

Neue Erkenntnisse beim Kühlen und Gefrieren von Lebensmitteln mit flüssigem Stickstoff

W. TRAPPMANN – Messer Griesheim

In letzter Zeit gewinnt das sehr schnelle Gefrieren von Lebensmitteln durch den Einsatz von flüssigem Stickstoff in der Bundesrepublik Deutschland mehr und mehr an Bedeutung. Nachdem 1966 mit Laborversuchen begonnen wurde, konnte das Verfahren im Frühjahr 1968 auf der Messe in Hannover der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Heute sind in der BRD 12 Gefriertunnel in Betrieb, in denen Lebensmittel durch den Einsatz von flüssigem Stickstoff konserviert werden.

Bis zum Jahresende werden es etwa 15 bis 20 sein.

Die Entwicklung wird dadurch beschleunigt, daß Stickstoff heute zu Preisen angeboten wird, die das Gefrieren damit wirtschaftlich tragbar machen.

Bedingt durch die Einführung der Blasstahlverfahren in der Stahlindustrie wurden sehr große Luftzerlegungsanlagen gebaut, bei denen Stickstoff in gasförmigem Zustand anfällt. Dieser gasförmige Stickstoff kann mit einigem Investitionsaufwand und zusätzlicher Energie verflüssigt werden. Der thermodynamisch bedingte hohe Energiekostenanteil gestattet dennoch Erzeugungskosten, die die Anwendung des flüssigen Stickstoffs in vielen Bereichen ermöglicht, so auch in der Lebensmittelbranche.

Stickstoff ist ein quasi inertes Gas, d. h. er hat keine erkennbare Wirkung auf Farbe, Geschmack und Aroma der Lebensmittel.

Die Verdampfungswärme beträgt 48 kcal/kp, die fühlbare Wärme bei 0 °C ebenfalls 48 kcal/kp. Dies bedeutet, daß die Hälfte der im flüssigen Stickstoff enthaltenen Kälte bei -196 °C zur Verfügung steht. Hieraus ergibt sich eine besonders große mittlere Temperaturdifferenz zwischen Kühlmittel und Gut, die sehr große Gefriereschwindigkeiten ermöglicht.

Ein mit flüssigem Stickstoff arbeitendes Sprühgefriergerät, in Bild 1 sehen Sie das Schema, besteht im Prinzip aus einem gegen Wärmeeinfall isolierten Tunnel, durch den das Gas auf geeignete Weise transportiert wird. Etwa zu Beginn des letzten Tunneltritts befindet sich die Sprühzone, in der flüssiger Stickstoff durch ein Düsensystem direkt auf das Gut gesprüht wird und dabei unter Aufnahme der Verdampfungswärme in den gasförmigen Zustand übergeht. Der gasförmige Stickstoff wird anschließend zur Gutseintrittsöffnung hin, also im Gegenstrom zum Gut geleitet, wobei er seine fühlbare Kälte

abgibt. Das zu gefrierende Gut wird also auf seinem Weg durch den Gefrier-tunnel zunächst mit kaltem gasförmigen Stickstoff vorgekühlt, was etwa bis an die Gefriertemperatur herangeht. Dann wird das Gut durch Besprühen gefroren. In der anschließenden Nachkühlzone erfolgt die Temperaturanglei-chung über den Querschnitt des Gutes, wobei die Oberflächentemperatur wieder etwas ansteigt und die Kerntemperatur weiter absinkt.

Bild 2 zeigt einen Cryogen-Rapid-Gefriertunnel mit einer Leistung von 350 bis 500 kp Gut/h. Er hat eine Tunnellänge von 7 m, eine Bandbreite von 1,1 m. Der Außentunnel besteht aus Aluminium, der Innentunnel, ebenso wie das Förderband, aus rostfreiem Stahl. Der Tunnel ist so konstruiert, daß die Verbindung von Innen- und Außentunnel flexibel ist. Hierdurch können die

