



Welche Bedeutung kommt -18°C als Grenztemperatur bei der Gefrierlagerung von Lebensmitteln zu?

von
W. E. L. Spiess*

Die eingangs gestellte Frage, ob der Temperatur von -18°C eine Bedeutung bei der Gefrierlagerung zukomme, ist zu bejahen. Über -20 bzw. -18°C laufen die Verfallsreaktionen, wie gezeigt, wesentlich schneller ab. Auf der anderen Seite muss jedoch gesagt werden, dass zwischen -18 und von -12°C noch mit Verfallsgeschwindigkeiten gerechnet werden kann, die bei bestimmten Produkten eine Lagerung für einige Wochen bzw. wenige Monate in diesem Temperaturbereich als zulässig erscheinen lassen. Fleisch- und Fischprodukte besitzen signifikant höhere Q_1 -Werte, d. h. kürzere Lagerungszeiten als Gemüse- und Obsterzeugnisse. Bei beiden Produktgruppen ist eine Verlängerung der Lagerzeiten bei einem weiteren Absenken der Lagertemperaturen möglich. Ein Vergleich von chemisch bzw. physikalisch messbaren Qualitätsveränderungen mit sensorisch festgestellten ist nur bedingt zulässig.

1.0 Einleitung

Die Werterhaltung von Lebensmitteln durch Gefrieren beruht im wesentlichen darauf, dass sich mit sinkender Temperatur und der damit verbundenen Herabsetzung der Mobilität des Wassers und darin gelöster Substanzen die Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Umsetzungen in den Lebensmitteln weitgehend verzögert.

Diese sehr allgemeine Feststellung findet sich zwar in der täglichen Praxis des Gefrierens von Lebensmitteln bestätigt, die wissenschaftliche Forschung und die praktische Erfahrung haben jedoch auch gezeigt, dass bestimmte chemische und physikalische Vorgänge selbst bei sehr tiefen Lagertemperaturen nicht vollständig zum Stillstand kommen und so zur Qualitätsminderung eines gefrorenen Lebensmittels führen können.

Um den Qualitätsrückgang möglichst klein zu halten, wird man prinzipiell die Lagerungstemperatur so niedrig wie möglich wählen. Die niedrigste, technisch noch realisierbare Temperatur ist jedoch dann nicht erforderlich, wenn die Qualitätsveränderungen in der vorgesehenen Lagerungszeit unbedeutend sind; relativ hohe Temperaturen sind vom Standpunkt der Qualitätserhaltung aus zulässig, wenn das Gut nur kurzfristig gelagert zu werden braucht. Unnötig tiefe Temperaturen sind nicht sinnvoll, da sie erhöhte Anlagen- und Betriebskosten bedingen,

die sich auf die Produktkosten niederschlagen und zudem eine unnötige Beanspruchung von Energie bewirken. Bei der Gefrierlagerung von Lebensmitteln erhebt sich daher die Frage, welche Lagerungstemperatur als optimal angesehen werden kann. Industrie und Handel haben in Deutschland, wie in den meisten anderen Industrieländern, bei der Klärung dieser Frage behördliche Entscheidungshilfen in Form von Leitsätzen und Verordnungen erhalten, die alle in weitgehend verbindlicher Form festlegen, dass tiefgefrorene Lebensmittel so zu lagern und zu transportieren sind, dass ihre Temperatur an keiner Stelle oder in keinem Falle -18°C überschreitet.

Eine Grenztemperatur von -18°C wird auch in Publikationen des Internationalen Kälteinstitutes (9) bzw. in den Normentwürfen des Codex Alimentarius empfohlen. Da die genannten Vorschriften weitgehend auf wissenschaftliche Untersuchungen zurückgehen bzw. unter Mitarbeit von Wissenschaftlern zustande kamen, liegt die Vermutung nahe, dass der Temperatur von -18°C eine bestimmte Bedeutung als Grenztemperatur zukommt, bei deren Überschreitung die Qualitätsabnahme stark beschleunigt abläuft.

Trifft dies zu, könnte allein die Tatsache, dass das Gut eine bestimmte Zeit lang oberhalb -18°C gelagert worden ist, zu der Behauptung führen, das Produkt sei verdorben. Die letztere Formulierung mag als überspitzt angesehen werden, sie stellt sich jedoch häufig in der Praxis bei der Qualitätsbegutachtung von tiefgefrorenen Lebensmitteln.

* Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engeserstr. 20, D-75 Karlsruhe 1

2.0 Der Qualitätsbegriff

Zur Klärung des Sachverhaltes ist es sinnvoll, den sehr subjektiven Begriff der Qualität zu objektivieren und zu differenzieren. Dies soll hier sowohl nach hygienischen als auch ernährungsphysiologischen Gesichtspunkten geschehen.

2.1 Die hygienische Qualität

Der Qualitätszustand aus der Sicht des Hygienikers lässt sich durch den Grad und die Art der mikrobiellen Kontamination eines Produktes relativ genau beschreiben; hierüber und über die für die Gefrierlagerung zu ziehenden wichtigen Konsequenzen liegen ausreichende Informationen vor (16), (17), (18), (19).

2.2 Die ernährungsphysiologische Qualität

Aussagen über die ernährungsphysiologische Qualität eines gefrorenen Produktes sind sehr viel schwieriger zu formulieren als Aussagen über die hygienische Qualität, da hierbei eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen sind. Zur Vereinfachung des Sachverhaltes soll die ernährungsphysiologische Qualität für die vorliegenden Betrachtungen gleichgesetzt werden mit dem Qualitätszustand, wie er sensorisch wahrnehmbar ist und wie er durch die chemische Analyse eines ernährungsphysiologisch wichtigen Inhaltsstoffes, z. B. der Ascorbinsäure, dargestellt werden kann (2).

3.0 Die Zeit-Temperatur-Abhängigkeit der Qualität

Die Frage, wie sich die sensorisch festgestellte Qualität eines Produktes in Abhängigkeit von der Lagerungstemperatur und der Lagerungsdauer verändert, wurde von einer grossen Zahl von Autoren diskutiert. Bedeutsame und richtungweisende Arbeiten wurden am Western Regional Research Laboratory in Albany, Californien, U.S.A., in den Jahren von 1950 bis 1960 durchgeführt (1). Später wurde die Diskussion durch Beiträge von Plank, Kuprianoff und Gutschmidt belebt (4), (5), (6), (10). Gleichwertige Beiträge kamen auch aus den Niederlanden, Dänemark, England, Frankreich und von anderen als der genannten Gruppe in den U.S.A. (20).

Einen Einblick in die an den verschiedenen Forschungseinrichtungen gewonnenen Ergebnisse gibt **Bild 1**, das die Zusammenhänge zwischen Ausgangsqualität, Lagertemperatur und Lagerzeit wiedergibt, wobei der Qualitätszustand in jedem Fall durch sensorische Beurteilung bestimmt wurde.

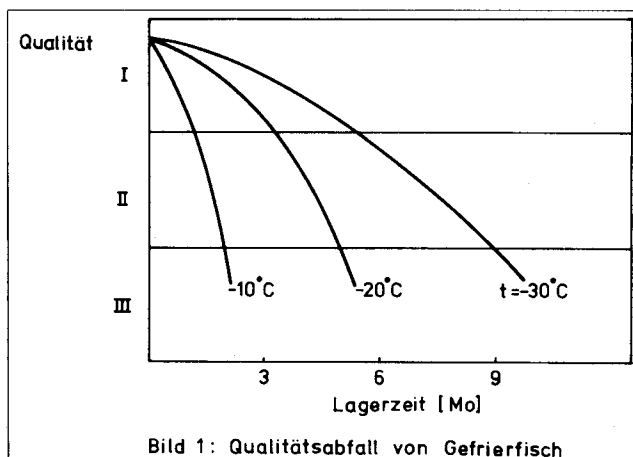


Bild 1: Qualitätsabfall von Gefrierfisch

Definiert man ein bestimmtes Qualitätsniveau, das bei einem Lagervorgang nicht unterschritten werden darf, so kann aus der Darstellung des Qualitätszustandes in Abhängigkeit von der Zeit mit der Lagerungstemperatur als Parameter eine zweite Darstellungsweise abgeleitet werden, aus der die Lagerungstemperatur in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer zu entnehmen ist (**Bild 2**). Dargestellt sind Linien gleicher Qualität, sogenannte Isovalenten, die für das gewählte Beispiel Fisch praktisch parallel verlaufen. **Bild 3** gibt für eine Reihe wichtiger Lebensmittel aus der Literatur entnommene Isovalenten wieder.

