, Kommunikation) für hochqualifizierte Experten und junge Spezialisten noch immer relativ unattraktiv.
- Um nach dem Beitritt im EU-Raum konkurrenzfähig zu bleiben benötigen Beitrittskandidaten aus Zentral- und Osteuropa erhöhte Kühlraumkapazitäten und günstige Maschinen zur Gefrierkosterzeugung.

In Anbetracht dieser Tatsachen sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Kompetenz der in den betreffenden Bereichen beschäftigten Personen zu erhöhen und gleichzeitig das Interesse an Forschung im Gefriersektor zu erhöhen. Es ist unbedingt erforderlich die nationalen Institutionen und Gremien verstärkt auf die professionelle Entwicklungsarbeit der im Bereich der Kühltechnik tätigen Wissenschaftler und Industriellen aus Europa und aus aller Welt hinzuweisen. Aus diesem Grund stellt dieser Flair-Flow-Bericht mehrere innovative Studien zum Thema «Individual Quick Freezing» (IQF) auf leicht verständliche Weise vor, um europäische Klein- und Mittelbetriebe über die möglichen Vorzüge einer verstärkten kommerziellen Anwendung dieser IQF-Methoden zu informieren.

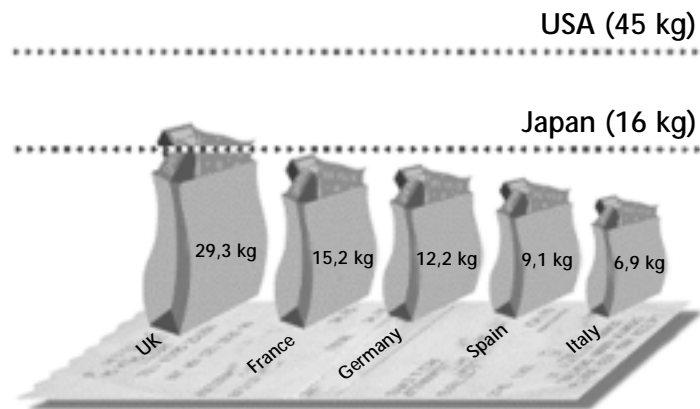


Abbildung 2. Jährlicher Pro-Kopf-Konsum von Tiefkühlkost in einigen EU-Ländern verglichen mit den USA und Japan (bezugnehmend auf das letzte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts, Quelle: Euromonitor).

II- Stand der Technik und konventionelle Gefriermethoden

Anfang des 20. Jahrhunderts experimentierten viele Menschen mit mechanischen und chemischen Methoden der Haltbarmachung von Nahrungsmitteln. Vor etwas mehr als 70 Jahren entdeckte Clarence Birdseye einen Weg, Nahrungsmittel schockzufrieren – eine der bedeutendsten Entwicklungen in der Geschichte der Nahrungsmittelindustrie. Während eines Arktisaufenthaltes konnte Birdseye beobachten, dass die Kombination von Eis, Wind und niedriger Temperatur frisch gefangenen Fisch fast augenblicklich einfroren. Noch bedeutender war die Entdeckung, dass dieserorts gefrorener Fisch nach der Zubereitung in Geschmack und Konsistenz kaum von frischem Fisch zu unterscheiden war. Nach jahrelanger Arbeit entwickelte Birdseye ein System, bei dem Fisch, Fleisch und Gemüse in wasserdichte Kartonschachteln verpackt und unter Druck schockgefroren wurden (US Patent Nr. 1,773,079, 1930). Er konzentrierte sich daraufhin verstärkt auf den Verkauf und entwickelte Methoden für Herstellung, Transport und Verkauf von Gefrierkost (z.B. die Konstruktion von Doppelplattenfroster und Geschäftsvitrinen; Anmieten von Kühlwaggons für den Bahntransport; Verkauf von Gefrierkost in Springfield, Massachusetts, 1930). So entstand die weltweit erste Kühlkette für Gefrierkost, die bald zu einer Legende wurde.

Das Schockgefrieren setzte sich als kommerzielle Langzeit-Konservierungsmethode für verderbliche Lebensmittel durch und trug so wesentlich zur Verbesserung der Lebensqualität in den Industrienationen bei. Die Gefriereschwindigkeit wirkt sich stark auf die Qualität von Gefrierkost aus. Der überwiegende Wasseranteil sollte schnell zu einer feinkörnigen Kristallstruktur gefroren werden, um so Schaden am Zellgewebe zu vermeiden und schädliche mikrobiologische Prozesse zu unterbinden (Abb. 3).

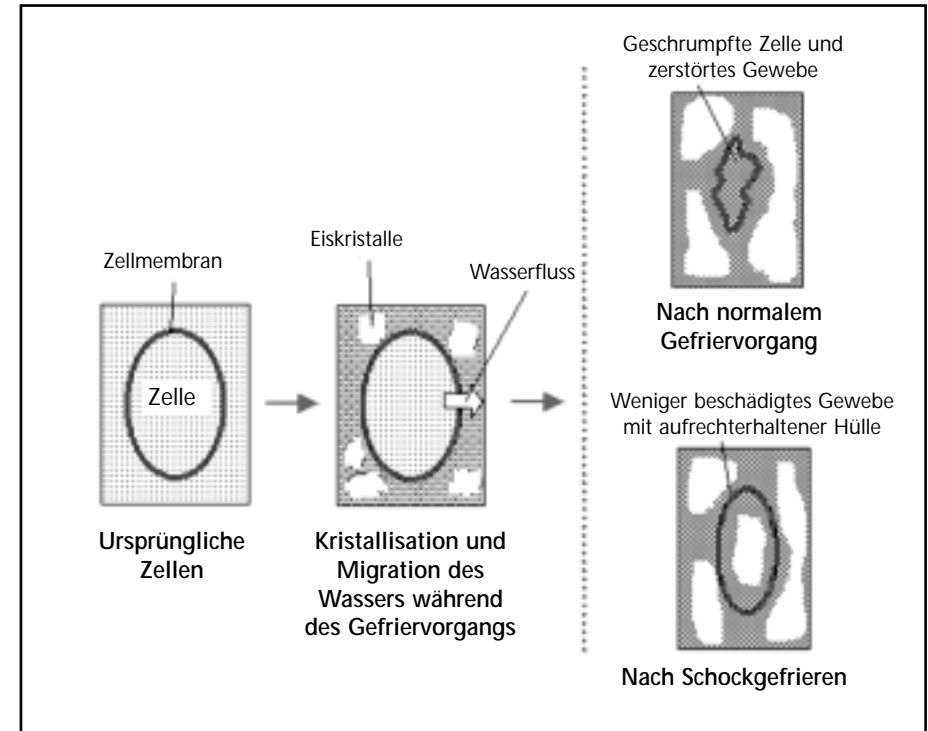


Abbildung 3. Die entscheidende Bedeutung der Gefriereschwindigkeit auf die Qualität des Endproduktes.

Grundlegenden Überlegungen zur Wärmeleitung zufolge können die erwünschte Verkürzung der Gefrierdauer und der damit verbundene erhöhte Durchsatz an Gefriergut durch folgende Maßnahmen erreicht werden: (i) niedrigere Temperatur des Gefriermediums (resultiert für gewöhnlich in höheren Investitions- und Betriebskosten der zum Einsatz kommenden Kühlgeräte), (ii) einen verbesserten Wärmeübertragungskoeffizienten (durch Erhöhung der Gefriermittelgeschwindigkeit und Grenzflächenturbulenzen, Einbeziehung von Oberflächenphasenwechseleffekten und reduzierter Verpackung) und (iii) Verringerung der Größe des Gefrierguts (durch individuelles Einfrieren kleinerer und der Zuschneidung größerer Produkte).

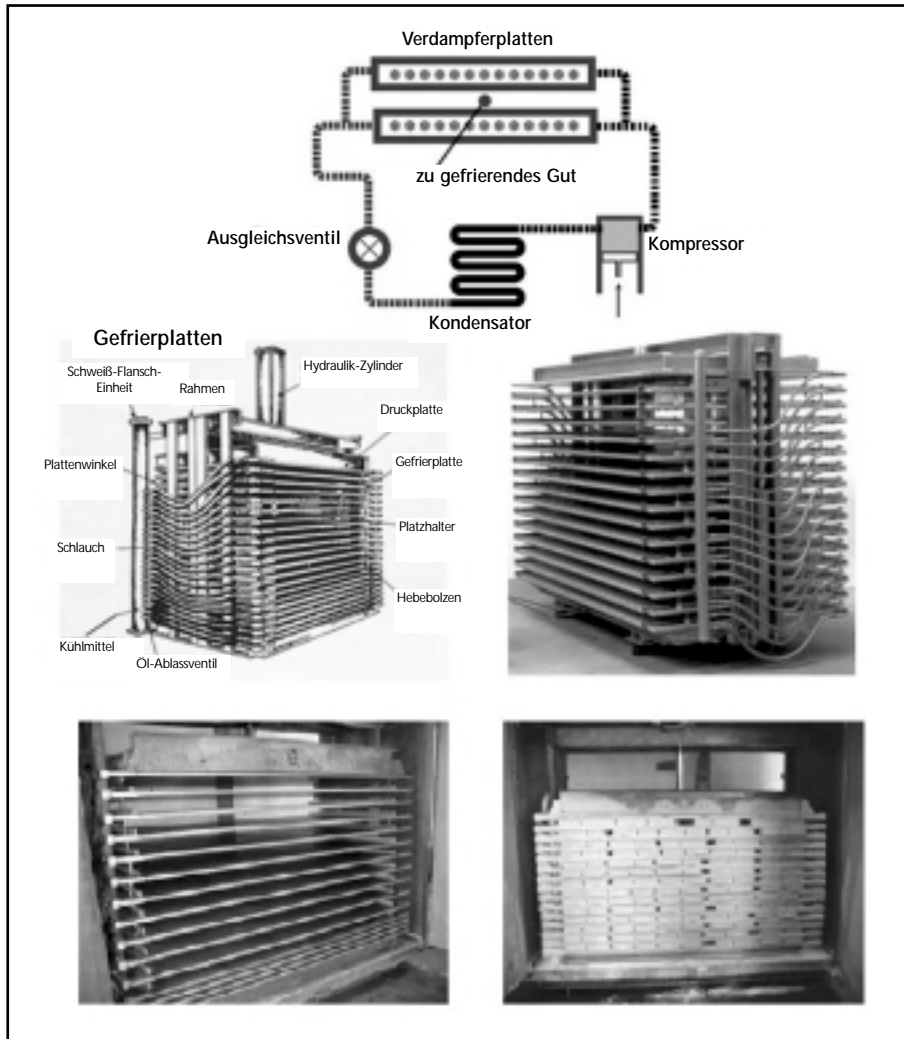


Abbildung 4. Mehrfachplattengefriersysteme

Am stärksten verbreitet sind Mehrfachplattenfroster und Gefriereinrichtungen mit Luftgebläse, während Wirbelschichtsysteme für IQF von kleinem Gefriergut verwendet werden (Abb. 4,5,7). Kryogenes IQF (Abb. 6) ist durch die hohen Kosten der verwendeten Flüssiggase nur sehr eingeschränkt anwendbar.

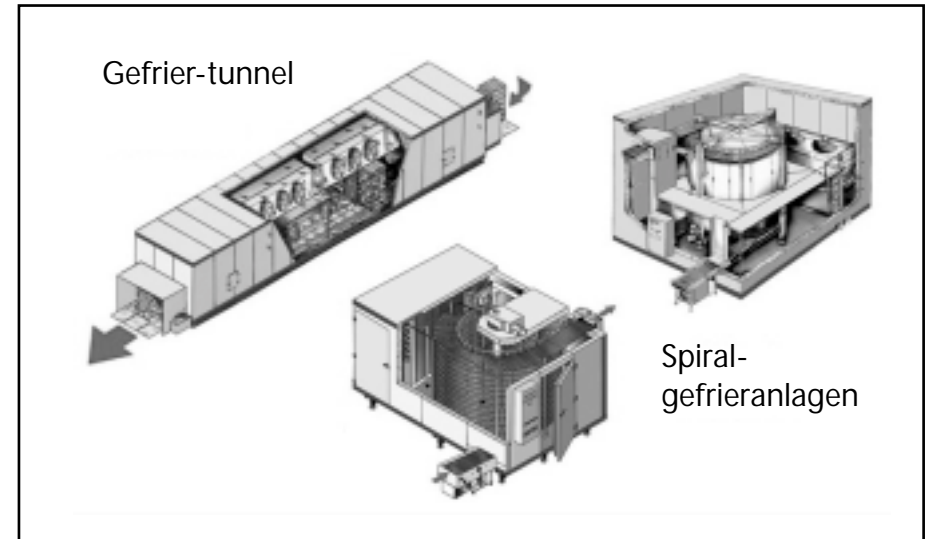


Abbildung 5. Gefriereinrichtungen mit Luftgebläse

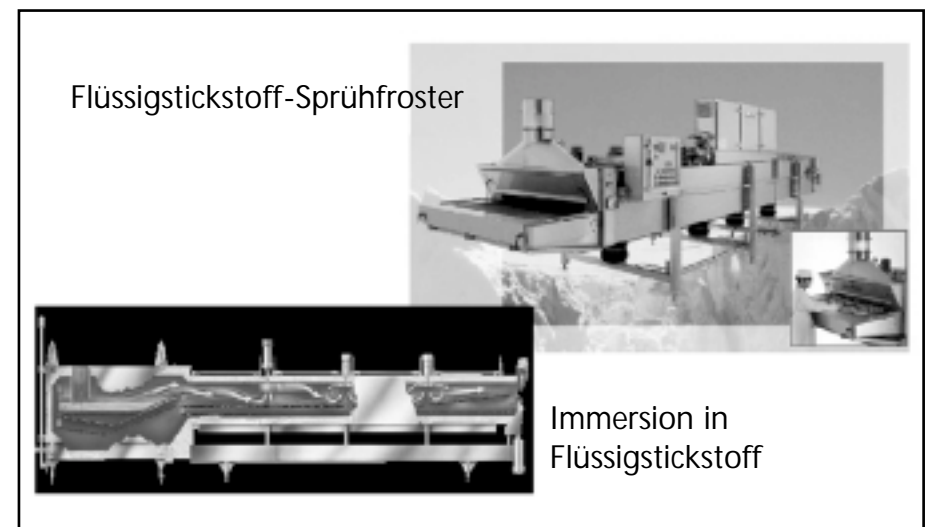


Abbildung 6. Kryogene Gefriersysteme

Fließbettgefriersysteme: Wirbelschichten wurden in den letzten 40 Jahren verstärkt erforscht und kommen vermehrt zur kommerziellen Verwendung. Diese Gefriermethode weist einige ansprechende Eigenschaften auf:

- Hohe Gefriereschwindigkeit aufgrund geringer Größe und niedrigen Wärmewiderstandes des IQF-Guts, große wärmeleitende Oberfläche der fluidisierten Nahrungsmittel und hohe Oberflächenwärmeübertragungskoeffizienten.
- Gute Qualität, ansprechendes Äußeres und kein Zusammenpacken des Gefriergutes.
- Kontinuität und die Möglichkeit, den Gefrierprozess vollständig zu automatisieren.

