

Sonderdruck aus der Zeitschrift

KÄLTETECHNIK

Band 13 (1961), Heft Nr. 6, Seite 216 bis 225

VERLAG C.F. MÜLLER KARLSRUHE

Dipl.-Ing. J. GUTSCHMIDT, Karlsruhe

(Mitteilung aus der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe)

ÜBER DAS GEFRIEREN VON SEEFISCHEN *)

Tiefgefrorenes Fischfilet gewinnt für die Versorgung von Binnenländern mit Seefisch zunehmend an Bedeutung. Für die Herstellung eines guten Gefrierproduktes ist eine einwandfreie Rohware Voraussetzung. Die vor dem Gefrieren der Fische auftretenden Qualitätsveränderungen werden beschrieben und dabei im Hinblick auf die kurze Zeitspanne zwischen Fang und Gefrieren an Bord von Schiffen der Einfluß der Totenstarre auf die Güte des Endproduktes eingehender erörtert. Außerdem werden die Vorgänge beim Gefrieren und der Gefrierlagerung von Fisch behandelt. Schließlich wird auf die Frage der zulässigen Gefriereschwindigkeit und der Gefrierendtemperatur sowie der möglichen Temperatur-Zeit-Werte bei der Gefrierlagerung und den Einfluß der Verteilungsbedingungen eingegangen.

On the freezing of salt water fish

Deep frozen fish fillets are of growing importance for the supply of continental countries with sea fish. For the processing of a good freezing product the raw material has to be unobjectionable. The changes in quality before the freezing of fish are described, and the influence of rigor mortis on the quality of the final product with regard to the short period between catch and freezing on board of freezing trawlers is discussed in detail. Moreover, the changes of fish during freezing and freezer storage are considered. The problem of the admissible rate of freezing and temperature of the product at the end of freezing process as well as the time-temperature-tolerance during freezer storage including the distribution of frozen fish are discussed.

Sur la congélation de poissons de mer

Les filets de poissons surgelés deviennent de plus en plus importants pour le ravitaillement des pays sans côtes. Pour la fabrication d'une bonne marchandise les matières premières doivent être irréprochables. On définit les changements de qualité prenant place avant la congélation. On discute aussi l'influence de la rigidité cadavérique sur la qualité du produit final en considération du temps limité entre la pêche et la congélation à bord du chalutier. En outre on étudie les changements pendant la congélation et le stockage. On se prononce aussi sur la vitesse de congélation sur la température finale du poisson et sur les diverses températures admissibles pendant le stockage et la distribution du poisson.

Durch die Anwendung der Gefrierkonservierung in der Fischwirtschaft ist es möglich, den Konsum von Seefisch auszuweiten. Wie in den USA wird auch in anderen Ländern nach dem Aufbau einer Gefrierindustrie und dem Ausbau einer lückenlosen Gefrierkette zwischen Hersteller und Verbraucher von gefrorenen Lebensmitteln zwar der Marktanteil an Frischfisch im Binnenland zurückgehen, aber der Absatz an küchenfertig hergerichtem Gefrierfisch wird diesen Rückgang mehr als ausgleichen.

Die Gefrierkonservierung von Seefisch hat sich insbesondere für den Absatz als vorteilhaft erwiesen, weil

1. frisch eingefrorener, sorgfältig behandelter Seefisch in weit von den Fanggebieten entfernt liegenden Landstrichen dem Frischfisch, auch wenn dieser sachgemäß beeist angeliefert wird, in der Qualität überlegen ist,

2. weil man beim Einkauf nicht mehr auf Spezialgeschäfte angewiesen ist, sondern gefrorenen Seefisch in jedem der vielen mit Tiefkühltruhen ausgestatteten Läden einkaufen kann und

3. weil es möglich ist, portionierten Gefrierfisch durch Selbstbedienung zu verkaufen.

Dank der allgemeinen Entwicklung der deutschen Gefrierwirtschaft ist auch der Verbrauch an portioniert gefrorenem Seefisch in den letzten Jahren stetig angestiegen. Im Bundesgebiet wurden 1957 etwa 1000, 1958 etwa 2000 und 1959 über 3000 t gefrorenes Fischfilet verkauft [40]. Das ist zwar auch 1959 erst etwa $\frac{1}{4}$ der insgesamt während der letzten Jahre von deutschen Firmen gefrorenen und zum größten Teil exportierten Fischmenge von jährlich rund 13000 t und nur ein geringer Teil der gesamten angelandeten Menge von rd. 650000 t [69], es zeigt aber, daß sich auch im Bundesgebiet der Gefrierfisch durchsetzt. Wie weit der Verbrauch sich in den nächsten Jahren

*) Erweiterte Fassung eines Vortrags auf der Kältetagung in Frankfurt/M. am 14. 10. 1960.

steigern lassen wird, dürfte vor allem von der Qualität des angebotenen Gefrierfisches abhängen. Im Hinblick auf die zunehmende wirtschaftliche Bedeutung des Gefrierfisches sind daher die seine Qualität bestimmenden Faktoren von besonderem Interesse, so daß sie hier im Zusammenhang mit der Bekanntgabe einiger vorläufiger Ergebnisse eigener Lagerversuche von Seefisch erörtert werden sollen.

Die Rohware beim Gefrieren an Land

Erste und wichtigste Voraussetzung für die Herstellung eines guten Gefrierproduktes ist die Verwendung einer einwandfreien Ausgangsware. Kabeljau und Rotbarsch, die im Durchschnitt der Jahre 1952 bis 1958 mit rd. 25 bzw. 15% hinter Heringen mit rd. 40% an der Spitze der in Westdeutschland angelandeten Seefische lagen [69] und den Hauptanteil an Gefrierfisch stellen, sind Grundwasserfische und werden von den deutschen Fischdampfern im Nordatlantik und im Nordmeer gefangen. Die Reisedauer eines modernen 600 bis 700 BRT großen Fischdampfers von den nördlichen Fanggebieten, wie Grönland, Labrador oder Neufundland bis nach Cuxhaven oder Bremerhaven beträgt trotz der hohen Reisegeschwindigkeit von 13 bis 15 Knoten 6 bis 8 Tage und die Fangdauer bei einer Lagerkapazität von 200 bis 250 t beeister Fische und einer Tagesbeute von durchschnittlich rd. 20 t im Mittel zehn Tage, so daß im allgemeinen die an der Nordseeküste angelandeten Seefische 1 bis 2½ Wochen alt sind [68 u. 32].

Die Qualität der angelandeten Fische ist nicht nur von der Dauer der Lagerung und den Lagerbedingungen, wie Stapelhöhe und Beeisung, abhängig, sondern auch von der Art und Vorgeschichte des Fisches sowie von seinem Verhalten beim Fang und von seiner Behandlung an Bord. Die Haltbarkeit der einzelnen Fischarten ist sehr unterschiedlich, und auch die Lagerfähigkeit derselben Fischart kann sich nicht nur mit der Jahreszeit, sondern auch von Fangreise zu Fangreise und von Fanggebiet zu Fanggebiet ändern. So wurde z. B. bei einer vergleichenden Untersuchung am Nordkap gefangener Kabeljau 5 bis 6 Tage früher ungenießbar als an den Färöern gefangener [61].

Die Qualität der sieben Tage und länger in Eis gelagerten Seefische wird im wesentlichen durch das Wachstum der Bakterien und die dadurch hervorgerufenen Veränderungen bestimmt. Auf der Oberfläche und im Darmtrakt von Fischen sind der normalen Umwelttemperatur des Fisches angepaßte psychrophile Bakterienstämme stets vorhanden, die sich auch bei 0°C mehr oder weniger lebhaft vermehren können [57]. Das volle Bakterienwachstum beginnt nach einer gewissen Verzögerungszeit, deren Dauer u. a. vom Verlauf der Totenstarre und der damit verbundenen Verschiebung des pH-Wertes

und des Redoxpotentials abhängig ist [58]. Je länger und ausgeprägter die Starre bei ein und derselben Fischart ist, desto später verdirbt in der Regel der Fisch. Der Verlauf der Totenstarre hängt aber außer von den Lagerbedingungen an Bord des Fangschiffes auch vom physiologischen Zustand des Fisches beim Fang und seiner Behandlung danach ab.

Der Ausgangskeimgehalt der Fische kann durch Ausnahmen und sorgfältiges Waschen vor dem Packen mit Eis gesenkt werden [19, 12, 61]. Die Sauberkeit der Lagerräume und des Eises sowie eine niedrige Schichtung der Fische wirken sich günstig auf die Lagerdauer aus [19, 62]. Wesentlich für die Verzögerung des Verderbs ist eine schnelle und ausreichende Beeisung; die Fische sollten möglichst bei 0°C oder durch die Verwendung von Eis aus Meerwasser bei einer etwas tieferen Temperatur gehalten werden. Eine Temperaturerhöhung um 5°C verkürzt die mögliche Lagerdauer um etwa das 2½fache [13].

Für den durchschnittlichen Qualitätsabfall gut behandelten und ausreichend beeisten Schellfisches kann der in Tabelle 1 aufgeführte von *Cutting* und Mitarbeitern [14] gefundene Verlauf gelten. Danach verbleibt ein normal gefangener unmittelbar nach dem Fang geschlachteter sorgfältig ausgenommener, gewaschener und dann in reichlich Eis gelagerter Schellfisch bis zu fünf Tage ohne merkbliche Veränderung; infolge des dann einsetzenden stärkeren Bakterienwachstums verändern sich das Aussehen, der Geruch und die Konsistenz nach 6 bis 10 Tagen deutlich. Nach 10 bis 15 Tagen wird das Äußere der Fische glanzlos und unansehnlich; sie bekommen ein weiches Muskelfleisch und nehmen einen strengen schalen Geruch an; nach 16 bis 20 Tagen geht dann der Fisch in Verderb über.

Infolge der vielen Einflußgrößen kann die Haltbarkeit des Fisches auch bei gleicher Fischart und gleichen Lagerbedingungen sehr unterschiedlich sein. Es kann vorkommen, daß Fische gleicher Art schon nach 3- oder erst nach 10tägiger Lagerung in Eis die gleiche Gütestufe erreicht haben, so daß dann die zuletzt von einem Fischdampfer gefangenen Fische nach der Anlandung noch eine durchaus befriedigende Rohware für die Herstellung von Gefrierfisch ergeben oder auch vollständig ungeeignet sein können. Eine sorgfältige Auswahl ist daher auch bei den Fischen der letzten Fangtage stets erforderlich.

