Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 80 (1962)
Heft: 39

Artikel: Das Gefrieren von Lebensmitteln
Autor: Emblik, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66236

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Das Gefrieren von Lebensmitteln

DK 664.8.037

Von PD Dr. **E. Emblik**, Winterthur [1])

Es ist schon seit langem bekannt, dass man Lebensmittel durch Gefrieren längere Zeit aufbewahren kann, jedoch hat dieses Gebiet der Kälteanwendung erst seit dem zweiten Weltkrieg einen wirtschaftlich bedeutenden Aufschwung erlebt. Was die Methoden des Gefrierens und Lagerns sowie die theoretische Klärung der dabei auftretenden Erscheinungen anbelangt, so hat sich hier im Laufe der Jahre einiges geändert, weshalb die nachfolgenden Betrachtungen angebracht sein dürften.

1. Wann sollen Lebensmittel gefroren werden?

Bei normaler Umgebungstemperatur erleiden die Lebensmittel chemische, physikalische und mikrobiologische Veränderungen, wodurch sie rasch verderben, d. h. für den menschlichen Genuss untauglich werden. Je tiefer die Temperatur ist, bei welcher die Lagerung erfolgt, desto langsamer verlaufen diese Veränderungen, und umso länger bleiben die Lebensmittel genussfähig. Man kann aber die Temperatur nicht beliebig senken, ohne dass sich der Aggregatzustand ändert: unterhalb einer gewissen Temperatur beginnt der Gefrierprozess. Da eine Kühllagerung oberhalb des Gefrierpunktes nur für verhältnismässig kurze Lagerzeiten anwendbar ist, muss man also, um länger lagern zu können, die Lebensmittel gefrieren.

Es gibt bis heute noch kein anderes Konservierungsverfahren, bei welchem die Lebensmittel ihren natürlichen Frischezustand so weitgehend beibehalten wie bei der Konservierung durch Kälte. Das hat seinen Grund vielleicht auch darin, dass dem Produkt bei der Kühlung eine gewisse Menge Energie entzogen wird im Gegensatz zu Verfahren, bei denen man chemische oder Strahlungsenergie zuführt. Vor allem ist hervorzuheben, dass den Lebensmitteln bei der Haltbarmachung durch Kälte keinerlei Chemikalien zugesetzt werden. Es handelt sich also hier um ein rein natürliches Verfahren, weshalb man oft von einer Frischhaltung der Lebensmittel spricht.

Trägt man die Qualität eines Lebensmittels über der Zeit auf, so ergibt sich der in Bild 1 dargestellte grundsätzliche Verlauf. Eine Qualität von 100 % entspricht der vollkommen frischen Ware im Zeitpunkt Null, d. h. unmittelbar nach der Ernte oder der Herstellung des Lebensmittels. Je höher die Temperatur ist, um so rascher fällt die Qualität ab. Als Massstab kann eine Bewertung nach Noten durch geübte Prüfer gewählt werden, beispielsweise nach dem Karlsruher Schema [1] [2]).

Durch Kühlung unter die normale Umgebungstemperatur lässt sich die Qualitätsabnahme verlangsamen. Von dem Augenblick an, wo das Produkt gefroren wird, verläuft die Kurve der Qualitätsabnahme ganz flach.

Wenn man die Temperatur genügend tief wählen und gleichzeitig dafür sorgen würde, dass keine Austrocknung und Oxydation stattfinden, könnte man die gefrorenen Lebensmittel unbegrenzt lange Zeit lagern [2]; dies würde einem horizontalen Verlauf der Qualitätskurve entsprechen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden jedoch Lagertemperaturen von —25° bis —30° C heute nur in Ausnahmefällen unterschritten.

Dass man oft von tiefgekühlten Lebensmitteln anstatt von gefrorenen spricht, beruht auf einem alten Vorurteil gegen die letztgenannten, das durch die vor etwa 40 Jahren angewendete mangelhafte Technologie des Gefrierens und der Lagerung veranlasst wurde. Infolgedessen war besonders beim Fleisch nach dem Auftauen ein grosser Saftverlust zu beklagen, während das Fleisch selbst nach der Zubereitung strohig und faserig wurde. Heute ist dieses Vorurteil unbegründet, jedoch scheint sich die Bezeichnung «tiefgekühlt» bereits in weiten Kreisen eingebürgert zu haben. Vielleicht wäre es angebracht, mit «Gefrieren» die Abkühlung von der Umgebungstemperatur bis auf die Temperatur zu bezeichnen, bei welchem der Gefrierprozess abgeschlossen ist, während unter «Tiefkühlung» die Lagerung nach Abschluss des Gefriervorganges verstanden werden soll. Bei der Tiefkühlung wird nichts mehr gefroren, sondern nur noch die Temperatur auf einem tiefen Niveau gehalten. Dementsprechend wäre eine Unterscheidung zwischen Gefrierraum und Tiefkühlraum möglich: im Gefrierraum wird die Ware gefroren, im Tiefkühlraum nur noch bei der tiefen Temperatur gelagert, die für eine lange Lagerzeit erforderlich ist. Ob man dann von gefrorenen oder tiefgekühlten Lebensmitteln spricht, bleibt sich gleich; im ersten Falle hebt man die Temperatursenkung, also das Gefrieren hervor, während die zweite Bezeichnung auf die Lagerung bei tiefer Temperatur hinweist.

2. Bedeutung und Entwicklung des Gefrierens

Gemäss statistischer Angaben werden heute in Europa fast 85 % aller künstlich erzeugten Kälte für das Kühlen und Gefrieren von Lebensmitteln angewendet, wobei der Anteil der gefrorenen Lebensmittel immer grösser wird.

Der Jahresverbrauch von Gefrierkonserven, wie die schnell gefrorenen, verpackten Lebensmittel genannt werden, betrug in USA im Jahre 1958 etwa 28 kg je Einwohner [3]. In Europa ist der Verbrauch an Gefrierkonserven, bzw. Tiefkühlkonserven noch wesentlich geringer: er beträgt in Schweden etwa 3 kg, in Westdeutschland knapp 1 kg pro Einwohner und Jahr, jedoch geht auch hier die Entwicklung rasch weiter, wie aus Bild 2 hervorgeht.

