Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 52 (1961)

Heft: 17

Artikel: Die bedeutendsten Fortschritte der Kältetechnik in den letzten Jahren

Autor: Cube, H.L. von

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916863

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: 13.07.2025

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

Die bedeutendsten Fortschritte der Kältetechnik in den letzten Jahren

Von *H. L. von Cube*, Wilhelmsfeld bei Heidelberg

621.56/.59 : 008

Die Kältetechnik gehört mit zu den entwicklungsintensivsten Industriezweigen. Der Kühlschrank als Wegbereiter der breiten Kälteanwendung zeigt in allen Ländern ausser den USA steigenden Absatz, wobei er sich in Grösse und Ausstattung ändert und zu einem Arbeitsgerät wird. Gleiches ist auch bei den in wachsenden Stückzahlen verkauften Gefriermöbeln zu beobachten, bei welchen der Umschwung von der Truhe zum besser bedienbaren Schrank augenscheinlich ist. Der Verbrauch an Gefrierkonserven, der in den USA rd. 28 kg/Kopf erreicht hat, beginnt auch in einigen Ländern Europas bemerkenswert zu werden. Ebenso erfordert die Umstellung der Verkaufsläden zu Selbstbedienungsläden viele neue Kälteeinrichtungen. In der Industrie gehört die Tieftemperaturgaszerlegung zu den Grundstoff-Erzeugungsverfahren für Sauerstoff, Trennung von Kohlenwasserstoffen, Herstellung schweren Wassers. Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt werden heute mit industriell gefertigten Kältemaschinen erzeugt und schon technisch eingesetzt. Die Klimatechnik macht in den USA grosse Fortschritte, wobei die Wärmepumpe als Ganzjahresklimagerät einen besonders raschen Aufschwung genommen hat. In der Isoliertechnik ermöglichen stabile Kunststoffschäume neue Fertigungsverfahren. Die Poren können mit Schwergas gefüllt werden, wodurch die Isolierwirkung auf fast das Doppelte ansteigt.

La technique du froid est actuellement l'une des branches de l'industrie qui se développe le plus rapidement. Dans tous les pays, sauf aux Etats-Unis où le degré de saturation est déjà atteint, le réfrigérateur — qui a ouvert la voie aux applications du froid — se répand de plus en plus. Sa grandeur et son aménagement se modifient et il est devenu d'un usage courant. Il en est de même des conservateurs, qui passent de la forme d'un coffre à celle d'une armoire, dont le service est plus commode. La consommation de conserves surgelées, qui atteint 28 kg/habitant aux Etats-Unis, commence également à être notable dans quelques pays d'Europe. De même, l'introduction du self-service dans les magasins nécessite de nombreux dispositifs frigorifiques d'un nouveau genre. Dans l'industrie, la décomposition de gaz à basse température compte parmi les procédés courants pour l'obtention de l'oxygène, la dissociation des hydrocarbures, la production d'eau lourde, etc. Des températures proches du zéro absolu sont maintenant atteintes et utilisées techniquement avec des machines frigorifiques industrielles. La technique de la climatisation fait de grands progrès aux Etats-Unis, où la pompe thermique sert déjà d'appareil de climatisation fonctionnant toute l'année. En technique de l'isolement, des mousses synthétiques stables permettent de nouveaux procédés de fabrication, leurs pores pouvant être remplis de gaz lourd, ce qui double presque le pouvoir isolant.

Die Kältetechnik gewinnt im menschlichen Leben immer mehr an Bedeutung und beginnt, jahrhundertealte Lebensgewohnheiten umzuformen. Sie dringt in die verschiedensten Wirtschaftszweige vor und bringt dort neue Ideen: Konservierungsverfahren für Lebensmittel, Klimatisierung von Wohn- und Arbeitsstätten, neue Produktionsverfahren in der Industrie, technische Arbeitsgebiete im Bereich des absoluten Nullpunktes. In allen Teilen der Welt gehört die Kälteindustrie zu den wachstum-intensivsten Industriezweigen. Ihr Produktionswert belief sich insgesamt im Jahre 1960 auf über 20 Milliarden DM, wovon über die Hälfte auf Einrichtungen zum Konservieren und Aufbewahren von Lebensmitteln entfällt.

1. Die wirtschaftliche Entwicklung

Trotz ihrer jetzt 100jährigen Geschichte befindet sich die Kältetechnik erst am Anfang einer kaum zu erahnenden Aufwärtsentwicklung. Das Schwergewicht der Produktion und technischen Entwicklung liegt heute mit etwa 60 % ohne Zweifel in den USA. Dort steht praktisch in jedem Haushalt ein Kühlschrank. Schon jede fünfte Familie kann wenigstens einen Raum ihrer Wohnung im Sommer klimatisieren.

