

NUR FÜR MITGLIEDER

Vergleichbare Auftauverfahren von Gefrierfleisch

von D. Thun

(Kurzfassung eines Vortrages auf dem 130. Informations-Seminar des KIN vom 14. - 18.3.1977)

Das Frieren zum Zwecke der langfristigen Lagerung ist ein Verfahren, bei dem die natürlichen Eigenschaften des Fleisches im Gegensatz zu allen anderen Konservierungsverfahren erhalten bleiben. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß beim Frieren, Lagern und Auftauen alles vermieden wird, was die Fleisch-Qualität ungünstig beeinflusst. Folgen von Fehlern im Arbeitsgang oder in der Anlage sind:

Veränderung von Farbe, Oberflächenbeschaffenheit und Struktur, geschmackliche Abwertung, Saft- und Gewichtsverlust.

Es genügt nicht allein, optimale Verhältnisse z.B. beim Frieren zu schaffen, um nach dem Auftauen Fleisch zu erhalten, das qualitativ dem Frischfleisch entspricht. Fehler, die bei der Lagerung oder beim Auftauen gemacht werden, können wieder alles verderben, was beim Frieren gut gemacht wurde.

Ein Einfrierprozeß bedeutet stets einen wichtigen Eingriff in die Struktur betroffener Gewebe, da das im Produkt enthaltene Wasser größtenteils zu Eis gefriert. Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen sind teilweise umkehrbar und bleiben damit ohne Einfluß auf die Qualität der wieder aufgetauten Ware, teilweise aber auch nicht umkehrbar und damit mehr oder weniger qualitätsmindernd.

Tiefkühlagerung und Auftauen haben Auswirkungen verschiedener Art auf das jeweilige Produkt. Umfang und Gewicht der im Produkt hervorgerufenen Veränderungen sind überwiegend auf die Art und Weise zurückzuführen, in der diese Vorgänge verlaufen. Wenn diese Prozesse so ablaufen, wie nachstehend geschildert, ist der Unterschied zwischen frischem und aufgetautem Fleisch nicht leicht feststellbar und schwer zu definieren.

Zur Beurteilung der Veränderungen, die beim Einfrieren auftreten, muß man sowohl den Aufbau als auch die Zusammensetzung des Gewebes berücksichtigen. Gleichfalls müssen die Funktionen der normalen enzymatischen Reaktionen beobachtet werden. Die quergestreifte Muskulatur stellt den prozentual größten Teil des Fleisches. Gerade in diesem Gewebe treten die wichtigsten und interessantesten Veränderungen beim Gefrieren auf.

Ganz allgemein unterscheiden wir beim Einfrieren von Lebensmitteln drei verschiedene Stadien:

1. Absenken der Temperatur bis zum Gefrierpunkt der Ware
2. Eisbildung oder Kristallisationsphase
3. Absenken der Temperatur vom Gefrierpunkt bis zur vorgesehenen Lagerungstemperatur

Zum Einfrieren bestimmtes Fleisch sollte in der Regel nach dem Schlachten zunächst eine gewisse Zeit kühl gelagert

werden, damit der rigor mortis eintreten kann. Das erste Stadium ist deshalb hinsichtlich des Einfrierens von Fleisch von relativ untergeordneter Bedeutung — allerdings muß das Fleisch so rasch wie möglich abgekühlt werden, um die Entwicklung unerwünschter Mikroorganismen in wirksamem Maße zu verhindern.

Das 2. Stadium beginnt dann, wenn die Temperatur so weit abgesunken ist, daß die Eisbildung durch Ausfrieren des im Produkt enthaltenen Wassers einsetzt.

Im Zellsaft sind Salze und organische Stoffe gelöst. Sein Gefrierpunkt liegt deshalb niedriger als der des Wassers und kann mit $-1,5^{\circ}\text{C}$ angenommen werden. Als Folge der Auskristallisation erhöht sich die Konzentration der im Zellsaft gelösten Salze und Stoffe. Gleichzeitig damit sinkt der Gefrierpunkt der verbleibenden Restlösung. Erst wenn der sogenannte eutektische Punkt erreicht ist, friert die gesammte verbleibende Lösung zu einer Masse ein. Dies ist der Grund, weshalb wir bei Fleisch keinen bestimmten Gefrierpunkt festlegen, sondern nur einen Temperaturbereich bestimmen können. Bei jeder Temperatur des eben beschriebenen Bereichs finden wir also einen Teil des Produktwassers in kristalliner und den übrigen Teil in flüssiger Form.

Der größte Teil des Wassers friert jedoch bei relativ hohen Temperaturen aus, so daß bei -4°C etwa 73 % der gesamten Wassermenge im Produkt in Form von Eis vorliegt, während bei -10°C 85 % des Wassers ausgefroren sind. Im Temperaturbereich von unter -36°C ist kein weiteres Ausfrieren mehr zu beobachten. Das verbleibende Restwasser, das auch bei dieser Temperatur nicht gefroren ist, ist nicht frei, sondern fest an das Eiweiß gebunden.