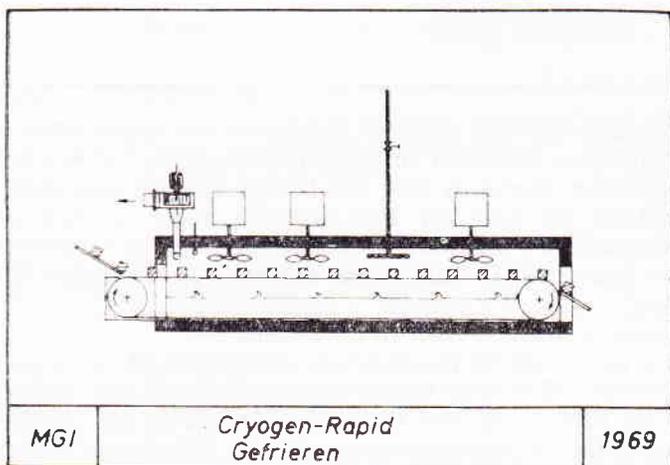


Bild 1.

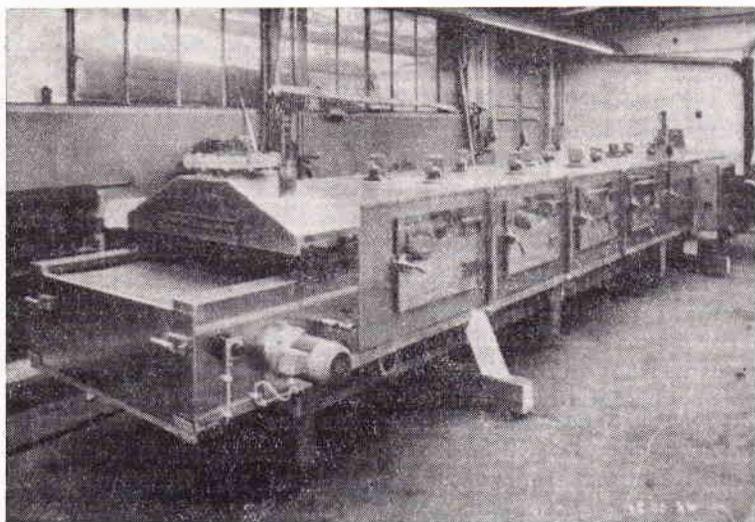


Bild 2.

unterschiedlichen Längenänderungen von Innen- und Außentunnel bei der Abkühlung ohne weiteres aufgenommen werden, ohne daß Verwerfungen auftreten. Der Tunnel ist mit Perlit-Pulver isoliert.

Mit Hilfe eines stufenlosen Getriebes und eines polumschaltbaren Motors lassen sich Durchlaufzeiten zwischen 4 und 60 min einstellen. Die eingesprühete Stickstoffmenge wird anhand eines Manometers, das den Vordruck anzeigt, mittels eines Handventiles dosiert. Mit Hilfe von 3 Widerstandsthermometern, die im Vorkühlteil in der Nähe des Guteintritts, unmittelbar vor der Sprühzone und in der Nachkühlzone angebracht sind, kann der Temperaturverlauf im Gefriertunnel kontrolliert werden. Die Art des Förderbandes ist dem Gefriergut angepaßt. Je nachdem, ob Fisch, Fleisch, Obst, Gemüse o. ä. gefroren wird, werden Spiraldrahtgliederbänder, Drahtösgliederbänder und andere eingesetzt. Der Gefriertunnel ist weiterhin zur Reinigung mit einem Wasserspühsystem ausgerüstet. Eine Reinigungsbürste sorgt dafür, daß das Band selbsttätig gesäubert wird.

Im nächsten Bild sehen Sie den Tunnel B 400 60, der eine Tunnellänge von 4 und eine Bandbreite von 0,6 m hat.



Bild 3.

In ihm können 150 bis 200 kp/h an Ware gefrostet werden.

Außerdem werden noch Cryogen-Rapid-Tunnel mit 8,5 und 11 m Länge bei 1,1 bzw. 1,2 Bandbreite gebaut.