Fische sind in ungefrorenem Zustand ausserordentlich empfindlich und können deshalb nicht ohne merkliche Qualitätseinbusse transportiert werden. Erst durch die Anwendung des Gefrierens hat sich für die fischreichen Länder

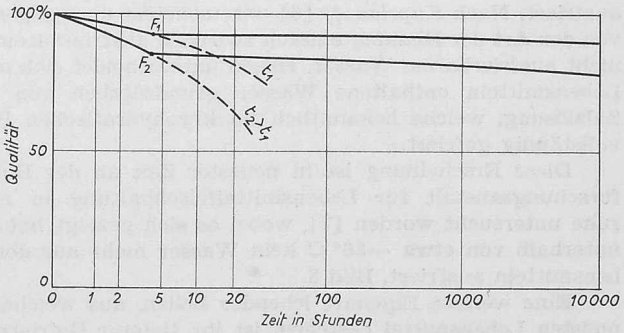


Bild 1. Prinzipieller Verlauf der Qualität eines schnellverderblichen Lebensmittels in Abhängigkeit von der Zeit. Bei der höheren Temperatur t_2 nimmt die Qualität rascher ab als bei der tieferen Temperatur t_1. Vom Augenblick des Gefrierens an (Punkt F_1 bzw. F_2) bleibt die Qualität angenähert konstant. Auf der Abszisse ist die Zeit τ im logarithmischen Masstab eingetragen, jedoch nicht als $\lg \tau$, sondern als $\lg (\tau + 1)$. Hierdurch lässt sich auch der Punkt $\tau = 0$ wiedergeben, was bei logarithmischem Masstab nicht möglich wäre.

[1]) Erweiterte Fassung der Antrittsvorlesung, gehalten an der ETH in Zürich am 14. Januar 1961.

[2]) Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

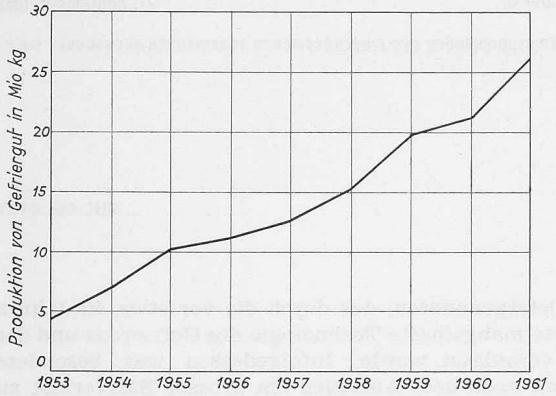


Bild 2 (links). Jahresproduktion von Gefrierkonserven in Schweden

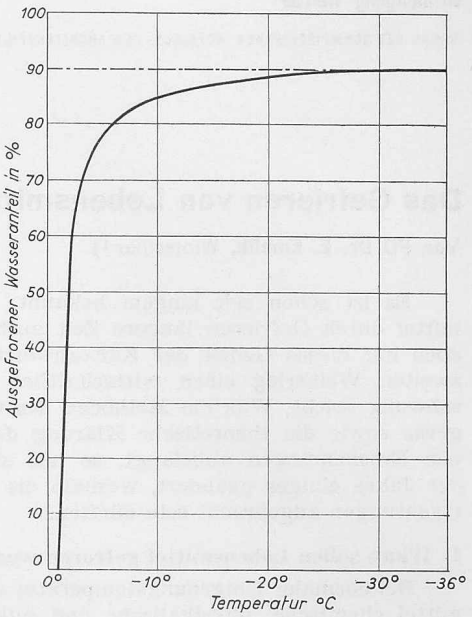


Bild 3. (rechts). Ausgefrorener Anteil des Wassergehaltes von Lebensmitteln in Abhängigkeit von der Temperatur (nach Riedel)

eine ausgedehnte Möglichkeit für den Export ihrer Produkte ergeben. So werden beispielsweise in Island jährlich 60 000 t gefrorene Fischfilets hergestellt und exportiert. Die Gefrierindustrie ist dort zur Hauptindustrie des Landes geworden, und ihr Export macht 35 % des gesamten Exportes aus. In Nord-Norwegen ist ebenfalls eine Produktion gefrorener Fischfilets in grossem Masstab entstanden [4]; dort liegen die Fanggebiete günstigerweise nicht weit von der Küste. Auch in Japan zeigt die Gefrierindustrie einen starken Aufschwung.

Gemüse wird heute in grossen Mengen zu Gefrierkonserven verarbeitet. So wurden beispielsweise in Schweden im Jahre 1960 etwa 80 % der gesamten Ernte an Erbsen eingefroren. Amerikanische Nationalökonomen prophezeien eine ständige Zunahme des Verbrauches gefrorener Lebensmittel auf Kosten der nicht gefrorenen [5].

3. Das Wesen des Gefrierprozesses

Alle Lebensmittel enthalten Wasser, teils als molekulare Lösung von Mineralsalzen und Zucker, teils als kolloidale Lösung von Eiweisstoffen. So enthält beispielsweise mageres Fleisch etwa 75 %, Obst und Gemüse etwa 80 bis 90 % Wasser.

Kühlt man Lebensmittel ab, so beginnt sich bei einer bestimmten Temperatur das Wasser in Form von Eis auszuscheiden. Diese Temperatur wird als Gefrierpunkt bezeichnet und liegt bei den meisten Lebensmitteln bei etwa —1° C.

Beim weiteren Wärmeentzug bleibt jedoch die Temperatur nicht konstant, wie es beispielsweise bei reinem Wasser der Fall ist. Sobald sich nämlich Wasser aus der Lösung in Form von Eiskristallen auszuscheiden beginnt, wird die restliche Lösung konzentrierter und ihr Gefrierpunkt sinkt. Das in den Lebensmitteln enthaltene Wasser beginnt somit zwar bei der Temperatur des Gefrierpunktes auszufrieren, jedoch sind für das Ausfrieren weiterer Wassermengen immer tiefere Temperaturen erforderlich. Ein Teil des Wassergehaltes, nämlich etwa 10 %, ist jedoch so fest an die Trockensubstanz gebunden, dass er auch nicht bei den tiefsten Temperaturen ausfriert. Nach *Kuprianoff* [6] unterscheidet man abgesehen von der Art der Bindung einfach zwischen ausfrierbarem und nicht ausfrierbarem Wasser. Hierin unterscheidet sich das in Lebensmitteln enthaltene Wasser grundsätzlich von einer Salzlösung, welche bekanntlich im kryohydratischen Punkt vollständig gefriert.