Bestimmend für die Lage der Eiskristalle im Gewebe und für ihre Größe ist die Geschwindigkeit, mit der die Kristallisationsphase verläuft. Die Einfriergeschwindigkeit kann definiert werden als die Wanderungsgeschwindigkeit der Eis- bzw. Kristallisationsfront durch die Ware gemessen in cm/h. In allen industriell angewandten Gefrierverfahren wird der Ware die Wärme von außen entzogen. Folglich sinkt die Einfriergeschwindigkeit mit der Stärke des Produktes. Für jede beliebige Ware läßt sich die Gefriergeschwindigkeit (W) bei Wärmeentzug von 2 Seiten aus der Formel $w = \frac{0,5}{h} a$ (cm/h) errechnen, wobei

- a) die kleinste Dimension der Ware in cm gemessen durch den thermischen Mittelpunkt ist, und h der Zeitraum, der für das Absenken der Temperatur von $\pm 0^{\circ}\text{C}$ auf -15°C benötigt wird, d.h. also die Zeit der Kristallisationsphase.

Nach Plank unterscheidet man zwischen:

1. langsamem Einfrieren $w = 0,1$ bis 1 cm/h
2. mittelschnellem Einfrieren $w = 1$ bis 5 cm/h
3. Schnellfrieren $w = 5$ bis 20 cm/h

Histologische Untersuchungen lassen eindeutige Rückschlüsse zu auf die Bedeutung der Gefriereschwindigkeit für die Lage und Größe der Eiskristalle sowie für die Schäden, die diese an den Zellwänden verursachen.

1. Langsames Einfrieren:

Beim langsamen Einfrieren bilden sich zunächst wenige große Eiskristalle. Diese liegen extrazellulär in den Zwischenräumen zwischen den Muskelflächen. Die einen bestimmten Salzgehalt aufweisende Gewebeflüssigkeit übt einen osmotischen Druck aus und bewirkt, daß das Wasser aus den Zellen difundiert. Das heraustretende Wasser friert nunmehr an die bereits vorhandenen Eiskristalle an und vergrößert diese beträchtlich. Im Verlauf des Gefriervorganges beanspruchen die Eiskristalle dann einen größeren Raum als die entsprechende Flüssigkeit und üben nunmehr einen wachsenden Druck auf die Zellwände aus. Als Folge davon werden die Muskelfasern stark deformiert. Außerdem bilden sich zwischen ihnen große Hohlräume. Bei diesem Vorgang können in extremen Fällen die Eiskristalle so groß werden, daß man sie mit bloßem Auge erkennen kann.

Beim Auftauen von Fleisch, das so sehr langsam eingefroren wurde, ist ein hoher Saftverlust das Ergebnis. Das beruht darauf, daß sich aufgrund der Dehydratisierung ein Teil der kolloid-chemischen Eigenschaften des Eiswassers ändert und das Eiweiß in gewissem Umfang seine Fähigkeit einbüßt, Wasser zu binden. Wir haben es hier also mit einem Denaturierungsvorgang zu tun. Denaturieren wird nicht nur durch die Dehydratisierung verursacht, sondern auch dadurch, daß das Eiweiß über längere Zeiträume der Einwirkung konzentrierter Lösungen von Salz ausgesetzt ist.

2. Mittelschnelles Einfrieren:

Bei Einfriereschwindigkeiten von ca. 1 - 5 cm/h bildet sich ein Teil der Eiskristalle zwischen den Myofibrillen innerhalb der Muskelfasern, der überwiegende Teil aber immer noch extrazellulär. Wir können hier jedoch schon beobachten, daß sich kleinere Kristalle bilden, deren Anzahl signifikant höher liegt. Große Schäden werden dem Muskelgewebe bei dieser Einfrieremethode nicht zugefügt. Auch denaturiert das Eiweiß nur in unbedeutendem Umfang und verliert wenig von seiner wasserbindenden Fähigkeit.

3. Schnellgefrieren:

Wird eine Ware sehr schnell eingefroren, dann bildet sich eine sehr große Anzahl mikroskopischer Eiskristalle, die gleichmäßig innerhalb des Gewebes verteilt sind. Es findet dann auch praktisch keine Wasserwanderung aus den Zellen mehr statt. Auch scheinen die Veränderungen der Eiweißkörper wesentlich geringer zu sein.