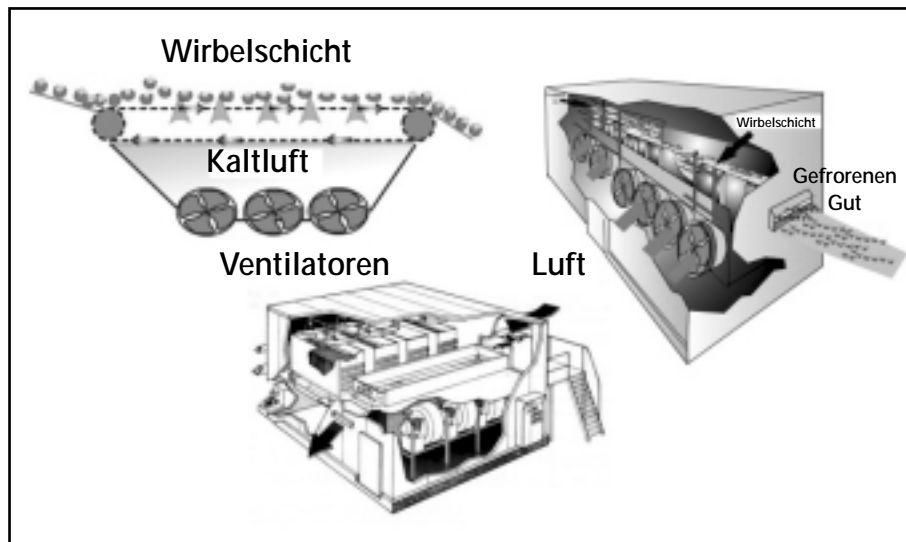


Abbildung 7. Fließbettgefriersysteme

Es sind aber auch einige Nachteile der Fließbettgefrieretechnik zu beachten, wie zum Beispiel:

- Die Notwendigkeit einer 2-Stufen-Kühlanlage (in Anschaffung, Erhaltung und Betrieb teurer), um eine Verdampfungstemperatur von ca -45°C aufrecht zu erhalten (unter Verwendung großer Mengen an CFC, HCFC oder HFC basierenden Kühlmitteln, die zur Klimaveränderung beitragen).
- Niedrigere Oberflächenübertragungskoeffizienten und Gefriereschwindigkeit im Vergleich zum Tauchfrieren.
- Hoher Energieverbrauch durch die Notwendigkeit leistungsstarker Ventilatoren.
- Feuchtigkeitsverlust der Produktoberfläche und rapides Einfrieren der Luftkühler aufgrund der großen Temperaturdifferenz zwischen Produkt und verdampfendem Kühlmittel.
- Außergewöhnliche Sensibilität der Prozessparameter gegenüber Produktform, -größe und -gewicht, die für jeden eigenen Lebensmitteltyp peinlichst genau kontrolliert werden müssen.

Tauchgefriermethode: Tauchgefrieren in einem nichtkochenden, flüssigen Kälteüberträger ist eine bekannte Methode, die einige wichtige Vorteile aufweist: hohe Wärmeübertragungsraten, feinkörnige Eisstruktur in Nahrungsmitteln, hoher Durchsatz, niedrige Investitions- und Betriebskosten. Ihre Anwendung war durch die unkontrollierte Aufnahme gelöster Stoffe in das Gefriergut und verfahrenstechnische Probleme mit den Tauchflüssigkeiten (hohe Viskosität bei niedrigen Temperaturen, schwierige Erhaltung einer bestimmten konstanten Konzentration des Trägers und Vermeidung organischer Verunreinigungen) sehr aufwändig. Durch neue Errungenschaften aus den Bereichen Wärme- und Massentransport, physikalische Chemie, Strömungslehre und automatische Prozesssteuerung können diese Probleme jedoch gelöst und neue fortschrittliche Tauch-IQF-Systeme entwickelt werden.

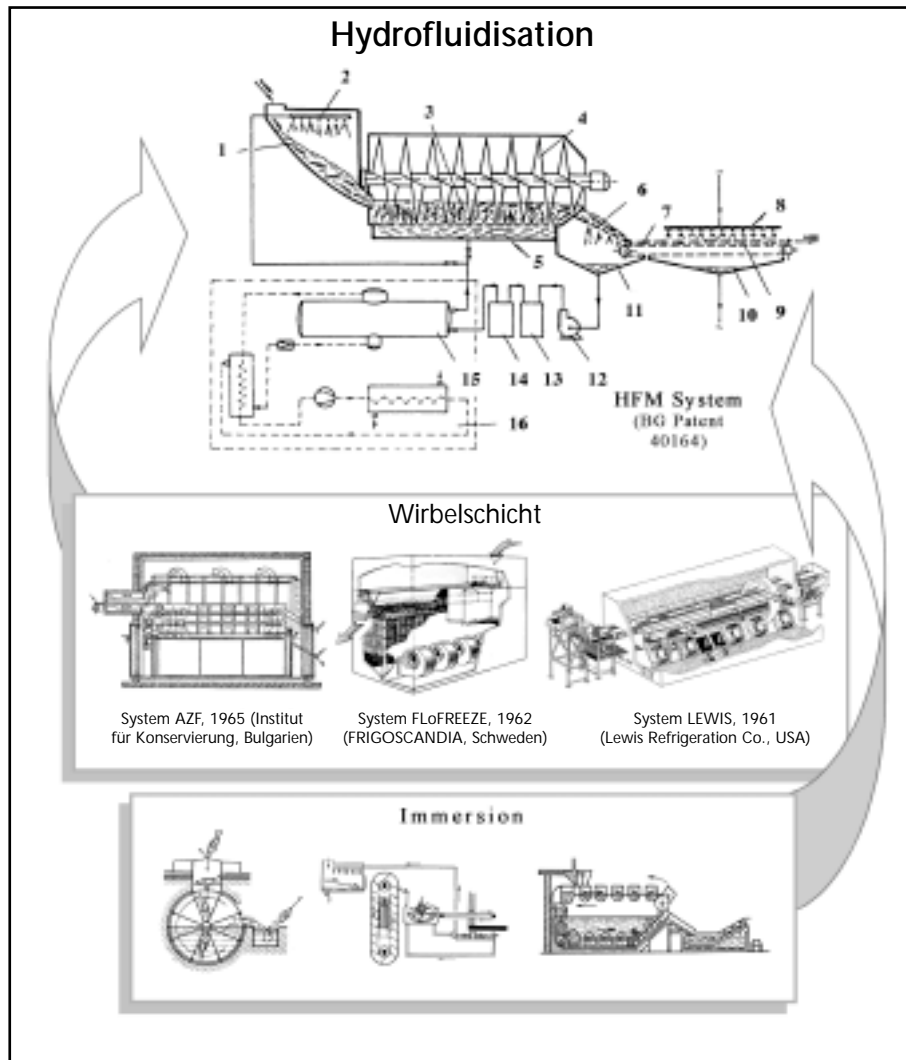


Abbildung 8. Mögliche Anordnung eines auf HFM basierenden Gefriersystems mit den Vorteilen der Wirbelschicht und Tauchgefrieretechniken für Lebensmittel [Ref. 2-4]:

- (1) Beladungstrichter; (2) Rohrbesprenkelungssystem; (3) Kühlzylinder;
- (4) Förderschnecke; (5) Doppelter Boden; (6) perforierter Rost als Ableitung;
- (8) Besprenkelungsvorrichtung; (7 und 9) netzartiges Fließband;
- (10 und 11) Sammelbehälter; (12) Pumpe; (13 and 14) grobe und feine Filter;
- (15) Kühler für das Gefriermittel; (16) Kühlwerk

III- Einige aufkommende Methoden der Nahrungsmittelgefrieretechnik

III.1 – IQF von Nahrungsmitteln durch Hydrofluidisation und pumpfähiges Binäreis

Die *HydroFluidisation Method* (HFM) wurde vor kurzem entwickelt und patentiert, um die Vorteile der Fließbettgefrieremethode und der Tauchgefrieremethode zu kombinieren und deren Nachteile zu überwinden [Ref. 2-4]. Sie wurde im Rahmen des *HyFloFreeze* Projekts IC15 CT98 0912 entwickelt. Bei der HFM kommt ein Kreislaufsystem zum Einsatz, in dem die Kühlflüssigkeit durch Öffnungen oder Düsen nach oben in einen Kühlbehälter gepumpt wird, wodurch Wirbelströme entstehen. Diese bilden eine Wirbelschicht aus hochturbulenter Kühlflüssigkeit und dem beförderten Gefriergut und ermöglichen so extrem hohe Oberflächenwärmeübertragungskoeffizienten. Abb. 8 zeigt das Arbeitsprinzip einer HFM-Gefrieranlage.

Nichtfrierende flüssige Kühlmedien als Fluidisationsmittel. Obwohl zahlreiche Tauchgefrieremethoden bereits seit langem bekannt sind, wurde das HF-Prinzip bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht zum Kühlen und Einfrieren von Nahrungsmitteln angewandt. Experimente zeigten, dass in einer wässrigen Natriumchloridlösung nach der HFM gefrorene Fische und diverse Gemüsesorten eine deutlich höhere Gefriereschwindigkeit aufwiesen, als das bei anderen IQF-Methoden der Fall war. Der erreichte maximale Oberflächenwärmeübertragungskoeffizient überschritt $900 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ wohingegen bei der Tauchmethode $378 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, bei der Sprühmethode $432 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ und bei der Tauchmethode mit Durchspülung $475 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ erreicht wurden [Ref. 3,4]. Sogar bei geringen oder mittleren Wirbelströmen und einer mit -16°C vergleichsweise hohen Gefriermitteltemperatur froren Stachelmakrelen von 25°C auf -10°C im Inneren innerhalb von 6-7 min, Heringe und grüne Bohnen innerhalb von 3-4 min und Erbsen innerhalb von 1-2 min. Zur Veranschaulichung zeigt Abb. 9 die gemessenen Temperaturveränderungen von Stachelmakrelen und Heringen sowie grünen Bohnen und Paprika während des HF-Gefriervorganges.

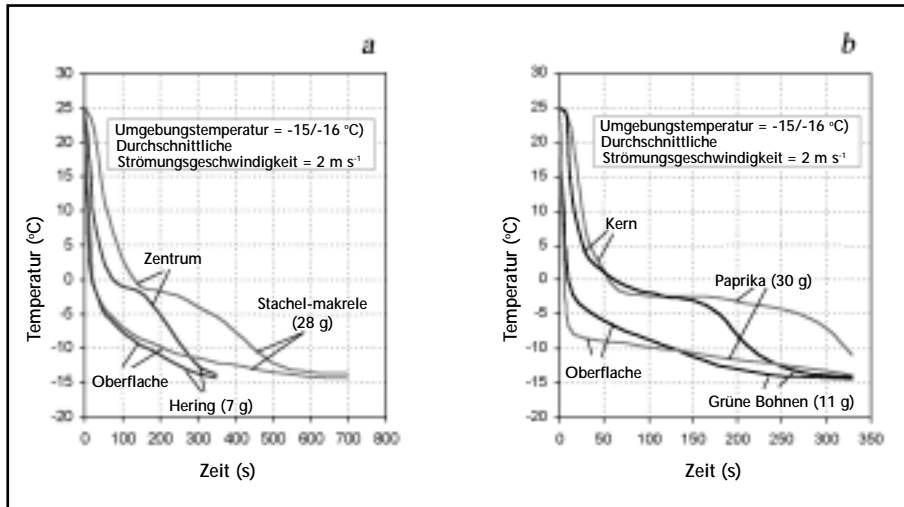


Abbildung 9. Temperaturveränderung während des HFM-Gefrierens von Fisch (a) und Gemüse (b) unter Verwendung einer NaCl-Lösung (ohne Binäreis) als Fluidisierungsmittel [Ref. 3 and 4].

Zweiphasen-Eisbrei als Fluidisationsmittel. Pumpfähiger Eisbrei (auch bekannt als *FLO-ICE*, *BINARY ICE*, *Slurry-ICE*, *Liquid ICE*, *Pumpable ICE* or *Fluid ICE*) wird seit kurzem als umweltverträgliches Sekundärkühlmittel anstelle der gängigen schädlichen auf CFC oder HCFC basierenden Mittel, die im Wärmetauschbereich von Kühlanlagen zur Anwendung kommen, empfohlen. Erste Versuche, Nahrungsmittel durch Aufbewahrung in diesem Eisbrei zu kühlen, lieferten bereits vielversprechende Ergebnisse. So wird zum Beispiel ein auf einer Salzlösung basierender Eisbrei aller Wahrscheinlichkeit nach Crash-Eis als Kühlmittel für Fisch ablösen [Ref. 5]. Abb. 10 zeigt verschiedene Lebensmittel in Eisbrei mit unterschiedlichem Eisgehalt.

Wir schlagen deshalb vor, die Vorteile der HFM durch Verwendung von Zweiphasen-Eisbrei als Fluidisierungsmittel noch zu vergrößern [Ref. 4]. Eisbrei weist ein sehr großes Energiepotential als HFM-Kühlmedium auf, da seine Eispartikel beim Auftauen an der Produktoberfläche latente

Wärme absorbieren. Deshalb gewährleistet die Verwendung von Eisbrei enorm hohe Oberflächenwärmeübertragungskoeffizienten (im Bereich von 1000 – 2000 Wm⁻²K⁻¹), eine extrem hohe Gefriergeschwindigkeit und eine gleichmäßige Temperaturverteilung im gesamten Gefrierapparat. Die Kombination der HFM mit der hohen Wärmeübertragungseffizienz von auf Eisbrei basierenden Kühlmedien stellt ein neues interdisziplinäres Forschungsgebiet dar, dessen Weiterentwicklung die Nahrungsmittelkühl- und Gefrierindustrie entscheidend beeinflussen wird. Die HFM unter Verwendung von Eisbrei erreicht annähernd die Verarbeitungsrate der kryogenischen Schockgefriermethoden. Einige Beispiele, ausgehend von einer Eisbreitemperatur von -25°C und einem Wärmeübertragungskoeffizienten von 1000 Wm⁻²K⁻¹: Erdbeeren, Marillen und Pflaumen können von 25°C in 8 – 9 min auf -18°C gefroren werden; Himbeeren, Kirschen und Weichseln in 1,5 – 3 min; Erbsen, Schwarzebeeren und Moosbeeren in nur ungefähr 1 min. Abb. 11 zeigt den allgemeinen Aufbau einer Eisbrei verwendenden HFM-Gefrieranlage.