Diese Erscheinung ist in neuester Zeit an der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung in Karlsruhe untersucht worden [7], wobei es sich gezeigt hat, dass unterhalb von etwa —36° C kein Wasser mehr aus den Lebensmitteln ausfriert, Bild 3.

Eine weitere Eigenart lebender Zellen, aus welchen die meisten Lebensmittel bestehen, ist ihr tieferer Gefrierpunkt gegenüber toten Zellen gleicher Art oder dem aus den Zellen herausgepressten Saft. Der Schweizer Forscher, Prof. *Müller-Thurgau*, hat bereits vor mehr als 70 Jahren festgestellt, dass zum Beispiel lebende Kartoffelknollen einen Gefrierpunkt von —1°C aufweisen, während der aus den Knollen herausgepresste Zellsaft bereits bei —0,55° C gefriert [8]. Für diese Erscheinung hat man bis heute noch keine befriedigende Erklärung gefunden.

Betrachtet man den Abkühlvorgang im allgemeinen, so muss zunächst festgestellt werden, dass eine gleichmässige Senkung der Temperatur in der gesamten Masse des abzukühlenden Gutes, etwa analog der Erwärmung durch hochfrequenten Wechselstrom, unmöglich ist, und zwar wegen dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Es muss nämlich immer ein Medium mit tieferer Temperatur mit dem abzukühlenden oder zu gefrierenden Körper in Kontakt gebracht werden, wobei dann die Wärme vom Körper mit der höheren auf denjenigen mit der tieferen Temperatur übergeht. Genau genommen findet der Wärmeübergang immer von der Oberfläche des abzukühlenden Körpers auf das kühlende Medium statt. Als solches können kalte Luft, eine kalte Flüssigkeit oder gekühlte Metallplatten dienen.

Der Gefriervorgang beginnt somit stets an der gekühlten Oberfläche des zu gefrierenden Gutes und schreitet nach innen fort. Im weiteren Verlauf des Gefrierprozesses dringt die Grenzfläche zwischen gefrorenem und ungefrorenem Gut von der Oberfläche immer weiter ins Innere vor.

4. Die Gefriergeschwindigkeit

Als Beispiel sei der Gefriervorgang an einem zweiseitig gekühlten flachen Körper betrachtet, Bild 4. Im Zeitelement $d\tau$ wird von der Grenzfläche zwischen gefrorenem und ungefrorenem Gut die Wärmemenge dQ abgeführt, wobei

$$dQ = k\,F\,(t_g - t_u)\,d\tau$$

Hier bedeuten:

k	die Wärmedurchgangszahl von der Grenzfläche an die Umgebung in kcal/m²h °C
F	die wärmeabgebende Oberfläche in m²
t_g	die Temperatur an der Grenzfläche in °C
t_u	die Temperatur der kühlenden Umgebung in °C

Für die Wärmedurchgangszahl k gilt folgende Gleichung:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_g}$$

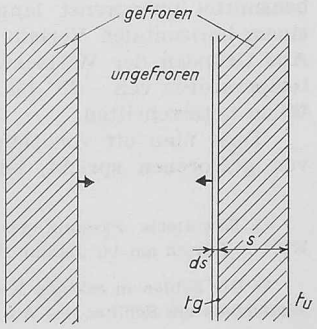


Bild 4. Gefriervorgang an einem flachen Körper bei zweiseitiger Abkühlung. Die Gefrierfronten dringen von den rechts und links aussen befindlichen gekühlten Oberflächen nach der Mitte vor

wobei

α die Wärmeübergangszahl zwischen Gutsoberfläche und umgebendem Stoff in kcal/m² °C

α_g die Wärmeübergangszahl zwischen ungefrorenem und gefrorenem Gut in kcal/m²h °C

s die Dicke der bereits gefrorenen Schicht in m

λ die Wärmeleitzahl der gefrorenen Schicht in kcal/mh °C

bezeichnen. Die Wärmeübergangszahl α_g ist im Vergleich zu α so gross, dass ihr reziproker Wert in obiger Gleichung vernachlässigt werden kann [9]. Somit wird angenähert

$$\frac{1}{k} \cong \frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda}$$

Im gleichen Zeitelement $d\tau$ gefriert die elementare Schichtdicke ds, wobei folgende Wärmemenge abgeführt wird:

$$dQ = r\,F\,ds$$

Hier bedeutet r die Gefrierwärme in kcal/kg.
Nach Gleichsetzen der beiden Wärmemengen dQ erhält man für die Gefriergeschwindigkeit

$$w = \frac{ds}{d\tau} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s}{\lambda}} \; \frac{t_g - t_u}{r}$$

Je grösser die Wärmeübergangszahl und je kleiner die Schichtdicke, um so höher ist die Gefriergeschwindigkeit; diese ist natürlich auch um so höher, je grösser die Temperaturdifferenz, also je tiefer die Temperatur des kalten umgebenden Mediums ist.

An der Oberfläche selbst ist $s = 0$ und demnach herrscht dort die Gefriergeschwindigkeit

$$w = \frac{\alpha}{r}\,(t_g - t_u)$$

Somit ist die Gefriergeschwindigkeit an der Oberfläche unabhängig von der Dicke und Wärmeleitzahl des zu gefrierenden Körpers, sowie unabhängig von der geometrischen Form desselben.

Mit fortschreitendem Vordringen der Gefrierfront muss die im Gut noch enthaltene Wärme immer dickere gefrorene Schichten durchdringen, weshalb die Gefriergeschwindigkeit nach der Mitte hin stetig abnimmt. Der Gefriervorgang kann als beendet angesehen werden, sobald sich die von beiden Seiten vordringenden Gefrierfronten treffen.

Die mittlere Gefriergeschwindigkeit ergibt sich einfach als Quotient aus der halben Dicke des zu gefrierenden flachen Körpers und der Gefrierdauer. Zur Charakterisierung des Gefriervorganges hat *Plank* [10] folgende Einteilung der mittleren Gefriergeschwindigkeit vorgeschlagen:

Mittlere Gefriergeschwind.	Bezeichnung des Prozesses
0,1 bis 1 cm/h	langsames Gefrieren
1 bis 5 cm/h	mittelschnelles Gefrieren
5 bis 20 cm/h	schnelles Gefrieren

Diese Gruppierung hat allgemeine Anerkennung gefunden, weil sie eine einfache Beurteilung des Gefrierprozesses ermöglicht.