Für die Beurteilung, welche der angelandeten Fischposten für den Gefrierbetrieb geeignet sind, wurden vom *Bundesverband der deutschen Fischindustrie e. V.* Richtlinien ausgearbeitet [11]. Nach diesen Richtlinien müssen für die Herstellung von Gefrierfisch verwendete Fische strenge Bedingungen erfüllen; sie müssen klare hervorstehende Augen, rote, keinen Nebengeruch aufweisende Kiemen, einen festen Körper mit

Tabelle 1. Organoleptische, bakteriologische und chemische Veränderungen von sorgsam ausgenommenem und gewaschenem Schellfisch während der Lagerung unter Verwendung einer ausreichenden Eismenge nach *Cutting* und Mitarbeitern

Art der Veränderungen	Lagerdauer bei einer ausreichenden Beeisung in Tagen																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Veränderung der organoleptischen Eigenschaften .	keine merklichen Veränderungen					schlechteres Aussehen, intensiverer Geruch, weiches Fleisch					Aussehen wesentlich verändert, Geruch streng, Fleisch weich					schneller Übergang zum Verderb				
Bakterienwachstum											Bakterienzahl nimmt schnell zu									
Chemische Veränderung	Dimethylamin nimmt stetig zu																			
											Trimethylamin nimmt schnell zu									
																Ammoniakgehalt nimmt schnell zu				

einem natürlichen, unverfärbten Aussehen und einen frischen, charakteristischen Geruch haben sowie frei von mißfarbenem Schleim sein, so daß bei gewissenhafter Prüfung eine Gewähr für die Verwendung geeigneter Rohware in den Fischgefrierbetrieben gegeben ist.

Daß die zum Gefrieren an Land bestimmte Rohware sorgfältig geprüft werden muß, zeigen auch die Ergebnisse einer Begutachtung des 1956 im Raum Köln—Bonn zum Verkauf angebotenen Gefrierfisches. U. a. wurden 20 Proben Rotbarsch- und Kabeljaufilet den Truhen der Einzelhändler entnommen und deren Geruch, Geschmack und Konsistenz dann von einer größeren Prüfergruppe bewertet. Nach dem Durchschnitt der Urteile genügten nur vier Proben mit den Prädikaten „ziemlich gut“ bis „gut“ den an ein Gefrierprodukt zu stellenden Ansprüchen; eine Probe war noch befriedigend, sechs wurden als mittelmäßig und neun als mangelhaft eingestuft. Die Art der Mängel ließ erkennen, daß bei einem Teil der Proben mangelhafte Rohware verwendet worden war. Da aber die Qualität der Rohware auch das Lagerverhalten des Fisches einfließt, wird ein Teil der Lagerveränderungen ebenfalls auf eine mindere Rohwarenqualität zurückgeführt werden müssen.

Nach *Notevarg* und *Heen* [48] kann frisch eingefrorener Kabeljau acht bis neun Monate, ein vor dem Gefrieren drei Tage in Eis gelagerter fünf Monate und ein unter gleichen Bedingungen acht Tage gelagerter Fisch nur drei bis vier Monate bei -20°C gelagert werden. Wenn die mögliche Dauer der Gefrierlagerung von Kabeljau bei dreitägiger Lagerung in Eis nach diesen Untersuchungen auch auf fünf Monate zurückgeht, so kann doch nach anderen Versuchsergebnissen und allgemeinen Erfahrungen ein ausgenommener, sorgfältig gewaschener und in reichlich Eis gelagerter Magerfisch bis zu einer Lagerdauer von drei Tagen als frischer Fisch gelten [60]. Es ist aber durchaus möglich, daß die Veränderungen vor dem Gefrieren sich erst während der Gefrierlagerung auswirken und damit die bei der Lagerung auftretende Qualitätsabnahme fördern. Kabeljau mit seinem unter 1% liegenden Fettgehalt und auch Rotbarsch mit einem Fettgehalt von 1 bis 7% müssen demnach, wenn eine sehr hohe Qualität erreicht werden soll, spätestens drei Tage nach dem Fang gefroren worden sein. Dieses bedeutet, daß entweder in der Nähe der Fanggebiete ein Gefrierbetrieb für die Übernahme der Fische bereitstehen, oder daß zum Gefrieren auf See übergegangen werden muß.

Die Rohware beim Gefrieren auf See

Die Möglichkeit, unabhängig von der Lage des Fangplatzes den Fisch frisch gefrieren zu können, führte in vielen Ländern zur Planung und zum Bau von Gefrierschiffen. Man geht dabei drei verschiedene Wege: Hochseetrawler üblicher Bauart werden zusätzlich mit Einrichtungen zum Gefrieren und zur Gefrierlagerung ausgerüstet, um die in den ersten Fangtagen anfallenden Fische ganz zu gefrieren und dadurch die Durchschnittsqualität der angelandeten Fische zu erhöhen [4, 60, 67]. Daneben werden Hochseetrawler als Gefrierschiffe gebaut und für die Verarbeitung der gesamten oder eines Teils der Fänge einer Reise zu Filet und für das anschließende Gefrieren in Groß- und Kleinpackungen eingerichtet [32, 21]. Schließlich werden noch Fabrikschiffe zum Verarbeiten, Gefrieren und Lagern der Fänge langer Reisen mit zugehörigen Fangbooten eingesetzt. Voraussichtlich werden sich die zum Verarbeiten und Gefrieren des ganzen Fanges gebauten Schiffe durchsetzen, wobei der gewünschten Fangleistung und der Reiselänge entsprechend entweder Gefriertrawler oder Fabrikschiffe verwendet werden. Fabrikschiffe sind bisher vorwiegend von Japan in einer Größe von 10000 bis 16000 BRT gebaut worden [65], während die Sowjetunion z. Z. eine Flotte von Gefriertrawlern in einer Größe von rd. 2000 BRT bauen läßt [9, 25], und auch die USA, England, Frankreich, Polen und andere Länder Gefriertrawler verschiedener Größe einsetzen. In den letzten Jahren haben deutsche Reedereien ihre Fangflotte ebenfalls durch Schiffe ergänzt, auf denen ein Teil der Fänge verarbeitet und als Filet gefroren werden kann. Bis Ende 1960 sollten 16 solcher Gefriertrawler in Westdeutschland in Betrieb sein [16].

Die Entwicklung zeigt daher, daß es wichtig ist, alle mit dem Gefrieren auf See zusammenhängenden Probleme sorgfältig zu studieren. Eines dieser Probleme ist die Wahl des günstigsten Zeitpunktes zum Einfrieren. Da das Gefrieren auf See die Möglichkeit bietet, unmittelbar nach dem Fang zu gefrieren, wurde in diesem Zusammenhang erneut die Frage nach dem Einfluß der Totenstarre auf die Veränderung beim Gefrieren und der Gefrierlagerung gestellt.

Die biochemischen Umsetzungen, die zur Totenstarre des Fisches führen, beginnen nach dem Herztod mit dem Aussetzen des Blutkreislaufes und damit dem Ausbleiben der Sauerstoffversorgung des Muskelgewebes. In dieser ersten Phase beginnt die Glykolyse mit einem Schwund an energiereichen Phosphaten. Während der Gehalt an Adenosintriphosphat (ATP) zunächst praktisch konstant bleibt, nimmt der Gehalt an Kreatinphosphat bei der Resynthese des für den Abbau des Glykogens benötigten ATP und auch durch das vom Myosin-Myokinase-System des Muskels enzymatisch hydrolysierte ATP ab [50, 59]. Infolge der dabei auftretenden Milchsäurebildung sinkt der pH-Wert langsam. Die Elastizität des Muskel fleisches ändert sich während dieser Phase wenig; bei nicht durch den Todeskampf erschöpften Fischen nimmt sie allerdings etwas ab, da der normale Spannungszustand im Muskel des lebenden Organismus, durch das Erlöschen des Muskeltonus bedingt, verloren geht [45].

Erst wenn der Gehalt an Kreatinphosphat so stark abzufallen beginnt, daß eine ATP-Resynthese über die Glykolyse nicht mehr mit dem ATP-Abbau Schritt hält, setzt die Totenstarre ein [5]. In der jetzt beginnenden schnellen Phase kommt es zu einer beschleunigten Veränderung der Elastizitätseigenschaften. Sie führt zu der charakteristischen Verhärtung der Muskel, die je nach der Fischart und dem physiologischen Zustand des Fisches auf einen bestimmten Maximalwert ansteigt. Im Verlauf dieser schnellen Phase hört der Muskel auf, durch Kontraktion auf elektrische Reize zu reagieren, und verliert damit das letzte Anzeichen von Leben. Diese Phase schließt ab, wenn der Höhepunkt der Starre und parallel dazu der tiefste pH-Wert erreicht worden sind. Aus dem mit sinkendem pH-Wert abnehmenden elektrischen Widerstand des Muskelgewebes kann auch auf eine zunehmende Durchlässigkeit der Zellwände für freie Ionen geschlossen werden [50].

Die voll entwickelte Totenstarre kann viele Stunden andauern. Mit ihrer Lösung ist offenbar eine irreversible Veränderung der Muskelproteine verbunden, die bei Warmblüterfleisch und auch bei Fischen zu einer weicheren Muskelfaser führt.

Beginn und Verlauf der Totenstarre sind abhängig von der Fischart, von der Beschaffenheit des Fisches nach dem Fang und von der Behandlung an Bord. Der physiologische Zustand eines gefangenen Fisches ist wiederum abhängig von Geschlecht, Alter und Größe, außerdem von der Fangzeit und dem Fanggebiet und schließlich wird er vom Grad der Ermüdung beim Fang, der Todesart und von der Temperatur des Fisches beim und nach dem Tode beeinflusst [15]. Wenn man bedenkt, daß bei normalen Fangbedingungen fast alle diese Einflüsse unbekannt sind und daß die Totenstarre außerdem noch in den einzelnen Muskelpartien des Fisches unterschiedlich schnell einsetzt und abläuft, ist verständlich, daß für die Starre bei einer Fischart keine bestimmte Zeit, sondern nur eine angenäherte Zeitspanne angegeben werden kann.

Beim Fischen mit dem Schleppnetz sind die an Bord gebrachten Fische nicht nur unterschiedlich stark erschöpft, sondern je nach der Schleppzeit und dem Fangergebnis kommt auch ein verschieden großer Anteil der Fische bereits erstickt oder erdrückt an Deck. Bei erstickten oder erschöpften Fischen entwickelt sich infolge der geringeren Glykogenreserve die Totenstarre schneller und erreicht nicht die Stärke, wie bei weniger ermüdeten Fischen.