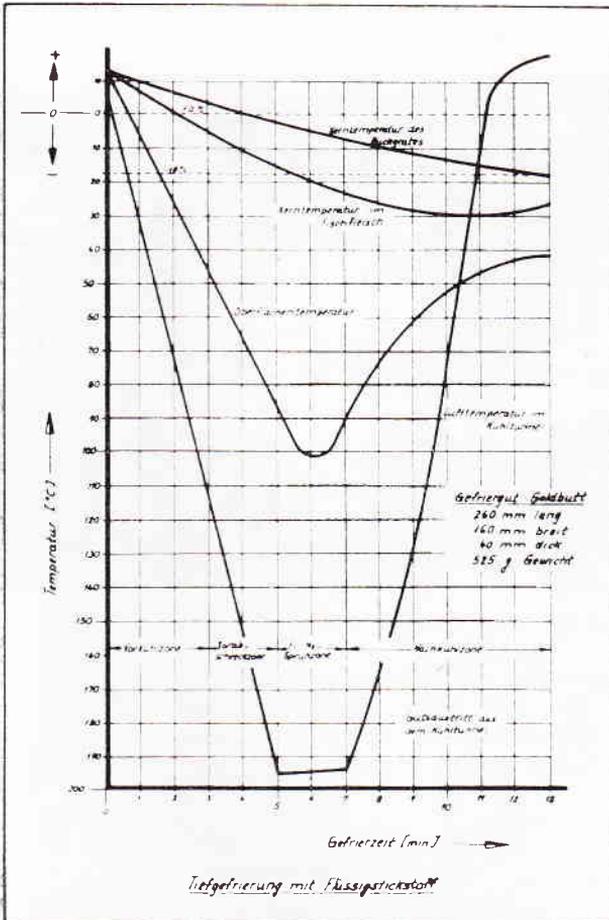
Die Versorgung des Gefriergerätes mit flüssigem Stickstoff erfolgt durch einen pulver-vakuum-isolierten Standtank, wobei die Tankgröße dem Verbrauch angepaßt wird. Die Verdampfungsverluste durch den laufenden Wärmeeinfall liegen unter 0,5 %/Tag. Der verdampfte Stickstoff dient mit dazu, bei laufender Entnahme den erforderlichen Tankdruck von ca. 2 atü aufrecht zu erhalten.

Der flüssige Stickstoff wird vom Standtank zum Gefriergerät durch eine hochwertig isolierte Leitung geführt. Tunnel und Tank sollten möglichst nahe beieinander stehen, damit die Leitung so kurz wie möglich wird. In der

Praxis lassen sich allerdings Leitungslängen von 30 m und mehr oft nicht vermeiden. Um die Kälteverluste trotzdem möglichst gering zu halten, werden superisolierte Leitungen eingesetzt, wobei der Wärmeeinfall nur 2 bis 3 kcal/m h beträgt.

Die Befüllung der Tanks erfolgt durch ebenfalls hochwertig isolierte Tankwagen für tiefkalte, verflüssigte Gase, die den flüssigen Stickstoff vom Erzeugerwerk zum Verbraucher bringen. Eine gute Isolierung beim Transport und bei der Lagerung des flüssigen Stickstoffs ist wichtig, da bei zu starker Erzeugerwerk zum Verbraucher bringen. Eine gute Isolierung beim Transport verdampft. Bei Atmosphärendruck entstehen aus 1 l N₂ fl. ca. 180 l Gas mit einer Temperatur von -196 °C. Die Gefrier- bzw. Kühlleistung des Tunnels wird hierdurch stark verringert.

Auf Bild 4 ist der Temperaturverlauf im Tunnel über der Tunnellänge bzw. der Durchlaufzeit durch den Tunnel aufgetragen. Gezeigt werden die Gas-temperatur, die Oberflächentemperatur und die Kerntemperatur des Gutes.



Kraftmann 11.168

Bild 4

Die Gastemperatur sinkt von der Gutenintrittsseite ausgehend ab und erreicht in der Sprühzone -196°C . Anschließend steigt sie wieder schnell an. Die Oberflächentemperatur fällt ebenfalls sehr rasch. Nach Verlassen der Sprühzone steigt sie wieder an, wobei durch Wärmeleitung dem Kern des Gutes mehr Wärme entzogen wird als nach außen an das N_2 -Gas abgegeben wird. Die Kerntemperatur sinkt stetig ab, bis bei oder nach Verlassen des Tunnels sich Kern- und Oberflächentemperatur angleichen

Das nächste Diagramm zeigt die Gefrierzeit in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Gutes.