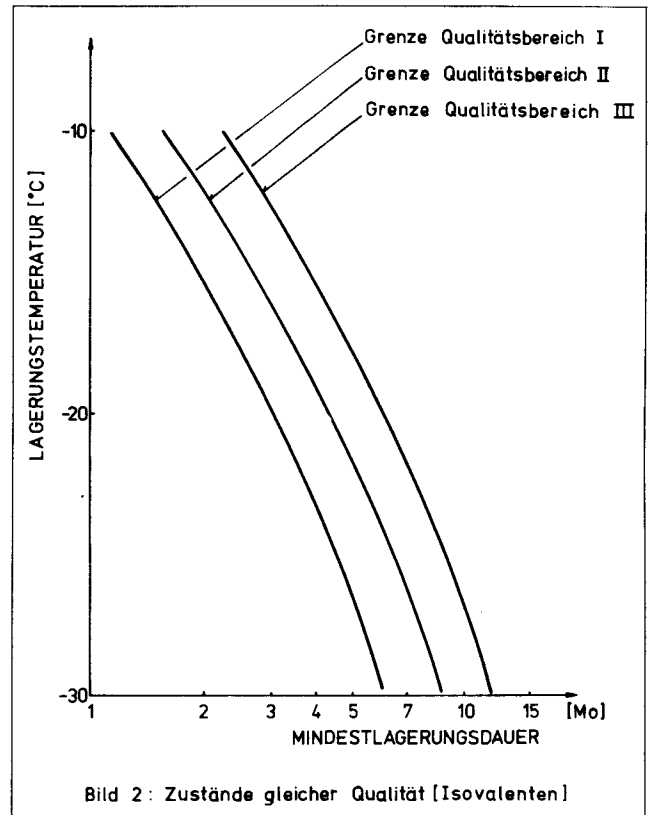


Bild 2: Zustände gleicher Qualität [Isovalenten]

Der gewählte Temperaturbereich erstreckt sich dabei von -10 bis -30 °C. Die Darstellungsweise lässt erkennen, dass die gezeichneten Kurven über den gesamten Temperaturbereich stetig verlaufen; die Werte der Tangentensteigungen nehmen mit abnehmender Temperatur zu.