In Europa wuchs in den letzten 10 Jahren die Produktion von Kühlschränken auf ungefähr das Zehnfache und überflügelte im Jahre 1959 erstmalig mit rd. 4 Millionen Stück die der USA mit 3,7 Millionen Stück. Trotzdem ist der Anteil der europäischen Kälteindustrie am Weltproduktionswert höchstens 20 %, sehr im Gegensatz zum Produktionsanteil an elektrotechnischen Erzeugnissen, bei welchen die Wirtschaftsblöcke EWG und EFTA einen Anteil von 28,5 % auf sich vereinigen (verglichen mit einem Anteil von 45 % der USA und 17,5 % der Ostblockstaaten). Die wirtschaftspolitische Neuorientierung Europas wird die nationalen Kälteindustrien zu einem Denken in grösseren Wirtschaftsräumen zwingen. Eine Konzentration und vernünftige Einteilung des wirtschaftlichen Potentials wird angesichts der grossen Wirtschaftsblocks im Osten und Westen und angesichts der in Europa zu erwartenden Entwicklung auf dem Gebiet der Gefrierkonservierung, der Klimatechnik, der neuen Verfahren der thermoelektrischen Kühlung und der Schaumstoffisolierungen unumgänglich. Dies wird umso dringlicher, als die Länder des Ostens in sorgfältigen, weit vorausschauenden Planungen die Absicht bekunden, innerhalb der nächsten fünf Jahre ihre Kälteindustrie erheblich auszubauen. So sollen z. B. in den UdSSR bis zum Jahre 1965 30 neue Fabriken für Kälteverdichter, Kühlmöbel aller Art und Kältezubehör gebaut werden.

In Europa haben sich deshalb die Kältemaschinenhersteller in einem Comité des Constructeurs de Matériel Frigorifique (CECOMAF) zusammengeschlossen, desgleichen die Betreiber von Kühlhäusern in der Association Européenne des Exploitations Frigorifiques (AEEF).

Welche Entwicklungen hier in den nächsten Jahren bevorstehen, soll an Hand der Fig. 1 und der Fig. 2 demonstriert werden. Fig. 1 zeigt den enormen Anstieg im Verbrauch von Gefrierkonserven, der selbst mit 28 kg/Kopf und Jahr in den USA dort noch längst nicht abgeschlossen zu sein scheint. Die europäischen Länder ziehen mit Zuwachsraten von z. T. 100 % im Jahr nach und haben heute einen Verbrauch von 0,3...2 kg/Kopf und Jahr (Tabelle I). Welche Auswirkungen diese Entwicklung auf den Bedarf an Kühlschränken mit Tiefkühlfach, an Gefriermöbeln, an Verkaufskühlmöbeln in den Verkaufsläden, an Kühltransportmitteln usw. haben wird, lässt sich nicht voraussagen.

Marktsättigung an Haushaltkühlschränken im Vergleich zum Verbrauch an Gefrierkonserven in verschiedenen Ländern

Tabelle I

Land	Marktsättigung an Haushaltkühlschränken %	Verbrauch an Gefrierkonserven kg/pro Kopf
USA	97	28
Kanada	95	—
Australien	71	—
Schweden	52	3
Deutschland	30	0,3
Neuseeland	26	—
Frankreich	20	—
England	17	0,2
Dänemark	16	—
Italien	10	—

Jedenfalls zeigt Fig. 2, dass — abgesehen von den USA — die Produktion an Haushaltkühlschränken in allen Ländern der Erde in starkem Masse anwächst. Allerdings scheinen die Produktionszahlen gewissen,

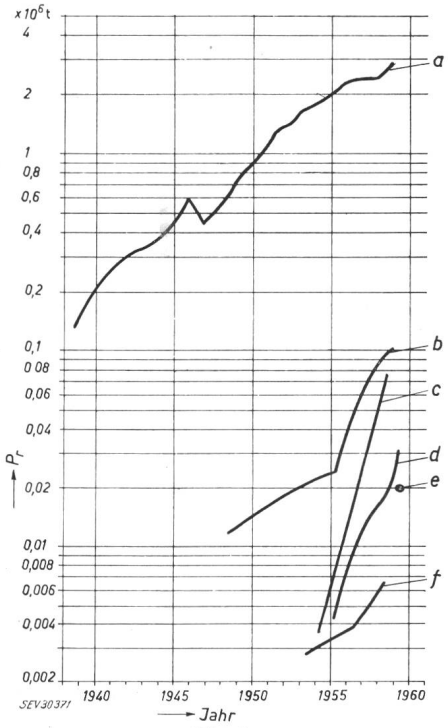

Fig. 1

Die Produktion von Gefrierkonserven in verschiedenen Ländern der Erde

P_r Produktion

a USA, *b* England, *c* Tschechoslowakei, *d* Deutsche Bundesrepublik, *e* Schweden, *f* Holland