Die Berechnung der Gefriergeschwindigkeit ist bei Lebensmitteln infolge ihrer komplizierten geometrischen Form sehr schwierig und lässt sich nur unter vereinfachenden Annahmen ausführen. Gleichungen für die Berechnung der Gefrierdauer für runde und blockförmige Körper sind von *Plank* [7] aufgestellt worden.

In den vorhergehenden Betrachtungen galt der Gefriervorgang beim Zusammentreffen der Gefrierfronten als beendet. Tatsächlich ist aber noch eine Nachkühlung auf eine tiefere Temperatur als diejenige des Gefrierpunktes erforderlich, wodurch sich die Gefrierzeit verlängert. Ausserdem sind die zu gefrierenden Lebensmittel vorher noch auf ihren Gefrierpunkt abzukühlen, was eine weitere Verlängerung der Gefrierdauer bedingt.

5. Veränderungen der Lebensmittel beim langsamen Gefrieren

Als Folge der Gefrierbehandlung treten in den Lebensmitteln gewisse Veränderungen auf, wobei ein enger Zusammenhang zwischen den Veränderungen beim Gefrieren, Lagern und Auftauen besteht. Für das Endresultat ist immer die Summe aller Veränderungen massgebend, wobei die Aufgabe der Technologie darin besteht, diese Summe so klein wie irgend möglich zu halten und dafür zu sorgen, dass die Veränderungen möglichst weitgehend umkehrbar sind, d. h. sie müssen nach dem Wiederauftauen so wenig wie möglich feststellbar sein.

Die beim Gefrieren auftretenden Veränderungen hängen von der Gefriergeschwindigkeit ab [11], [12]. Beim langsamen Gefrieren von Fleisch beispielsweise bilden sich zunächst Eiskristalle im Bindegewebe zwischen den Muskelfasern, weil dort der Gefrierpunkt infolge geringerer Konzentration an gelösten Stoffen höher liegt. Eine Besonderheit der Zellstruktur der Lebensmittel besteht darin, dass sich die Kristallbildung bei weiterer Abkühlung nicht in die Zellen hinein fortsetzt. Vielmehr beginnt das in den Zellen befindliche Wasser durch die Zellwände hindurch in die Zwischenräume zu diffundieren, weil bei gleicher Temperatur der Dampfdruck über den Eiskristallen niedriger ist als über der ungefrorenen Lösung in den Zellen. Die Zellwände sind zwar durchlässig für Wasser, aber nicht für den Kristallisationsvorgang. Die Folge davon ist ein Anwachsen der bereits vorhandenen Eiskristalle in den Zwischenräumen.

Beim Auftauen von auf diese Weise langsam gefrorenem Fleisch schmilzt dann das Eis, welches sich zwischen den Zellen angesammelt hat und ergibt einen hohen Saftverlust, da nicht mehr das gesamte Schmelzwasser von den Zellen resorbiert wird.

Darüber, ob beim langsamen Gefrieren eine direkte Beschädigung der Zellen infolge der Volumenausdehnung des Wassers beim Gefrieren, oder durch die scharfkantigen Kristalle eintritt, gehen die Meinungen der Forscher noch auseinander. Die Ursache liegt einerseits darin, dass man bei der mikroskopischen Untersuchung der aufgetauten Proben nicht hat unterscheiden können, ob die gelegentlich beobachteten Zerstörungen beim Gefrieren oder beim Auftauen erfolgt waren [13]. Anderseits dürfte es auch von einer gewissen Bedeutung sein, ob die Abkühlung der Proben beim Gefrieren parallel oder senkrecht zu den Fasern des untersuchten Zellgewebes vor sich ging.

Ausserdem ist noch folgendes zu beachten. Beim Gefrieren wird das Gut, wie bereits erwähnt, immer von aussen nach innen abgekühlt, so dass während des Gefriervorganges ein Temperaturgefälle von innen nach aussen entsteht. Diesem entspricht aber auch ein Dampfdruckgefälle, welches wiederum eine Feuchtigkeitswanderung im Gefriergut von innen nach aussen zur Folge hat. Infolgedessen tritt, ähnlich wie beim Eindringen des Frostes in den Erdboden, eine Eislinsenbildung [14] auf, die stark zerstörend wirken kann. Auch wenn die Gefrierzeit bei Lebensmitteln wesentlich kürzer ist als die für das Eindringen des Frostes in den Erdboden zur Verfügung stehende Zeit, so sind bei Lebensmitteln die Entfernungen viel kleiner, die der diffundierende Wasserdampf zurücklegen muss.

6. Das Schnellgefrieren von Lebensmitteln

Beim schnellen Gefrieren, also bei entsprechend rascher Temperatursenkung des Gutes, wird die Flüssigkeit in den Zellen stark unterkühlt, und es beginnt eine spontane Kristallbildung innerhalb der Zellen. Je höher die Gefriergeschwindigkeit ist, um so kleiner sind die im Gefriergut gebildeten Eiskristalle und um so gleichmässiger ist das Gefüge des gefrorenen Produktes. Infolge der kurzen Gefrierzeit hat das Wasser keine Zeit, aus den Zellen hinauszudiffundieren, so dass nach dem Auftauen auch kein Saftverlust stattfindet. Das schnelle Gefrieren ergibt somit eine gute Umkehrbarkeit der Gefrierveränderungen.

Wie weiter oben dargelegt, ist die Gefriergeschwindigkeit an der Oberfläche am grössten und nimmt gegen die Mitte der zu gefrierenden Stücke ab. Um eine hohe Gefriergeschwindigkeit zu erreichen, darf man also keine zu dicken

Stücke gefrieren, sondern muss diese vor dem Gefrieren aufteilen.

Bei extrem hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten, nämlich einige hundert Grad pro Sekunde, wie sie sich beispielsweise beim Gefrieren einzelliger Lebewesen durch Eintauchen in flüssige Luft erzielen lassen, findet überhaupt keine Kristallbildung mehr statt: die Flüssigkeit erstarrt zu einem glasartigen Gebilde [15]. Diese Erscheinung wird als Vitrifikation bezeichnet. Beim Wiedererwärmen eines vitrifizierten Tropfens beginnt dann oberhalb einer Grenztemperatur, die bei etwa —130° C liegt, die Kristallbildung, die erst beim endgültigen Auftauen verschwindet.