Bei 16 bis 17°C erreichte z. B. Kabeljau die volle Starre nach dem Erstickungstod in zwei bis drei und nach dem Schlachten in vier Stunden, außerdem war die Verfestigung der Muskeln bei den geschlachteten Fischen deutlich größer [43]. Eine ähnliche Verschiebung und Abflachung der Starre wurde bei erschöpften Fischen festgestellt. Bei einer Regenbogenforelle

z. B., die durch Jagen und Zappeln erschöpft worden war, begann die Totenstarre bei $+5^{\circ}$ nach weniger als einer Stunde und erreichte nach 8 bis 10 Stunden den Höhepunkt mit einem Anstieg des Verdrehungswiderstandes auf den vier- bis fünf-fachen Betrag des Ausgangswertes; dagegen setzte bei normal gefangenen Forellen die Starre nach drei Stunden ein und stieg in 12 bis 15 Stunden auf das sechs- bis siebenfache des Ausgangswertes an [45].

Nach Untersuchungen von *Messtorff* [43] gehen geschlachtete und in Eis gelagerte Seefische im allgemeinen nach 1 bis 10 Stunden in die Starre über. Bei Kabeljau setzt die Starre nach 2 bis 5, bei Rotbarsch nach 4 bis 7 Stunden ein und erreicht ihren Höhepunkt nach 15 bis 20 bzw. 20 bis 25 Stunden. Wenn die Fische an Deck liegen bleiben und infolge Luftmangel verenden, ist der Höhepunkt der Starre bei Kabeljau bereits nach etwa vier und bei Rotbarsch nach etwa 20 Stunden erreicht. Die erste Entwicklungsphase bis zur Totenstarre geht bei Kabeljau dann auf unter eine Stunde und bei Rotbarsch auf etwa zwei Stunden zurück. Die sichtbaren Lebensäußerungen hören bei Kabeljau nach ein bis zwei Stunden auf. Wenn man die Totenstarre von Spiegelkarpfen, die einen ähnlich schleppenden Verlauf wie die von Rotbarsch hat [45], zum Vergleich heranzieht, kann angenommen werden, daß die elektrische Reizbarkeit der Muskeln von Rotbarsch kurz nach dem Einsetzen der Starre, d. h. zwei bis vier Stunden nach dem Tode aufhört. Bei gut beeister Lagerung bleibt die Starre im Kabeljau etwa 30 Stunden voll erhalten und hat sich etwa 80 Stunden nach dem Tod wieder vollständig gelöst, während bei Rotbarsch die volle Starre etwa 60 bis 70 Stunden andauern kann und sich erst etwa 120 Stunden nach dem Tod ganz löst.

Für die Praxis des Gefrierens auf See ergibt sich aus diesen Betrachtungen, daß auch bei normaler zügiger Arbeitsweise ein Teil der Fische bereits in der Totenstarre ist, wenn er zum Filetieren kommt und daß — da die Lebensäußerungen noch reizbarer Muskelverarbeitungstechnisch Schwierigkeiten machen — beim anderen Teil das Einsetzen der Totenstarre abgewartet werden muß, damit dieser leichter maschinell filetiert werden kann. Aber auch wenn die Fische vor dem Einsetzen der Totenstarre zum Filetieren kommen, wird während der weiteren Verarbeitung und am Anfang des Gefriervorgangs die schnelle Phase der Starre im Filet durchlaufen werden, so daß es gefrorenes Fischfilet nur im Zustand der vollen oder der durchlaufenen Starre geben wird.

Von *Partmann* [51] vorgenommene Untersuchungen an Rotbarschfilet, das durch Filetieren lebender Fische weniger als eine Stunde nach Beginn des Einhievens des Netzes gewonnen, 10 min später im Plattengefrierapparat in 110 min auf eine Kerntemperatur von -21°C gefroren und anschließend bei -28°C drei Wochen lang gelagert wurde, ergaben, daß in den meisten Fällen kein Adenosinriphosphat mehr im Filet vorhanden war, die Starre also ihren Höhepunkt erreicht hatte. In wenigen Fällen wurde etwa $\frac{1}{4}$ des Anfangsgehaltes festgestellt, so daß auch hier die rasche Phase nahezu abgelaufen war.

Die Untersuchungen über den Verlauf der Totenstarre beim Gefrieren von Seefisch sind noch nicht abgeschlossen. Bei der Weiterführung ist u. a. auch zu überprüfen, ob es überhaupt zu einem Normalverlauf der Starre kommt.

Nachdem geeignete Maschinen für das Filetieren zur Verfügung stehen, ist es verarbeitungstechnisch vorteilhaft und wirtschaftlich, auf Gefriertrawlern die Fische während der Totenstarre zu verarbeiten und zu gefrieren. Ein Gefrieren nach Ablauf der Starre kommt auf See nicht in Betracht, da die Hauptprodukte Kabeljau und Rotbarsch drei bis fünf Tage auf Eis gelagert werden müßten, um die volle Lösung der Starre abzuwarten. Es besteht jedoch die Frage, ob das Gefrieren nach Ablauf der Totenstarre ein qualitativ besseres Produkt ergibt, das u. U. einen größeren Aufwand zu seiner Herstellung rechtfertigen würde.

Wenn das Fleisch von Warmblütern vor dem Einsetzen der Totenstarre gefroren wird und die Gefrierlagerung nicht sehr lange dauert, dann entwickelt sich die Starre beim Auftauen und

verläuft infolge der Gefriereränderungen schneller und ungleichmäßiger [8]. Dieser Taurigor verursacht einen größeren Saftverlust. Ob auch für die Qualitätserhaltung von Fisch das Gefrieren vor Beginn der Totenstarre nachteilig ist, sollte — auch wenn es praktisch keine große Bedeutung zu haben scheint — durch eingehende Untersuchungen an verschiedenen typischen Fischarten geklärt werden, da die vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht genügend eindeutig sind.

Nach den norwegischen Standards [20] soll der Fisch vor Ablauf der Totenstarre, möglichst jedoch vor ihrem Einsetzen filetiert und gefroren werden. Die diesen Standards zugrunde liegenden Untersuchungen und Erfahrungen sprechen für das Gefrieren unmittelbar nach dem Fang. Japanische Versuche zeigten [1], daß bei Fischen der Taurigor keinen besonderen Einfluß auf den Saftverlust hat, weil die Totenstarre hier schneller verläuft und nicht so ausgeprägt ist wie bei Warmblüterfleisch. Nach russischen Angaben [52] nimmt die Elastizität der Faserhüllen im Muskelgewebe durch biochemische Veränderungen während der Lagerung bei 0°C in den ersten Tagen nach dem Fang, also während des Lösens der Totenstarre stark ab, und zwischen den einzelnen Faserbündeln bilden sich dadurch mit Flüssigkeit gefüllte Zwischenräume. Beim Gefrieren des gelagerten Fisches entstehen demnach sehr viel gröbere Kristalle als beim frisch geschlachteten, vor der Totenstarre gefrorenen Fisch, wenn unter den gleichen Bedingungen gefroren wird. Durch die Ausbildung eines feinen kristallinen Gefüges wird aber nicht nur die Struktur des Gewebes besser erhalten, sondern auch die Entmischung der Zellsäfte verringert, so daß nach diesen Ergebnissen ein Gefrieren vor Einsetzen der Totenstarre vorteilhaft ist. In Übereinstimmung damit stehen auf dem britischen Forschungsschiff „Sir William Hardy“ gewonnene Versuchsergebnisse, nach denen sich unter gleichen Gefrierbedingungen im Fisch kleinere Kristalle bilden, wenn vor anstatt nach der Totenstarre gefroren wird; außerdem traten hierbei Zellschädigungen, die beim Gefrieren nach der Starre beobachtet wurden, nicht auf.

Eine Untersuchung der Denaturierung baltischer Heringe, die vor und nach der Totenstarre eingefroren worden waren, ergab nach *Nikkilä* und *Linko* [46] eine größere Löslichkeit des Myosins bei den nach der Totenstarre gefrorenen Fischen, so daß danach die Veränderungen geringer zu sein scheinen, wenn nach Lösen der Starre gefroren wird. *Luijpen* [39] fand, daß die Myosinlöslichkeit frisch eingefrorener Kabeljau während der Gefrierlagerung weiter zurückging, als diejenige in Verderb übergegangener Fische, da hier bereits vor dem Gefrieren Proteine durch Einwirkung der Bakterien und der Enzyme abgebaut worden sind. Die Untersuchungsergebnisse von *Nikkilä* und *Linko* können demnach auch durch einen mit der Lösung der Totenstarre verbundenen Proteinabbau bedingt sein.

Der größte Teil der Versuchsergebnisse sowie die Erfahrungen sprechen dafür, daß ein Gefrieren bald nach dem Fang eine bessere Qualität ergibt als ein Gefrieren nach Ablauf der Totenstarre. Dabei dürfte nach unserer in erster Linie an Süßwasserfischen gewonnenen Untersuchungsergebnissen beim Gefrieren unmittelbar nach dem Fang die Totenstarre stets am Anfang der Gefrierlagerung bereits eingesetzt haben, so daß es für die Qualität des Endprodukts wahrscheinlich ohne Belang ist, ob der Fisch vor oder während der beginnenden Totenstarre bald nach dem Aufhören der letzten Lebensäußerungen der Muskel zum Gefrieren kam. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wird sich zeigen, ob diese Annahme zutrifft.