Im allgemeinen wird Fleisch heute in Tunnel gefroren. Hierbei beträgt die Lufttemperatur bis zu -40°C und die Luftgeschwindigkeit 5 bis 8 m/sec. Für dieses Einfrierverfahren hat sich die Bezeichnung Schnellgefrieren eingebürgert, obwohl die dabei erzielten Einfriereschwindigkeiten nach der obenstehenden Definition im besten Falle dem mittelschnellen Gefrieren entsprechen. Diese Feststellung gilt im besonderen Maße für die tiefliegenden Partien, besonders starker Stücke. Wie ausgeführt, sind jedoch die hierbei auftretenden Veränderungen im Produkt weitgehend umkehrbar, und die tatsächlich auftretenden irreversiblen Veränderungen können praktisch vernachlässigt werden. Auf diese Weise eingefrorenes und produktschonend aufgetautes Fleisch entspricht qualitativ im großen und ganzen frischem Fleisch. Es sollte jedoch nach dem Auftauvorgang schonend behandelt und zur Vermeidung von Saftverlusten nicht übereinander gestapelt werden.

Wie nachgewiesen wurde, entstehen die meisten qualitätsmindernden Veränderungen während des Gefriervorganges. Auch während der Lagerung ist jedoch das Fleisch ebenso wie andere Lebensmittel gewissen qualitätsbeeinflussenden Veränderungen ausgesetzt. Diese Veränderungen können wie folgt eingeordnet werden:

1. Austrocknung und Entstehen von Gefrierbrand
2. Rekristallisation des Eises
3. Ranzigwerden des Fettes
4. Denaturierung der Proteine
5. Mißfärbungen

Rekristallisation des Eises

Während der Tiefkühlagerung verändern sich Größe und Anzahl der in der Ware enthaltenen Eiskristalle — es tritt eine Rekristallisation ein. Kleine Eiskristalle vermindern ihre Größe und große wachsen an. Eine Erklärung hierfür ist, daß der Dampfdruck über einem kleinen Kristall höher ist, als der über einem großen. Durch diese Druckdifferenz wachsen die größeren Kristalle zu Lasten der kleineren. Bei niedrigeren Lagertemperaturen verläuft dieser Vorgang wesentlich langsamer als bei höheren Temperaturen.

Schwankungen in der Lagerungstemperatur, und dies gilt insbesondere auch für die Temperaturen, denen die Ware während des Transportes und des Umschlages ausgesetzt ist, führen zu einem Anwachsen der größeren Eiskristalle. Bei steigender Temperatur schmelzen zunächst die kleinsten Kristalle ab, da ihr Schmelzpunkt niedriger liegt.

Bei erneuter Senkung der Temperatur friert das Wasser auf den größeren Kristallen fest. Gleichmäßige tiefe Lagerungstemperaturen sind also eine wesentliche Vorbedingung für die Erhaltung der Qualität, während sich Schwankungen verhängnisvoll auswirken können.

Beim Auftauen gefrorener Lebensmittel muß der Ware die gleiche Wärmemenge zugeführt werden, die beim Einfrieren abgeführt wurde. Das Auftauen nimmt mit gleichen Temperaturdifferenzen längere Zeit in Anspruch als das Einfrieren, da die Wärme durch bereits aufgetautes Fleisch geleitet werden muß, das ein schlechterer Wärmeleiter ist als gefrorenes Fleisch.

Wie eingangs erwähnt, muß Fleisch, das gefroren werden soll, erst solange gekühlt werden, daß rigor mortis eintreten kann. Geschieht dies nicht, wird der Saftverlust während des Tausens wesentlich erhöht. Die Ursache dafür ist, daß die Glykolyse bei Senkung der Temperatur abnimmt und bei -30°C praktisch aufhört. Der Teil des ATP, der nicht abgebaut war, als diese Temperatur erreicht wurde, bleibt während der ganzen Lagerungszeit liegen. Wenn dann die Temperatur während des Auftauens steigt, spaltet sich ATP schnell und ruft eine kräftige Kontraktion der Muskelfäden hervor. Das freiwerdende Wasser kann nicht in diese eindringen. Durch Kontraktion wird die Flüssigkeit aus dem Gewebe herausgedrückt. Nachdem man unter kommerziellen Verhältnissen heutzutage im allgemeinen mit Gefrierlagerungstemperaturen von ca. -30°C arbeitet, ist es wichtig, das Fleisch mindestens 24 h gekühlt aufzubewahren, ehe es eingefroren wird.

Das Ziel eines Auftauverfahrens für Gefrierfleisch muß sein, daß das aufgetaute Fleisch sich in seinen organoleptischen und technologischen Eigenschaften nicht wesentlich von vergleichbarem Frischfleisch unterscheidet, sachgerechtes Einfrieren und Gefrierlagern vorausgesetzt.

Durch den Auftauprozeß wird die weitgehende ausgefrorene intra- und extrazelluläre Gewebeflüssigkeit des Fleisches

mittels Zufuhr von Wärmeenergie wieder in den flüssigen Zustand übergeführt. Der Vorgang der Verflüssigung des Gewebswassers ist ohne großen technischen Aufwand durch Verbringen des Gefrierfleisches in Räumen mit Lufttemperaturen über dem Gefrierpunkt des Fleisches zu bewerkstelligen. Der Gefrierpunkt von Fleisch liegt bei $-1,5$ bis $-1,8^{\circ}\text{C}$.