7. Das kritische Temperaturgebiet beim Gefrieren

Wenn aus dem Zellsaft Wasser ausfriert, so nimmt die Konzentration der restlichen Lösung an Mineralsalzen zu. Bei einer gewissen Konzentration beginnen nun die im Zellsaft gelösten Eiweisstoffe auszuflocken, sie verlieren ihre typische Quellungsfähigkeit und denaturieren. Diese Erscheinung hat zur Folge, dass ein Teil des beim Auftauen gebildeten Wassers nicht mehr resorbiert wird und als Saftverlust verloren geht.

Im Temperaturgebiet zwischen —1° und —5° C verläuft die Kristallbildung am intensivsten [7], weshalb hier auch die Denaturierung der Eiweisstoffe ihren Höhepunkt hat. Aus diesem Grunde wird dieses Temperaturgebiet als das kritische bezeichnet.

Man könnte zunächst denken, dass beim schnellen Gefrieren bei tiefer Temperatur, wobei sich in den Zellen viel Eis bildet, erst recht eine Denaturierung der im Zellsaft gelösten Eiweisstoffe stattfindet, da ja die Konzentration der restlichen Lösung stark ansteigt. Dem ist aber nicht so, weil die Geschwindigkeit, mit welcher der Denaturierungsprozess verläuft, mit sinkender Temperatur sehr stark abnimmt [6]. Senkt man die Temperatur genügend rasch ab, dann reicht die Zeit für eine Denaturierung nicht mehr aus. Es hat sich nämlich gezeigt, dass sogar beim Gefrieren in flüssigem Stickstoff bei —196° C und anschliessender Lagerung bei dieser Temperatur keine Denaturierung auftritt.

Von diesem Verfahren macht man Gebrauch, um gefrorene Lebensmittel über weite Strecken zu transportieren, ohne dass unterwegs eine Kühlung notwendig ist. Man gefriert die in isolierten Behältern verstauten Packungen durch Besprühen mit flüssigem Stickstoff, der dabei verdampft und die dazu erforderliche Wärme dem Gefriergut entzieht. Bei zweckentsprechender Ausführung der Isolierung bleibt die Temperatur des so gefrorenen Gutes auch noch nach einer Woche Transportdauer unter —80° C [16]. Auch wenn dieses Gefrierverfahren heute noch etwas kostspielig ist, so werden doch die sonst nicht unerheblichen Kosten für Kühlung und Ueberwachung der Kühlanlagen unterwegs eingespart. Die ausserhalb der USA stationierten amerikanischen Truppen werden auf diese Weise mit Gefrierkonserven versorgt.

8. Veränderungen der gefrorenen Lebensmittel während der Lagerung und des Auftauens

Wie bereits eingangs erwähnt, verlaufen die Veränderungen in den Lebensmitteln vom Augenblick des Gefrierens an äusserst langsam. Nun sind aber die Lagerzeiten der gefrorenen Lebensmittel sehr gross, so dass sich immerhin gewisse Unterschiede zwischen dem Zustand vor und nach der Lagerung ergeben können. Bei Temperaturen, wie sie heute für die Lagerung gefrorener Lebensmittel angewendet werden, findet kein Wachstum von Mikroorganismen mehr statt. Man kann deshalb, im Gegensatz zur Lagerung oberhalb des Gefrierpunktes, bei beliebig hoher relativer Luftfeuchtigkeit lagern und erhält dadurch sehr geringen Gewichtsverlust.

Für die Lagerung bei hohen relativen Luftfeuchtigkeiten wendet man oft doppelwandige Kühlräume an, die unter der Bezeichnung «Jacketed room» bekannt sind, da sie erstmalig in Canada gebaut wurden. Bei diesen Räumen ist die Kühlvorrichtung im Zwischenraum zwischen Kühlraum und eingezogener zusätzlicher Innenwand angeordnet, wie aus Bild 5 hervorgeht. Die von aussen eindringende Wärme wird

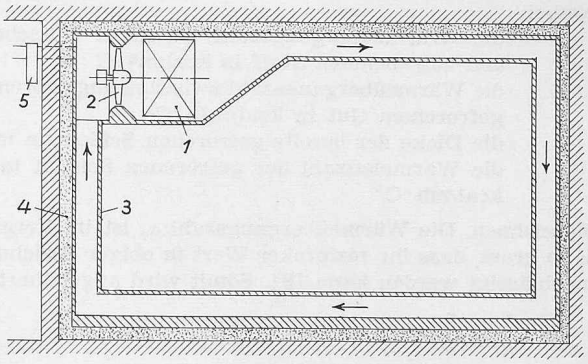


Bild 5. Prinzip eines doppelwandigen Kühlraumes. Der eigentliche Lagerraum wird von der kalten Luft umspült und enthält keine eingebauten Kühlvorrichtungen. 1 Luftkühler, 2 Ventilator, 3 innere Wand, 4 Isolierung, 5 Frischluftschieber

von der Luft abgefangen, die den eigentlichen Lagerraum umspült, so dass im Lagerraum selbst nur noch die durch Begehen, Türöffnen und Beleuchtung entstehende Wärme abzuführen ist. Da diese Wärme durch die gesamten inneren Wandungen des Raumes abgeführt wird, ist die Temperaturdifferenz zwischen diesen und der Luft im Lagerraum sehr gering, wodurch sich in diesem eine hohe relative Feuchtigkeit ergibt.

Nun ist aber infolge der geringen Temperaturdifferenz auch die Kälteleistung der Wände gering, weshalb sich derartige Räume nur für die Lagerung von vorschriftsmässig auf die Lagertemperatur abgekühlter Ware eignen [17]. Ein Nachgefrieren von unterwegs wärmer gewordener Ware ist bei derartigen Räumen ohne besondere Massnahmen, die jedoch zur Herabsetzung der relativen Feuchtigkeit führen, nicht möglich — eine Tatsache, die in der Praxis leider nicht immer beachtet wird. Sorgt man dafür, dass die gefrorenen Waren mit der endgültigen Lagertemperatur in den Raum eingebracht werden, dann sind die doppelwandigen Kühlräume im Sinne einer Herabsetzung des Gewichtsverlustes sehr gut geeignet. Ausserdem findet im Raum selbst keine Luftzirkulation statt, wodurch auch die Oxydation, welche sogar noch bei —30° C feststellbar ist [18], herabgesetzt wird.