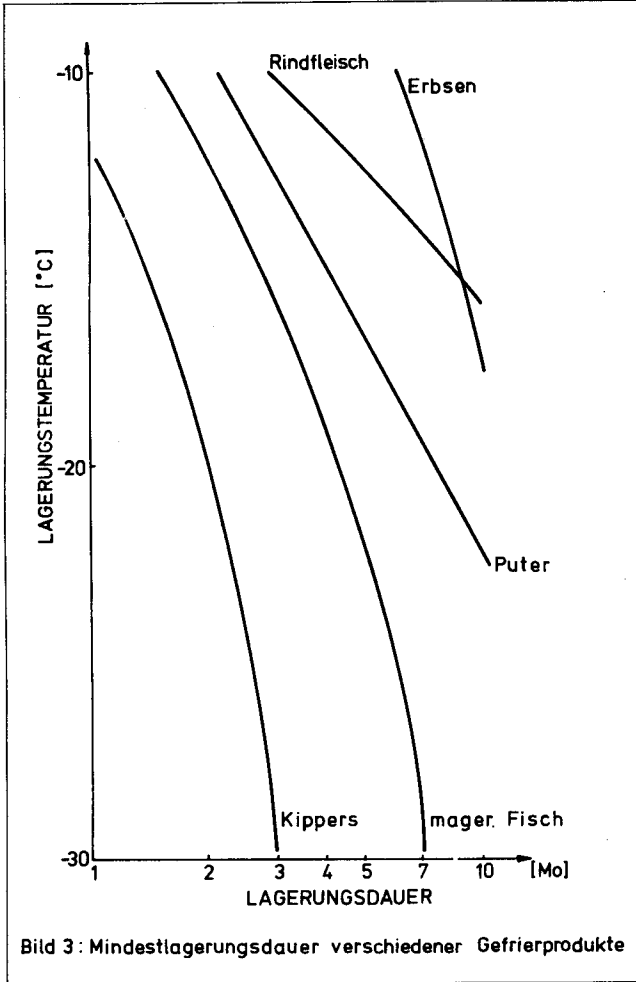
3.1 Der Q_{10} -Wert

Die in den **Bildern 1–3** dargestellte Abhängigkeit der Verderbgeschwindigkeit von der Lagerungstemperatur kommt bei einem Vergleich zweier Verderbgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Lagertemperaturen noch deutlicher zum Ausdruck. Als Vergleichsmass hat sich in der Literatur über das Gefrier- und Lagerverhalten gefrorener Lebensmittel die Grösse Q_{10} in Anlehnung an die van't Hoff'sche Regel eingebürgert, die das Verhältnis von zwei Verderbgeschwindigkeiten wiedergibt, für welche die Lagertemperatur um 10 °C verschieden ist. Es gilt:

$$Q_{10} = \frac{Z_t}{Z_t + 10} \quad [1]$$

wobei Z_t die Lagerdauer bei der Temperatur t und $Z_t + 10$ diejenige bei einer um 10 °C höheren Temperatur darstellt.

Berechnet man Q_{10} -Werte beispielsweise für die Temperaturintervalle -10 bis -20 °C und -20 bis -30 °C für die in **Bild 2** gemachten Angaben, so zeigt es sich, dass die Q_{10} -Werte im Temperaturintervall -20 bis -30 °C im allgemeinen deutlich etwas niedriger liegen als in dem um 10 °C höheren Intervall. Eine Aussage darüber, ob im Temperaturbereich über -18 °C mit wesentlich höheren Verderbgeschwindigkeiten zu rechnen ist, ist jedoch nicht möglich, da die Angaben nicht genügend differenziert sind (11).



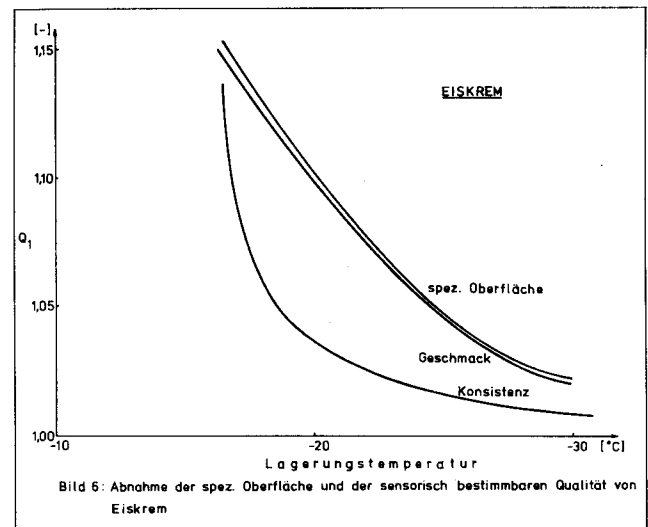
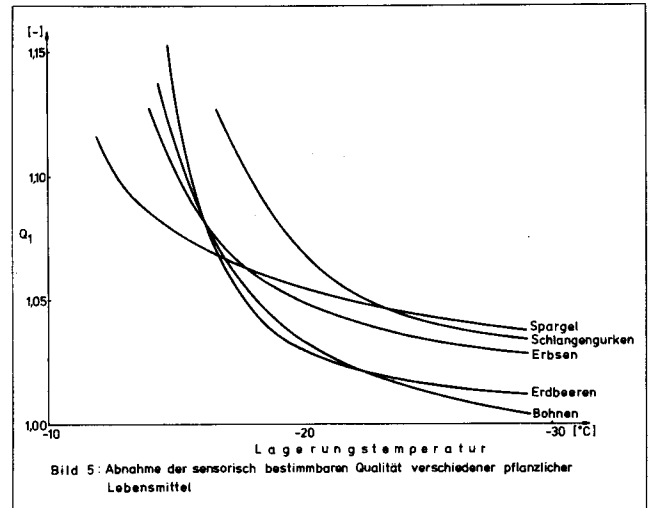
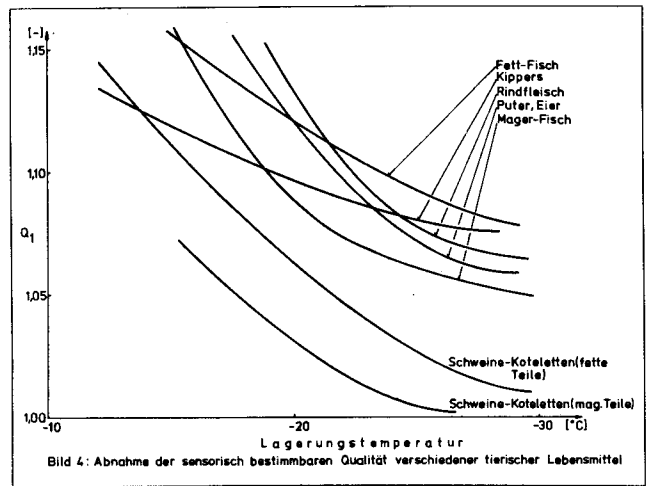
3.2 Der Q_1 -Wert