von der Marktsättigung her gegebenen Gesetzmässigkeiten zu gehorchen, wie dies Fig. 3 zeigt. Dort ist die Entwicklung des USA-Marktes und — mit einer zeitlichen Verschiebung von 8 Jahren — des Marktes der deutschen Bundesrepublik in einem Maßstab aufgetragen, der etwa der Bevölkerungszahl entspricht. Es scheint danach eine Grenze der Marktaufnahmefähigkeit zu bestehen, ab welcher die Produktionszahlen abfallen oder zumindest nicht mehr weiter wachsen.

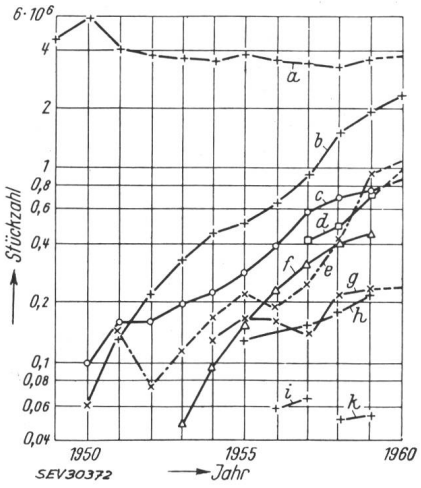

Fig. 2

Die Produktion von Haushaltkühlschränken in verschiedenen Ländern

Im Jahre 1960 betrug die Weltproduktion mehr als 11 Millionen Stück

a USA, *b* Deutsche Bundesrepublik, *c* Frankreich, *d* Italien, *e* England, *f* Russland, *g* Brasilien, *h* Kanada, *i* Tschechoslowakei, *k* Dänemark

Angesichts dieser bedeutenden wirtschaftlichen Aspekte ist erforderlich, die technische Entwicklung genau zu verfolgen, um auch in der Zukunft konkurrenzfähige und den Bedürfnissen des Marktes entsprechende Erzeugnisse liefern zu können. In den meisten Ländern mit einer bedeutenden Kälteindustrie wurde dies auch erkannt und sind dazu geeignete Gremien gebildet worden: In Frankreich ein Conseil national du Froid, dem acht Ministerien und alle Verbände, die mit Kälte zu tun haben, angehören. In Deutschland der Technische Rat der Arbeitsgemeinschaft Kälte-Industrie und der Forschungsrat Kältetechnik. Im ersteren werden viele technische Probleme der Kälteindustrie gemeinsam behandelt, im zweiten sind Industrie und Wissenschaft vereinigt, um gemeinsam Forschungsaufgaben zu stellen und zu finanzieren. In den USA ist die bekannte American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers mit 20 000 Mitgliedern der fünftgrösste technische

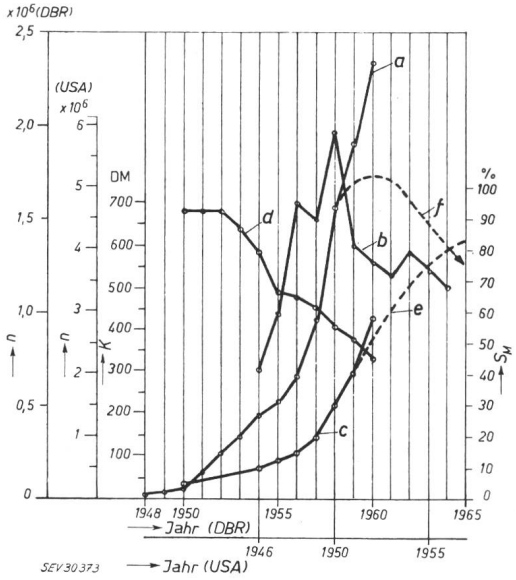

Fig. 3

Produktion, Nettopreis und Marktsättigung von Haushaltkühlschränken in der Deutschen Bundesrepublik (DBR) 1948 bis 1960

Zum Vergleich die Entwicklung der Produktion in den USA von 1945 bis 1955

n Stückzahl; *K* Nettopreis; S_M Marktsättigung

a Produktionsentwicklung in der DBR, *b* Produktionsentwicklung in den USA, *c* Entwicklung der Marktsättigung in der DBR, *d* Nettopreise für kleinere Kühlschränke; *e* Prognose der weiteren Entwicklung der Marktsättigung, *f* Prognose der Absatzmöglichkeiten

Fachverein, der über ein Budget von 1,2 Millionen Dollar verfügt, mit welchem er an zahlreichen Universitäten Forschungsaufgaben finanziert. In der UdSSR existieren ein zentrales Forschungsinstitut mit über 200 wissenschaftlichen Mitarbeitern, zentrale Konstruktionsbüros für die technischen Entwicklungen und 3 Hochschulen, an denen jährlich mehrere hundert Kälteingenieure ausgebildet werden.