Als charakteristische Erscheinung bei der Lagerung von gefrorenen Lebensmitteln sei hier die von Verdunstung und Oxydation unabhängige Veränderung des Gefüges näher betrachtet. Beim Gefrieren von Stücken mit verhältnismässig grossen Abmessungen ist die Gefriergeschwindigkeit im Inneren wesentlich geringer als an der Oberfläche. Die Folge ist, dass sich im Inneren schon während des Gefrierens grössere Kristalle bilden als an der Oberfläche. Während der anschliessenden Lagerung setzt nun eine Wanderung der Wassermoleküle von den kleineren Kristallen, über welchen der Dampfdruck höher ist, zu den grösseren ein. Die Erscheinung wird als Rekristallisation bezeichnet; sie führt zu einer Vergröberung des Kristallgefüges und kann somit die Vorteile des schnellen Gefrierens wieder zunichte machen.

So lange nicht alles ausfrierbare Wasser tatsächlich ausgefroren ist, besteht ferner immer die Möglichkeit einer Diffusion von Wassermolekülen aus den noch nicht gefrorenen Teilen der Lösung zu den darin befindlichen Eiskristallen, sobald die Temperatur vom Gleichgewichtspunkt, d. h. vom Gefrierpunkt der restlichen Lösung, abweicht. Temperaturschwankungen im Lagerraum beschleunigen somit die Vergröberung des Gefüges.

Je tiefer die Lagertemperatur ist, um so niedriger sind alle Dampfdrücke, und um so geringer ist dann auch die Differenz der Dampfdrücke über den verschieden grossen Kristallen einerseits, sowie zwischen restlicher Lösung und Eiskristallen anderseits. Infolgedessen verläuft die Rekristallisation um so langsamer, je tiefer die Lagertemperatur ist; sie dürfte vollkommen aufhören, sobald die Temperatur unterhalb derjenigen Temperatur liegt, bei welcher sämtliches Wasser tatsächlich ausgefroren ist, vorausgesetzt, dass

es sich um flache Stücke mit geringen Unterschieden der Kristallgrösse innen und aussen handelt.

Beim Auftauen tritt, wie beim Gefrieren, ein Temperaturgefälle im Gut auf. Da die von aussen zugeführte Wärme durch die bereits aufgetaute Schicht hindurch fliessen muss, deren Wärmeleitzahl geringer ist als diejenige gefrorenen Gutes, dauert das Auftauen an sich länger als das Gefrieren. Hinzu kommt noch, dass man beim Auftauen in einem Auftauraum die Temperaturdifferenz nicht beliebig gross einstellen kann, weil sonst die Oberflächentemperatur längere Zeit auf einen Betrag ansteigen würde, bei welchem das Wachstum von Mikroorganismen stark gefördert würde. Diese Schwierigkeiten treten allerdings nur bei grossen Stükken auf. Bei den Gefrierkonserven verläuft der Auftauvorgang infolge der geringen Dicke der Packungen verhältnismässig rasch; ausserdem werden verschiedene Lebensmittel vor der Zubereitung gar nicht aufgetaut.

9. Günstigstes Verfahren bei der Gefrierbehandlung

Unter Gefrierbehandlung sei hier das Gefrieren, die Lagerung und das Auftauen der gefrorenen Produkte verstanden. Dabei strebt man eine möglichst weitgehende Umkehrbarkeit des Prozesses an. Die unerwünschten Veränderungen verlaufen nicht nur beim Gefrieren innerhalb des kritischen Temperaturgebietes von —1° bis —5° C, sondern auch beim Auftauen. Auch beim Auftauen sind Temperaturdifferenzen im Gut selbst unvermeidlich, und wo eine Temperaturdifferenz entsteht, da ergibt sich zwangsläufig auch eine Dampfdruckdifferenz mit einer Diffusion als Folgeerscheinung.

Die Denaturierung verläuft auch beim Auftauen im kritischen Temperaturgebiet am intensivsten, weshalb es wichtig ist, dieses Temperaturgebiet auch hier so rasch als möglich zu durchlaufen. So wie man beim Gefrieren möglichst rasch auf Temperaturen kommen soll, bei welchen die Denaturierung nur noch langsam verläuft, also unterhalb —20° C, so muss dann auch der Temperaturanstieg beim Auftauen schnell erfolgen, sofern es sich um schnell gefrorenes Gut handelt.

Was die Lagerung anbelangt, so soll diese bei möglichst tiefer Temperatur durchgeführt werden. Wenn, wie die neuesten Forschungsergebnisse zeigen, unterhalb von etwa —36° C bereits alles ausfrierbare Wasser aus den Lebensmitteln ausgefroren ist, dann dürften unterhalb dieser Temperatur praktisch keine Diffusionserscheinungen mehr stattfinden. Aus diesen Sachverhalten ergibt sich als erstrebenswertes Ziel der in Bild 6 dargestellte prinzipielle Temperaturverlauf bei der Gefrierbehandlung von Lebensmitteln.

Bei der Verwirklichung dieses Programms ist zu beachten, dass im kritischen Temperaturgebiet auch die maximale Kristallbildung stattfindet, somit das meiste Wasser ausfriert. Hier muss also die grösste Wärmemenge abgeführt werden, und wenn dies möglichst rasch vor sich gehen soll, dann ist hierfür eine sehr grosse Kälteleistung erforderlich.

Wichtig ist vor allem ein möglichst baldiger Beginn des Gefrierens nach der Ernte bzw. Schlachtung, denn wie aus Bild 1 ersichtlich, hat jede Verzögerung einen gewissen Qualitätsverlust zur Folge. Auch hier ist es der modernen Gefrierindustrie gelungen, den Vorgang zu beschleunigen. Die Gefrieranlagen werden inmitten grosser Anbaugebiete errichtet, die Ernte mechanisiert, die Transporte beschleunigt. So ist in einem schwedischen Grossbetrieb der Spinat bereits 4 Stunden nach der Ernte, die übrigens Tag und Nacht ununterbrochen vor sich geht, fertig gefroren [19]. Wenn man bedenkt, wieviele Stunden die auf übliche Weise zum Kauf angebotene Ware bei hohen Aussentemperaturen zu liegen pflegt, bevor sie zum Verbraucher gelangt, dann wird es klar, dass unmittelbar nach der Ernte hergestelltes Gefriergut frischwertiger ist als die sogenannte «frische» Marktware.