Wählt man dagegen anstelle des Q_{10} -Wertes einen Q_1 -Wert, d.h. wird der Quotient aus Lagerzeiten gebildet, die für Lagerungstemperaturen, die nur 1 °C auseinanderliegen, zutreffen, so ist eine sehr viel differenziertere Betrachtungsweise möglich. Nach RIEDEL soll definiert werden (14):

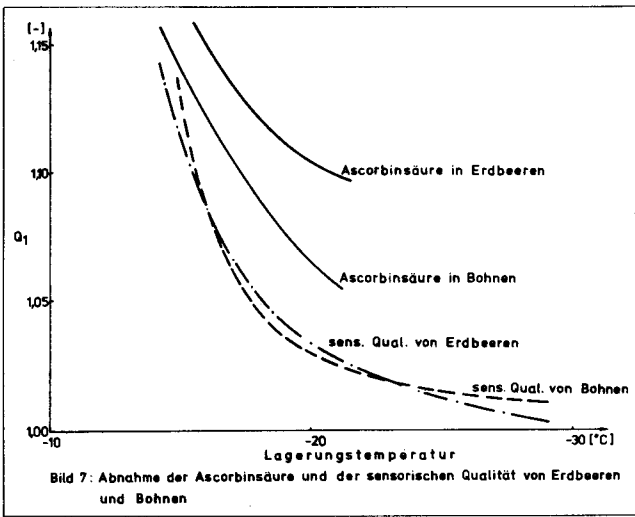
$$Q_1(t) = \frac{Z_{t-0,5}}{Z_{t+0,5}} \quad [2]$$

Darstellungen der Abhängigkeit der Q_1 -Werte von der Temperatur sind in **Bild 4** für Fleisch- und Fischprodukte und in **Bild 5** für Gemüse und Obst wiedergegeben.

In **Bild 6** sind Q_1 -Werte für die durch eine Geschmacks- und Konsistenzbeurteilung festgestellte Qualitätsminderung dargestellt; ausserdem wurden in das Diagramm Q_1 -Werte für die Abnahme der spez. Oberfläche gefriergetrockneter Eiskremprouben als objektiv messbare, mit dem Qualitätszustand in Zusammenhang stehende Grösse eingetragen.



In **Bild 7** ist der Q_1 -Wert in Abhängigkeit von der Lagertemperatur für die Abnahme von Ascorbinsäure in Erdbeeren und Bohnen wiedergegeben und den durch sensorische Qualitätsbestimmung gewonnenen Q_1 -Werten gegenübergestellt worden. Aus allen Darstellungen kann die bereits vom Q_{10} -Wert her bekannte Tatsache abgeleitet werden, dass die Q_1 -Wert her bekannte Tatsache abgeleitet werden, dass die Q_1 -Werte mit sinkender Temperatur abnehmen. Auffallend ist jedoch der im Bereich zwischen -10 °C und -20 °C ausgeprägte Abfall