Auf verschiedenen Reisen des Gefriertrawlers „Heinrich Meins“ eingefrorenes Rotbarschfilet wurde gleich nach der Anlandung nach Karlsruhe geschickt und von uns am Tag nach der Ankunft untersucht. Das Fischfilet war bis zu diesem Zeitpunkt drei bis vier Wochen bei einer Temperatur von nicht über -25°C gelagert und bei gleicher Temperatur transportiert worden. Das in evakuierten Beuteln aus dem gefrorenen Zustand heraus zubereitete Filet wurde, wie der Durchschnitt der aus zehn Parallelproben gewonnenen Ergebnisse in Tabelle 2 zeigt, von der Prüfergruppe im Geruch und Geschmack als gut bis sehr gut bewertet; auch die chemischen Kennzahlen

Tabelle 2. Ergebnisse der Qualitätsprüfung von Rotbarschfilet, das auf dem Gefriertrawler „Heinrich Meins“ unmittelbar nach dem Fang und der Verarbeitung der Fische eingefroren wurde, nach der Anlieferung in Karlsruhe

Gegenstand der Untersuchung	Lieferung am 19. 8. 1960		Lieferung am 6. 10. 1960	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
Trockensubstanzgehalt %	26,0	2,3	24,3	1,0
Fettgehalt %	7,7	1,1	5,2	0,8
Peroxydzahl mVal O ₂ /kg Fett	0,0	—	0,0	—
Thiobarbitursäurezahl mg Malondialdehyd/kg Fett	2,0	0,9	1,5	0,6
Gehalt an Gesamtstickstoff %	2,6	0,02	2,8	0,08
Gehalt an basischem Stickstoff mg/100 g	15,9	0,7	15,2	0,9
Gehalt an Tyrosin-Stickstoff in mg/100 g	2,1	0,3	1,6	0,3
Gehalt an löslichem Myosin in % des Gesamtstickstoffs	39,0	5,7	41,0	2,9
Gehalt an auspreßbarem Wasser nach Grau u. Hamm, mg	107,7	17,1	128,2	12,5
Geruch Note	8,2	0,2	8,3	0,4
Geschmack Note	8,5	0,3	8,5	0,4
Konsistenz Note	6,5	0,4	6,6	0,5

Die Noten des Karlsruher Bewertungsschemas bedeuten: 10 vorzüglich, 9 sehr gut, 8 gut, 7 ziemlich gut, 6 befriedigend, 5 mittelmäßig, 4 kleine Mängel, 3 mangelhaft, 2 schlecht, 1 sehr schlecht, 0 verdorben.

ließen auf eine ausgezeichnete Qualität schließen. Das Filet hatte eine feste elastische Konsistenz, die von den meisten Mitgliedern der Bewertungsgruppe weniger angenehm empfunden und entsprechend niedriger eingestuft wurde. Ein Auftauversuch ergab jedoch (Bild 1), daß die Konsistenz der Proben beim Auftauen in Raumluft von +20°C in wenigen Stunden weicher wird.

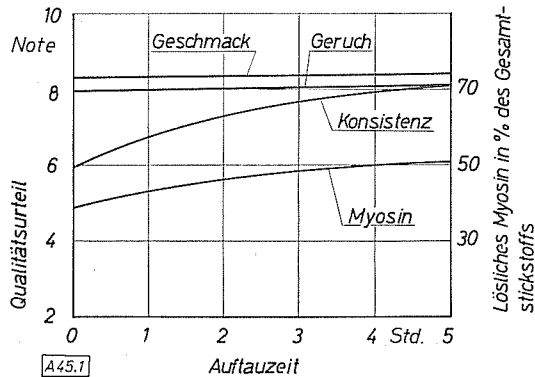


Bild 1. Veränderung der Konsistenz und des Anteils an löslichem Myosin von Rotbarschfilet während des Auftauens

Auf dem Bild ist die Güte der einzelnen Eigenschaften in Noten des Karlsruher Bewertungsschemas in Abhängigkeit von der Auftauzeit dargestellt. Die Note 10 bedeutet eine vorzügliche, die Note 1 eine sehr schlechte Qualität. Bei der Auftauzeit Null — die gefrorenen Proben wurden hier unmittelbar nach der Entnahme aus dem Gefrierraum erhitzt — wurde die Konsistenz des Fischfilets mit der Note 6, d. h. mit dem Urteil befriedigend bewertet. Nach einer Auftauzeit von einer Stunde war das Fasergewebe schon weniger fest und wurde entsprechend besser beurteilt, aber erst nach einem fünfständigen Auftauen wurde die beste Konsistenz erreicht. Die Struktur war ansprechend, nicht zu fest oder zu weich und wurde mit der Note 8, d. h. als gut beurteilt. Wie die abnehmende Festigkeit läßt auch ein Ansteigen des löslichen Myosins von 38 auf 51% des Gesamtstickstoffes darauf schließen, daß sich die Starre erst während des Auftauens löste, Geruch und Geschmack der Proben wurden unabhängig von der Auftauzeit mit den Noten 8 und 8,5 bewertet. Zu Beginn des durchgeführten Lagerversuches hatte jedoch Fischfilet mit einer besonders festen und elastischen Konsistenz häufig einen frischen Geruch und Geschmack.

Der Gefriervorgang

Die Vorgänge beim Gefrieren der Lebensmittel und der Einfluß der Gefriereschwindigkeit auf ihre Qualität sind oft untersucht worden [27, 33, 44]. Neuere Arbeiten zeigen [6, 42], daß die etwas größeren Veränderungen in der Konsistenz und im Saftverlust bei sehr langsamem Gefrieren weniger auf die durch große Kristalle hervorgerufenen mechanischen Schäden zurückzuführen sind, sondern daß sie im wesentlichen durch Konzentrationsverschiebungen und Entmischungsvorgänge hervorgerufen werden. Diese stehen allerdings in einem engen Zusammenhang zur Kristallgröße.

Beim Gefrieren von Fleisch bilden sich infolge des etwas größeren Anteils an gelösten Stoffen in den Muskelfasern gewöhnlich die ersten Eiskristalle im Bindegewebe. Diese wachsen längs der Muskelfaser, dabei entsteht ein größeres Konzentrationsgefälle zum Zellinnenraum, so daß Wasser aus den Zellen austritt und mit ausgefrieret. Infolge der geringen Diffusionsgeschwindigkeit durch die Zellwände kommt es beim schnellen Gefrieren bald auch unabhängig vom Kristallwachstum in der Umgebung zu einer Eisbildung in den Zellen. Bei langsamem Gefrieren dagegen dringt mehr und mehr Wasser aus den Zellen in die Zwischenräume und führt zu einer steigenden Konzentration an gelösten Stoffen im Zellinnenraum; durch das damit verbundene stetige Sinken der Temperatur des Gefrierbeginns tritt auch im weiteren Verlauf des Gefrierprozesses keine Kristallbildung in der Zelle auf. Zwischen den Muskelfasern bilden sich große unregelmäßig geformte Eisteilchen, welche die Zellen stark deformieren und die Zellwände beschädigen können.

Die Hauptveränderungen beim Gefrieren treten im Temperaturbereich von 0 bis -5°C auf, da hier der weitaus größte Teil des Wassers ausgefrieret, bei Kabeljaufilet z. B. 77% des Gesamtwassers oder 86% des ausgefrierbaren Wassers; dadurch wird bei -5°C bereits eine hohe Konzentration der Restlösung erreicht [63]. Andererseits ist aber doch noch eine genügend große Fluidität der Lösung und eine relativ hohe Temperatur vorhanden, um zahlreiche Reaktionen hervorzurufen. Mit sinkender Temperatur steigt zwar die Konzentration weiter an, aber die Reaktionsgeschwindigkeit und die mögliche Angriffsfläche nehmen schnell ab.

Daß die Zone maximaler Kristallbildung zwischen 0 und -5°C nicht zu langsam durchlaufen werden sollte, zeigen u. a. Gefrierversuche mit einzelnen Muskelfasern bei verschiedenen Temperaturen [55]. Die Struktur von Fasern, die bei einer nur wenig unterhalb des Gefrierbeginns liegenden Temperatur gefroren wurden, änderte sich stark infolge der Bildung grober Eiskristalle, während bei einer Gefriertemperatur von -45°C

und tiefer eingefrorene Fasern noch intakt waren und ihre typische Querstreifung gut erhalten hatten. Unmittelbar nach dem Gefrieren aufgetaut, waren jedoch die Struktur aller Muskelfasern, auch die der langsam gefrorenen, wieder nahezu normal.

Durch die Bestimmung des Gehalts der nur in den Zellkernen vorkommenden Deoxyribosenucleinsäure im Preßsaft von Fischfilet fand Love [35, 37], daß die Zellstruktur von Fischfilet keineswegs nur bei sehr langsamem Gefrieren, sondern bei verschiedenen Gefriereschwindigkeiten geschädigt wurde. Eine Schädigung der Zellwände trat nach seinen Messungen ein, wenn die Temperatur von 0 bis -5°C in etwa 25, in etwa 80 und in 200 bis 500 min durchlaufen wurde. Außerdem wurde das Zellgewebe bei extrem schnellem allseitigem Gefrieren zerrissen, weil die bereits gefrorene Außenschicht die Ausdehnung des im Innern gefrierenden Wassers verhindert.

Die einzelnen Schichten einer Gefrierpackung gefrieren verschieden schnell, so daß je nach der Packungsdicke und den Gefrierbedingungen eine, zwei oder drei dieser kritischen Gefrierzeiten im Querschnitt auftreten können. In einem anderen Zusammenhang wurde von uns die Temperaturverteilung in einer Packung beim Gefrieren gemessen. Für die Messung benutzten wir Karlsruher Prüfziegel, deren kalorische Eigenschaften denen von Rindfleisch entsprechen; es wurde in Kaltluft mit einer Temperatur von -30°C und bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s gefroren. In Bild 2 ist die Zeit, die zum Senken der Temperatur von 0 auf -5°C erforderlich war, über der Packungsdicke aufgetragen. Die Darstellung links im Bild zeigt den Verlauf dieser Zeit für einen Karlsruher Prüfziegel mit einer Dicke von 50 mm. In der Randschicht geht die Temperatur in kurzer Zeit von 0 auf -5°C zurück, während sie im Kern der Packung wesentlich langsamer fällt. Bei dem in der Industrie üblichen Gefrieren von Kleinpackungen wird eine Gefrierzeit von weniger als 25 min im Kern nicht erreicht, so daß stets eine Zone vorhanden ist, in der die Temperatur von 0 auf -5°C gerade in 25 min gesenkt wird. In dem Prüfziegel liegt bei diesen Gefrierbedingungen die Schicht 10 mm tief unter der Oberfläche, sie ist schraffiert dargestellt. Aber auch eine Zeit von 80 min und selbst 200 min kann im Kern einer etwas dickeren Packung beim Gefrieren in Luftgefrierapparaten durchaus auftreten und wird, da sie der Gefriereschwindigkeit von rund 1 cm/h in einer 70 mm dicken Packung entspricht, durchaus als zulässig angesehen.

Rechts im Bild ist nach Werten von Lorentzen und Rösвик [34] die Zeit aufgetragen, die in der Randschicht eines Fleischblocks von 200 mm Stärke bei -20°C Umgebungstemperatur zum Senken der Temperatur von 0 auf -5°C erforderlich ist. Die drei Zonen, in denen nach den Untersuchungen von Love Zellschädigungen auftreten, sind auch hier schraffiert wiedergegeben.