Je dicker das zu gefrierende Stück ist, um so tiefer muss die Temperatur des kühlenden Mediums sein, an welches die Gefrierwärme übertragen wird. Da einer beliebigen Temperatursenkung normalerweise wirtschaftliche Grenzen gesetzt sind, kann der Gefrierprozess auch dadurch beschleunigt werden, dass man möglichst flache Stücke gefriert, was zu den heute üblichen Gefrierpackungen geführt hat. Eine weitere Möglichkeit zur Abkürzung der Gefrierzeit

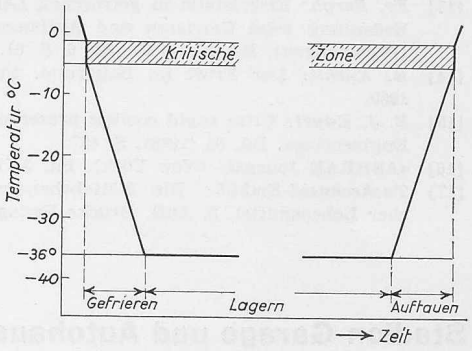


Bild 6. Erstrebenswerter Temperaturverlauf beim Gefrieren, Lagern und Auftauen in prinzipieller Darstellung. Im Gebiet der Lagerung ist der Zeitmasstab verkürzt worden.

besteht in der Verbesserung des Wärmeüberganges. Dies lässt sich durch Anwendung des Tauchverfahrens erreichen, wobei beispielsweise wasserdicht verpacktes Geflügel durch Eintauchen in tiefgekühlte Flüssigkeit sehr schnell gefriert. Extrem hohe Gefriergeschwindigkeiten erzielt man beim Gefrieren in flüssigem Stickstoff, als Folge der gleichzeitigen Einwirkung einer guten Wärmeübertragung und einer tiefen Temperatur.

Der Auftauprozess verläuft bei den Gefrierkonserven sehr rasch, sofern diese unmittelbar zubereitet werden. Wenn vorher aufgetaut werden muss, dann geschieht dies neuerdings auch durch hochfrequenten Wechselstrom. Dieses Auftauverfahren hat den Vorteil, dass die Wärme unmittelbar im Gefriergut selbst entsteht, wodurch der Auftauvorgang wesentlich beschleunigt wird [20], [21].

Was die verschiedenen Gefrierveränderungen anbelangt, so sind sie praktisch während der Lagerung am grössten, weil hier die Reaktionszeit am längsten ist. Um diese Veränderungen, nämlich Rekristallisation, Gewichtverlust und Oxydation so weit wie möglich zu verringern, muss man die Lagertemperatur möglichst bis zur oben angegebenen Grenze senken. Natürlich kann diese Temperatur ohne Schaden unterschritten werden, jedoch sind dabei wirtschaftliche Ueberlegungen massgebend.

Es ist kürzlich in Schweden die Behauptung aufgestellt worden, dass die Lagertemperaturen von Lebensmitteln immer tiefer werden, je höher der Lebensstandard ansteigt, was durch die steigenden Anforderungen der Verbraucher an die Qualität der Lebensmittel erklärt wird.

Wenn es der Kältetechnik gelingt, diesen Forderungen zu genügen und somit zur Hebung unseres Lebensstandards beizutragen, dann hat sie ihre wichtigste Aufgabe erfüllt.

Literaturverzeichnis

[1] *R. Plank:* Die Wahl des Bewertungsschemas für die Qualitätsprüfung von Gefriererzeugnissen. «Zeitschr. Vorratspflege und Lebensmittelforschung» 1943, S. 4.

[2] *M. Piettre:* Théorie générale de l'application du froid aux denrées alimentaires. Edit. Hermann & Cie., Paris 1938.

[3] *R. Plank:* Kälte im Haushalt. «Kältetechnik», Bd. 11 (1959), Nr. 4, S. 93.

[4] *E. Welle-Strand:* Die Fischfilets machen Hammerfest zum grössten Fischereizentrum von Nord-Norwegen. «Kylteknisk Tidskrift», Bd. 18 (1959), Nr. 2, S. 35.

[5] «ASHRAE Journal» (New York), Bd. 4 (1962), Nr. 3, S. 19.

[6] *J. Kuprianoff:* Physikalische und biochemische Veränderungen von gefrorenen Lebensmitteln. «Kältetechnik», Bd. 12 (1960), Nr. 10, S. 284.

[7] *R. Plank:* Handbuch der Kältetechnik, X. Band: Die Anwendung der Kälte in der Lebensmittelindustrie. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960.

[8] *K. Paech* in *R. Plank,* Handbuch der Kältetechnik, IX. Band: Biochemische Grundlagen der Lebensmittelfrischhaltung. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1952.

[9] *M. Bäckström:* Kältetechnik, S. 522. Verlag G. Braun, Karlsruhe 1953.

[10] *R. Plank:* Beiträge zur Berechnung und Bewertung der Gefriergeschwindigkeit von Lebensmitteln. Beih. der «Zeitschr. ges. Kälte-Industrie», Reihe 3, H. 10, VDI-Verlag, Berlin 1941.

[11] *R. Plank, E. Ehrenbaum* u. *K. Reuter:* Die Konservierung von Fischen durch das Gefrierverfahren. Abhandl. Volksernährung, H. 5. Verlag d. Zentral-Einkaufsgesellschaft, Berlin 1916.

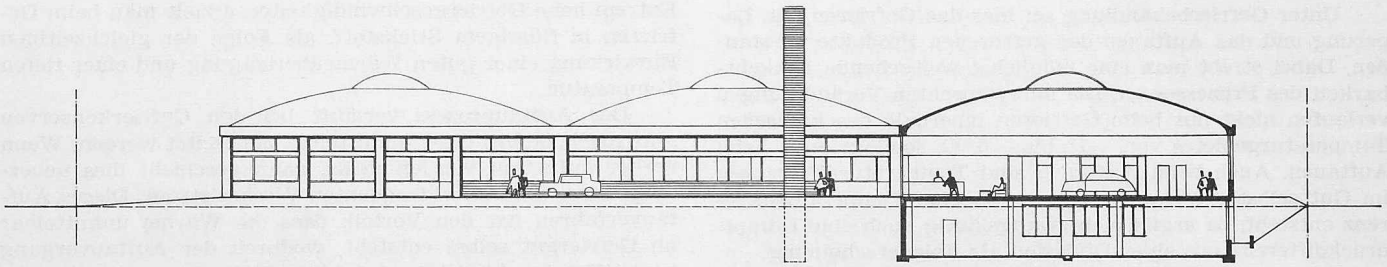
[12] *K. Paech:* Gefrierkonservierung von Gemüse, Obst und Fruchtsäften, 2. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin 1945.