2. Die wichtigsten technischen Entwicklungen

2.1 Haushaltkühlschränke und Gefriermöbel

Die wachsende Konkurrenz und die mit der grösseren Erfahrung ausgeprägteren Wünsche der Hausfrau werden eine bessere Anpassung der Konstruktionen an die drei wichtigsten Anforderungen bringen:

a) Der Schrank muss gefallen.

b) Er muss ein praktisches Arbeitsgerät sein.

c) Er muss den wirtschaftlichen Bedürfnissen und Möglichkeiten des Verbrauchers angepasst sein.

In Europa ist der Geschmack anders als in Amerika. Der Lebensstandard ist in den verschiedenen Ländern noch sehr verschieden. Über die erste Forderung ist daher keine allgemeine Aussage möglich. Aber die Modeströmungen in der Formgebung setzen sich fast überall durch.

Zur zweiten Forderung, dass der Schrank ein Arbeitsgerät sein muss, gehört zunächst das Einstellen und Erhalten der richtigen Lagerbedingungen. In Amerika hat man schon vor vielen Jahren die heute noch bei uns üblichen Verdampferfächer verlassen oder baut sie nur noch in die ganz billigen Schränke ein. Statt dessen sind Neuerungen zu beobachten wie z. B. Schränke mit Luftumwälzung im Innern, Schränke mit Fächern für besonders hohe Luftfeuchtigkeit, die Anwendung von Kaltluftschleiern über bestimmten Fächern, die der Lagerung von Fleisch dienen, u. a. m. Diese Entwicklungen werden auch in Europa sehr bald Eingang finden, da die Vorteile, die sich für die Lagerung der Lebensmittel ergeben, so eindeutig sind, dass sie auch dem europäischen Verbraucher zugänglich gemacht werden müssen. Dies gilt besonders auch für den Übergang zu wesentlich grösseren Gefrierfächern, und zwar zu Gefrierfächern, die diesen Namen verdienen.

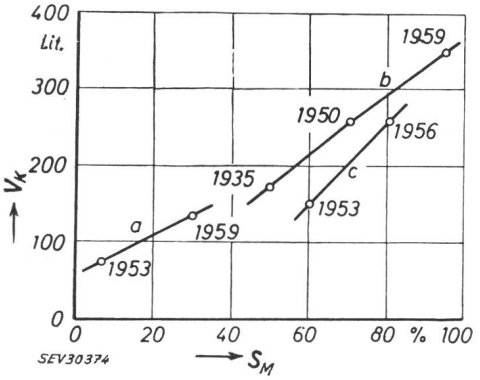

Fig. 4
Die am häufigsten gekaufte Kühlschrankgrösse in Abhängigkeit von der Marktsättigung
V_K meistgekaufte Kühlschrankgrösse; S_M Marktsättigung
a Deutsche Bundesrepublik, *b* USA, *c* Kanada

Die Form und Grösse der Schränke ist abhängig von der Marktsättigung und der Dauer des Marktes, wie aus den Fig. 4 und 5 hervorgeht. Bei einer Marktsättigung von etwa 10 %, die gleichzeitig einer Marktdauer von etwa 5 Jahren entspricht, liegt die übliche Kühlschrankgrösse noch unter 100 Lit. Bei einer 30 %igen Marktsättigung, entsprechend einem 10- bis 11-jährigen Kühlschrankmarkt, ist die mittlere Schrankgrösse auf etwa 130...140 Lit. angewachsen und bei einer 90- bis 100-%igen Marktsättigung, die in Amerika zu beobachten ist, entsprechend einer Marktdauer von etwa 35 Jahren, liegt die Kühlschrankgrösse bei 350 Lit. Dies scheint eine Gesetzmässigkeit zu sein, die ziemlich unabhängig von dem jeweiligen Markt ist, so dass auch in Europa mit einem langsamen Ansteigen der Kühlschrankgrössen gerechnet werden muss. Dies gilt nicht nur für Haushaltkühlschränke, sondern auch für Gefriermöbel (Fig. 6). So hatten z. B. im Jahre 1947 noch über 50 % aller in Amerika verkauften Gefriermöbel weniger als 250 Lit. Inhalt, während sich ihr Marktanteil im Jahre 1958 auf weniger als 5 % belief. Hingegen war der Anteil der Gefriermöbel mit mehr als 400 Lit. Inhalt, die im Jahre 1947 nur etwa 10 % Marktanteil hatten, auf 60 % angestiegen.