Love deutet die Schäden in diesen Zonen auf Grund histologischer Befunde und findet beim schnellen Gefrieren anfangs eine Kristallbildung in den Zellen. Wenn das Gefrieren 25 min dauert, bilden sich in den Zellen einige parallel zu den Zellwänden liegende Eiskristalle, die durch ungleichförmiges Weiterwachsen die Zellwände beschädigen; bei einer Gefrierzeit von etwa 80 min tritt ein Überwechseln der Eisbildung aus den Zellen in die interzellulären Räume ein, was mit einer Sprengung der Zellwände verbunden ist. Wenn eine Gefrierzeit von 205 bis 500 min benötigt wird, um die Temperatur von 0 bis -5°C zu senken, beginnt der Gefriervorgang in den interzellulären Räumen, und es bilden sich hier beim langsamen Gefrieren — wie bereits beschrieben — die großen Eisteilchen. Bei einer Gefrierzeit von mehr als 500 min fand man keine Nucleinsäure mehr im Preßsaft; die Zellwände waren also nicht beschädigt. Der ausgepreßte Saft enthielt jedoch viel Eiweiß, so daß die stark konzentrierte Restlösung in der Zelle starke Schäden verursacht haben dürfte. Ein solches Ausgefrieren großer Eismengen wurde z. B. beim Gefrieren eines Kabeljauflets mittlerer Größe bei -10°C beobachtet.

Durch die Entmischungsvorgänge sowie ein Verschieben der konzentrierten Restflüssigkeit infolge fortschreitender Eis-

bildung, die sie mit dem Zelleiweiß stärker in Berührung bringt, wird eine Denaturierung des Eiweißes beim Gefrieren begünstigt. Lagerversuche bei tiefer Temperatur, die eine solche Veränderung des Eiweißes während der Lagerung ausschloß, zeigten, daß die Denaturierung von der Gefriereschwindigkeit abhängt. Eine beträchtliche Steigerung ergab sich, wenn die Temperatur von 0 auf -5°C in 60 bis 100 min gesenkt wurde, während bei schnellerem und langsamerem Gefrieren die Denaturierung gering war [38].

Untersuchungen über die Einwirkung der Gefriereschwindigkeit auf den Geschmack und die Konsistenz von Gefrierfisch [37] lassen erkennen, daß weder zwischen den beobachteten Zellerstörungen noch der auftretenden Denaturierung und den organoleptischen Eigenschaften eine eindeutige Wechselbeziehung besteht. Auch zwischen der Zellschädigung und dem Saftverlust wurde kein direkter Zusammenhang gefunden.

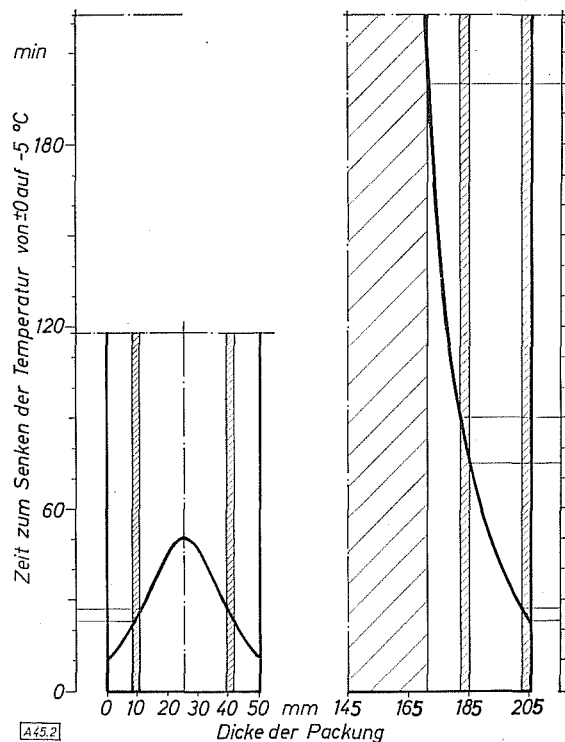


Bild 2. Zeit für die Temperatursenkung von 0 auf -5°C in Packungen verschiedener Dicke bei unterschiedlichen Gefrierbedingungen

Links: Prüfziegel (Fleisch) 200 x 100 x 50 mm, gefroren bei -30°C und einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s
Rechts: Randschicht eines Fleischstückes 600 x 400 x 205 mm, gefroren bei -20°C in stiller Luft nach Werten von Lorentzen u. Rösвик [34]

Nach norwegischen Untersuchungsergebnissen ist es schwer, Unterschiede bei schnell gefrorenen Fischen nach mehrmonatlicher Lagerdauer festzustellen, wenn diese in 4 bis 5 cm dicken Packungen in einer Zeit von 8 Stunden und weniger gefroren worden sind [47]. Unmittelbar nach dem Gefrieren waren Unterschiede erkennbar. Nach britischen Versuchen [58] weisen Schellfischproben, deren Temperatur in $\frac{1}{2}$ bis 7 Std. von 0 auf -5°C gesenkt worden war, keine nennenswerten Unterschiede in der Konsistenz auf; die Eignung zum Filetieren und Räuchern war jedoch bei den langsam gefrorenen etwas zurückgegangen. Auf Grund der Untersuchungen und Erfahrungen in diesen und anderen Ländern kann angenommen werden, daß merkliche Veränderungen im Genußwert von Fisch nicht festgestellt werden können, wenn die Zeit zur Senkung der Temperatur von 0 auf -5°C 7 bis 8 Stunden nicht überschreitet, d. h. wenn in einer 4 bis 5 cm dicken Packung die mittlere Gefriereschwindigkeit mindestens 0,3 cm/h beträgt.

Um ein zu langsames Gefrieren zu unterbinden, wurden in einzelnen Ländern allgemeine Empfehlungen ausgesprochen

oder Bestimmungen erlassen. In Britannien z. B. wird gefordert, daß beim industriellen Gefrieren von Fisch in Verbraucherpackungen, die Kerntemperatur von 0 auf -5°C in zwei Stunden gesenkt werden muß [7]. In Norwegen darf die Gefrierzeit, angegeben in Stunden, die Dicke der Packung, angegeben in cm, nicht überschreiten [20]. Im Entwurf der Richtlinien des *Bundesverbandes der Deutschen Fischindustrie* ist eine Gefriereschwindigkeit von mindestens 1 cm/h vorgesehen [11].

Die Gefrierendtemperatur

Beim Gefrieren von Lebensmitteln ist nicht nur auf die Einhaltung einer hinreichenden Gefriereschwindigkeit, sondern auch auf eine genügend tiefe Temperatur zu achten.

In der Regel wird gefordert, daß das Gefriergut beim Einbringen in den Auffang-Gefrierlagerraum dessen Temperatur im Durchschnitt erreicht haben muß, damit kein zusätzlicher Kältebedarf für ein weiteres Abkühlen erforderlich ist und keine größeren Temperaturschwankungen im Lagerraum hervorgerufen werden; außerdem kann es sehr lange dauern, bis die gestapelte Gefrierware die erforderliche Lagertemperatur erreicht. Eine Gefrierpackung sollte daher beim Verlassen des Gefrierapparates im Durchschnitt die Lagertemperatur oder im Hinblick auf einen weiteren Verpackungsgang nach dem Gefrieren und den innerbetrieblichen Transport eine etwas tiefere Temperatur haben.

Plank [53] unterteilt in seinen grundlegenden Arbeiten über die Gefriereschwindigkeit die gesamte Verweildauer eines Produkts im Gefrierapparat in die Vorkühlzeit, die Gefrierzeit und die Nachkühlzeit. Als Gefrierzeit wird danach die Zeit bezeichnet, die nötig ist, um die Zone der maximalen Kristallbildung von 0 bis -5°C im Kern einer Packung zu durchlaufen. Sie deckt sich demnach mit den Temperaturgrenzen, die von britischer Seite zur Kennzeichnung der Gefrierzeit gewählt wurden [7].

Als Gefrierzeit kann mit gleicher Berechtigung auch die Zeit zum Senken der Temperatur auf einen anderen zwischen -5 und -20°C liegenden Endwert definiert werden, da auch unter -20°C noch Wasser ausfriert. Es ist zweckmäßig, diese Endtemperatur so zu wählen, daß die Durchschnittstemperatur von Klempackungen der üblichen Lagertemperatur entspricht, wenn die Endtemperatur im Kern der Packung erreicht ist. Vorgeschlagen wurde, die Kernendtemperatur, bei deren Erreichen Gefrierpackungen üblicher Größe dem Gefrierapparat entnommen werden können, auf -10 oder -15°C festzusetzen. In den meisten Ländern wird heute eine Kernendtemperatur von -15°C verlangt [7, 20].

Die Durchschnittstemperatur einer Gefriergutpackung mit einer bestimmten Kerntemperatur hängt außer von den Packungsabmessungen von der Gefrierendtemperatur, dem Wärmeübergang zwischen Gefriergut und Kühlmittel sowie von der Wärmeleitfähigkeit des Gutes ab. Bei gleicher Kernendtemperatur in Packungen einheitlicher Art und Größe ist z. B. die Durchschnittstemperatur wesentlich tiefer, wenn im Platten- statt im Luftgefrierapparat gefroren wird. Wählt man eine Kernendtemperatur von -15°C , so wird beim industriellen Gefrieren, auch unter ungünstigen Bedingungen, stets eine Durchschnittstemperatur von -18 bis -20°C erreicht werden können. Meist wird jedoch eine beträchtliche Kältereserve zur Verfügung stehen.

Eine Lagertemperatur von -18 bis -20°C ist ausreichend, um die meisten Gefriergüter während der üblichen Zeit zu lagern, für einige Produkte müssen jedoch tiefere Lagertemperaturen gewählt werden. Eine Durchschnittstemperatur von -28 bis -30°C , die man mehr und mehr für die Lagerung von Fisch anwendet, wird aber bei einer Kernendtemperatur von -15°C in Packungen üblicher Größe nicht erreicht, auch wenn man diese in Plattengefrierapparaten bei -40°C eingefriert. Es muß daher erwogen werden, ob der gefrorene Fisch nicht mit einer von den üblichen Empfehlungen abweichenden tieferen Kernendtemperatur den Gefrierapparaten entnommen werden sollte. Obgleich die Gefrierzeit bei einer weiteren Temperatursenkung infolge der geringen in diesem Temperaturbereich noch ausfrierenden Wassermenge nur wenig länger

wird, kann doch die Leistungsverringerung bei voller Betriebsauslastung ins Gewicht fallen.