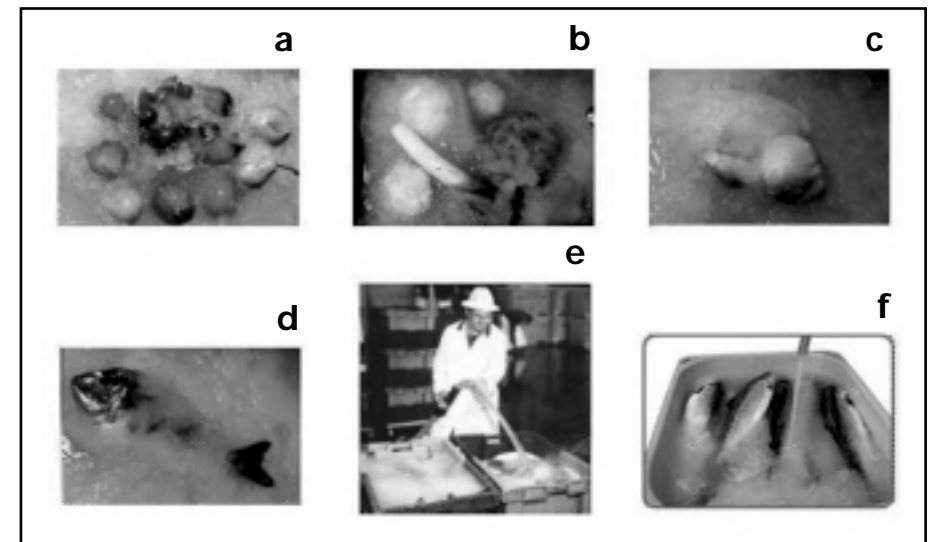


Abbildung 10. Verschiedene Nahrungsmittel in Eisbrei verschiedener Konzentration: (a) Obst; (b) Gemüse, (c) Huhn; (d), (e) und (f) Fisch [Ref. 5].

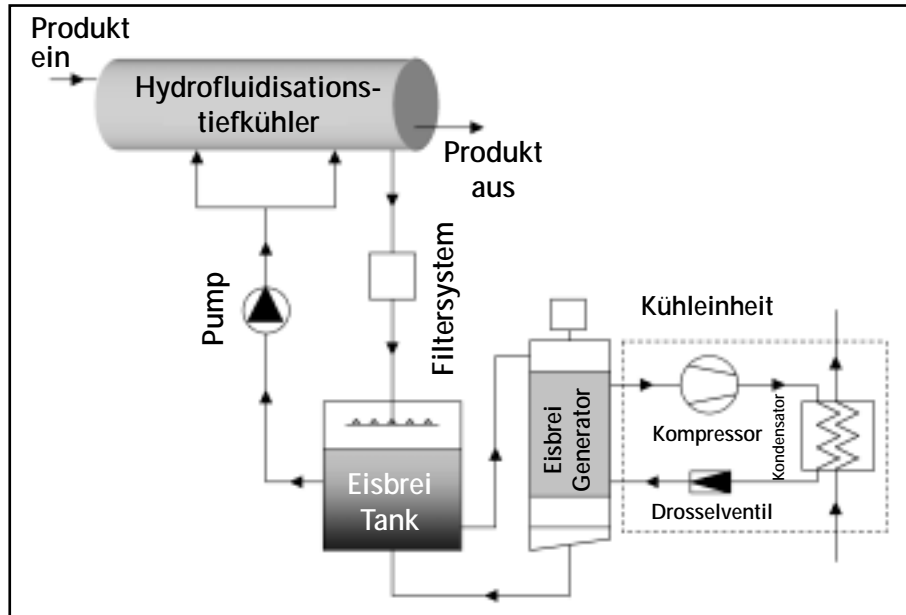


Abbildung 11. Schematisches Diagramm einer Eisbrei verwendenden HFM-Gefrieranlage HyFloFreeze® [Ref. 4].

Vorteile der HF-Gefriermethode. Wie in Abb. 11 beschrieben liegt die Neuerung der HFM in der Verwendung von Solen oder pumpfähigem Eisbrei als Fluidisationsmittel. Es ist allgemein bekannt, dass die Geschichte des Tauchgefrierens mit der Verwendung von Salzlösungen zum Einfrieren von Fisch, Gemüse und Fleisch begann. Lösliche Kohlehydrate (z.B. Saccharose, Glukose (Dextrose), Invertzucker, Fruktose und andere Mono- und Disaccharide) enthaltende binäre oder ternäre wässrige Lösungen wurden nach Beimengung von Ethanol, Salzen, Glycerin, etc. als mögliche Tauchmedien in Betracht gezogen. Die Zahl der Kombinations- und Herstellungsmöglichkeiten für auf einphasigen Flüssigkeiten oder zweiphasigem Eisbrei basierenden HFM-Mehrkomponentenkühlmedien, die sowohl von ihrer Umweltverträglichkeit als auch ihrer Viskosität her ideal sind, ist praktisch unbegrenzt.

Die Hauptvorteile der HF gegenüber konventionellen Gefriermethoden können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die HFM erlaubt eine sehr hohe Wärmeübertragungsrate bei geringer Temperaturdifferenz von Produkt zu Gefriermedium. Die Verdampfungstemperatur kann von einem einstufigen Kraftwerk mit einem höheren Wirkungsgrad deutlich höher gehalten werden (-25/-30°C). Investitions- und Energiekosten sind im Vergleich zum konventionellen Wirbelschicht-Verfahren um die Hälfte niedriger. Der Kälteverlust durch die Wände der Kühlanlage sind ebenfalls geringer. Weiters sinken der Wasserdurchfluss und der Energieverbrauch der Ventilatoren zur Kondensatorkühlung durch die verringerte mechanische Arbeit einer Einstufenanlage.
- Der kritische Bereich der Wasserkristallisation (\approx 1 bis -8°C) wird rasch überwunden, so ist eine feinkörnige Eisstruktur im Gefriergut gewährleistet und Zellschäden können vermieden werden.
- Die Produktoberfläche friert sofort zu einer harten Kruste, das behindert den osmotischen Druckausgleich und sichert ein hervorragendes Aussehen. Der Massenverlust geht gegen Null, wohingegen der Feuchtigkeitsverlust in Tunnelgefrieranlagen normalerweise 2 – 3% beträgt.
- Durch Verwendung ausgewählter produktfreundlicher HFM-Kühlmedien können neue und exquisite Produkte einfach hergestellt werden (so wird beispielsweise in einer sirupartigen Zuckerlösung gefrorenes Obst zu einem in Farbe, Geschmack und Aussehen hervorragenden Dessert). Auch können solchen Gefriermedien passende Antioxidantien, Aroma- und Nährstoffe beigefügt werden um Haltbarkeit, Nährwert, Geruch und Geschmack zu verbessern.
- HFM-Gefrieranlagen verwenden umweltfreundliche Sekundärkühlmittel (z.B. sirupartige wässrige Lösungen und Eisbrei) und das Kühlmittel bewegt sich in einem kleinen geschlossenen System. Im Gegensatz dazu zirkulieren in herkömmlichen Wirbelschichtgefrieranlagen große Mengen an schädlichen CFCs und HCFCs oder teuren HFCs zu weit entfernten Verdampfern und erhöhen so deutlich das Risiko von Schadstoffemissionen.
- Die Wirbelschicht entsteht bei niedriger Geschwindigkeit und geringem Druck der Wirbelströme. Dies geschieht aufgrund der Archimedes Kräfte und des Auftriebs der Produkte und verringert sowohl die Energiekosten als auch die mechanischen Einwirkungen auf die Nahrungsmittel.

- Es herrscht ein kontinuierlicher, leicht zu automatisierender und leicht aufrechtzuerhaltender Arbeitsvorgang, der die Personalkosten deutlich reduziert. Weiterverarbeitung und Verpackung werden durch die Arbeitsweise der Anlage ebenfalls vereinfacht.
- Auf Eisbrei basierende HFM-Kühlmittel können problemlos in Systeme zur Wärmeenergiespeicherung integriert werden, was eine nächtliche Erzeugung von Eisbrei zu niedrigen Strompreisen ermöglicht.

Die von oben aufgenommenen Photos in Abb. 12 zeigen die Bildung eines Fließbetts aus hochturbulentem Eisbrei in der Gefrierkammer des HyFloFreeze Prototyps.

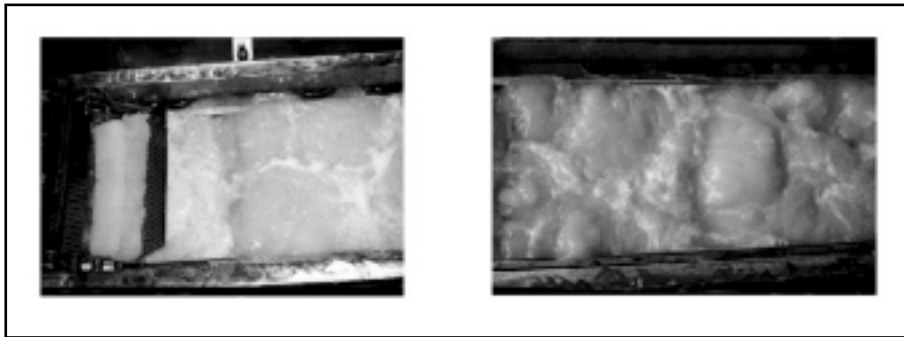


Abbildung 12. HyFloFreeze® Prototyp: Fließbett aus hochturbulentem Eisbrei.

Europäische Forschungszusammenarbeit. Das Aufkommen der HFM-Technologie weckte das Interesse mehrerer Wissenschaftler und Industrieller. Die Bestimmung der optimalen Design-Spezifikation für HFM-Gefrieranlagen fordert einen interdisziplinären Zugang von Forschern mit sich ergänzenden Fähigkeiten. Deshalb wurde das *HyFloFreeze*-Projekt von der EU finanziert und von einem internationalen Forschungskonsortium, bestehend aus 6 Organisationen (4 Universitäten und 2 Betrieben) aus Belgien, Bulgarien, Russland und Großbritannien durchgeführt. Weiters finanzierte die EU die EUROFREEZE-Initiative, in der eine entscheidende Menge an Nahrungsmittelgefrieretechnik konzentriert werden soll, mit dem Ziel, den Technologiestandard zu verbessern und Wettbewerb und Innovation der Gefrierkostbranche der EU und ihrer Nachbarländer zu

fördern. Die Initiative soll wie folgt ablaufen: (i) Forschungswettbewerb (ii) Wissenschaftlicher Workshop "*EUROFREEZE: Individual Quick Freezing of Foods – Fluidisation, Immersion, Hydrofluidisation and Ice-Slurry Applications*", (iii) Veröffentlichung der Ergebnisse und Herausgabe einer EU-Monographie sowie proletischer Broschüren zum Thema "Aufkommende Nahrungsmittelgefriermethoden" und (iv) Weiterverbreitung der Erkenntnisse. Priorität erhalten neuartige Gefriermethoden wie zum Beispiel HFM, Verwendung von Eisbrei, Hochdruckgefrieren, konventionelles Lyophilisieren, neue kryogenische Gefriermethoden und Magnetresonanz-Gefrierverfahren. EUROFREEZE arbeitet eng mit verschiedenen internationalen Organisationen zusammen (z.B. International Institute of Refrigeration, International Association of Refrigerated Warehouses, World Food Logistics Organisation, International Academy of Refrigeration, Flair-Flow Europe and European Commission's Research DG).

III.2 – Hochdruckgefrieren

Die Nahrungsmittelindustrie zeigt derzeit ein verstärktes Interesse an nicht-thermischen Verarbeitungsverfahren (z.B. Ozonbehandlung, gepulstes Licht hoher Intensität, gepulste Magnetfelder hoher Intensität, Pasteurisierung durch gepulste elektrische Felder). Aufgrund der Konservationsfähigkeit und anderer praktischer Effekte erfreut sich dabei die Hochdruckverarbeitung steigender Beliebtheit. Unter Hochdruck können Krankheitserreger mit minimaler Wärmebehandlung ausgeschaltet werden. Nährwert und Geschmack frischer Nahrungsmittel können so erhalten werden, ohne die Haltbarkeit zu beeinträchtigen. Weitere Vorteile des Hochdruckverfahrens gegenüber herkömmlichen thermischen Methoden sind unter anderem: reduzierte Verarbeitungsdauer, minimale Hitzeschäden, Erhaltung von Frische, Geschmack, Struktur und Farbe, kein Vitamin C Verlust und keine spürbaren Veränderungen des Gefrierguts während des Druckgefrierens (aufgrund der verringerten Kristallgröße und verschiedenen Eisphasen). Die Ausschaltung schädlicher Sporen bleibt jedoch eine große Herausforderung, da bisher noch keine Verfahren dafür entwickelt wurden. Deshalb konzentriert sich eine weitere Gruppe EU-finanzierter Projekte (z.B. SAFE ICE und davor FAIR CT96 1175 und AIR 10296) auf andere Methoden der

Nahrungsmittelverarbeitung durch hydrostatischen Druck, unter anderem mit Gefrieren und Auftauen unter Hochdruck.

In Japan wurden einige Produkte unter Hochdruck verarbeitet (z.B. Marmeladen und Fruchtsäfte). Einige der 10-15 betreffenden Produkte verschwanden kürzlich aus den Regalen, die verbleibenden hingegen genießen deutliches kommerzielles Interesse. Beispiele für hochdruckverarbeitete Lebensmittel aus Europa und den USA sind: (i) Orangensaft (Pernod Richard Company, Frankreich), (ii) gesäuertes Avocadomus (Avomex Company, USA and Mexiko), und (iii) geschnittener Schinken (Espuna Company, Spanien). Die hergestellten Mengen sind weiterhin sehr gering und einige gegenwärtige europäische Nahrungsmittelbestimmungen behindern die Einführung neuer hochdruckbehandelter Produkte aufgrund rechtlicher Probleme.