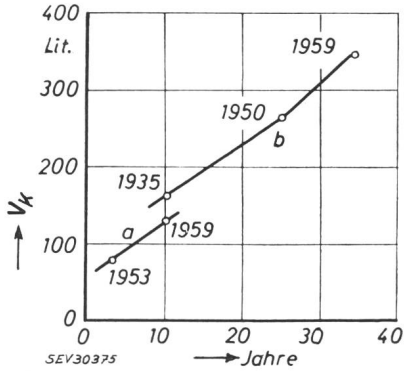

Fig. 5
Die am häufigsten gekaufte Kühlschrankgrösse in Abhängigkeit von der Dauer eines ungestörten Kühlschrankmarktes
V_K meistgekaufte Kühlschrankgrösse; *a* Deutsche Bundesrepublik, *b* USA

Der Tischkühlschrank ist ein ausgesprochenes Erzeugnis des europäischen Marktes mit seinem niedrigeren Lebensstandard, der z. B. in dem kleineren, in der Küche zur Verfügung stehenden Raum zum Ausdruck kommt. Ohne Zweifel ist er eine Kompromiss-

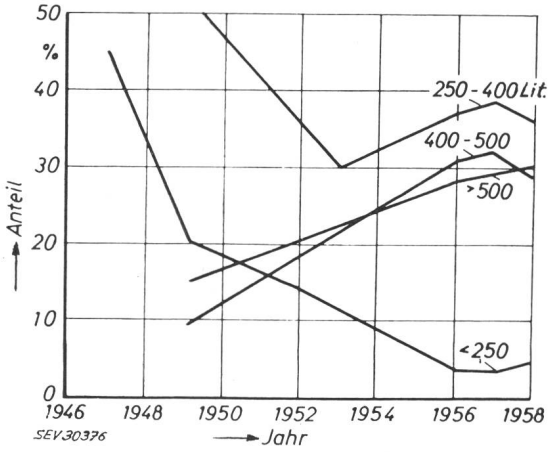

Fig. 6
Die Grösse der in den USA verkauften Gefriermöbel in Liter Inhalt seit 1947

lösung, die den arbeitstechnischen Anforderungen, die man an einen Haushaltkühlschrank stellen muss, in keiner Weise gerecht wird. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die nachweisen, dass die günstigste Arbeitshöhe für einen Kühlschrank ähnlich wie beim Herd und Backofen in etwa 1 m Höhe liegt und dass für die Handhabung eines Tischkühlschranks eine bis zu 100fach höhere Arbeitsleistung als für einen in richtiger Arbeitshöhe liegenden Schrank benötigt wird. Es wird nur eine Frage der Zeit sein, dass der Tischkühlschrank durch ähnlich preisgünstige Normalschränke oder — noch besser — Wandkühlschränke abgelöst wird.

Die Entwicklung von Möbeln, die arbeitstechnisch günstiger als die vorhandenen sind, kann einen erheblichen Einfluss auf den Markt haben. Zum Beispiel war der Beginn des Gefriermöbelmarktes in Amerika durch die Produktion von Tiefkühltruhen gekennzeichnet, so wie dies heute auch in Europa der Fall ist. Im Jahr 1951 war der Anteil der Gefrierschränke an der Gesamtproduktion noch kleiner als 5 %. Seit dem Jahre

1952 ist aber ein sehr starker Umschwung zu beobachten. Schon im Jahre 1954 betrug der Anteil der Schränke 35 % und im Jahr 1958 lag er über 50 % (Fig. 7). Der Gefrierschrank hatte sich durchgesetzt, obwohl er teurer als die Truhe ist, aber arbeitstechnisch so viele Vorteile aufweist, dass sich der Verbraucher eindeutig zu dieser Lösung entschieden hat.

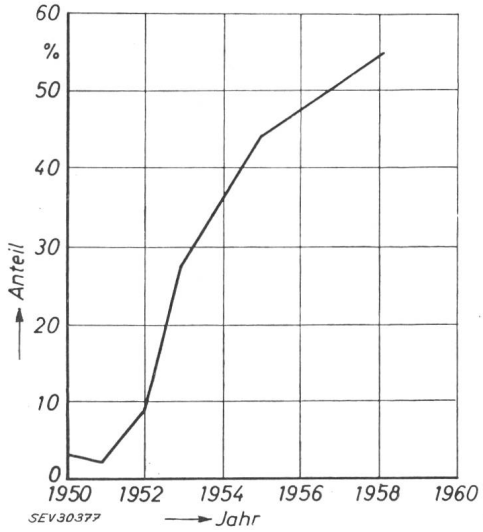

Fig. 7
Anteil der Gefrierschränke am Gesamtumsatz von Gefriermöbeln in den USA

Auch an der Verkleinerung des Raum- und Platzbedarfs wird intensiv gearbeitet. Im Jahre 1957 hatte ein 100 Lit.-Kühlschrank nur eine 30 %ige Raumausnützung. Im Jahr 1959 waren es schon 45 % (Fig. 8). Das