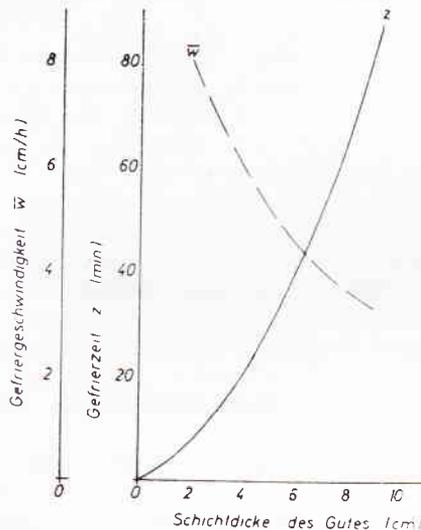


Bild 5.

Unter Gefrierzeit ist hier die Zeit zu verstehen, die notwendig ist, um dem Gut im Gefrietunnel so viel Wärme zu entziehen, daß eine mittlere Temperatur von -18 bis -20°C erreicht wird. Die Darstellung gilt für unverpacktes Gut mit einem spezifischen Wassergehalt von 75 bis 80 %.

Um die oben gezeigten Gefrierzeiten erreichen zu können, muß das Gut unverpackt gefroren werden. Sollte eine Verpackung vor dem Gefrieren unbedingt erforderlich sein, so muß sie möglichst eng am Gut anliegen. Gut geeignet ist hierfür eine Schrumpf- oder Vakuumverpackung in Folien. Reine Polyäthylen- oder Zellglasfolien sind nicht geeignet, da sie beim Besprühen mit flüssigem Stickstoff verspröden und zerreißen. Gut verwendbar sind dagegen Verbund- und Mischpolymerisatfolien. Eine Verpackung auf andere Art, bei der z. B. ein Luftpolster zwischen Verpackung und Gut liegt, bewirkt eine wesentliche Verschlechterung des Wärmeüberganges. Die Vorteile des Gefrierens mit flüssigem Stickstoff gehen hierbei weitgehend verloren.

Betrachtet man allein den Energieaufwand, der beim Flüssigstickstoffgefrieren im Vergleich zu konventionellen Gefrierverfahren erforderlich ist, bezweifelt man die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Vergleicht man z. B. die Energiemengen, die nach dem Carnot-Prozess zur Erzeugung einer bestimmten Kältemenge einmal bei -40°C , zum anderen bei -196°C erforderlich ist, so kommt man zum Verhältnis von ca. 1 : 12. Das heißt, zur Erzeugung

von beispielsweise 1 kcal muß bei -196° etwa 12-mal mehr Energie aufgewendet als bei -40°C .

Daß das Kühlen und Gefrieren mit flüssigem Stickstoff trotzdem wirtschaftlich sein kann, dafür sorgen die im folgenden erläuterten Vorteile:

Die Investitionskosten sind gering. Sie betragen bei gleicher Kapazität etwa $\frac{1}{4}$ der Aufwendungen für herkömmliche Gefrierapparate. Ein Kaltlufttunnel besteht beispielsweise nicht nur aus dem eigentlichen Gefriertunnel, sondern benötigt darüber hinaus die Anlage zur Erzeugung der Kälte sowie Gebläse zum Umwälzen der Kühlluft, die relativ hohe elektrische Antriebsleistung erfordern. Beim Flüssigstickstoff-Gefriersystem hingegen ist die Kälte gespeichert.

Durch den einfachen Aufbau des Flüssig-Stickstoffapparates verursachen Wartung und Unterhaltung nur geringfügige Kosten. Das Gerät ist leicht zu reinigen, der Platzbedarf ist gering, zumal der Speichertank im Freien aufgestellt werden kann. Da eine sehr große Temperaturdifferenz zwischen Gut und Kühlmittel zur Verfügung steht, sind die Gefrierzeiten wie schon oben im Diagramm gezeigt, sehr kurz. Hierdurch bleibt die Konsistenz und damit die Qualität der Lebensmittel weitgehend erhalten. Der Tropfverlust, d. h. der Austritt an Flüssigkeit aus dem aufgetauten Gut, der beim langsamen Gefrieren wegen der durch große Eiskristalle zerstörten Zellen auftritt, ist beim Flüssigstickstoff-Gefrieren gering. Auch die Austrocknungsverluste beim Kühlen und Gefrieren von unverpacktem Gut sind gering, sie liegen unter $0,5\%$.

Vorteilhaft sind weiterhin die Beweglichkeit bei Produktionsumstellung und die kurzen Anfahrzeiten.