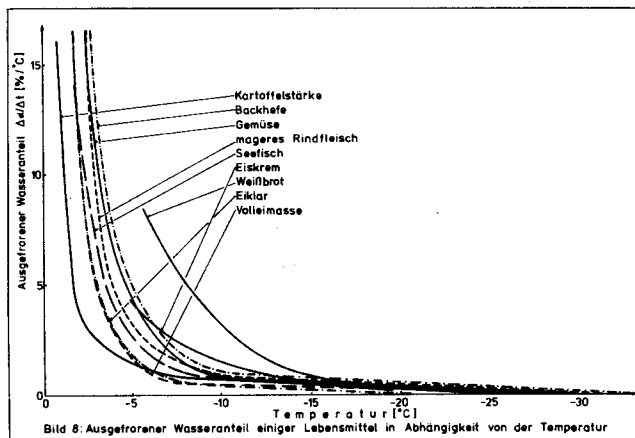


der Werte. Im Bereich unter -20°C verlaufen die Kurven nahezu bei allen Produkten flacher. Einschränkend soll bemerkt werden, dass für die Berechnung der Q_1 -Werte nicht in jedem Fall auf Beobachtungen zurückgegriffen werden konnte, die den Qualitätsrückgang in Temperaturabständen von 1°C beschreiben. In diesen Fällen wurde der Q_1 -Wert durch Interpolation gewonnen.

Die Q_1 -Werte für Fleisch- und Fischprodukte liegen im Temperaturbereich von -10 bis -20°C zwischen 1,1 und 2,6, in Einzelfällen sogar zwischen 4 und 5, im Bereich unter -20°C zwischen 1,05 und 1,1. Schweinekoteletts bilden eine Ausnahme. Als Gründe für die relativ hohen Q_1 -Werte im Bereich von -10 bis -20°C können nach Angaben mehrerer Autoren der in diesem Bereich noch relativ ausgeprägte Fettverderb, der auch die Protein-denaturierung begünstigt, sowie die Aktivität proteolytischer und lipolytischer Enzyme angesehen werden.

Bei blanchiertem Gemüse kann der Qualitätstabfall im Bereich -10 bis -20°C z. T. ebenfalls durch den Abbau der relativ kleinen Fettfraktion erklärt werden (3).

Mit ausschlaggebend für die im Bereich zwischen von -10 und -20°C stark erhöhte Verderbgeschwindigkeit dürfte jedoch die besondere physikalisch-chemische Situation sein, in der sich die Lebensmittel in diesem Temperaturbereich befinden. Wie Bild 8 zeigt, ist zwar bei -10°C bei den meisten Gefrierprodukten der Grossteil des ausfrierbaren Wassers ausgefroren; der Gefrierprozess ist jedoch erst im Temperaturbereich zwischen -20 und -35°C abgeschlossen. Durch das mit der



Temperaturabsenkung verbundene Ausscheiden von Eiskristallen bildet sich in dem Rest des nicht ausgefrorenen Wassers eine erhöhte Elektrolytkonzentration aus. Ausserdem können zudem beträchtliche Verschiebungen des pH-Wertes, sowie Aggregationen und Desaggregationen auftreten.

Alle diese Prozesse, die im einzelnen so unterschiedliche qualitätsmindernde Reaktionen, wie die Hämolyse roter Blutkörperchen, die Beschädigung der Membran-Lipoproteide, die Oxidation von SH-Gruppen oder den nichtenzymatischen Fettverderb und auch den Chlorophyllabbau hervorrufen bzw. begünstigen, werden mit fortschreitender Konzentrierung in dem nicht ausgefrorenen Wasseranteil in ihrem Reaktionsablauf beschleunigt. Reaktionshemmend wirkt dagegen gemäss der van't Hoff'schen Regel das Absinken der Temperatur.

Zwischen der Temperatur bei Gefrierbeginn und der Temperatur beim vollständigen Ausfrieren stellt sich somit eine maximale Reaktions- bzw. Verderbgeschwindigkeit ein.

Nach den vorliegenden Betrachtungen erscheint der diskutierte Bereich von -10°C bis -20°C in erster Näherung als ein Bereich mit erhöhter Verderbgeschwindigkeit. Unterhalb -20°C scheint die Reaktionshemmung weitgehend proportional der Temperaturabsenkung zu verlaufen. Der direkte Nachweis eines Maximums der Reaktionsgeschwindigkeit liegt jedoch nicht vor, bzw. ist aus dem untersuchten Material nicht ersichtlich.