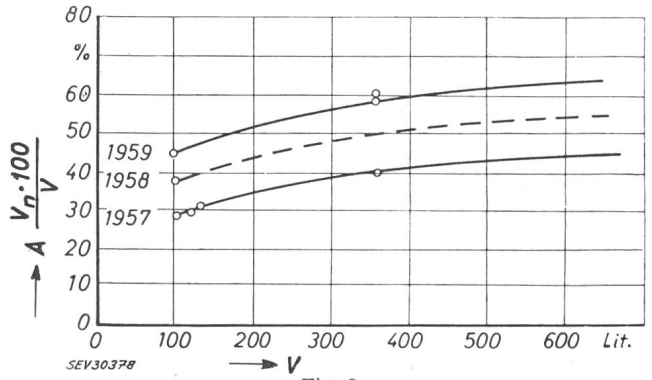

Fig. 8
Zunahme der Raumausnützung bei Haushalt- und Gewerbekühlschränken durch bessere Konstruktionen und verbesserte Kälteschutzstoffe

$A \frac{V_n \cdot 100}{V}$ Raumausnützung $\frac{\text{Nettovolumen} \cdot 100}{\text{Gesamtvolumen}}$; V Schrankgrösse

übliche Fertigungsverfahren der geschweissten Ganzstahlbauweise wird durch die Anwendung schwergasgefüllter Kunststoffschäume, die eine etwa 50 % bessere Ausnützung des Raumbedarfs und dabei noch vermutlich billigere Fertigungen erlauben, verdrängt werden. Die Industrie der USA stellt sich schon heute auf diese Verfahren um. In Europa ist die Anwendung von Kunststoffschäumen noch im Anfangsstadium.

2.2 Die Gefrierkonserve und die Tiefkühlkette

Die Gefriertechnik wird zum bedeutungsvollsten Zweig der Lebensmittelkonservierung. Der Verbrauch von Gefrierkonserven steht mit der Marktsättigung an Haushaltkühlschränken (gleichbedeutend mit Gewöhnung der Hausfrau an Kälteanwendung) in Zusammenhang (Tabelle I). Bei etwa 30 % Marktsättigung an Haushaltkühlschränken, die nach etwa 5...7 Jahren erreicht ist, setzt der Bedarf an Gefriermöbeln ein. Dabei beherrscht zunächst das kleinere Gefriermöbel in Truhenform den Markt. Aber schon jetzt zeichnet sich z. B. in Deutschland bei den grösseren Einheiten ein Umschwung zum Gefrierschrank ab. Bei der Ausstattung wird auf die übersichtliche Abstellmöglichkeit der verschiedensten Fertiggerichte zu achten sein. Der Anteil der vorbereiteten und fertigen Gerichte beträgt in den USA schon 28 % des Umsatzes.

Die Umstellung des Lebensmittelverkaufes vom Ladengeschäft zum Supermarkt und Selbstbedienungsgeschäft ist in den USA abgeschlossen, obwohl dort jährlich noch 2000 Geschäfte neu eröffnet werden. In den europäischen Ländern ist die Umstellung in vollem Gang und der Bedarf an gekühlten Verkaufsmöbeln entsprechend gross (Fig. 9). Zum überwiegenden Teil

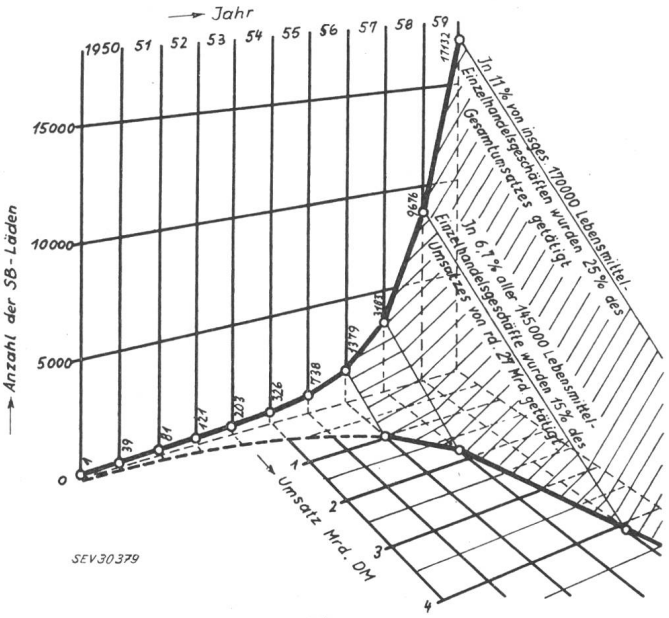

Fig. 9
Die Entwicklung des Selbstbedienungs-Lebensmittelladens (SB) in der Bundesrepublik Deutschland seit 1950 in Anzahl und Umsatz