Die sogenannte Kryofixation ist eine physikalische Methode zur Fixierung biologischer Stoffe durch Schockgefrieren. Im Gegensatz zur chemischen Methode wird die strukturelle Morphologie besser erhalten, es treten kaum Abweichungen vom natürlichen Zustand des Zellgewebes auf. So werden morphologische Details ohne Beschädigung erhalten, es treten weniger Proteinvernetzungen aufgrund der Aldehydfixierung auf. Das Wasserphasendiagramm in Abb. 13 zeigt, dass sich bei Atmosphärendruck kristallines Eis bei ca. 0°C bildet, dieser Kristallisationsprozess führt zur teilweisen Zerstörung biologischer Strukturen. Die Kryofixation zielt darauf ab, solcherart verursachten Schaden zu vermeiden. Bei sehr hoher Gefriereschwindigkeit dienen Partikel und große Moleküle im Wasser als Kern für eine "heterogene Nukleation", Wasser wird in einem glasartigen Zustand fest und weist keine Kristallstruktur auf. Die notwendige Gefriereschwindigkeit kann bei Atmosphärendruck nur für sehr dünne Schichten zwischen 5 und 25µm erreicht werden. Dieses Hindernis kann durch die Verringerung des kryoskopischen Gefrierpunktes von Wasser durch Beimengung von chemischen Frostschutzern oder Erhöhung des Umgebungsdrucks umgangen werden. Bei einem Druck von 200 MPa sinkt der Gefrierpunkt auf -22°C (siehe Abb. 13), das ermöglicht das Frieren von Objekten bis zu einer Stärke von 0,4 – 0,6mm.

Abb. 13 veranschaulicht verschiedene Möglichkeiten, den physikalischen Zustand von Nahrungsmitteln durch externe Druck- und Temperaturveränderungen zu ändern. Abb. 14 und 15 zeigen temperatur- und druckabhängige thermische Eigenschaften von Kartoffeln während des druckunterstützten Gefriervorgangs [Ref. 6]:

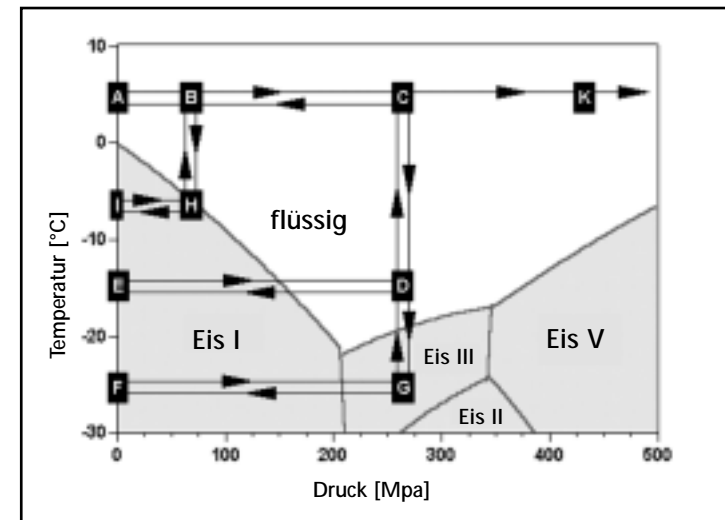


Abbildung 13. Wasserphasendiagramm und Hochdruckeinflüsse am Phasenübergang:

- | | |
|---------------------------|---|
| A – B – C – D – C – B – A | Unter-Null Lagerung ohne Gefrieren |
| A – B – H – I | Druckunterstütztes ¹ Frieren |
| I – H – B – A | Druckunterstütztes ¹ Tauen |
| A – B – C – D – E | Druckwechsel ² Frieren |
| E – D – C – B – A | Druckgesteuertes ³ Tauen |
| A – B – C – D – G – F | Gefrierübergang zu Eis III |
| F – G – D – C – B – A | Tauen von Eis III |
| A – B – C – K – ice VI | Gefrieren über 0°C |

- ¹ unterstützt: Phasenwechsel bei konstantem Druck
² Wechsel: Phasenwechsel aufgrund Druckänderung
³ gesteuert: Phasenwechsel durch Druckänderung eingeleitet und fortgesetzt bei konstantem Druck

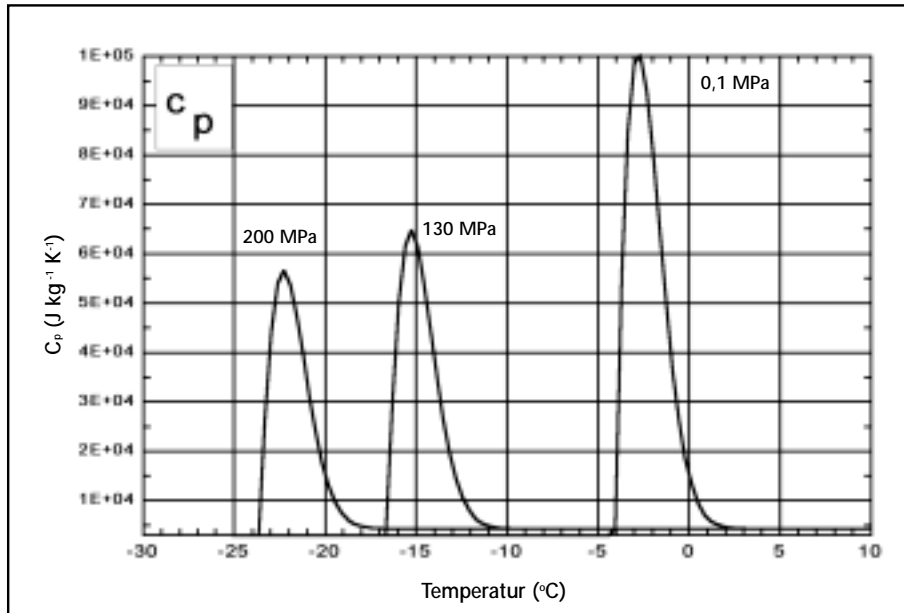


Abbildung 14. Spezifische Wärmekapazität von Kartoffelgewebe bei verschiedenen Drücken

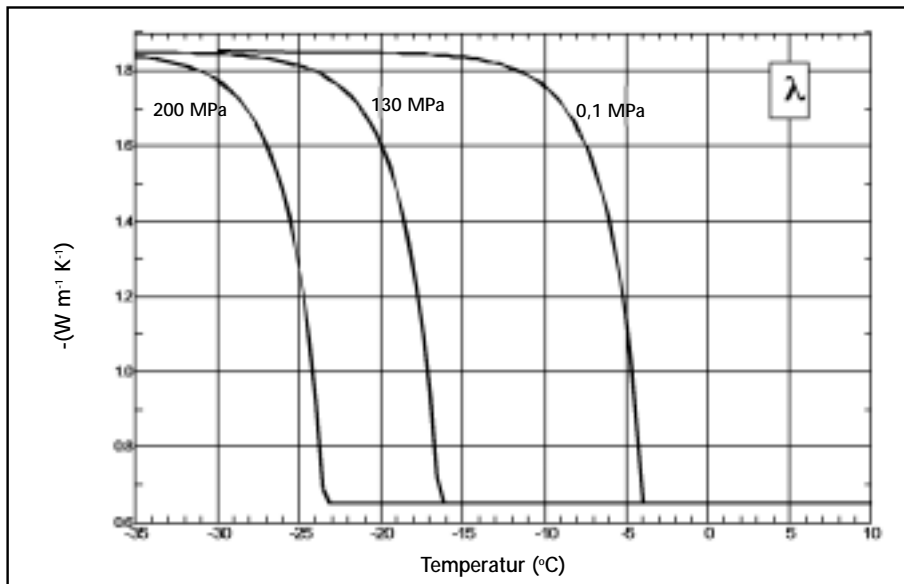


Abbildung 15. Wärmeleitfähigkeit von Kartoffelgewebe bei verschiedenen Drücken

Die vielversprechendsten Eigenschaften des Hochdruckgefrierens sind deshalb wie folgt:

- Verringerung des Gefrierpunktes und reduzierte latente Wärme des Phasenwechsels;
- Kurze Gefrierdauer mit darausfolgenden Vorteilen (z.B. mikrokristallines Eis);
- Deaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen sowie Strukturveränderungen ohne nennenswerte Veränderungen des Nährwerts oder Geschmacks.

Ob diese Forschungsergebnisse den Sprung aus dem Labor in die industrielle Anwendung schaffen, wird erst die Zukunft zeigen.

III.3 – Magnetresonanzgefrieren

Wie bereits besprochen, bieten konventionelle Gefriermethoden eine Gefriereschwindigkeit, die in der Regel nicht ausreicht, unerwünschte Wassermigration oder Massentransfer innerhalb eines Nahrungsmittelprodukts zu vermeiden. Wissenschaftler suchten deshalb eine Möglichkeit, Wasser während des Gefrierens in den Zellen zu halten und so Dehydration zu vermeiden und den Nahrungsmitteln ihre natürlichen Eigenschaften und ihre Frische zu erhalten. Eine Magnetresonanz-gefrieranlage, die die angesprochene Dehydration verhindert besteht aus einer gewöhnlichen Gefriermaschine und einem speziellen Magnetresonanzapparat. Der MRF (Magnetresonanzgefriervorgang) wird in **zwei Schritten** durchgeführt (Abb. 16, [Ref. 7]):

Schritt 1: Das Produkt wird den Schwingungen eines **ständigen magnetischen Wechselfeldes** ausgesetzt, mit folgenden Auswirkungen:

- Behinderung der Kristallisation
- Tiefkühlen unter dem normalen Gefrierpunkt

Schritt 2: Nach einer angemessenen produktspezifischen Zeitspanne wird das Magnetfeld abrupt abgeschaltet, mit vielen qualitätssteigernden Auswirkungen auf das gefriertgut:

- Gleichmäßiges Schockgefrieren des gesamten Produkts
- Schnelle Überbrückung der kritischen Temperaturzone intensiver Wasserkristallisation (zwischen -1 und -6 °C);
- Feinkörnige Eisstruktur innerhalb der Nahrungsmittel
- Weder Wassermigration noch unerwünschter Massentransfer
- Keine zelluläre Dehydratation
- Vermeidung von Rissen und damit verbundenen Beschädigungen
- Geschützte Integrität des Nahrungsmittelgewebes

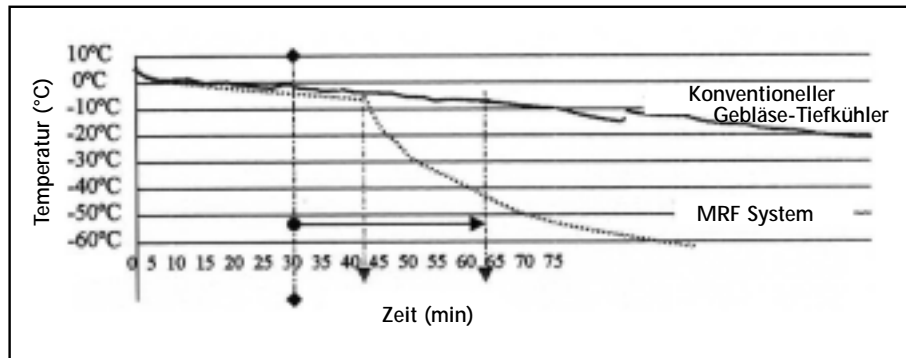


Abbildung 16. Produktgefrierkurve für konventionelle und MRF Ausrüstung [Ref. 7]

Viele Firmen betrachten MRF-Daten noch immer als vertrauliches Know-How. Obwohl die Vorzüge der MRF bereits lautstark verkündet werden [Ref. 7], sollten ihre tatsächlichen positiven Eigenschaften durch ausgedehnte Tests innerhalb einer ausreichend repräsentativen Umgebung bestätigt werden.

Für weitere Informationen zum Thema "Technologische Innovationen aus der Nahrungsmittelindustrie (z.B. neue kryogene Methoden, einzigartige Lyophilisierungstechniken, Trockenfrieren, Partielles Gefrieren, Vakkum- und Heizpistolenanwendungen) siehe Ref. 8-10.

IV- Erstellung und Optimierung von Gefrierkosterzeugung

IV.1 – Thermophysikalische Eigenschaften und gleichmäßige Wärmeübertragung

Die biologische Form der Materieanordnung ist in der Natur zweifellos die komplexeste. Nahrungsmittel bestehen aus Materialien mit außergewöhnlich komplizierten festen oder flüssigen Biostrukturen und können je nach Standpunkt gleichzeitig als Lösungen, Suspensionen, Emulsionen und andere physico-kolloide Formen gesehen werden, in denen verschiedene physiologische, biochemische und mikrobiologische Wärme- und Massentransferprozesse stattfinden. Diese Prozesse sind untereinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig. Das thermische Verhalten von Nahrungsmitteln spielt jedoch eine besondere Rolle, sind doch alle nach der Ernte oder Schlachtung ablaufenden Vorgänge in höchstem Maße temperaturabhängig. Temperatur wird gemeinhin als "absolut wichtigster, die Qualität und Sicherheit von Nahrungsmitteln bestimmender Faktor" gesehen. Diese Definition bedeutet, dass eine Vielzahl an anderen Prozessparametern oder Lagerbedingungen mehr oder weniger Einfluss auf das Produkt nehmen können, aber dass die Temperatur den einzigen physikalischen Wert darstellt, dem immer entscheidende Bedeutung beizumessen ist. Und so bleiben die drei entscheidenden Faktoren, die den Erfolg eines jeden Nahrungsmittelerzeugers und Verkäufers entscheiden auch weiterhin: "Temperaturkontrolle, Temperaturkontrolle und noch einmal Temperaturkontrolle".

Ein umfangreiches Wissen der thermophysikalischen Eigenschaften und eine genaue Vorhersage der ungleichmäßigen Temperaturverteilung in Nahrungsmitteln, Enthalpieveränderungen, Prozessdauer und des Energieverbrauchs während des Auftau- und Gefriervorganges sind von entscheidender Bedeutung. Diese Informationen sind für korrektes Design, Optimierung und effizienten Betrieb von Kühl- und Gefrieranlagen lebensnotwendig. Die Simulation von Nahrungsmitteltemperaturkurven ist ein integraler Bestandteil der Methoden zur Sicherstellung von Qualität und Sicherheit in Lebensmitteln. Darüberhinaus stellen Modelle zur Raum-Zeit-Entwicklung von Phaseninhalten ein wichtiges Instrument zur Qualitätsbestimmung von Nahrungsmitteln dar.

Als Konsequenz daraus entwickelten mehrere EU-finanzierte Projekte (z.B. PECO CIPA CT93 0240 and FAIR CT96 1063) eine **umfangreiche Datenbank für Nahrungsmiteleigenschaften, Vorhersagemodelle und Computersoftware** zur Bestimmung der schnell wechselnden Temperaturen in Nahrungsmitteln unter in der Industriepraxis anzutreffenden Wärmeübertragungsbedingungen (unter anderem: Mikrowellenerhitzen, Strahlung, Verdampfen, Kondensieren und Konvektion). Thermische Eigenschaften wurden hauptsächlich mit der Nahrungsmittelzusammensetzung, Temperatur und spezifische Struktur in Zusammenhang gebracht. Aus mehreren Komponenten bestehende wasserhältige Nahrungsmittel werden auch als zweiphasige Zweikomponentensysteme aus Wasser und trockener Materie betrachtet (in Gegenwart gasförmiger Einschlüsse als dreiphasige). Unter dem kryoskopischen Gefrierpunkt repräsentieren sie eine dynamische, dreiteilige Einheit, in welcher ständig das quantitative Verhältnis zwischen Feststoff, Wasser und Eis wechselt [Ref. 11]. So beinhaltet die feste Phase alle trockenen Substanzen (Proteine, Fette, Kohlehydrate, Mineralsalze, Mikroelemente, Vitamine, etc.) und Eis (sofern vorhanden), wohingegen die flüssige Phase aus freiem Wasser (in Form einer Lösung) besteht.