Gefrierverfahren

Zum Gefrieren von Fischfilet werden nahezu ausschließlich die bekannten Verfahren, das Gefrieren in schnellbewegter Kaltluft und im Kontakt mit kalten Platten angewendet [18, 23, 30, 54, 60]. Für den Bau von Schiffsgefrieranlagen sind zusätzliche Gesichtspunkte, wie niedriger Raumbedarf, geringes Gewicht, Einfachheit der Bedienung unter erschwerten Arbeitsbedingungen und erhöhte Betriebssicherheit zu berücksichtigen. Da die Hälfte aller Unkosten auf Gefrierschiffen durch die hohen Arbeitslöhne entsteht, ist der Ausbildung von Vorrichtungen, die das Beschicken und Entleeren der Apparate erleichtern, besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Gefrierendtemperatur wird im Hinblick auf die für die Lagerung erforderliche tiefe Temperatur und auf die gedrängte Bauweise der Gefriereinrichtung entsprechend niedrig gewählt werden müssen. Bei Plattengefrierapparaten dürfte eine Temperatur von -32 bis -35°C am günstigsten sein; sie genügt einerseits, um 50 mm hohe Packungen Fischfilet mit einer Geschwindigkeit von rd. 2 cm/h auf eine hinreichend tiefe Endtemperatur zu bringen, und ist andererseits bei Verwendung von R 22 als Kältemittel noch mit einer einstufigen Kälteanlage zu erreichen [65]. Bei Luftgefrierapparaten arbeitet man meist bei einer Windgeschwindigkeit von 4 bis 5 m/s mit Lufttemperaturen von -35 bis -40°C , um 50 mm hohe Packungen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 1 cm/h gefrieren zu können, so daß auch hier eine der tiefen Lagertemperatur entsprechende Gefrierendtemperatur erzielt werden kann.

Das Lagerverhalten

Wenn man verschiedene unter gleichen Bedingungen gelagerte Gefrierprodukte nach einer bestimmten Zeit miteinander vergleicht, so zeigt sich, daß Fisch zu den empfindlichsten gehört. Der Fettschmelzpunkt hat sich stärker verändert als der Magerfisch, aber der Qualitätsabfall des letzteren liegt in der gleichen Größenordnung und übersteigt z. B. den bei magerem Fleisch auftretenden erheblich. Rindfleisch kann z. B. 12 bis 15 Monate bei -18°C gelagert werden, während Magerfisch nach einer Lagerdauer von 3 bis 4 Monaten verkauft werden muß, wenn er noch eine gute Qualität haben soll.

Die Ursache für den so viel schnelleren Qualitätsrückgang des Fisches unter gleichen Lagerbedingungen ist darin zu suchen, daß nicht nur das Fett, sondern auch das Eiweiß des Fisches sich stärker verändert als das von Warmblüterfleisch. Infolge seines hohen Anteils an ungesättigten Fettsäuren wird das Fischfett auch bei der vielfach üblichen Gefrierlagertemperatur von -18°C durch oxydative Umsetzungen bald ranzig [3].

Die Entwicklung einer oxydativen Ranzigkeit ist als eine im wesentlichen chemische Zeit-Temperatur-abhängige Reaktion in ihrem Gesamtverlauf hinreichend bekannt; man kann sie durch den Übergang zu tieferen Lagertemperaturen oder durch den Entzug von Sauerstoff verzögern. Dagegen sind Ursache und Art der während der Gefrierlagerung auftretenden Proteinveränderungen noch weitgehend unbekannt. Wenn man auch weiß, daß die als Denaturierung bezeichnete Umwandlung des spezifischen räumlichen Baues der Proteine hauptsächlich durch die konzentrierte Restlösung hervorgerufen wird und demnach mit sinkender Gefrierlagertemperatur ständig abnimmt [17], unter -20°C nur noch sehr langsam verläuft und bei etwa -30°C , wenn das ganze ausgefrierbare Wasser erstarrt ist, nicht mehr auftritt [36], so sind die Zusammenhänge zwischen Denaturierung und der Konsistenzverschlechterung doch unklar. Obwohl bei Temperaturen unterhalb von -20°C nur noch geringe Denaturierungserscheinungen gefunden werden, verändert sich die Konsistenz auch bei tieferen Temperaturen noch erheblich und kommt keineswegs bei -30°C zum Stillstand. Bei der Behandlung der Gefrieränderungen wurde schon darauf hingewiesen, daß kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Denaturierung einerseits und den organoleptischen Eigenschaften oder dem Saftverlust andererseits festzustellen war.

Während jeder Gefrierlagerung verändern sich der Geruch, der Geschmack und die Konsistenz des Fisches. Durch die Wahl einer tieferen Temperatur können diese Veränderungen verzögert, aber nicht unterbunden werden; selbst bei einer Lagertemperatur von -80°C hatte sich die Qualität von Kabeljau nach einer Lagerdauer von sechs Monaten deutlich verschlechtert [26].

Wenn die Gefrierindustrie die mögliche Lagerdauer eines Gefriergutes bei einer bestimmten Temperatur wissen möchte oder die günstigste Lagertemperatur für eine bestimmte Lagerzeit gewählt werden soll, muß auf Versuchsergebnisse und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die Temperatur-Zeit-Abhängigkeit ist durch Lagerung bei verschiedenen Temperaturen für die meisten Lebensmittel unter Berücksichtigung der Endqualität bestimmt worden [31], und auch für Mager- und Fettfisch liegt eine Reihe von Angaben vor [30]. Die Temperatur-Zeit-Werte ändern sich nicht nur von Produkt zu Produkt, sondern sind auch vom zulässigen Qualitätsverlust während der Lagerung, d. h. bei einer festliegenden Endqualität von der Ausgangsqualität abhängig. Außerdem werden sie von der Vorbehandlung und der Verpackungsart beeinflusst. Um gute, überall geltende Durchschnittswerte zu bekommen, ist es daher vorteilhaft, Produkte gleicher Art in verschiedenen Ländern auf ihre Lagerfähigkeit hin zu prüfen.

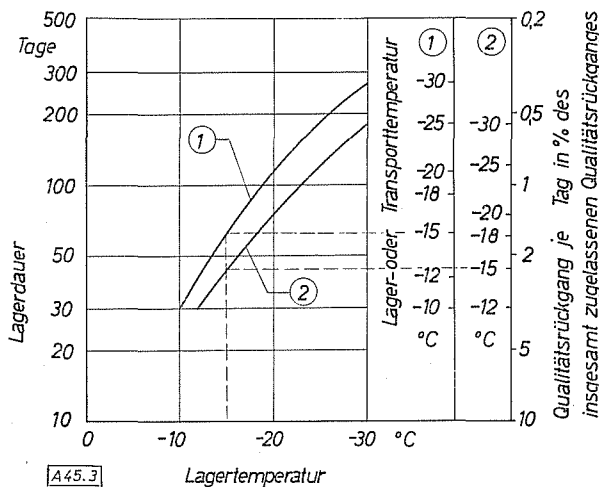


Bild 3. Temperatur-Zeit-Abhängigkeit der Qualitätsabnahme von Magerfisch (1) und Fettfisch (2) während der Gefrierlagerung

In der Bundesforschungsanstalt wurde neben anderen Produkten auch auf See gefrorenes Rotbarschfilet bei verschiedenen Temperaturen gelagert. Die ersten Ergebnisse der vor kurzem begonnenen Versuche lassen erkennen, daß Geruch und Geschmack der in Verbundfolie verpackten Filetquader bei allen angewendeten Temperaturen, -24°C , -18°C und -12°C während der ersten Monate in der Güte schnell abnehmen. Auch bei -24°C war nach einer Lagerdauer von drei Monaten der frische Charakter der Ausgangsware verloren gegangen, und nach sechs Monaten hatte das Filet einen leicht schalen Geruch und Geschmack angenommen. Die Konsistenz wurde zu Beginn der Lagerung und nach einer Lagerdauer von drei und sechs Monaten etwa gleich beurteilt. Sie war mittelmäßig bis ziemlich gut. Die Muskelfaser behielt während der Lagerung ihre anfängliche feste elastische und leicht faserige Konsistenz, war aber nach einer Lagerung von sechs Monaten, insbesondere bei einer Temperatur von -12°C sehr viel uneinheitlicher geworden. Einige Proben waren leicht trocken, andere hatten eine etwas körnige und z. T. leicht strohige Struktur.

Die von uns bei den ersten Qualitätsprüfungen auf Grund der unterschiedlichen Geruchs- und Geschmacksbeurteilung gefundenen Temperatur-Zeit-Werte fügen sich gut der von der *Torry Research Station Aberdeen* für Magerfisch angegebenen Temperatur-Zeit-Abhängigkeit [41] ein, die in Bild 3 als Kurve 1 neben derjenigen für Fettfisch (Kurve 2) dargestellt ist. Der Verlauf der Kurve 1 zeigt, daß auch dieses kurz nach

dem Fang der Fische eingefrorene Rotbarschfilet mit vorzüglicher Ausgangsqualität bei -18°C nur drei, bei -24°C nur sechs Monate gelagert werden darf, wenn es den Lagerraum mit guter Qualität verlassen soll.

In der Gefrierwirtschaft interessiert man sich aber weniger für die Qualität der Gefrierware am Ende der langfristigen Lagerung als für diejenige beim Verkauf. Wenn auch die langfristige Lagerung das wesentlichste Glied in der Gefrierkette ist, so muß bei der Bestimmung der zulässigen Lagerdauer im Kühlhaus aber auch der Qualitätsrückgang während des Vertriebs berücksichtigt werden. Bei gleichbleibender Endqualität verkürzt sich daher diese Lagerzeit mehr oder weniger, je nachdem wie lange und bei welcher Temperatur die Ware während des Vertriebs transportiert und gelagert wird.

Um die Abnahme der Qualität in den einzelnen Gliedern der Gefrierkette zu erfassen, kann man in Anlehnung an die Vorschläge von *van Arsdel* und *Guadagni* [2] auf die tägliche Qualitätsabnahme bei den einzelnen Temperaturen zurückgehen. Wenn die gesamte durch den Kurvenverlauf gegebene zulässige Qualitätsabnahme gleich 100% gesetzt wird, so ergibt sich für Magerfisch z. B. bei einer Temperatur von -19°C eine tägliche Abnahme von etwa 1%, da ja die gesamte Qualitätsabnahme in 100 Tagen entsteht. Auf diese Weise lassen sich aus der Kenntnis der Temperatur-Zeit-Werte Skalen ableiten, die den Grad der täglichen Veränderungen im betrachteten Temperaturbereich angeben. Solche Skalen für Mager- und Fettfisch sind neben dem Koordinatensystem in Bild 3 dargestellt. Auf der rechten Seite sind die reziproken Werte der Lagertage und auf der linken Seite diesen entsprechenden sich aus dem Kurvenverlauf ergebenden Temperaturen aufgetragen. Die Temperatur von -15°C hat z. B. einen Qualitätsrückgang von rd. 1,7% beim Mager- und von rd. 2,5% je Tag beim Fettfisch zur Folge.