handelt es sich um offene Tiefkühlmöbel und mehretagige Schauvitrinen für Fleisch, Gemüse, Obst usw. Die Entwicklung geht zu den offenen, von allen Seiten zugänglichen «Gondeln» und zu Verkaufsregalen, die mit Luftschleier gekühlt werden. Die Möbel sollen zum Verkauf aller Arten von Lebensmitteln einschliesslich der Gefrierkost geeignet sein. Sie nehmen noch zu viel Platz weg und der Kältebedarf ist zu gross. Es wird deshalb an die Entwicklung von oben her zu beschickender Regale oder Verkaufsautomaten gedacht.

Beim Neubau von Kühlhäusern geht die Entwicklung zur Aufteilung in wenige, grosse Kühlhallen. Die Baukosten werden dadurch gesenkt, die Einlagerung und die Transporte übersichtlicher. Bedienungsgänge und allgemeine Transportwege werden getrennt. Den Kühlhäusern werden Verarbeitungs- und Verpackungsbetriebe angeschlossen. Die eingeschossige Leichtbauweise beginnt — von den USA kommend — sich auch in Europa durchzusetzen. Mit Kühlhäusern kann man — wie dies in Frankreich bewiesen wird — durch Einlagerungen während der Angebotsschwemme und zweckmässige Weiterverarbeitung verlustlos eine Beruhigung der Märkte erzielen. Zur Herabsetzung der Gewichtsverluste werden doppelwandige Gefrierräume

gebaut oder mit einer allseitig berohrten Innenverkleidung versehen.

Mit zunehmender Integration des gemeinsamen Marktes wächst die Bedeutung der Kühltransporte. Für den Bahntransport steht der neue UIC-ORE-Waggon zur Verfügung, der Eisbunker und eine elektrische Innenbelüftung hat. Der maschinengekühlte Waggon hat sich bisher nur in den USA, Schweden und Russland durchgesetzt. In England wird in grösserem Umfang auch in gekühlten Behältern (bis 3 t Ladegewicht) transportiert. Die Verteilung der Gefrierware vom Grosshändler zur Verkaufstruhe wird teilweise mit maschinengekühlten Kleintransportern bewerkstelligt. Die Bauweisen sind noch zu schwer, die Kältemaschinen und deren Betrieb zu raumaufwendig und störanfällig. Neue Entwicklungen sind dieselelektrische Antriebe und Verwendung gekapselter Motorverdichter oder ölhydraulische Antriebe. Für die Karosserien eignen sich Kunststoffschaum-Verbundbauweisen, die Gewichtsersparnisse bis 60 % ermöglichen.

2.3 Tieftemperaturtechnik

In der Industrie dringt die Kälteanwendung zu immer tieferen Temperaturen vor und tritt als «Kältebehandlung» gleichwertig neben die altbekannte Wärmebehandlung. Die Gasverflüssigung und Gaszerlegung, insbesondere die Sauerstofferzeugung, gehören nach Bedeutung und Umfang zu den Grundstoffindustrien. Die Kunststoffindustrie und die Atomtechnik wären ohne die Verfahren zur Kohlenwasserstoffgewinnung aus Rohgasen, die Herstellung von schwerem Wasser durch Rektifikation von Wasserstoff, das Rectisol-Verfahren u. v. a. nicht mehr denkbar. Die ersten D_2O-Anlagen sind in Deutschland und in der Schweiz entstanden. Die Erdölindustrie beabsichtigt, Europa mit verflüssigtem Erdgas aus den Feldern des Nahen Ostens zu versorgen. Der Preis soll nur ein Drittel des Kokereigases betragen. Der Transport geschieht in wärmeisolierten Tankern.

Die ersten Anwendungsmöglichkeiten sehr tiefer Temperaturen bis etwa 20 °K zeigen sich in der Elektroindustrie. So lassen sich die für die Kernforschung erforderlichen hohen Feldstärken mit Magneten herstellen, deren Spulen mit flüssigem Wasserstoff gekühlt sind. Die Anwendung der Supraleitung erlaubt den Bau kleinster Speicherelemente für Elektronengehirne, die nur mehr 1000mal mehr Platz als das Neuron im menschlichen Gehirn beanspruchen. Solch tiefe Temperaturen können heute mit kleinen Gaskältemaschinen erzeugt werden. Auch für den Temperaturbereich zwischen 1 °K und 0,1 °K ist eine Kältemaschine entwickelt worden, die erlaubt, solche tiefe Temperaturen dauernd aufrecht zu erhalten! Für den Bereich zwischen —100 °C und —200 °C hat eine Firma ihre Gaskältemaschine in ihrem Leistungsbereich bis auf 40 000 kcal/h vergrössert.