Aufgrund der oben genannten Vorteile sollte man annehmen, daß das Kühlen und Gefrieren mit flüssigem Stickstoff nur für hochwertige Lebensmittel interessant ist. Die Praxis zeigt jedoch, daß die Faktoren Anpassungsfähigkeit, einfache Handhabung, Arbeitsweise im Durchlaufverfahren bedeutende Rationalisierungseffekte ermöglichen, wodurch die Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Außerdem ist durch den Einsatz von flüssigem Stickstoff das sogenannte Krustengefrieren möglich, d. h. sehr schnell die Randzone des Gutes zu gefrieren, während der Kern später im Kühlraum durchgefroren wird.

Betriebserfahrungen liegen bisher für Fisch, Fleisch, Backwaren, Obst und Gemüse, Eiskrem und Milchprodukte vor.

Es werden meistens Edelfische, wie Seezungen, Heilbutt, Steinbutt, Aal, Lachs, außerdem Krabben auf dem Fischsektor mit Stickstoff gefroren. Ausschlaggebend ist hier die gute Qualität der Produkte.

Auch auf dem Fleischwarengelbiet werden in erster Linie Spezialitäten, wie Schaschlikspieße, Kohlrouladen, Steaks, Meat-patties usw. gefroren. Bild 6 zeigt das Gefrieren von Schaschlikspießen.

Auch bei den Back- und Teigwaren sind es Spezialitäten wie Knödel, Maultaschen, Brötchen, aber auch Konditortorten. Das Gefrieren von Konditortorten zeigt Bild 7.

Der Kunde hatte zunächst das Cryogen-Rapid-Verfahren gewählt, da die Konditortorten ein neues Produkt waren. Die Marktchancen waren noch nicht abzuschätzen, so daß man zunächst möglichst wenig investieren wollte. Es



Bild 6.

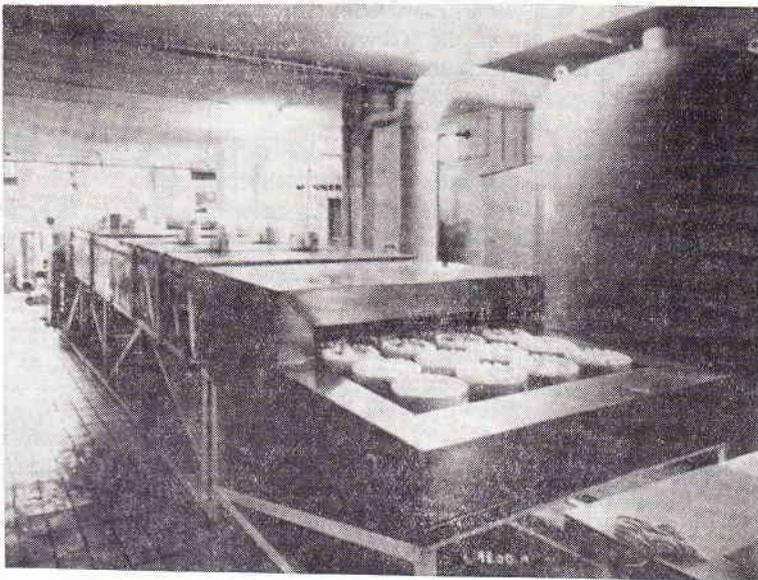


Bild 7.

zeigte sich, daß hier das Krustengefrieren sehr gut anwendbar war. Es konnte eine Fließbandfertigung aufgezogen werden, wobei die Torten beim Durchlauf durch den Stickstofftunnel krustengefroren wurden. Die Randzone, mit ihr Sahne und Garnierung, wurden gefroren, während der Kern im Kühlhaus durchgefroren wurde.

Ähnlich ist es beim Gefrieren von Fruchteis in Polyäthylen-Bechern. Die Eiskrem wird flüssig mit einer Temperatur von -4 bis -5 °C eingefüllt. Beim Durchlauf durch den Tunnel wird innerhalb weniger Minuten eine Randschicht von 10 bis 15 mm auf etwa -20 °C gehärtet. Anschließend erfolgt die Verpackung, während das Durchhärten im Tiefkühlagerraum geschieht. Auch bei dieser Firma wurde durch das Flüssigstickstoffgefrieren die Fertigung rationeller, wobei die Handling-Kosten stark reduziert werden konnten.