Leider wird heute Gefrierfleisch überwiegend in Kühl- oder sonstigen Räumen aufgetaut, wofür etwa bei Schweinen in ganzen Körpern 5 - 6 Tage anzusetzen sind. Es liegt auf der Hand, daß diese Methode, in nicht temperatur- und feucht-regulierter Luft aufgetaut, erhebliche Nachteile mit sich bringt. Je länger die Auftauzeit, desto größer sind die Verluste. Der Qualitätsverlust wird im wesentlichen durch folgende Faktoren beeinflusst:

1. Gewichtsverlust durch Austrocknen der Oberfläche, da die relative Luftfeuchtigkeit max. 80 - 85 % beträgt
2. Die Oberfläche des Gefrierfleisches ist schon etwas ausgetrocknet, da infolge des Einfrierens und Tiefkühlens bereits eine gewisse unvermeidliche Wasserwanderung stattgefunden hat. Diese trockeneren Teile tauen zuerst auf. Mit Fortschreiten des Auftauens wandert ein Teil des freigewordenen Fleischsaftes in diese Schichten. Diese können den Fleischsaft nur zum Teil halten und so entstehen Saftverluste, die sich im Gewicht auswirken und auch im Verlust von wertvollem Fleischeiweiß.
3. Beim herkömmlichen Auftauverfahren fehlt es zumeist an einer exakten Gewichtskontrolle. So werden aus der Industrie Schwundziffern gemeldet, die zwischen 0,5 und 6% liegen. Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, darf man wohl davon ausgehen, daß das herkömmliche Auftauen zu Verlusten in der Größenordnung von 2,5 - 4 % des Gesamtgewichtes führt.
4. Während der Auftauzeit im herkömmlichen Verfahren erfolgt ein starkes Keimwachstum. Die Keimzahl erhöht sich noch während der anschließenden Weiterverarbeitung oder sonstigen Behandlung und kann zu einer Qualitätsbeeinträchtigung des Endproduktes führen. Der Keimzuwachs ansich ist auf getautem Gefrierfleisch weder schneller noch besser als auf kühlgelagertem Frischfleisch.

Die Art, wie aufgetaut wird, hat entscheidenden Einfluß auf die Qualität und das Aussehen des Fleisches. Das Auftauen ist ein langwieriger Prozeß, nicht frei von Problemen bezüglich der Zweckmäßigkeit der Durchführung des Auftauvorganges. Diese Probleme werden an den bisher üblichen Auftauverfahren angezeigt. Plank und Kallert empfehlen als Ergebnis umfangreicher Versuche, langsam aufzutauen. Beim langsamen Auftauen findet eine vollständige Resorption der ausgefrorenen Flüssigkeit statt, die Saftverluste sind geringer. Bei Schweinen wird empfohlen, bei ± 0 bis $+ 2^{\circ}\text{C}$ Lufttemperatur zu beginnen, langsam steigend auf $+ 10$ bis 12°C . Die relative Feuchte soll von 70 auf 90 % erhöht werden.

Vergleichbare Auftaumethoden von Gefrierfleisch sind:

1. Auftauen von Fleisch im Luftstrom unter klimatisch kontrollierten Bedingungen
2. Auftauen von Fleisch in fließendem Trinkwasser bei speziellen Temperaturen
3. Auftauen von Fleisch mittels Hochfrequenz

Auftauen im Luftstrom:

Für das in der Praxis noch vielfach übliche Auftauen unter nicht gesteuerten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen werden relativ lange Zeitspannen benötigt. Beispielsweise nimmt der Auftauvorgang von mittelschweren Rinderhintervierteln in Räumen mit $+ 20^{\circ}\text{C}$ 2,5 Tage, in Räumen

mit $+ 10^{\circ}\text{C}$ 3,5 Tage und in Kühlräumen mit $+ 2^{\circ}\text{C}$ 7 Tage in Anspruch.

Der Auftauprozeß ist als beendet anzusehen, wenn im Kern der Fleischstücke -1°C erreicht ist. Demgegenüber können durch gezielte Einwirkungen von hoher Luftfeuchte (95-98%) in Verbindung mit einer ausreichenden Luftbewegung (4 - 5 m/sec.) und entsprechenden Lufttemperaturen im Auftauraum die Zeiten augenfällig verkürzt werden.