Wenn die Temperaturen in den einzelnen Gliedern der Gefrierkette konstant wären, könnte anhand dieser Werte ohne weiteres der prozentuale Anteil der Veränderungen in jedem Glied, d. h. für die Dauer einer Zwischenlagerung oder eines Transportes angegeben werden. Da die Temperatur des Gefriergutes jedoch beim Übergang zu einer anderen Umgebungstemperatur sich nur langsam angleicht, wurde zur Bestimmung der Qualitätsabnahme eine graphische Methode vorgeschlagen [2]. Auf der Vortragsstagung der Kommissionen III, IV und V des *Internationalen Kälteinstituts* in Marseille berichtete *Jul* [24] über die Möglichkeiten der Anwendung dieser Methode. In Bild 4 ist die Skala mit der Lagertemperatur und der täglichen Qualitätsabnahme für Magerfisch als Ordinate und die Lager- und Transportzeit als Abszisse dargestellt. Der tägliche Qualitätsrückgang wurde hier linear aufgetragen.

In dieses Koordinatensystem kann nun der Temperaturverlauf des Gefriergutes in der Gefrierkette eingezeichnet werden; die Fläche unter der Kurve ergibt dann die prozentuale Abnahme der Qualität während der auftretenden Lager- oder Transportzeit. Sie kann leicht durch Planimetrieren bestimmt werden.

Der Kurvenzug 2 zeigt eine Verteilung, wie sie für die gegenwärtigen Verhältnisse in vielen Fällen etwa angenommen werden muß, wenn man die ungünstig liegenden Teile der Gefrierware berücksichtigt. Die Gefrierware verläßt den Gefrierlagerraum mit einer Temperatur von -24°C und wird

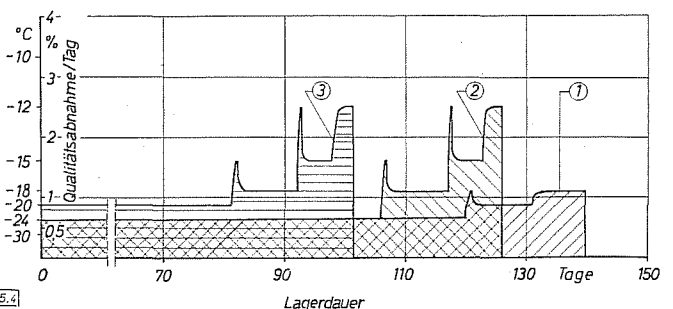


Bild 4. Qualitätsabnahme von Magerfisch in der Gefrierkette

während des eintägigen Transportes zum Großhändler auf -15° sowie beim halbtägigen Transport vom Groß- zum Einzelhändler auf -12° erwärmt. Im Verteilerraum wird sie zehn Tage bei -18° , in der Vorratsruhe fünf Tage bei -15° und in der Verkaufstruhe drei Tage bei -12° gelagert.

Der Kurvenzug 1 zeigt eine Gefrierkette mit einer vorbildlichen Temperaturhaltung, wie sie nach den Richtlinien für die Behandlung tiefgefrorener Lebensmittel vorgesehen ist. Der gleichfalls bei -24°C gelagerte Fisch wird bei einer Temperatur von -18°C zum Großhändler transportiert und hier bei -20°C gelagert. Im Verteilerfahrzeug, in der Vorratsruhe beim Einzelhändler und in der Verkaufstruhe wird eine Temperatur von -18°C gehalten. Die Vertriebszeit entspricht derjenigen im oberen Kurvenzug.

Die Fläche bei der Verteilung 2 ist wesentlich größer als bei der Verteilung 1. Insgesamt ergibt sich bei der schlechteren Gefrierkette eine Qualitätsabnahme von etwa 30% des insgesamt zugelassenen Qualitätsrückgangs; während sie bei der guten nur rund 20% beträgt. Beim Übergang von der guten zur schlechteren Verteilung fällt, wie die Werte in Tabelle 3 zeigen, besonders die Erhöhung der Temperatur in der Verkaufstruhe von -18 auf -12°C ins Gewicht, erhöht sich doch dadurch der Qualitätsrückgang während der dreitägigen Lagerung von 3,6 auf 7,5%, also auf über das Doppelte. Wenn der Gefrierfisch bei Verwendung der guten Gefrierkette 120 Tage bei -24° gelagert werden kann, muß die Lagerdauer beim Übergang zum schlechteren Vertrieb auf 106 Tage beschränkt werden, weil eine größere Qualitätsreserve für die ungünstigere Verteilung vorhanden sein muß. Steht für die langfristige Lagerung nur eine Temperatur von -20°C , anstatt von -24°C bei der gleichen Verteilung zur Verfügung, so erreicht die tägliche Qualitätsabnahme während der Lagerung entsprechend größere Werte und anstatt 106 kann der Fisch nur 81 Tage lang gelagert werden (Verteilung 3).

Die Ermittlung des gesamten Qualitätsrückganges in der Gefrierkette auf die beschriebene Art ist nur möglich, wenn es zulässig ist, die Veränderungen während der einzelnen Abschnitte auf diese einfache Art zu addieren. Durch die sehr eingehenden Untersuchungen der Temperatur-Zeit-Abhängigkeit des *Western Regional Research Laboratory* in Albany, Calif., [70] konnte nachgewiesen werden, daß dies, bis auf wenige Ausnahmen, möglich ist. Eine dieser Ausnahmen, die Austrocknung in der Packung, ist für die Lagerung von Fisch von Bedeutung. Bei Temperaturschwankungen treten auch in einer guten Verpackung, wenn Hohlräume zwischen Gefriergut und Packstoff vorhanden sind, durch Sublimation von Eiskristallen aus der Randschicht an die Packstoffinnenwand Austrocknungsschäden und schließlich Gefrierbrand auf [29, 49]. Da diese „Inpackage Dessication“ mit größer werdenden Temperaturschwankungen ansteigt, muß der dadurch entstehende Qualitätsabfall getrennt behandelt werden. Im übrigen aber entspricht der Qualitätsrückgang bei schwankender Temperatur demjenigen bei einer mittleren konstanten Temperatur.

Die Maximaltemperatur in der Gefrierkette sollte bei der Anwendung dieses Verfahrens -15° nicht überschreiten, da

nach den Empfehlungen des *Internationalen Kälteinstituts* [71] ein Temperaturanstieg tiefgefrorener Lebensmittel während des Transports auf über -15°C zu vermeiden ist.

Die Verpackung

Die Qualitätserhaltung während der Lagerung hängt nicht allein von der Lagertemperatur, sondern auch von der Zusammensetzung der Atmosphäre in der Umgebung des Gefrierortes ab. Die genannten Temperatur-Zeit-Werte gelten nur, wenn der Fisch auf die gegenwärtig übliche Weise in praktisch wasserdampfdichter Verpackung gelagert wird und sich demnach eine dem Wassergehalt des Fisches entsprechende Gleichgewichtsfeuchtigkeit in der Packung einstellt.

Eine Verbesserung der Haltbarkeit von Fettfisch kann nach Ergebnissen von Untersuchungen des *Instituts für Fischverarbeitung* in Hamburg [72] an gefrorenem Matjeshering und von dänischen Versuchen [10] an Regenbogenforellen durch die Lagerung in Vakuumpackungen erreicht werden. Daß durch Sauerstoffausschluß das Auftreten einer Ranzidität verzögert werden kann, zeigen auch wiederum neuere russische Versuche [28] über das Gefrieren von Fettfischen in Alginatgel. Die Haltbarkeit von Magerfisch kann ebenfalls durch die Lagerung bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck positiv beeinflusst werden [22].

Von uns wurde auf See eingefrorenes Rotbarschfilet nach einer Zwischenlagerung von vier Wochen bei -24 bis -28° in kleinere Ziegel zerteilt und in Beutel aus der Verbundfolie Zellglas/PE unter Vakuum, in Stickstoffatmosphäre und, im gleichen Packstoff eingewickelt, in normaler Atmosphäre gelagert. Der Enddruck nach dem Evakuieren betrug rd. 50 Torr. Nach einer Lagerdauer von sechs Monaten bei -18°C konnten keine gesicherten Unterschiede in der Qualität der Proben festgestellt werden.

Die Ursache für den gleichen Qualitätsabfall der unter Vakuum, in Stickstoff und normal gelagerten Proben mag an der Art des Verpackens oder am Versuchsgut liegen. Bei evakuierten Beuteln ist das Anliegen des Packstoffes maßgebend für den Sauerstoffausschluß [66]. Bei unseren Versuchen wurden die Parallelproben nicht in Beutel gesteckt, sondern mit großer Sorgfalt fest in die Folie eingewickelt, so daß auch hier die Verpackung dem Gut satt anlag und einen Sauerstoffeinfluß an den Flach- und Breitseiten weitgehend ausschloß. Beim Gefriergut können möglicherweise während der Vorlagerung von vier Wochen die Umsetzungen, die den Qualitätsabfall im Verlauf der Lagerung hervorrufen, bereits stattgefunden haben, so daß die Senkung des Sauerstoffpartialdrucks nach dieser Zeit unwirksam bleibt. Z. Z. laufen neue Versuche mit einer etwas geänderten Anordnung.