Im Bereich der Entwicklung **neuartiger Enthalpie-Darstellungen zur Lösung hochgradig nicht linearer, bei Gefrieren und Auftauen auftretenden Phasenübergangsprobleme** konnten bedeutende Fortschritte erzielt werden. Gegenwärtige, auf finiten Differenzen (FDM), finiten Elementen (FEM), Grenzelementen (BEM), etc. basierende numerische Methoden sind die einzig vernünftige Möglichkeit zur Lösung nichtlinearer Wärmeleitprobleme aus der Gefrierkosterzeugung. Eine Gruppe dieser Rechenmodelle beschäftigt sich mit der Verfolgung der sich bewegenden Phasenwechselgrenzen. Die zweite Hauptgruppe umfaßt flexiblere Techniken die betreffende Gleichung durch relativ einfache Koordinatensystemmethoden über den gesamten Raum-Zeit-Funktionsbereich der Integration zu lösen, wobei der physikalische Zustand der Substanz in den verschiedenen Bereichen und der Restwärmeeffekt durch temperaturabhängige thermophysikalische Koeffizienten berücksichtigt werden [Ref. 11-13]. Bei Anwendung der sogenannten *Equivalenten spezifischen Wärmekapazitätsmethode* (ESHC) hingegen gilt es, große Vorsicht walten zu lassen um unerwünschte Rechenphänomene ("springende" ESHC-Spitzenwerte und "stabile Schwingungen") zu vermeiden. Nachdem das Problem, definiert durch sich bewegende Grenzbereiche, in ein thermisches Problem mit festem Funktionsbereich übergeführt wurde, besteht der nächste

logische Schritt darin, die Enthalpie als neue abhängige Variable und unteilbaren Bestandteil des Lösungsverfahrens zu verwenden. Als Alternative zur numerischen Lösung solcher Auftau- und Gefrierprobleme kann die Kirchhoff-Substitution angewandt werden. Im Rahmen der EU-Projekte PECO CIPA CT93 0240 and *HyFloFreeze* wurde zum ersten Mal in Zusammenhang mit der Gefrierkosttechnologie [Ref. 12] eine neue Enthalpie-Kirchhofftransformation vorgeschlagen, die alle, durch die temperaturabhängigen thermophysikalischen Koeffizienten der Wärmeleitungsgleichung verursachten Nichtlinearitäten in ein einziges Verhältnis zwischen der volumetrischen spezifischen Enthalpie und der Kirchhoff-Funktion einbringt (Abb. 17).

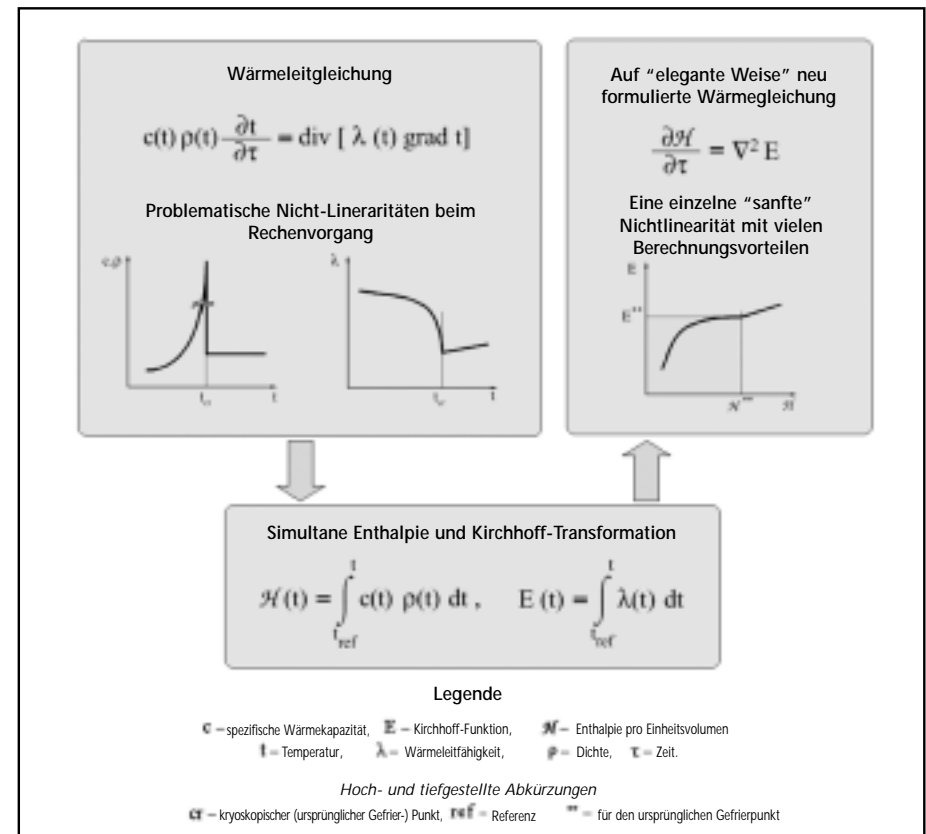


Abbildung 17. Neue Enthalpie-Kirchhofftransformation-Methode für eine effiziente Lösung von hochgradig nichtlinearen Lebensmittelgefrier/tau Problemen [Ref. 11-12].

Die vorgeschlagene Enthalpie-Kirchhofftransformation ermöglicht schnelle und günstige FDM und FEM Computer-Algorithmen und bietet eine Reihe von Vorteilen [Ref. 11-13], besonders wenn die Enthalpie-Kirchhoff-Beziehung direkt angewandt wird (ohne vorher auf die Enthalpietemperatur und Kirchhofftemperaturabhängigkeit zurückzugreifen). Dieser Verdienst ist allgemein anerkannt und wurde mit dem Superior Paper Award 2002 of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE) ausgezeichnet [Ref. 13].

Weiters werden mehrere Computerprogramme im EU-Projekt PECO CIPA CT93 0240 entwickelt, z.B.:

- COSTHERM sagt physikalische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Enthalpie, etc.) von Nahrungsmitteln aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und Struktur voraus. All diese Eigenschaften werden als Funktionen der Temperatur angegeben, hauptsächlich im Bereich zwischen -40 und 40°C , für kohlehydratreiche Nahrungsmittel auch bis zu 100°C . Für einige Lebensmittel existieren experimentelle Daten bis 135°C . Die Hauptverbesserungen gegenüber der früheren Version sind die nun mögliche Voraussage des kryoskopischen Gefrierpunkts der Nahrungsmittel, das Verhalten von fettigen Nahrungsmitteln (Anzeige der Phasenübergänge in Fetten) sowie verbesserte Wärmeleitfähigkeitsvoraussagen (größere Genauigkeit über ein größeres Temperaturspektrum).
- SURFHEAT sagt den Oberflächenwärmeübertragungskoeffizient voraus, indem es aus einer Datenbank mit ca. 530 Gleichungen die passende auswählt. Um den numerischen Wert des Oberflächenwärmeübertragungskoeffizienten aus der Gleichung zu erhalten, bestimmt der Benutzer die von der Gleichung benötigten Parameterwerte (Standardwerte sind verfügbar). SURFHEAT zeigt sodann einen oder mehrere Graphen der Oberflächenwärmeübertragung im Vergleich zur Geschwindigkeit oder Reynoldszahl des Mediums.
- HEATSOLV verwendet eine finite Differenzlösung der Wärmeleitungsgleichung um Temperaturen in Nahrungsmitteln

vorherzusagen. Die thermischen Eigenschaften der Nahrungsmittel können temperaturabhängig sein und Phasenübergangseffekte beinhalten. Die Randbedingungen (Dirichlet and Neumann) können sich mit der Zeit verändern.

Zusätzlich zu den oben genannten Programmen wurden Programme für spezielle Situationen in Erzeugung und Vertrieb von Nahrungsmitteln entwickelt, unter anderem MWEAT (Mikrowellenerhitzen), VACOOL (Vakuumkühlen) und MAILPROF (Bestellung von Gefrierkost per Post). Viele Programme wurden bereits erfolgreich in der Industrie eingesetzt, was zu wertvollem Feedback und Verbesserungsvorschlägen führte. Beispiele für derartige Software:

- Als Teil des EU-Projekts AIR 31881 zum Thema "Schnellkühlen" wurde das Programm BeefChil entwickelt. Dieses einfache und benutzerfreundliche Programm unterstützt Wissenschaftler bei der Planung von experimentellen Untersuchungen an Fleisch. Es basiert auf einem finiten Differenzschema für Wärmeübertragung in klassischen eindimensionalen Feststoffen. Eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse wird am Ende jeden Durchgangs zusammengestellt, welche folgende Daten enthält: (i) Gesamtverarbeitungsdauer, (ii) Endtemperatur der Umgebung, Oberfläche, des Zentrums und Grenzbereichs jeder Schicht, (iii) Stärke und Gesamtvolumen des gefrorenen Fleisches, falls es zum Frieren kommt.
- Die Refrigeration and Energy Group der Firma MIRINZ, Neuseeland, bietet drei Softwarepakete an. Food Product Modeller bestimmt Voraussetzungen für Kühl-, Gefrier-, Aufbau- und Erwärmungsprozesse für verschiedene Produkte. Es enthält Einstellungen für Fleisch, kann aber für eine Reihe von Nahrungsmittelprodukten eingesetzt werden. Refrigeration Loads Analyser sagt die benötigte Kühlkapazität für Anlagen voraus und stellt ein wertvolles Werkzeug zur Überprüfung von neuen Entwurfsspezifikationen dar. Lamb Carcass Freezer MBC unterstützt die energiesparende Herstellung von qualitativ hochwertigen Schlachtkörpern.

- RADS (Refrigeration Analysis Design and Simulation): Dieses Softwarepaket (Massey University, Neuseeland, und TNO, Niederlande) ist ein weiteres nützliches Hilfsmittel zur Vorhersage und Optimierung von Prozessabläufen.
- Das BERTIX Computerprogramm (TNO, Niederlande) befasst sich mit der Thematik der Kühlung und Gefrierung von Schlachttieren. Es ist möglich die Art des Kadavers zu wählen (Schwein, Huhn, Rind/Kalb und Pute), das Gewicht und einige andere Faktoren wie Temperatur, Geschwindigkeit und relative Luftfeuchtigkeit einzugeben.

IV.2 – Computergestützte Strömungslehre

Die computergestützte Strömungslehre (CFD) entwickelte sich zu einer anerkannten Methode Flüssigkeitsströme vorherzusagen. Sie wird seit Jahren in der Kern-, Luftfahrt-, Auto- und chemischen Industrie angewandt. Nachdem unzählige Nahrungsmittel-verarbeitungsprozesse auf Flüssigkeitsströmen basieren (z.B. Kühlen, Gefrieren, Kochen, Pasteurisieren und Sterilisation), wird CFD nun auch verstärkt zur Untersuchung dieser Prozesse herangezogen. Es ermöglicht, durch übersichtliche Präsentation von Computerdaten zur Temperaturverteilung ein ausreichendes Verständnis des Wärme- und Massentransfers innerhalb eines Systems. CFD-Modelle arbeiten mit einer Reihe von Flüssigkeiten und dienen als wichtiges Werkzeug in der Entwicklung und Optimierung von Nahrungsmittelverarbeitungsanlagen. Es existieren heute mindestens 35 im Handel erhältliche CFD-Programme (z.B. FLUENT, SINDA FLUENT, CFX, FIDAP, MARC, PHOENICS, FLOW3D und CFDS). Sowohl im Bereich der CFD-Software als auch der Hardware werden laufend deutliche Verbesserungen vorgenommen. Die Software wird benutzerfreundlicher, die Hardware bietet mehr Rechenleistung für weniger Geld. Auf dem Nahrungsmittelsektor existieren viele Anwendungsmöglichkeiten für CFD. Bereits jetzt ist es ein wichtiges Instrument zur Analyse sogenannter "Was wäre, wenn" Szenarien. CFD wird zur Simulation des Luftstroms in und um Geschäftsvitrinen, Kühlräumen, Gefriertruhen, Transportbehälter und Produkten unterschiedlicher Form eingesetzt (Abb. 18, 19). Ein Großteil

der gefrierkostbezogenen EU-Forschungsprojekte zum Thema Prozessoptimierung beschäftigte sich deshalb mit auf CFD basierenden Untersuchungen.

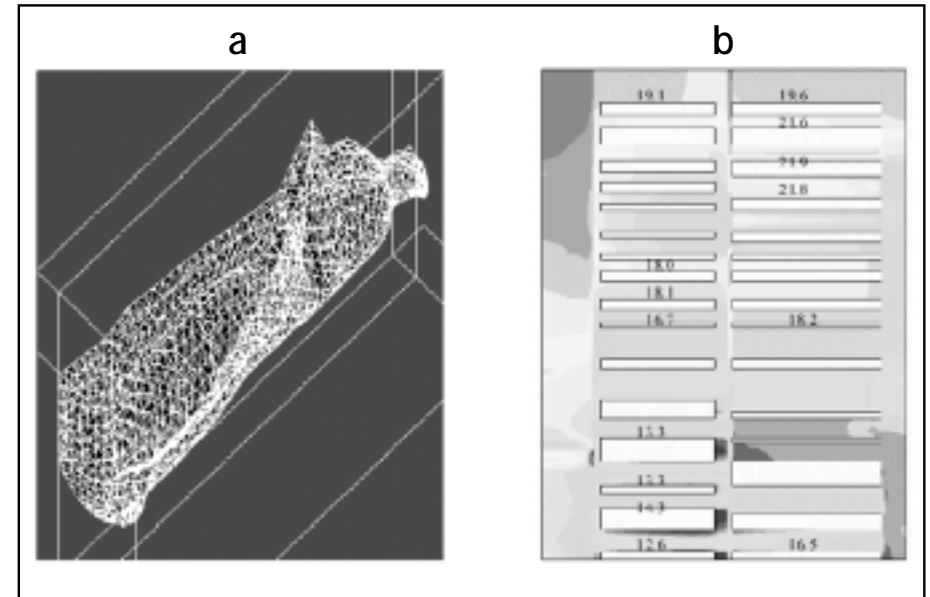


Abbildung 18. CFD-Rasterdarstellung eines Rinderschlachtkörpers (a) und simulierte Temperaturen in Bodennähe eines mit Kühlschränken ausgestatteten Supermarktes (b).