Von der Firma Frigoropa Tiefkühlung GmbH Duisburg wurde zum ersten Mal ein sogenannter Auftautunnel installiert und für industrielle Belange getestet. Die Tierkörper werden im Tunnel frei aufgehängt, damit die Luft zwischen den Körpern zirkulieren kann. Unter Zuhilfenahme von Ventilatoren wird die Luft von oben nach unten an den Fleischvierteln entlang geblasen. Auf dem Rückweg wird die Luft von einem Sprayaggregat mit Wasserdampf befeuchtet, sowie nach einem vorausbestimmten Temperaturprogramm erwärmt oder gekühlt. Die relative Luftfeuchtigkeit soll während der ersten Phase, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der Oberfläche des Fleisches hoch ist, tiefgehalten werden (80 % rel. F. und $+ 6^{\circ}\text{C}$). Hierbei kann eine gewisse Kondensation auf der Fleischoberfläche nie vermieden werden, aber dank der hohen Luftgeschwindigkeit verschwindet diese verhältnismäßig schnell. Während der 2. Phase wird die Temperatur erhöht ($+ 12^{\circ}\text{C}$), während der 3. Phase wird die Temperatur gesenkt ($+ 8^{\circ}\text{C}$) und gleichzeitig die relative Feuchtigkeit erhöht (95 %). Ein gewisser Temperaturausgleich geschieht in dem fast aufgetauten Material. Durch Leitung fließt Wärme von der Oberfläche zum Kern, die Auftaugeschwindigkeit hängt maßgeblich von der Wärmeleitfähigkeit des Zellinhaltes ab, der nunmehr Wasser ist und nicht mehr Eis. Die Ware erreicht nach weniger als 30 Stunden eine Temperatur von $+ 5^{\circ}\text{C}$. Dies bedeutet also verglichen mit dem natürlichen Auftauen eine Verkürzung der Zeit von mehr als 40 %. Vorderviertel sind in der Regel unter diesen Bedingungen in 12 Stunden und kürzer aufgetaut.

Hinsichtlich der Gewichtsveränderungen des Fleisches haben die Ergebnisse im Auftautunnel gezeigt, daß bei hoher relativer Luftfeuchte Gewichtseinbußen nicht nur vermieden, sondern gegenüber dem Gewicht der Viertel im gefrorenen Zustand sogar geringe Gewichtszunahmen zwischen 0,4 - 0,9 % zu verzeichnen sind.

Vorderviertel haben dabei immer etwas höhere Gewichtszunahmen als Hinterviertel. Die Erklärung kann ganz einfach sein, daß durch eine gewisse Reabsorption im aufgetauten Fleisch an der Oberfläche dasjenige Wasser ersetzt wird, welches während der Gefrierlagerung durch Sublimationsvorgänge verloren ging. Dank der genauen Abwägung der Luftgeschwindigkeit und -feuchtigkeit im Auftautunnel wird die Oberfläche des Fleisches weder zu feucht noch zu trocken, sondern erhält fast das gleiche Aussehen wie frisches Fleisch.

Die im Auftauraum gewählten Temperaturen, sowie die hohen Werte für die Luftfeuchte, schaffen sicherlich günstige mikrobielle Vermehrungsbedingungen. Während des Auftauvorganges im Luftstrom wird anfangs eine Vermehrung der Psychrophilen und Mikrokokken, also der auch auf frischem Rindfleisch vorherrschenden Flora beobachtet. Nach Auftaubeginn liegen durchschnittlich Gesamtkeimzahlen von 10^5 pro cm^2 auf der Fleischoberfläche vor. Diese Keimzahlen steigen im Durchschnitt bis zur Beendigung des Auftauens bei einer Lufttemperatur von $+ 2 - 20^{\circ}\text{C}$ auf 10^7 pro cm^2 . Keine signifikante Vermehrung der Enterobacteriaceen war in der Regel bei Temperaturen von unter $+ 20^{\circ}\text{C}$ und tiefer innerhalb der Auftauperiode festzustellen (hygienische Be-

deutung, weil zu den vorgenannten Bakterien auch die Fleischvergifter der Salmonella-Gruppe zählen).

Gut bewährt hat sich das Absenken der Temperatur einige Stunden vor Beendigung der Auftauperiode auf eine Temperatur von ca. + 4° C. Gleichzeitig mit dieser Maßnahme wird die relative Luftfeuchte im Auftauraum leicht reduziert. Bei dieser Temperatur- und Feuchteführung laufen im Kern der Fleischstücke die noch notwendigen Auftauvorgänge praktisch ohne Verzögerung weiter. Auf der Fleischoberfläche tritt jedoch eine rasche Abtrocknung und Abkühlung mit deutlicher Hemmung der Keimvermehrung ein.

Als eine weitere Möglichkeit, das Keimwachstum auf den Fleischoberflächen zu hemmen, wird die Einwirkung von UV-Bestrahlung von Fleisch zulässig.

Die indirekte Bestrahlung wird mittels Deckenreflektoren Aluminium (Reflexion 16 %) erreicht. Nachteilige Veränderungen der Beschaffenheit des Fettes nach der indirekten UV-Einwirkung war nicht zu beobachten (richtige Wellenlänge, keine Ozonbildung).