Beim Gefrieren von Obst und Gemüse ist einmal die gute Qualität der gefrosteten Ware, andererseits die kurze Erntezeit für den Einsatz des Verfahrens ausschlaggebend.

Neuerdings wird flüssiger Stickstoff nicht nur zum Gefrieren, sondern auch zum Kühlen eingesetzt. Fruchtjoghurt wird gebrütet, in Becher abgefüllt und muß anschließend um 40 bis 50 °C heruntergekühlt werden. Aufgrund der Wirksamkeit thermoaktiver Bakterien wird die Qualität des Produktes umso besser und gleichmäßiger, je schneller das Herunterkühlen erfolgt. Um die beim Cryogen-Rapid-Verfahren zur Verfügung stehende hohe Temperaturdifferenz ausnutzen zu können, ist es notwendig, die Joghurt-Oberfläche so weit zu unterkühlen, daß sie gefriert. Der Temperaturengleich auf die gewünschte Temperatur erfolgt nach Verlassen des Tunnels. Das Gefrieren der Randzone schadet dem Joghurt nicht, da durch das sehr schnelle Gefrieren keine Entmischung eintritt. Der Kunde, der das Verfahren einsetzt, gibt als Gründe Qualitätsverbesserung und Rationalisierungseffekte an.

Auch beim Mahlen von Gewürzen wird Stickstoff seit kurzem eingesetzt. In einer Schüttelrinne werden die Gewürze durch Besprühen mit flüssigem Stickstoff versprödet und anschließend gemahlen. Die Leistung der Mühle kann hierdurch heraufgesetzt und das Ausdampfen ätherischer Öle, also von Gewürzstoffen, weitgehend verringert werden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der flüssige Stickstoff schon heute seinen Platz beim Kühlen und Gefrieren von Lebensmitteln hat.

Das Sprühverfahren ist inzwischen so weit entwickelt, daß 83 bis 85 % der im Stickstoff gespeicherten Kälte auf das Gut übertragen werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings kontinuierliche Beschickung des Tunnels und volle Bandbelegung.

Die Anwendung ist gegeben für hochwertige Lebensmittel, da die Qualität weitgehend erhalten bleibt. Durch das schnelle Gefrieren im Durchlaufverfahren ergeben sich Rationalisierungsmöglichkeiten, so daß das Stickstoffgefrieren wirtschaftlich auch für billigere Produkte wird. Durch die geringen Investitionskosten und die Anpassungsfähigkeit ist das Verfahren weiterhin gut bei kurzen Erntezeiten, Einführung neuer Produkte und häufigen Produktionsumstellungen geeignet.

Nové poznatky pri chladení a zmrazovaní potravín kvapalným dusíkom

S ú h r n

Zmrazovanie potravín kvapalným dusíkom nadobúda v Nemeckej spolkovej republike na význame. Dnes je v používaní asi 20 zmrazovacích tunelov na kvapalný dusík. Rozhodujúcim faktorom je cena dusíka, avšak už dnes je rentabilné zmrazovanie cennejších druhov potravín, ako je ovocie, mliečne výrobky, mäsové výrobky, najmä pre rýchle zmrazovanie. V článku sú popísané zmrazovacie tunely a ich výkony.

Новые познания в области охлаждения и замораживания пищевых продуктов в жидком азоте

Выводы

Замораживание пищевых продуктов в жидком азоте приобретает в Немецкой федеральной республике все большее значение. В современности в ходу приблизительно 20 холодильных туннелей с жидким азотом. Решающим фактором является цена азота, но уже в настоящее время замораживание более ценных пищевых продуктов рентабельно, как напр. фрукты, молочные изделия, мясные продукты, главным образом из-за быстроты замораживания. Статья трактует холодильные туннели и их производительность.

New findings in foods refrigeration and freezing by liquid nitrogen

Summary

The importance of the freezing of foods by liquid nitrogen in Western Federal Germany is still greater. At present time about 20 freezing tunnels using liquid nitrogen are in operation. The most limiting factor here is the price of nitrogen but it is clear today already that the rentability of quick freezing more precious foods like fruit, milk and meat products is high. More detailed description of freezing tunnels and their outputs are included.