Zuverlässige Informationen über Wärme- und Massenübertragungsmengen an der Lebensmitteloberfläche sind unerlässlich für jegliche Berechnung und Aussehen der Kühlausstattung. Es ist sehr wichtig, den Wärmeübertragungskoeffizienten exakt zu kennen, aber leider ist dieser Parameter die am wenigsten zugängliche Vorhersage und es ist der in der Praxis mit den meisten Veränderungen behaftete Gegenstand. Die meisten Lebensmittelgefriermodelle verwenden dazu einen Durchschnittsübertragungskoeffizienten über die gesamte Lebensmitteloberfläche. Das ist eigentlich nicht realistisch, da in Wirklichkeit die Koeffizienten hoch positionsabhängig sind, d.h. sie variieren von Ort zu Ort sehr stark und werden durch die lokalen Geschwindigkeiten und Temperaturen der

strömenden Fluide innerhalb der Grenzschichten beeinflusst. In der Vergangenheit wurden die Übertragungskoeffizienten durch empirische Beziehungen über Direktmessungen bestimmt. Die Wärmeübertragungskoeffizienten können gegenwärtig über CFD-Anwendungen bestimmt werden. Der Koeffizient für eine der komplexesten Lebensmittelgeometrien heute, Rindfleisch (Abb. 18a) wurde mit CFD bestimmt, bei dem es ein Gitter mit 100000 Knotenpunkten erfordert [Ref. 1].

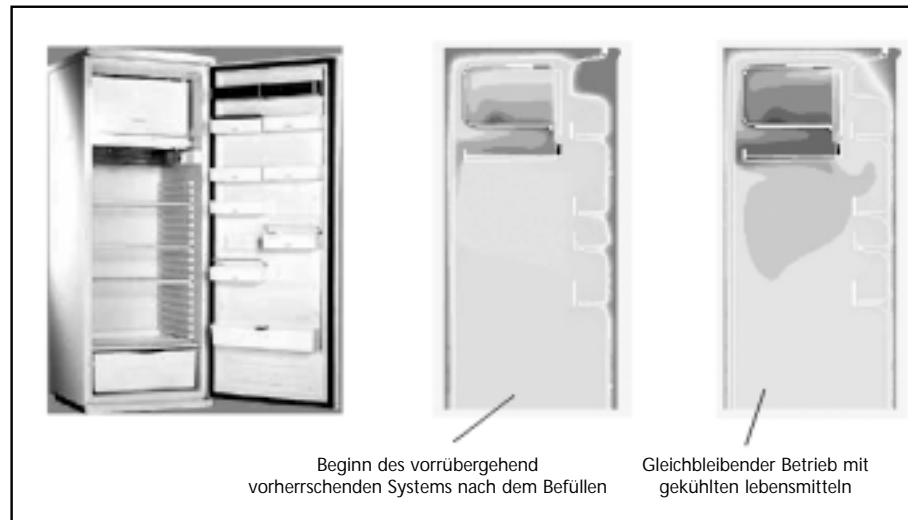


Abbildung 19 Temperaturverteilung in einem Haushaltskühlschrank, berechnet mit CFD (Quelle: Fluent Europe).

Die maßgebende Wärme- und Strömungsgleichung sind im Prinzip gegenseitig verbunden und ein CFD-Programm kann das thermophysikalische Problem, die Temperaturverteilung innerhalb des Produktes und die Geschwindigkeits- und Temperaturfelder außerhalb, gleichzeitig zu bestimmen, lösen. Wie auch immer, dieses komplexe und hochgradig nichtlineare partielle Differentialsystem benötigt zur Lösung sehr lange Rechenzeiten und eine kraftvolle Hardware. Eine schnellere aber weniger gute Näherung ist, die Oberflächenwärmeübertragungskoeffizienten

mit einer Fließgleichgewichts-CFD-Version zu bestimmen und den resultierenden Wert der Wärmeübertragung nur als Kalkulation der Produkttemperatur zu sehen. Für laminare Strömungen liefert CFD exakte Lösungen der partiellen Differentialgleichung für Masse-, Impuls- und Energiegleichgewichte. Bei turbulenten Strömungen benötigt man zusätzliche empirische Parameter in der partiellen Differentialgleichung, um die involvierten Turbulenzen zu berücksichtigen. Obwohl die moderne CFD-Technik Strömungsmuster qualitativ hochwertig beschreiben kann, ist es noch immer wichtig eine präzise Bestimmung des Wärmeübertragungskoeffizienten zu haben. Die fundamentale Strömungsgleichung für Fluide von Navier-Stokes kann zwar alle möglichen Turbulenzen handhaben, doch benötigt man damit auch für die kleinsten Fragestellungen eine sehr kraftvolle Computerhardware. Folglich ist die Anwendung in der Industrie in der voraussehbaren Zukunft nicht sehr beliebt und die Vorhersage von Wärme- und Massenübertragungskoeffizienten wird für die Lebensmittelgefrierindustrie voraussichtlich eine langwierige Herausforderung bleiben.

IV.3 – Qualität von gefrorenen Lebensmitteln

Ein wertvoller Beitrag zur Verbesserung der Qualität gefrorener Lebensmittel wurde durch die von der EU geförderte Verordnung FAIR CT96 1118 geleistet, die eine Zusammenführung vieler hochstehender Spezialisten aus Industrie und Universitäten in ganz Europa möglich macht [Ref. 16].

Gekühlte Lebensmittel stellen einen der schnellst wachsenden Sektoren der Lebensmittelindustrie dar. Bleibender Erfolg wird durch effektive und dauerhafte Verwendung der „Kühlkette“ erreicht. Dabei handelt es sich um eine Abfolge von gegenseitig abhängigen Faktoren in Produktion, Auslieferung, Lagerung und Einzelhandel bei gefrorenen und gekühlten Lebensmitteln. Die Kontrolle dieser Kühlkette soll die Sicherheit und Qualität der gefrorenen Lebensmittel sicherstellen und gemeinsam mit Gesetzen und Vorschriften und der Industrie den „codes of practice“ entsprechen [Ref. 14-16].

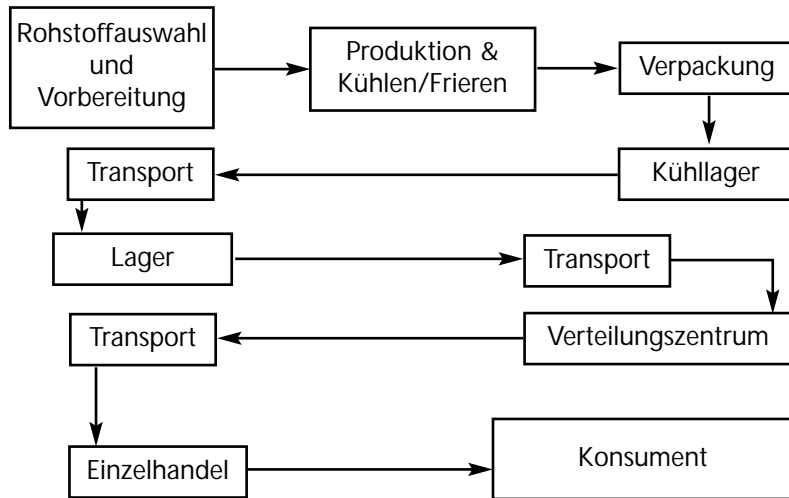


Abbildung 20. Schema einer durchgehenden Kühlkette [Ref. 16].

Das Einfrieren von Lebensmitteln erhöht ihre Lagerfähigkeit, indem schädliche Reaktionen, die Verderbnis herbeiführen und die Haltbarkeit herabsetzen können, verlangsamt werden. Trotz allem kann eine Vielzahl von physikalischen und biochemischen Reaktionen auftreten. Viele von ihnen werden unterstützt, wenn die beschriebenen Bedingungen bei Produktion und Lagerung nicht eingehalten werden. Obwohl nur wenige Mikroorganismen unter -10°C wachsen können, gibt die Lagerung im gefrorenen oder gekühlten Zustand keine Garantie für den Nichtbefall von Mikroorganismen. Die Produktion von sicheren gefrorenen Lebensmitteln benötigt dieselbe Genauigkeit und Einhalten der Vorschriften der „good manufacturing practices“ (GMP) und des HACCP-Konzeptes wie die Herstellung von gekühlten oder frischen Lebensmitteln. Ein falscher Eindruck von Sicherheit basierend auf dem guten Ruf der tiefgekühlten Lebensmittel soll nicht die Vorsicht und Achtsamkeit während der Produktion, der Lagerung und der Auslieferung gefährden [Ref. 14-16].

Um die Qualität der tiefgekühlten Lebensmittel sicherzustellen, werden bestimmte Temperaturbereiche für jeden Teil der Kühlkette vorgeschlagen. Es werden stabile Temperaturen von -18°C oder tiefer

empfohlen, obwohl Ausnahmen über kürzere Perioden während des Transports oder der regionalen Auslieferung erlaubt sind, wenn -15°C gewährleistet sind. Kühlregale im Einzelhandel sollten eine Temperatur von -18°C halten, um den Lagerbedingungen zu entsprechen und nicht höhere Temperaturen aufweisen als -12°C . Berücksichtigt werden sollten auch die Temperaturbereiche in den Kühltruhen der Konsumenten. Diese Temperaturen sind von der „Sternen-Zahl“ abhängig- ein 3-Stern-Tiefkühlgerät macht Temperaturen unter -18°C möglich, eine 2-Stern-Kühltruhe Temperaturen unter -12°C und ein 1-Stern-Kühler unter -6°C . Im letzten Fall ist die tatsächliche Lagerzeit für tiefgefrorene Lebensmittel auf ein paar wenige Tage limitiert.

Für die gesamte Produktion von gefrorenen und tiefgekühlten Lebensmitteln ist die Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit sehr wichtig. In Kombination mit den Richtlinien der Lebensmittel-Mikrobiologie, der Qualitätskontrolle und dem Risikomanagement, wird ein „Hazard Analysis of Critical Control Points“ (HACCP)- Konzept empfohlen, um die Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten und um die Kombination aus qualitativer hochstehender Arbeit mit Vorschriften aus dem Lebensmittelgesetz zu demonstrieren [Ref. 14-16].

Das Tiefkühlen kann den Geschmack, die Textur und den Nährwert der Lebensmittel besser erhalten als viele andere Methoden zur Langzeitkonservierung. Trotzdem ist diese Lebensmittelqualität stark von der sorgfältigen Auswahl der Rohstoffe, einer adäquaten Vorbehandlung, der Auswahl des Tiefkühlgerätes, den Tiefkühlbedingungen und der Art der Verpackung abhängig. Die wichtigsten Schritte für die bestmögliche Qualität von tiefgekühlten Lebensmitteln können als „pre-freezing“, „freezing“ und „post-freezing“ im Zuge der Herstellung benannt werden (Tabellen 1-3).

Früchte & Gemüse	Fleisch	Fisch
<ol style="list-style-type: none"> 1. Rohstoffe von hoher Qualität, Entfernung von Fremdkörpern 2. geeignete Lagerungsmöglichkeiten 3. Sicherheitsaspekte z.B.: Entfernung von Pestiziden 4. Analyse von Qualitätsmerkmalen: Nährwert, Geschmack, Farbe, °Bx 5. Industrielle Bedingungen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rohstoffe von hoher Qualität inkl. mikrobiellem Status (mesophile, psychotrophe Bakterien und Pseudomonas) 2. Aufzucht und Fütterung der Tiere 3. kühlen und altern, beschleunigte Bedingungen 4. Analyse von Qualitätsmerkmalen z.B.: Ranzigkeit, Fleisch/Fett-Verhältnis, Textur 5. Industrielle Bedingungen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rohstoffe von hoher Qualität inkl. mikrobiellem Status (TVC, coliforme Bakterien und Staphylococcus) 2. Artenuntersuchung auf Grund des unterschiedlichen Geschmacks/Aromas 3. Verarbeitung durch z.B.: Filletieren 4. so schnell wie möglich tiefrieren 5. Analyse von Qualitätsmerkmalen z.B.: Textur, Histaminwerte

Tabelle 1: Hinweise vor dem Tiefkühlprozeß [Ref. 14-16].

Früchte & Gemüse	Fleisch	Fisch
<ol style="list-style-type: none"> 1. sofortiges Tiefkühlen nach Verarbeitung oder Vorbehandlung 2. langsames Einfrieren vermeiden z.B.: im Kühllager 3. schnelles Einfrieren erhält die Feuchtigkeit, Nährstoffe und Textur und reduziert Zellerstörung z.B.: in handelsüblichen Tiefkühlgeräten 4. bei großen Produkten kann zu schnelles Frieren mechanische Zerstörung z.B.: brechen bewirken 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sofortiges Tiefkühlen nach Verarbeitung oder Vorbehandlung 2. langsames Einfrieren vermeiden z.B.: im Kühllager 3. schnelles Einfrieren erhält die Feuchtigkeit und reduziert Proteindenaturierung und vorzeitiges Zähwerden z.B.: in üblichen Tiefkühlgeräten 4. schnelles Einfrieren bewirkt kleinere Eiskristalle, die das Licht besser streuen und so ein helleres und glänzenderes Produkt ergeben 	<ol style="list-style-type: none"> 1. sofortiges Tiefkühlen nach Verarbeitung oder Vorbehandlung 2. langsames Einfrieren vermeiden z.B.: im Kühllager 3. schnelles Einfrieren erhält Textur und Aroma und minimiert chemische und enzymatische Reaktionen, die zum Verderb führen können 4. schnelles Einfrieren ergibt kleinere Eiskristalle, die die physikalische Zerstörung durch Eis reduzieren und die charakteristische Gewebestruktur erhalten

Tabelle 3: Vorgänge während des Tiefkühlprozesses [Ref. 14-16].

Früchte & Gemüse	Fleisch	Fisch
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zerkleinern führt zur Zellerstörung und verkürzt die Haltbarkeit 2. Blanchieren oder chemische Behandlung hilft enzymatischer Bräunung und Fehlparfumen vorzubeugen 3. Eintauchen von Lebensmitteln in z.B.: Zuckerlösungen kann Texturveränderungen in der Kühlkette reduzieren 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kochen verlängert die Haltbarkeit 2. Gewürze können Substanzen enthalten, die die Ranzigkeit von Fleisch kontrollieren 3. Geräuchertes Fleisch hat eine längere Haltbarkeit und kann antioxidatives Potential besitzen 4. Zerkleinern führt zu verkürzter Haltbarkeit 5. Öl- und Salzaufnahme kann zu schneller auftretender Ranzigkeit führen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ganze und ausgeweidete Fische besitzen eine längere Haltbarkeit als zerkleinerte Fische 2. Komplettes und genaues Auslösen des Fisches hilft Enzyme, die für Verderb und Ranzigkeit verantwortlich sind, zu entfernen 3. Cryoprotektoren wie Kohohydrate und Polyphosphate können die mögliche Texturzerstörung minimieren

Tabelle 2: Auswirkungen einiger Aufbereitungen vor dem Einfrieren [Ref. 14-16].