Die Auftauzeit von knochenlosen Fleischballen (Stärke 20 - 25 cm) liegt nicht wesentlich hinter der für Rinderhinterviertel. Ohne Luftzirkulation und ohne gesteuerte Luftfeuchte sind bei + 8° C 4 Tage und bei + 2° C 7 Tage notwendig. Wendet man auch hier das Verfahren der kontrolliert gesteuerten Auftauung an, so werden bei Lufttemperaturen von + 12 - 14° C 30 Stunden bis zum vollständigen Auftauen gebraucht.

Überraschend hoch sind die Gewichtsverluste, die während des Auftauvorganges verzeichnet werden. Die Verlustziffern belaufen sich auf 4,5 - 12 % unmittelbar nach dem Auftauen und können sich nach 24-stündiger Zwischenlagerung bis auf über 15 % vergrößern. Diese Abtropfverluste spielen nicht nur wirtschaftlich, sondern auch ernährungsphysiologisch eine Rolle, denn Fleischsaft enthält ca. 10 % Eiweiß. Die hohen Verluste sind damit zu erklären, daß die Fleischoberflächen von boneless-beef zu einem großen Teil aus während des Entbeinens geschaffenen Muskelschnittstellen besteht. Im Gegensatz zu Rinderhintervierteln, deren nahezu unversehrter geweblicher Zusammenhang Saftaustritt weitgehend verhindert.

Diese durch Abtropfen bedingten Verluste lassen sich auch durch Auftauen in gesättigter Wasserdampf-atmosphäre nicht wesentlich vermindern.

Knochenloses Fleisch kann für die überwiegende Zahl der Fleischerzeugnisse im gefrorenen Zustand verarbeitet werden. Dadurch wäre einerseits die auftaubedingten Tropfverluste zu vermeiden, Zum andern lassen sich durch Verwendung von gefrorenem Fleisch anstelle von aufgetautem bei einer Reihe von Fleischwaren bedeutende Qualitätsverbesserungen erzielen. Für die Herstellung von Rohwurst ist es beispielsweise technologisch von Vorteil, das Ausgangsmaterial gefroren zu verarbeiten. Auch für die Brühwurstherstellung ist gefrorenes Rindfleisch dem aufgetauten Material überlegen. Brühwurstbrät aus gefrorenem Rindfleisch kann bis zum Erreichen der kritischen Brättemperatur intensiver gekuttert werden und hat demzufolge bessere wasserbindende und fettemulgierende Eigenschaften.

Auftauen in fließendem temperierten Wasser:

In den letzten Jahren ist das Auftauen von Gefrierfleisch durch Einlegen in Wasser bekanntgeworden. Nach dieser Methode werden sowohl Tierviertel als auch kleinere Fleischstücke aufgetaut. Zwei Gesichtspunkte ließen die Anwendung von Wasser als Auftaumedium geeignet erscheinen:

1. Muß der Auftauprozeß mit Wasser gegenüber einem hinsichtlich der Temperatur vergleichbaren Auftauen an der Luft rascher beendet sein, da Wasser ca. viermal höheres Wärmeübertragungsvermögen als Luft besitzt;
2. Sind bei einem direkten Kontakt mit dem Wasser keine Verdunstungsverluste des Gefrierfleisches während des Auftauvorganges möglich.

Diese Überlegungen wurden von Sinell und Krause experimentell bestätigt. Dabei wurde Gefrierfleisch in erwärmtes, umgewälztes Wasser eingelegt. Die Rinderhinterviertel mit einer Kerntemperatur von -16° C benötigten in + 20° C Wasser ca. 9 Stunden und in + 45° C Wasser ca. 5 Stunden. In Jugoslawien durchgeführte Experimente ergaben für gefrorene Hinterviertel, die in schwach fließendes Wasser von + 16° C verbracht wurden, durchschnittliche Auftauzeiten von ca. 24 - 30 Stunden. Nach Beendigung des Auftauvorganges wurde eine durchschnittliche Gewichtszunahme bei Hintervierteln von 2,87 % und bei Vordervierteln von 3,76 % im Schnitt ermittelt.

In der Schweiz wurde bereits 1965 ein Patent über "Verfahren zur Qualitätsverbesserung von Gefrierfleisch" angemeldet. In diesem Verfahren werden Edelteile (Import aus Südamerika) vom Rind in fließendem Wasser von + 8 - 15° C während einer Zeit von 12 - 14 Stunden einem Auftauprozeß unterworfen und anschließend während 24 - 48 Std. in einem Kühlraum bei ± 0° C gelagert. Dann erst entbeint, beschnitten und anschließend vakuumverpackt für eine Nachreifung bei einer Temperatur von ± 0 bis 2° C.

Interessanterweise hat dieses Verfahren gezeigt, was nicht ohne weiteres anzunehmen war, daß die optimale Wassertemperatur zur Auftauung von Gefrierfleisch bei + 14 - 15° C liegt. Liegt die Auftaupemperatur höher als + 16° C, so wird das Fett schwammig und sehr leicht ranzig, aber auch bei einem langsamen Auftauen von beispielsweise ± 0° C verlor das Fett seine Kernigkeit.