Literatur

- 1 van ARSDEL, W. B., The Time-Temperature Tolerance of Frozen Foods. I. Introduction - the Problem and the Attack. *Food Technol.*, 11 (1957) 28-33
- 2 CHARM, S. E., LEARSON, R. J., ROUSIVALLI, L. J. and M. SCHWARTZ, Organoleptic Technique predicts Refrigeration Shelf Life of Fish. *Food Technol.*, 26 (1972) 65-68
- 3 FRICKER, A., Enzymatische Veränderungen in tiefgefrorenen Lebensmitteln. Vortr. 12.9. 68, 2. Gemeins. Arb. Tagung. Dtsch. Ges. f. Ern., Österr. Ges. f. Ernährungsforschung u. Schweiz. Ges. f. Ernährungsforschung, Konstanz. Z. f. Ernährungswiss., (1969) Suppl. 8, S. 63-72
- 4 GUTSCHMIDT, J. u. W. SCHMIDT-LORENZ, Die Haltbarkeit leichtverderblicher Lebensmittel im Haushaltskühlschrank. *Kälte*, 16 (1963) H. 2, S. 61-68
- 5 GUTSCHMIDT, J., Über die mehrjährige Lagerung tiefgefrorener Erbsen. *Kältetechn.*, 16 (1964) H. 11, S. 359-362
- 6 Anonym, Die Haltbarkeit tiefgefrorener Lebensmittel. *Kälte- und Klima-Rdsch.*, 4 (1966) H. 3, S. 74-80
- 7 GUTSCHMIDT, J., Über den Einfluss des Gefrierens und der Gefrierlagerung auf die Qualität gefrorener Lebensmittel. Vortr. geh. am 12.3. 68 in Amsterdam anl. d. Symposiums der «Nederlandse Vereniging voor Voedingsleer en Lebensmitteltechnologie. *Conserva*, 17 (1969) H. 10, S. 266-270 u. H. 11, S. 301-306

- 8 GUTSCHMIDT, J., Über den Einfluss des Gefrierens und der Gefrierlagerung auf die Qualität tiefgefrorener Lebensmittel. *Kälte-Klima-Praktiker*, 12 (1972) 288–294
- 9 International Institute of Refrigeration. Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. 2nd Edition, Paris, 1972
- 10 KUPRIANOFF, J., Der Einfluss der Temperatur und Lagerdauer auf die Gefrierlagerveränderungen von Lebensmitteln. *Kältetechn.*, 8 (1956) S. 102–107
- 11 MEFFERT, H. F. TH., Thermal Aspects of Cargo Transferring Processes. IRR-Meeting-Commissions D1, D2 and D3. 27–28. Nov. 1973
- 12 PARTMANN, W. und GUTSCHMIDT, J., Über die Haltbarkeit von Geflügel bei -12°C . *Archiv f. Lebensmittelhygiene*, 9 (1972) S. 203–206
- 13 RIEDEL, L., Kalorimetrische Untersuchungen über das Gefrieren von Fleisch. *Kältetechn.*, 9 (1957) S. 38–40
- 14 RIEDEL, L., Zur Frage der mathematischen Darstellung der Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit. *Pflügers Archiv*, 271 (1960) S. 157–161
- 15 SCHMIDT-LORENZ, W. und SCHÜTZACK, U., Sanitary Regulations for Deep-Frozen Fish: Basic Requirements-Possibilities for Harmonisation. OECD Documentation in Food and Agriculture Nr. 51, 1961 Series
- 16 SCHMIDT-LORENZ, W. und GUTSCHMIDT, J., Untersuchungen über die Kühlung von Seefisch unter 0°C . *Die Kälte*, 17 (1964) H. 7, S. 365–368
- 17 SCHMIDT-LORENZ, W., Behaviour of microorganisms at low temperatures. *Bull. IIF XLVII* (1967) Nr. 2, p. 390–412, Nr. 4, p. 1313–1349
- 18 SCHMIDT-LORENZ, W. und GUTSCHMIDT, J., Mikrobielle und sensorische Veränderungen gefrorener Brathähnchen und Poularden bei Lagerung im Temperaturbereich von $-2,5$ bis -10°C . *Fleischwirtschaft*, 49 (1969) H. 8, S. 1033–38 und 1041
- 19 SCHMIDT-LORENZ, W. und GUTSCHMIDT, J., Mikrobielle und sensorische Veränderungen gefrorener Lebensmittel bei Lagerung im Temperaturbereich von $-2,5$ bis -10°C . *Lebensmittelwiss. u. -Technol.*, 1 (1968) H. 1, S. 26–43
- 20 TRESSLER, D. K., van ARSDEL, W. B. and COPLEY, M. J., *The Freezing Preservation of Foods*. Westport, Conn., 1968