Zerstörung durch das Tiefkühlen von Lebensmitteln wird durch eine Vielzahl von Mechanismen hervorgerufen, die einen Verlust der Qualität nach dem Auftauen zur Folge hat. Ein derartiger Qualitätsverlust kann offensichtlich sein (z.B.: Gefrierbrand, Farbveränderung oder mechanische Zerstörung), aber in vielen Fällen ist er erst nach dem Auftauen und Kochen bemerkbar. Die meisten der qualitätsverändernden Mechanismen werden dadurch hervorgerufen, wie lange die vorgeschriebene Lagertemperatur nicht erreicht wird.

Sie werden ebenfalls durch starke Temperaturschwankungen begünstigt. Eis und Wasser können Lebensmittel auf viele Arten zerstören:

- nichtgefrorenes Wasser: Auch unter -18°C bleiben bis zu 10% des Wasser flüssig und können so an physikalischen und biochemischen Reaktionen teilnehmen.

- Zerstörung durch Frieren: Die Ausdehnung des Wassers beim Übergang zu Eis kann eine Zerstörung der Lebensmittelstruktur bewirken. Das ist oft der Grund für große Löcher im Gewebe und starken Flüssigkeitsverlust nach dem Auftauen.
- Ostwald Reifung: Darunter versteht man die Tendenz von großen Eiskristallen auf Kosten von kleineren zu wachsen.
- Eiszuwachs: Das Vereinigen von 2 benachbarten Eiskristallen, die zu einem größeren Kristall verschmelzen und so das Lebensmittel zerstören können.
- Wasserdampfentwicklung und Gewichtsverlust: Dies tritt am stärksten in der Oberfläche von gefrorenen Lebensmitteln auf und kann zu Änderungen des Erscheinungsbildes führen (Farbe, Textur). Es wird durch unterschiedliche Partialdrucke des Wasserdampfs, der durch den Temperaturunterschied zwischen (i) Produktoberfläche und –kern und (ii) Produktoberfläche und Gerät hervorgerufen.
- Konzentration an gelösten Stoffen und osmotische Dehydrierung: Während der Eisbildung steigt die Konzentration an gelösten Stoffen in nicht gefrorenem Wasser, was zu einer Inhomogenität des Produkts und zur Zerstörung der Zellmembranen führt.

Die meisten dieser Effekte können durch rasches Einfrieren und die Einhaltung tiefer konstanter Temperaturen während der Lagerung minimiert werden.

Empfohlene Aufbewahrungszeiten für verschiedene Gefrierprodukte bei einer Temperatur von -18°C werden in Tabelle 4 [Ref. 14-16] aufgelistet.

Produkt	Aufbewahrungszeit (in Monaten)
Gemüse	15
Broccoli	18
Grüne Bohnen	15
Karotten	18
Blumenkohl	15
Maiskolben	12
Erbsen	18
Kartoffel Chips	24
Spinat	18
Rohes Fleisch und Fleischprodukte	
Rinderbraten, Steaks	12
Hackfleisch	10
Lammbraten und -kotelett	10
Schweinebraten und -kotelett	6
Wurst	6
Speck	2-4
Huhn, ganz	18
Huhn, portioniert	18
Truthahn, ganz	15
Ente/Gans, ganz	12
Fisch und Schalentiere	
“Fetter“ Fisch (z.B. Hering, Lachs, Makrelen)	4
“Weißer“ Fisch (z.B. Seezunge, Scholle)	8
Plattfische (z.B. Seezunge, Scholle)	10
Garnelen, Hummer, Krabben	6
Muscheln, Austern	4
Andere Lebensmittel	
Speiseeis	6

Tabelle 4: Empfohlene maximale Aufbewahrungszeit für einige Lebensmittel bei -18°C .

Die Verpackung spielt beim Schutz von gefrorenen Lebensmitteln vor Kontamination externen Ursprungs und vor Beschädigung beim Transport vom Hersteller zum Kunden eine Schlüsselrolle. Die Wahl der Verpackung ist in erster Linie durch ökonomische, technische und legislative Faktoren bestimmt. Die wichtigste Funktion der Verpackung ist der Schutz der Lebensmittel, wobei das Produkt in keinster Weise beeinflusst werden darf, wie in einigen europäischen Anweisungen für Produkte, welche in Kontakt mit Lebensmitteln kommen, beschrieben wird (z.B. EC Directives 97/48/EC; 90/128/EEC; 82/711/EEC und 85/572/EEC). Die Lebensmittelverpackung muss physikalisch und chemisch stabil gegenüber dem gesamten ausgesetzten Temperaturbereich, kompatibel mit herkömmlichen Packungs- und Befüllungsmaschinen, ansprechend für den Kunden und vereinbar mit den Umweltschutzrichtlinien sein.

V- Neue Anregungen und Perspektiven

Die Einhaltung der Kühlkette sowie die ordnungsgemäße Kontrolle sind von entscheidender Wichtigkeit, um die Qualität von gefrorenen Lebensmitteln auf dem Weg vom Hersteller zum Endverbraucher zu erhalten. Lebensmittelproduzenten, große industrielle Kühllager, Super- und Großmärkte setzen üblicherweise erfahrenes Fachpersonal und Anlagen, welche auf dem neuesten Stand der Technik sind, ein, um den Anforderungen der Lebensmittelgesetze in Europa und weltweit zu entsprechen und so ohne großen Aufwand unerwartet auftretende Probleme lösen zu können. Die Erfahrung im Umgang mit Gefriergut zeigt, dass die meisten Ursachen, welche ein Sicherheitsrisiko bzw. eine Qualitätsminderung hervorrufen, auf den Transport zurückzuführen sind. Es gilt dabei zwei Punkte zu beachten: Erstens kann das Gefriergut unvorhersehbaren externen Einflüssen, wie abrupte Klima- und Strahlungsveränderungen, hervorgerufen durch Verkehrsstaus, Autopannen, anderen Verzögerungen ausgesetzt werden, und zweitens, ist ein einziger Fahrer ohne spezielle lebensmittelbezogene Ausbildung für den gesamten Inhalt des Gefriercontainers verantwortlich, welcher dann Entscheidungen bei unerwünschten Vorfällen auf einer sehr einfachen, meist nicht qualifizierten Basis fällen muss.

Moderne Prozesse in der Informationstechnologie und Telematik (wie die Open Service Gateway Initiative – OSGi, Global Positioning Systems – GPS, mobile and Internet-based communications) machen es möglich, die oben beschriebenen Probleme zu lösen und neue Konzepte in bezug auf eine perfekte zentrale Kontrolle und Handhabbarkeit von gefrorenen Lebensmitteln während dem Transport auszuarbeiten. Zum Beispiel investieren die ESA und die EU 3,4 Mrd. Euro für das GALILEO-System – eine Konstellation von 30 Satelliten, welche eine Ergänzung für das amerikanische GPS und das russische GLONASS darstellen soll. Solch fortschrittliche Anwendungen werden ebenso in einer großen Vielfalt in anderen Applikationen, der Luftfahrt, dem Bergbau, dem Autoverkehr und der Vermessung verwendet. Folglich strebt die EU eine Steigerung des Wettbewerbes am globalen Markt an und daher sollte die europäische Lebensmittel(kühltransport)industrie darauf vorbereitet sein und sich intensiv mit den zukunftsweisenden Technologien befassen.

Die Konsequenz daraus ist, dass ein Konsortium von bedeutenden Akademie-, Forschungs- und Technologiezentren quer durch Europa Hand in Hand mit prominenten internationalen Organisationen und Netzwerken (z.B. the International Institute of Refrigeration, International Association of Refrigerated Warehouses, World Food Logistics Organisation, Flair-Flow Europe Network, International Cold Chain Technology Forum and European Space Agency) suggerierte, im Rahmen des sechsten EU-Programms, die sogenannte COLDCAR-Initiative [Ref. 17], eine kosteneffektive Technologie und ein vielseitiges auf OSGi basierendes System für weiterführende Zeitaufzeichnungen und Kontrolle von Lagerungsbedingungen, Sicherheits- und Qualitätsattributen während des Transportes [Abb. 21] auszuarbeiten. Die Systemstruktur, welche auf GALILEO basierende globale Navigationsapplikationen verwendet, inkludiert On-Board-Computer für die lokale Datenaquisition vom Verhalten der Lebensmittelladungen und dem Gefrierstatus, aber auch für Arbeiten am Transporter und ebenso für die Positionsbestimmung. Die gesammelten Informationen werden via mobiler Kommunikation und Internet an einen zentralen Kontrollpunkt geschickt, bei dem ein spezielles Softwareprogramm für gefrorene Lebensmittel läuft, welches über eine automatische Fernbedienung bzw. über eine Assistenz-Funktion verfügt, um dem Bearbeiter wichtige Hinweise und Anweisungen im Umgang mit der Fracht zu geben. Das COLDCAR-Konzept basiert auf einer weitreichenden Lebensmittelkontrolle, welche das gesamte HACCP-Potential im Gefriersektor offenbaren soll.

Zur Zeit gibt es einige verschiedene Produkte, die als Online-Sensoren verwendet werden könnten (z.B. elektronische Nasen, NIR-Reflexion/Transmission, sichtbares Infrarot, NMR, Ultraschall- und Mikrowellentomographie), welche nicht sichtbare Qualitätsfaktoren, wie die Reife und interne Mängel (z.B. Druckstellen) einer Frucht, Hygienelevel, Fermentationszeitpunkt und auch die Qualität von Fleisch bestimmen können. Solch moderne Sensoren könnten in Gefriercontainern eingebaut werden, um eine Direktmessung und Kontrolle wichtiger Qualitätskriterien, Hand in Hand mit konventionellen Punkten wie Temperatur, Feuchtigkeit, etc. durchzuführen.

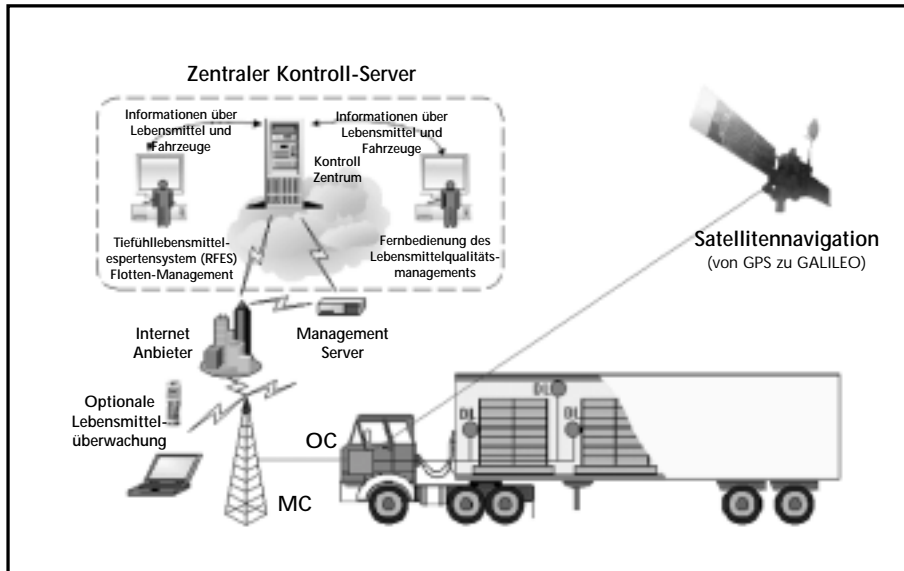


Abbildung 21. Das Gesamtkonzept der vorgeschlagenen COLDCAR-Technologie

(detaillierte Beschreibung: http://eoi.cordis.lu/dsp_details.cfm?ID=28636).

Die Lebensmittelgefrierindustrie arbeitet nicht an einem nationalen, sondern immer intensiver an einem europäischen Modell der Vernetzung. Im Speziellen der Gefriertransport ist ein gutes Beispiel für die Globalisierung im Lebensmittelsektor. Führende Lebensmitteltransporteure haben Teile ihrer LKW-Flotten schon mit GPS und mobiler Kommunikation ausgestattet, welche die Fernbedienung der Innentemperatur der Container zulassen. Die gegenwärtigen Errungenschaften sind zwar ein guter Start, aber bei einer auf künstlicher Intelligenz basierenden Technologie für das totale Qualitätsmanagement von zu transportierenden Lebensmitteln sind wir noch lange nicht am Ende der Entwicklung angelangt.

Eines der voraussichtlichen COLDCAR-Resultate wird die Einführung des "Ersten europäischen Systems für totales fernbedienbares

Qualitätsmanagement für zu transportierende gefrorene Lebensmittel" sein, bei welchem die ersten Anwender zu den wichtigsten Mitspielern im Lebensmitteltransportbusiness zählen werden. Eine Serie von europaweiten Bekanntmachungen und Workshops sind quer durch den Kontinent für die neue Technik zwischen Hersteller und Konsument geplant. Es werden ebenso Machbarkeitsstudien für leichtverderbliche biotechnologische Materialien durchgeführt werden.

Die von der EU veröffentlichten Ergebnisse, aufgeteilt in 53 spezielle Themen der Lebensmittelqualität und -sicherheit entlang der gesamten Produktions- und Prozesskette finden Sie unter (ein Thema davon COLDCAR):

<http://europa.eu.int/comm/research/agriculture/pdf/expressions.pdf>

ftp://ftp.cordis.lu/pub/fp6/docs/eoi_analysis_115.pdf

COLDCAR hat den Vorteil, dass es auf jeden Fall beim bevorstehenden FP6 "Lebensmittelqualität und -sicherheit" behandelt wird.

VI- Danksagungen

Der Autor bedankt sich bei der europäischen Union für die Unterstützung bei der Publikation durch das FLAIR-FLOW-EUROPE Projekt (QLK1 CT2000 00040), koordiniert von Jean-François Quillien (INRA, Frankreich). Bei den Abbildungen 1-21 werden Daten verwendet, die von Q.T. Pham, R.P. Singh, C.J. Kennedy, O. Schlüter, Air Products and Chemicals, Optimum Food Freezing Systems, Food Refrigeration and Process Engineering Research Centre, und Fluent Ltd. stammen.