In der Praxis ist es üblich, Rinderhinterviertel bereits dann aus dem Auftauraum zu nehmen, wenn im Kern der Fleischstücke noch in geringer Menge gefrorene Gewebeabschnitte vorhanden sind. Dieses Fleisch taut auf dem Transport in den Zerlegeraum oder während der Zerlegetätigkeit vollständig auf. Dadurch gewinnt man Zeit (30 %) und behält vor allem, bedingt durch die noch gefrorenen Fleischpartien im Kern, eine gewisse Kältereserve.

Im Vergleich zu dem Gewicht des gefrorenen Fleisches sind nach beendetem Auftauprozeß im gesteuerten Luftstrom vielfach geringe Gewichtseinbußen festzustellen. Demgegenüber erbringt das Auftauen im fließenden Wasser immer Gewichtszunahmen, bedingt durch die Aufnahme gewisser Mengen Fremdwassers an der Fleischoberfläche bis zu einer Tiefe von 3 - 6 mm.

Sie beträgt im Mittel 3 - 4 %. Es ist allerdings notwendig, die feuchten Fleischoberflächen des aufgetauten Fleisches sofort nach beendetem Auftauvorgang abzutrocknen, um ein Schmierigwerden durch zu intensives Keimwachstum zu vermeiden. Dies geschieht durch bewegende Luft, einer relativen Feuchte von 70 - 80 % und einer Temperatur von max. + 2° C. Die Gewichtszunahmen werden nach der Abtrocknung nochmals um ca. 0,8 bis 1,7 % deutlich herabgesetzt.

Die Keimzahlen liegen bei Rinderhälften bzw. -vierteln unter Verwendung von Wasser durchgeführten Auftaumethoden geringfügig höher, verglichen mit den unter kontrolliertem Luftstrom mit indirekter UV-Bestrahlung aufgetauten Tierkörpern.

Bestimmungen des pH-Wertverlaufes sowie des locker gebundenen Wassers in dem mit Wasser aufgetautem Fleisch ergeben insgesamt gesehen keine Unterschiede zu entsprechendem Fleisch, das in klimatisiertem, kontrolliertem Luftstrom von + 10 - 14° C aufgetaut wird.

Allerdings erscheinen frische Schnittflächen von Fleisch, das in fließendem Wasser aufgetaut wurde, unmittelbar nach dem Auftauen vermehrt wässrig, wobei aber nach der Abtrocknung im Kühlraum sich die Fleischfasern zum größten Teil wieder verfestigen. Um Wertminderungen durch Auslaugen von Protein, wasserlöslichen Vitaminen und anderen Inhaltsstoffen zu vermeiden, sollte in jedem Falle erst nach Beendigung des Auf- und Abtrocknungsverfahrens das Fleisch beschnitten, entbeint und standardisiert werden.

Der überraschend hohe Oberflächenkeimgehalt nach Heinz durch Einlegen in Wasser aufgetautem Fleisch kann in Verbindung mit den noch verhältnismäßig langen Auftauzeiten (1,5 - 2 Tage) auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

1. Der Wasserkontakt hat ein äußerst schnelles Auftauen der oberflächlichen Fleischschichten zur Folge. Der Auftauvorgang war in 4 - 6 Stunden bis zu einer Tiefe von 3 cm fortgeschritten. Der gleiche Effekt ist bei Auftauen im gesteuerten Luftstrom oftmals erst nach ca. 24 - 30 Stunden erreicht. Die frühzeitig vorhandene relativ hohe Oberflächentemperatur des mit Wasser aufgetauten Fleisches läßt daher die Keimvermehrung insbesondere die sogenannte Lag-Phase früher und schneller anlaufen.
2. Durch das Auftauen mit Wasser werden nasse Oberflächen geschaffen und hinsichtlich der Wasseraktivität liegen günstige Voraussetzungen vor.

In einigen Fällen in der Praxis wird obiges Verfahren modifiziert. Anstelle des Einlegens des Fleisches in fließendes Wasser wird der Auftauvorgang, vorwiegend bei Rinderhälften bzw. -vierteln hängend, durch Besprühung mit temperiertem Wasser praktiziert. Wie in der Patentanmeldung der Firma Reinert, Loxten, offengelegt, kann das Besprühen im Intervall erfolgen oder abwechselnd wird Gefrierfleischware hängend durch Zonen vorgewärmter bewegter Luft und Sprühzonen hindurchtransportiert. Der Nachteil des Auswaschens von Hämoglobin an der Fleischoberfläche kann durch entsprechende Zusätze von Genußsäuren und CO₂-Anreicherung des Wassers weitgehend ausgeglichen werden. Ein Vorteil gegenüber dem Auftauen durch Einlegen in Wasser liegt in dem erheblich niedrigeren Kostenaufwand, bedingt durch den kleineren Wasserverbrauch und den einfachen billigen technischen Installationen.