Die deutsche Gefrierindustrie hat in den letzten Jahren viel getan, um die Qualität der gefrorenen Ware in ihrem Einflußbereich durch die Wahl tiefer Lager- und Transporttemperaturen zu erhalten; sie hat außerdem der Verpackungsfrage eine erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Leider kann nicht in allen Verkaufstruhen unter den auftretenden Betriebsbedingungen die erforderliche Lagertemperatur von -18°C im gesamten Stapelraum gehalten werden. Möge der Handel dafür Sorge

Tabelle 3. Prozentuale Qualitätsabnahme von Magerfisch in den einzelnen Gliedern der Gefrierkette

Gelagert im	Verteilung 1			Verteilung 2			Verteilung 3		
	Temp. °C	Dauer Tage	Abnahme %	Temp. °C	Dauer Tage	Abnahme %	Temp. °C	Dauer Tage	Abnahme %
Kühlhaus	-24	120	80,1	-24	106	70,8	-20	81	70,8
Tiefkühl-LKW	-18	1	1,1	-15	1	1,4	-15	1	1,4
Verteilerraum	-20	10	8,7	-18	10	11,1	-18	10	11,1
Verteiler-LKW	-18	0,5	0,7	-12	0,5	1,1	-12	0,5	1,1
Vorratsruhen	-18	5	5,8	-15	5	8,1	-15	5	8,1
Verkaufstruhen	-18	3	3,6	-12	3	7,5	-12	3	7,5
Gesamtrückgang	—	—	100,0	—	—	100,0	—	—	100,0

tragen, daß der Gefrierfisch durch die Lagerung bei einer gleichmäßigen, nicht über -18° ansteigenden Temperatur in Verteiler- und Vorratsräumen sowie in Verkaufsmöbeln eine hochwertige Qualität auch während des Absatzes behält. [A 45]

Literatur

- [1] K. Amano, M. Bito u. M. Suyana: Proc. of the 9. Int. Congress of Refrig. II, S. 4313, Paris, Sept. 1955.
- [2] W. B. van Arsdal u. D. G. Guadagni: Food Technol. 13 (1959), S. 14.
- [3] A. Banks: The Freezing and Cold Storage of Herrings; Spec. Rep. 55, Food Investigation Board S. 7, Dep. of Sci. a. Ind. Res. London 1952.
- [4] A. Banks u. G. G. Eddie: Mod. Refrig. 61 (1958), S. 1126.
- [5] E. C. Bate-Smith u. J. R. Bendall: J. Physiol. 106 (1947), S. 177.
- [6] Fr. Bergh: Formation of ice in tissues in freezing foods; Ingeniorvidenskabelige Skrifter Nr. 3, G. E. C. Gad, Kopenhagen K. 1948.
- [7] Bericht über die verbesserte Qualität und Verpackung von Gefrierfisch; Tagung EPA/OEEC März 1955, S. 41. Europäische Produktivitätszentrale Paris.
- [8] J. R. Bendall u. D. B. Marsh: Proc. of the 8. Int. Congress of Refrig. London Sept. 1951, S. 351.
- [9] G. Borgström: World Fishing 8 (1959) Nr. 5, S. 72.
- [10] F. Bramsnaes u. H. C. Sorensen: Vacuum-packed, frozen fatty fish; Vortrag auf der Arbeitstagung der Comm. 3, 4 und 5 des Int. Kälteinstituts in Marseille, Sept. 1960.
- [11] Bundesverband der deutschen Fischindustrie e.V. Hamburg: Richtlinien über die Qualitätskontrolle von tiefgefrorenen Fischen; Entwurf Dez. 1958.
- [12] C. H. Castell: Bull. Nr. 100 Fisheries Research Bd. of Canada 1954.
- [13] C. H. Castell: Prog. Rept. Atl. Coast Stat. Nr. 46, Sept. 1949.
- [14] C. L. Cutting, G. C. Eddie, G. A. Reay u. J. M. Shewan: Food Investigation Leaflet Nr. 3, Rep. Sci. Ind. Res. London 3. Aufl. 1953.
- [15] C. L. Cutting: Report Food Investigation Board 1939, S. 39, Dep. of Sci. a. Ind. Res. London 1949.
- [16] E. Dehl: Tiefkühlkette 1960, H. 9, S. 22.
- [17] W. J. Dyer: Food Res. 16 (1951), S. 522.
- [18] H. Eckert: Kältetechnik 7 (1955), S. 371.
- [19] H. Einarsson: in Bericht über die verbesserte Qualität und Verpackung von Gefrierfisch S. 47, Tagung des EPA/OEEC Kiel 1953, Europäische Produktivitätszentrale Paris.
- [20] EPA/OEEC Working Document EPA/AG/925 S. 1 bzw. S. 30, Paris, Juni 1960.
- [21] H. Heimsohn: in Fishing Boats of the World 2, S. 638, 703, Fishing News (Books) Ltd. London E. C. 4, 1960.
- [22] R. Heiss: Proc. of the 9. Int. Congr. Refrig. Bd. II, S. 4031, Paris 1955.
- [23] E. Hofmann: Kältetechnik 10 (1958), S. 51.
- [24] M. Jul: Observations on the calculation of keeping quality of frozen foods; Vortrag auf der Arbeitstagung der Comm. 4 und 5 des Int. Kälteinstituts in Marseille Sept. 1960.
- [25] A. Kan u. E. Pavlov: Quick Frozen Foods 23 (1960), Sept. S. 40.
- [26] O. Karsti cit. nach E. Heen: Proc. Symp. on Cured and Frozen Fish Technology, Göteborg 1953 XV, S. 5.
- [27] M. Kondrup u. H. Boldt: The influence of the freezing rate upon the quality of frozen meat and poultry; Vortrag auf der Arbeitstagung der Comm. 4 und 5 des Int. Kälteinstituts in Marseille Sept. 1960.
- [28] G. S. Konokotin u. L. P. Zulkova: Quality Preservation of frozen Salaka in alginate gel; Vortrag auf der Arbeitstagung der Comm. 4 und 5 des Int. Kälteinstituts in Marseille Sept. 1960.
- [29] J. Kuprianoff: Kältetechnik 12 (1960), S. 284.
- [30] J. Kuprianoff: Bericht über die verbesserte Qualität und Verpackung von Gefrierfisch, S. 61, Tagung des EPA/OEEC Kiel 1953, Europäische Produktivitätszentrale Paris; s. auch Kältetechnik 7 (1955), S. 215.
- [31] J. Kuprianoff: Kältetechnik 8 (1956), S. 102.
- [32] J. Kuprianoff: Kältetechnik 8 (1956), S. 114.
- [33] F. A. Lee, R. F. Brooks, A. M. Pearson, J. I. Miller u. F. Volz: Food Res. 15 (1950), S. 8.
- [34] G. Lorentzen u. S. Rösvisk: The influence of packaging on freezing time and weight loss for cut meat; Vortrag auf der Arbeitstagung der Comm. 4 des Int. Kälteinstituts in Marseille Sept. 1960.
- [35] R. J. Love: J. Sci. Food Agric. 6 (1955), S. 30; 7 (1956), S. 220; 8 (1957), S. 238; 9 (1958), S. 249, 257, 262.
- [36] R. M. Love: A new technique for the measurement of texture changes in fish muscle, and its application in assessing the quality of stored material; Ber. X. Internat. Kältkongreß in Kopenhagen, Bd. III, S. 71.
- [37] R. M. Love: J. Sci. Food Agric. 9 (1958), S. 609.
- [38] R. M. Love: Nature 178 (1956), S. 988.
- [39] A. F. M. G. Luijpen: Nature 180 (1957), S. 1422.
- [40] Marketing and Consumption of Frozen Fish in OEEC Countries, S. 49, EPA/OEEC Project Nr. 5/18 Paris May 1960, Angabe für 1959 in Tiefkühl-Praxis 1 (1960), H. 4, S. 7.
- [41] Marketing and Consumption of Frozen Fish in OEEC Countries, S. 9, EPA OEEC Project Nr. 5/18, Paris, May 1960.
- [42] H. T. Meryman: Science 124 (1956), S. 515.
- [43] J. Messtorff: Kurze Mitt. Inst. für Fischereibiologie der Univ. Hamburg Nr. 5, Dez. 1954.
- [44] N. Moisejeva u. A. Piskareva: Cholod. Techn. (russ.) 36 (1959), H.1, S.52.
- [45] G. Nemitz, W. Partmann u. D. Scharra: Z. Lebensm. Unters. und Forschg. 112 (1960), S. 261.
- [46] O. E. Nikkilä u. R. R. Linko: Food Res. 19 (1954), S. 200 und 21 (1956), S. 42.
- [47] O. Notevarp: Some Aspects of Food Refrigeration and Freezing; FAO-Agric. Studies Nr. 12, S. 114 Washington Nov. 1950.
- [48] O. Notevarp u. E. Heen: Z. ges. Kälteind. 47 (1940), S. 122.
- [49] W. Partmann: Archiv für Fischereiwissenschaft 6 (1955), S. 362.
- [50] W. Partmann: Archiv für Fischereiwissenschaft 5 (1954), S. 159.
- [51] W. Partmann: Die Untersuchungsergebnisse sind noch nicht veröffentlicht.
- [52] A. Piskaroff, G. Kryloff u. L. Lukjaniza: Cholod. Techn. (russ.) 35 (1958), Nr. 4, S. 48, cit. nach Kuprianoff, Kältetechnik 12 (1960), S. 284.
- [53] R. Plank: Beihefte Z. ges. Kälteind. (1941), R. 3, H. 10.
- [54] K. H. Quenzel: Die Kälte 13 (1960), S. 61.
- [55] G. Rapatz u. B. Luyet: Biodynamica 8 (1959), Nr. 162, S. 121.
- [56] G. A. Reay u. J. M. Shewan: Advances in Food Research 2 (1949), S. 358.
- [57] G. A. Reay u. J. M. Shewan: Fishing Boats of the World 2, S. 201; Fishing News (Books) Ltd. London E. C. 4, 1960.
- [58] G. A. Reay: Rep. Food Invest. Board 1938, S. 96, Dep. of Sci. and Ind. Research, London 1939.
- [59] H. Reichel: Muskelphysiologie; Springer-Verlag Berlin 1960.
- [60] Report on an Experiment into the Freezing of Fish at Sea S. 14; White Fish Authority, Tilbury House, Petty France, London S. W. 1 1957.
- [61] Report Food Investigation Board 1957, S. 3 bzw. S. 23, Dep. of Sci. and Ind. Res. London 1958.
- [62] Report Food Investig. Board 1955, S. 24 u. 38, Dep. of Sci. and Ind. Res. London 1956.
- [63] L. Riedel: Kältetechnik 8 (1956), S. 347.
- [64] Sh. Sato: Fishing Boats of the World 2, S. 723, Fishing News (Books) Ltd., London E. C. 4, 1960.
- [65] F. S. Schröder: Kältetechnik 10 (1958), S. 53.
- [66] W. Schröder u. R. Heiss: Verpackungs-Rdsch. (gelbe Beilage) Jg. 1958, H. 12, S. 96.
- [67] J. W. Salvin: Fishing Boats of the World 2, S. 227, Fishing News (Books) Ltd., London E. C. 4, 1960.
- [68] K. Sommer: Jahresbericht über die deutsche Fischwirtschaft 1958, S. 45; Verlag Gebr. Mann, Berlin Okt. 1959.
- [69] Statistischer Monatsbericht des Bundesmin. für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, August 1960, S. 530/31.
- [70] Time-Temperature Tolerance I bis XXI, Food Technol. 11 (1957), 12 (1958), 13 (1959) und 14 (1960).
- [71] Transport of Perishable Foodstuffs, United Nations Publication Sales Nr. 58, VIII, 1.
- [72] G. Wunsche: Informationen für die Fischwirtschaft 6 (1959), Nr. 4/5.