[13] *Fr. Bergh:* Eiskristalle in gefrorenen Lebensmitteln und ihre Bedeutung beim Gefrieren und Auftauen (dänisch). «Kulde» (Kopenhagen), Bd. 10 (1956), Nr. 6, S. 61.
[14] *R. Ruckli:* Der Frost im Baugrund. Springer-Verlag, Wien 1950.
[15] *B. J. Luyet:* Ultra rapid cooling preserves life. «Refrigerating Engineering», Bd. 56 (1948), S. 497.
[16] «ASHRAE Journal» (New York), Bd. 2 (1960), Nr. 5, S. 23.
[17] *Tuchschneid-Emblik:* Die Kältebehandlung schnellverderblicher Lebensmittel, 3. Aufl. Brücke-Verlag, Hannover 1959.
[18] *H. Fredholm:* Das Ranzigwerden und andere Qualitätsveränderungen beim Fett (schwedisch). «Kylteknisk Tidskrift» (Stockholm), Bd. 21 (1962), Nr. 1, S. 3.
[19] Anon.: Fruits et légumes surgelés en Europe du Nord. Referat in «Bulletin I. I. F.» (Paris), Bd. 41 (1961), Nr. 3, S. 893.
[20] *A. C. Jason* u. *H. R. Sanders:* Dielectric thawing of fish. X. Internationaler Kältekongress, Kopenhagen 1959, Ber. 4-53.
[21] Anon.: Dielectric defrosting. «The Journal of Refrigeration» (London), Bd. 4 (1961), Nr. 4, S. 90.

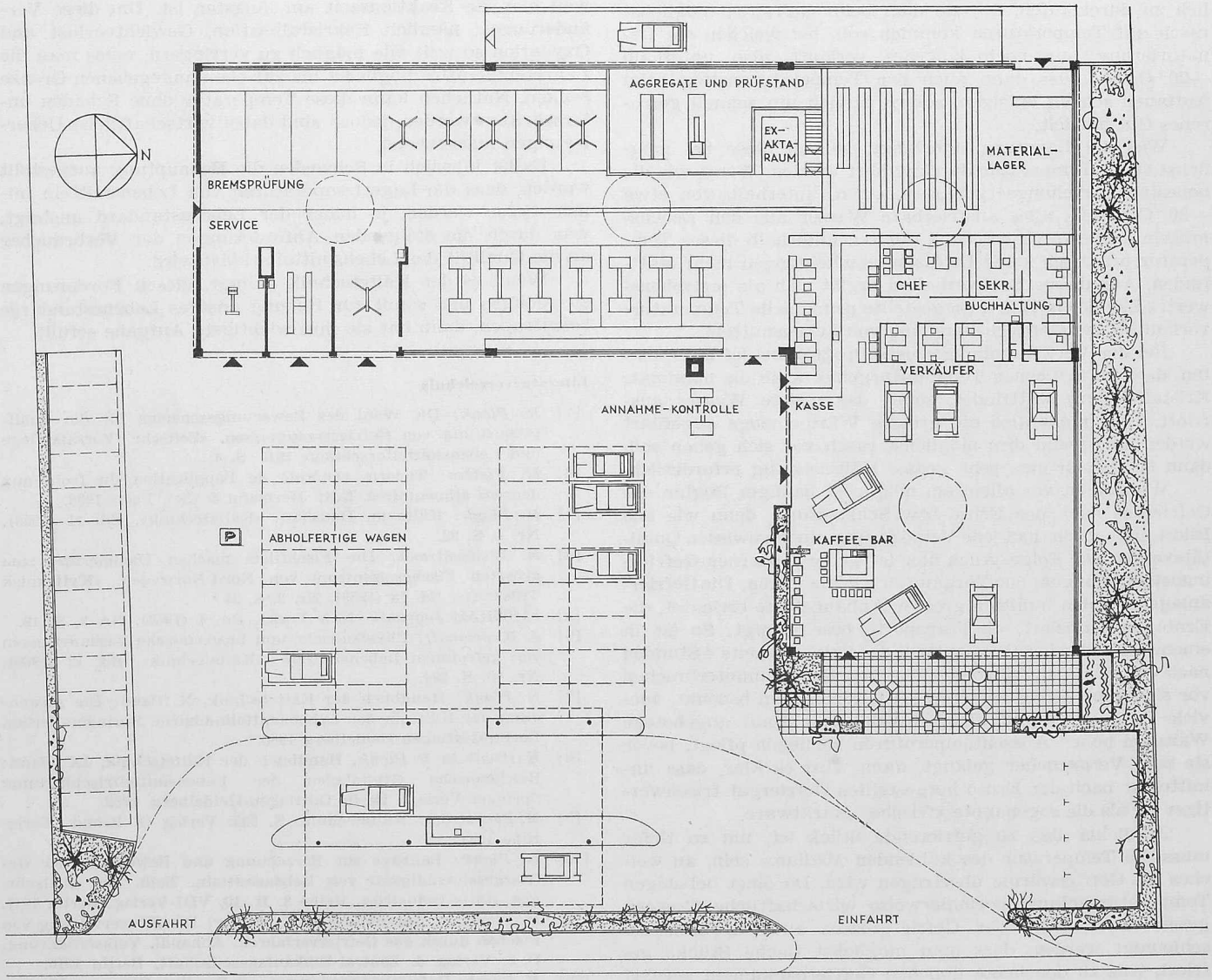
Stadion-Garage und Autohaus Moser in Thun

DK 725.381

Jak. Höhn, Architekt, Thun, Mitarbeiter **Heinz Schaerer,** Architekt, **Walter Baur,** Bauführer, Thun
Ingenieurarbeiten **Heinz Isler,** dipl. Ing., Burgdorf



Ansicht Werkstätte und Schnitt Ausstellungshalle, Masstab 1:500



Erdgeschoss, Masstab 1:500