Auftauen von Fleisch mittels Hochfrequenz:

Ein sehr wirtschaftliches und hygienisches Auftauverfahren ist die dielektrische oder kapazitive Erwärmung im hochfrequenten Kondensatorfeld.

Beim Hochfrequenztauen reduziert sich die Tauzeit je nach Stärke und Struktur des Fleisches von Tagen auf 2 - 3 Stunden. Beim dielektrischen Auftauen erfolgt die Wärmezufuhr nicht von außen nach innen, sondern entsteht gleichzeitig im gesamten Gefriergut, bedingt durch Molekularbewegung, die sofort in Wärme umgewandelt wird. Die Firma BBC hat die Entwicklung der industriellen Anwendung dieses Verfahrens Ende der 50-iger Jahre begonnen und ebenso wie viele andere Firmen, bis heute vervollkommen können. Bei der

Hochfrequenzerwärmung wird von dem bisher gültigen Prinzip der Wärmeleitung abgegangen. Im einfachsten Falle wird das aufzutauende Gut zwischen drei Metallelektroden gelegt, die mit einer hochfrequenten Spannung gespeist werden. Hierbei ist es nicht erforderlich, daß das Fleisch mit den Elektroden in Berührung kommt. Für die Erzeugung der Frequenz und Spannung dient ein Kondensator, der mit normaler Netzspannung betrieben wird. Die ankommende Netzspannung wird an einen Transformator angeschlossen, hochgespannt und in Gleichstrom umgeformt. Dieser Gleichstrom geht über eine Oszilatorenröhre, die mit einem Schwingkreis zusammenschaltet ist. In diesem Aggregat wird der Gleichstrom in hochfrequenten Strom umgeformt, d.h. es wird ein Hochfrequenzfeld zwischen den beiden Elektroden aufgebaut, indem die Polarität 13,6 millionenmal in der Sek. wechselt.

Oftmals wird die Ansicht vertreten, daß bei der HF-Erwärmung der Vorgang von innen nach außen verläuft. Dies ist physikalisch nicht zu begründen. Vorausgesetzt, daß die Eindringtiefe des Feldes überhaupt ausreichend ist, wird theoretisch an allen Punkten eine gleichmäßige Erwärmung im selben Zeitpunkt auftreten. Daraus ist zu ersehen, daß die Eindringtiefe gerade bei Stoffen, die sich für HF-Erwärmung eignen, andererseits verhältnismäßig ungünstig liegen. Dementsprechend sind die Frequenzen im Laufe der Zeit immer höher gesetzt worden. Um einen Anhaltswert zu geben, sei erwähnt, daß die Eindringtiefe bei Fleisch max. bei etwa 20 cm liegt.

Fleisch ist kein homogenes Material, es besteht aus Muskelgewebe, Knochen, Sehnen, Fett und Drüsen, deren Erwärmungseigenschaften im Hochfrequenzfeld sehr verschieden sind. An einigen Stellen ist der Erwärmungsvorgang bereits zu weit fortgeschritten, aber an anderen noch nicht ausreichend. Dieser Mangel tritt dann am stärksten auf, wenn der Erwärmungsvorgang in sehr kurzen Zeiten abläuft, weil dann kein Ausgleich zwischen den Partien erfolgt. Speck- und Fettteile besitzen eine weitaus höhere Leistungsaufnahme als Magerfleisch, das zu Fettausschmelzen führt, wenn während des Tautvorganges kurze Zeitspannen vorliegen und der Ausgleich durch Wärmeleitung zwischen Fett und Fleisch nicht eintreten kann. Es ist deshalb erforderlich, verhältnismäßig lange Auftauzeiten anzuwenden.

In der Praxis werden in der Regel Fleischblöcke von 20 - 30 kg Gewicht ohne Knochen, mit mehr oder weniger hohem Fettgehalt, in besonders günstigen Abmessungen in der Zeit von 60 - 90 Minuten aufgetaut bis zu einer Kerntemperatur von -2 bis -5° C. Der Saftverlust liegt bei schockgefrorenem Fleisch unter 1/2 %. Bei sehr fettem knochenlosen Rind- oder Schweinefleisch arbeitet man wegen des besseren Temperaturausgleiches mit etwas weniger Leistung, aber dafür etwas längerer Zeit.

Rentabilitätsrechnungen haben ergeben, daß sich der Einsatz einer Hochfrequenzauftauanlage auch schon für mittlere Fleischwarenbetriebe lohnt, bedingt durch

- Hohe Zeiteinsparung
- Sehr geringer Saftverlust
- Keine Erhöhung der Oberflächenkeimzahl
- Platzersparnis
- Gute hygienische Voraussetzungen