VII- Abkürzungen

CCS	Central Control Server
CFC	ChloroFluoroCarbon
CFD	Computational Fluid Dynamics
COP	Coefficient of Performance
DL	Data Logger
ESHC	Equivalent Specific Heat Capacity
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HACCP	Hazard Analysis of Critical Control Points
HCFC	HydroChloroFluoroCarbon
HFC	HydroFluoroCarbon
HFM	HydroFluidisation Method
IQF	Individual Quick Freezing
MC	Mobile Communication
MRF	Magnetic Resonance Freezing
OC	On-board Computer
OSGi	Open Service Gateway Initiative
RFES	Refrigerated Food Expert System

VIII- Fertiggestellte und laufende EU-unterstützte Projekte auf dem Gebiet der Lebensmittelgefrierforschung

Maintaining the Quality and Safety of Frozen Foods throughout the Distribution Chain

Contract number: FAIR CT96 1118

Co-ordinator: Dr Chris Kennedy

NutriFreeze Ltd., Unit 8 Roland Court

Huntington Road, York YO32 9PW, UNITED KINGDOM

Tel.: +44 1904 76 76 75, Fax: +44 1904 76 75 05

E-mail: chris.kennedy@nutrifreeze.com

HyFloFreeze:

Development of a Novel Cost-Effective Technology for Individual Quick Freezing of Foods by Hydrofluidisation

Contract number: IC15 CT98 0912

Administrative Co-ordinator: Prof. Dr Bart Nicolai, KU Leuven, BELGIUM

Scientific Co-ordinator: Res. Sci. Kostadin Fikiin

Refrigeration Science and Technology Division

Technical University of Sofia

8 Kliment Ohridski Blvd., BG-1756 Sofia, BULGARIA

Tel./Fax: +359 2 965 33 22, E-mail: agf@tu-sofia.bg

EUROFREEZE:

International initiative for enhancing the human research potential, organising a high-level scientific workshop, publication and dissemination activities to advance the frozen food industry in the European Union and associated states

Contract number: QLK1 2002 30544

Co-ordinator: Res. Sci. Kostadin Fikiin

Refrigeration Science and Technology Division

Technical University of Sofia

8 Kliment Ohridski Blvd., BG-1756 Sofia, BULGARIA

Tel./Fax: +359 2 965 33 22, E-mail: agf@tu-sofia.bg

Modelling of Thermal Properties and Behaviour of Foods during Production, Storage and Distribution

Contract number: PECO CIPA CT93 0240

Co-ordinator: Dr Paul Nesvadba

Food Science and Technology Research Centre

The Robert Gordon University, School of Applied Sciences

St Andrew Street, Aberdeen, AB25 1HG, Scotland, UNITED KINGDOM

Tel.: +44 1224 262 839, Fax: +44 1224 262 857

E-mail: p.nesvadba@rgu.ac.uk

Database of Physical Properties of Foods

Contract number: FAIR CT96 1063

Co-ordinator: Dr Paul Nesvadba

Food Science and Technology Research Centre

The Robert Gordon University, School of Applied Sciences

St Andrew Street, Aberdeen, AB25 1HG, Scotland, UNITED KINGDOM

Tel.: +44 1224 262 839, Fax: +44 1224 262 857

E-mail: p.nesvadba@rgu.ac.uk

Shelf-Life Prediction for Improved Safety and Quality of Foods

Contract number: CIPA-CT94-0120

Co-ordinator: Prof. Brian McKenna

Department of Food Science, National University of Ireland

(University College Dublin), Belfield, Dublin 4, IRELAND

Tel.: +353 1 716 77 14, Fax: +353 1 716 11 47

E-mail: b.mckenna@ucd.ie

Improvement of Overall Food Quality by Application of Osmotic Treatments in Conventional and New Processes

Contract number: FAIR 96 1118

Co-ordinator: Prof. Dr Walter Spiess

Federal Research Centre for Nutrition

Haid-und-Neu Str. 9

D-76131 Karlsruhe, GERMANY

Tel.: +49 721 66 25 302, Fax: +49 721 66 25 303

E-mail: ll.ivt@bfe.uni-karlsruhe.de

SAFE ICE:

Low Temperature-Pressure Processing of Foods: Safety and Quality Aspects, Process Parameters and Consumer Acceptance

Contract number: QLK1 CT 2002 02230

Co-ordinator: Prof. Dietrich Knorr

Technische Universität Berlin

Institut für Lebensmitteltechnologie und Garungstechnologie

Königin-Luise-Strasse 22, D-14195 Berlin, GERMANY

Tel.: +49 30 31 47 12 50, Fax: +40 30 83 27 663

E-mail: dietrich.knorr@tu-berlin.de

**Combined High Pressure Thermal Treatments of Foods:
A Kinetic Approach to Safety and Quality Evaluation**

Contract number: FAIR CT96 1175

Co-ordinator: Prof. Dr Marc Hendrickx

Katholieke Universiteit Leuven

Department of Food and Microbial Technology

Kardinaal Mercierlaan 92, B-3001 Heverlee, BELGIUM

Tel.: +32 16 32 15 72, Fax: 32 16 32 19 60

E-mail: marc.hendrickx@agr.kuleuven.ac.be

High Hydrostatic Pressure Treatment:

Its Impact on Spoilage Organisms, Biopolymer Activity, Functionality and Nutrient Composition of Food Systems

Contract number: AIR 10296

Co-ordinator: Prof. Dietrich Knorr

Technische Universität Berlin

Institut für Lebensmitteltechnologie und Garungstechnologie

Königin-Luise-Strasse 22, D-14195 Berlin, GERMANY

Tel.: +49 30 31 47 12 50, Fax: +40 30 83 27 663

E-mail: dietrich.knorr@tu-berlin.de

Electromagnetic Heating Processes for Food Production

Contract number: IC1597 1001

Co-ordinator: Stephen James

Food Refrigeration and Process Engineering Research Centre

University of Bristol, Churchill Building, Langford

North Somerset, BS40 5DU, Bristol, UNITED KINGDOM

Tel: +44 117 928 92 39, Fax: +44 117 928 93 14

E-mail: steve.james@bristol.ac.uk

Process Optimisation and Minimal Processing of Foods

Contract number: CIPA CT94 0195

Co-ordinator: Prof. Dr Fernanda Oliveira

Department of Process Engineering, University College Cork

(formerly Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal)

Western Road, Corc, IRELAND

Tel.: +353 21 49 02 383, Fax: +353 21 42 70 244

E-mail: faroliveira@ucc.ie

Energy Saving in Frozen Food Processing

Contract number: EE/00014/81

Co-ordinator: I. Pidgeon

Campbell Nederland BV, Groko Division

Industrieweg 9-11, 4880 AA Zundert, THE NETHERLANDS

Tel: +31 16 96 31 51, Fax: +31 16 96 76 6 19

Energy Optimisation in a Food Freezing and Refrigeration Plant

Contract number: EE/00573/85

Co-ordinator: G.Petrecca

Frigoscandia SpA

Via Monzoro 140 Cornaredo

I-20010 San Pietro all 'Olmo, ITALY

Tel.: +39 29 36 34 94, Fax: +39 29 35 60 171

New Very Fast Chilling Technology to Improve Quality and Tenderness in Beef

Contract number: AIR 31881

Co-ordinator: Dr Joseph Robin

Teagasc, The National Food Centre

Dunsinea, Castleknock, Dublin 15, IRELAND

Tel.: +353 1 83 83 222, Fax: +353 83 83 684

E-mail: r.joseph@nfc.teagasc.ie

Biochemical Changes and Protein Interactions Leading to Aggregation and Toughening in Frozen Fish

Contract number: FAIR 96 1111

Co-ordinator: Nazlin Howell

University of Surrey, School of Biological Sciences

Guildford GU2 5XH, Surrey, UNITED KINGDOM

Tel.: +44 1483 30 08 00, Fax: +44 1483 57 69 78

E-mail: n.howell@surrey.ac.uk

Elucidation of Aggregation Mechanisms of Proteins in Fresh and Frozen Fish

Contract number: FAR UP 3.647

Co-ordinator: Nazlin Howell

University of Surrey, School of Biological Sciences

Guildford GU2 5XH, Surrey, UNITED KINGDOM

Tel.: +44 1483 30 08 00, Fax: +44 1483 57 69 78

E-mail: n.howell@surrey.ac.uk

Greek Consumer Awareness of the Energy Labelling of Domestic Appliances and Especially of Refrigerators and Freezers

Contract number: SAVE 1 XVII/4 1031/95 061

Co-ordinator: Pavlos Gavriilides

Centre for Renewable Energy Sources

19th Km Marathonos Ave., GR-190 09 Pikermi, GREECE

Tel: +30 210 60 39 900, Fax: +30 210 60 39 904

E-mail: isiad@cres.gr

FREE GENES:

Freezing Milt as Tool for Genetic Improvement of Farmed Seabream

Contract number: Q5CR-CT-2001-70687

Co-ordinator: Morten Rye

Akvaforsk Genetics Center

6600 Sjolseng, Sunndalsora, NORWAY

Tel: +47 71 69 53 00, Fax: +47 71 69 53 01

E-mail: morten.rye@akvaforsk.yc.com

Environmentally Friendly Super Energy Efficient FLO-ICE in Supermarket Indirect Refrigeration

Contract number: NNE-THERMIE C – BU/00137/95

Co-ordinated by FRI-JADO BV

Oude Kerkstraat 2, 4879 An Etten-Leur

Zuid-Nederland, THE NETHERLANDS

Tel.: +31 76 508 52 00, Fax: +31 76 508 54 44

ICE COOL:

New Machine for Producing Ice Slurry at –35 °C for a Complete Environmentally Friendly Refrigeration System

Contract number: EESD NNE5/318/2001

Co-ordinator: Alain Compingt

LGL Europe, 42 rue Roger Salengo, F-69741 Genas, FRANCE

Tel: +33 4 72 47 14 19, Fax: +33 4 72 47 13 96

Email: alain.compingt@lgrefrigeration.com

IX- Referenzen

1. Pham T.Q. (2002)

Advances in Food Refrigeration, PPT-presentation:
http://www.ceic.unsw.edu.au/staff/Tuan_Pham/afea-talk.ppt

2. Fikiin A.G. (1985)

Method and system for immersion cooling and freezing of foodstuffs by hydrofluidization. *Invention Certificate No. 40164*, Bulgarian Patent Agency INRA

3. Fikiin A.G. (1992)

New method and fluidized water system for intensive chilling and freezing of fish. *Food Control* (Oxford), Vol. 3, No. 3: p. 153-160

4. Fikiin K.A. and Fikiin A.G. (2000)

Individual quick freezing of foods by hydro-fluidisation and pumpable ice slurries. In *Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain*, ed.: K. Fikiin, IIR Proceedings Series «*Refrigeration Science and Technology*», 1998/6, pp. 319-326 (also published in *AIRAH Journal*, 2001, Vol. 55, No. 11, pp. 15-18)

5. Fikiin K.A., Kaloyanov N.G., Filatova T.A. and Sokolov V.N. (2002)

Fine-crystalline ice slurries as a basis of advanced industrial technologies: State of the art and future prospects. *Refrigeration Business* (Moscow), No. 7, pp. 4-11, in Russian

6. Schlüter O., George S., Heinz V. and Knorr D. (2000)

Phase transitions in model foods, induced by pressure-assisted freezing and pressure-assisted thawing. In *Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain*, ed.: K. Fikiin, IIR Proceedings Series «*Refrigeration Science and Technology*», 1998/6, pp. 240-248

7. Mohanty P. (2001)

Magnetic resonance freezing system. *AIRAH Journal*, Vol. 55, No. 6, pp. 28-29.

8. Sun Da-Wen, Ed. (2001)

Advances in Food Refrigeration. Leatherhead Publishing, Surrey, 482 p.

9. Magnussen O.M., Nordtvedt T.S. and Torstveit A.K. (2000)

Use of partial freezing in the cold chain. In *Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain*, ed.: K. Fikiin, IIR Proceedings Series «*Refrigeration Science and Technology*», 1998/6, pp. 363-370

10. James C., Ketteringham L. and James S.J. (2000)

Enhanced heat transfer in food chilling, freezing and thawing using heat pipes. In *Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain*, ed.: K. Fikiin, IIR Proceedings Series «*Refrigeration Science and Technology*», 1998/6, pp. 327-333

11. Fikiin K.A. (1998)

Some general principles in modelling of unsteady heat transfer in two-phase multicomponent aqueous food systems for product quality improvement. In *Food Quality Modelling*, Eds.: B.M. Nicolai and J. De Baerdemaeker, Office for Official Publications of the European Communities (Luxembourg), pp. 179-186

12. Fikiin K.A. (1996)

Generalised numerical modelling of unsteady heat transfer during cooling and freezing using an improved enthalpy method and quasi-one-dimensional formulation. *International Journal of Refrigeration* (Oxford), Vol. 19, No. 2, pp. 132-140

13. Scheerlinck N., Verboven P., Fikiin K.A., De Baerdemaeker J. and Nicolai B.M. (2001)

Finite-element computation of unsteady phase change heat transfer during freezing or thawing of food using a combined enthalpy and Kirchhoff transform method. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 44, No. 2, pp. 429-438 (ASAE Superior Paper Award for 2002)

14. IIR (1986)

Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. International Institute of Refrigeration, Paris, 419 p.

15. IIR (1999)

Control of the Cold Chain for Quick-Frozen Foods. Handbook. International Institute of Refrigeration, Paris, 94 p.

16. Kennedy C.J., Ed. (2000)

Managing Frozen Foods. Woodhead Publishing, Cambridge, 286 p.

17. Fikiin K.A. et al. (2002)

Development of an Advanced OSGi-based Technology for Continuous Remote Quality Management during Refrigerated Transport of Chilled and Frozen Foods (COLDCAR):

http://eoi.cordis.lu/dsp_details.cfm?ID=28636. FP6 Expression of Interest.

Nützliche Internetadressen zu diesem Thema:

- International Institute of Refrigeration (IIR): www.iifiir.org
- International Association of Refrigerated Warehouses (IARW): www.iarw.org
- World Food Logistics Organization (WFLO): www.wflo.org
- International Union of Food Science and Technology (IUFOST): www.iufost.org
- European Cold Storage and Logistics Association (ECSLA): www.ecsla.be
- American Frozen Food Institute (AFFI): www.affi.com
- British Frozen Food Federation (BFFF): www.bfff.co.uk
- US National Frozen & Refrigerated Foods Association (NFRFA): www.nfraweb.org
- EU's FP6 Food Quality and Safety Thematic Area: www.cordis.lu/food
- US Department of Agriculture (USDA): www.usda.gov
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): www.fao.org
- World Health Organization (WHO): www.who.int
- US Food and Drug Administration (FDA): www.fda.com