2.4 Klimatechnik

Die Luft in Industriegebieten ist eine verpestete Masse, so dass die alte Lüftungsregel, wonach die «verbrauchte» Innenluft durch «Frischluft» zu ersetzen sei, ihren Sinn verloren hat. Die moderne Klimatechnik belüftet nicht mehr, sondern muss die verseuchte Aussenluft von den Innenräumen fernhalten und sie aufbereiten. Dies lässt sich mit serienmässig gefertigten, elektrostatischen Luftfiltern und nachgeschalteten Aktivkohlefiltern so einwandfrei erreichen, dass z. B. bei U-Booten völlig auf Frischluftzufuhr verzichtet werden kann. Die bedeutenden Entwicklungen auf dem Gebiet des Höhen- und Raumflugs sowie der Atom-U-Boote wären ohne diese Fortschritte der Klimatechnik undenkbar.

In Europa hat die Klimatechnik noch nicht die Bedeutung wie in den USA erlangt. Dort hat sich seit 1950 der Umsatz mehr als verzehnfacht und steigt noch jedes Jahr um ca. 20 %. Im Jahre 1957 war er schon weit über 3,5 Milliarden Dollar. Dabei gewinnt für Wohnhäuser der zentrale Ganz-Jahres-Klimaschrank mehr und mehr Bedeutung. Bei Grossbauten (Büros und Fabriken) ist schon längst der wirtschaftliche Vorteil der Leistungssteigerung, die durch Klimatisierung erreicht werden kann, erkannt worden. Diese Grossanlagen bestehen aus einer zentralen Maschinenanlage, die Heiss- und Kaltwasser erzeugt und Einzelklimaelementen in den Räumen, die damit versorgt werden. Die Lithiumbromid-Wasser-Absorptionskältemaschine und der — u. U. — dampfturbinenangetriebene Turboverdichtersatz liegen bei dem Rennen um die bessere Wirtschaftlichkeit Kopf an Kopf. Für Grossbauten hat man Heiz-Kühlsysteme mit Kalt- und Heisswasser in je einem Zulaufrohr und einem gemeinsamen Rücklauf vorgeschlagen, bei dem sich jeder Heizkörper einzeln regeln lässt. Häufig wird in einem Gebäude je nach der Lage der Räume Heizung und Kühlung gleichzeitig benötigt. Dann arbeitet die Kälteanlage dieses Systemes unter Ersparung von viel Energie als Wärmepumpe, die die Wärme nur von einem Teil des Gebäudes in ein anderes zu befördern braucht.

Eine Sonderbetrachung verdient die Heizwärmpumpe, die in den USA einen erstaunlichen Aufschwung genommen hat. In den südlichen Landesteilen wird sie in 85 % aller Neubauten als Heizsystem eingebaut. Ihre Zukunftschancen werden angesichts der langfristigen Energiekostenentwicklung günstig beurteilt. Das Gerät wird neuerdings meistens in 2 Teilen aufgestellt: im Freien der Verdichter mit dem Aussenluftkühler, im Haus der Verflüssiger (Lufterhitzer) mit Luftfilter und Ventilator. Die Leistungsziffer liegt bei 2...2,5.

Bei den modernen Passagierflugzeugen sind die Anforderungen an die Klimaanlagen sehr hoch und z. T. nur mit kombinierten Kalt-Luft-Kaltdampf-Kreisläufen und Antrieben durch Druckluft, Öl oder das 400-Hz-Netz im Flugzeug erfüllbar. Bei grossen Höhen versagen die Kaltluftmaschinen wegen Mangel an Betriebsluft. Der Raumflug schliesslich bringt das Problem der Schwerelosigkeit, bei welchem alle Vorgänge, die auf Dichteunterschieden beruhen, wie Verdampfen, Kondensieren, natürliche Konvektion, Flüssigkeitsspiegel usw., versagen.

Die Klimatisierung von Personenkraftwagen macht in den USA schnelle Fortschritte. Viele bedeutende Marken statten ihre Modelle serienmässig mit Klimaanlagen aus. Die jährliche Produktionsziffern sind auf über 500 000 angestiegen.

2.5 Kälteerzeugung

Auf dem Gebiet der Kaltdampf-Kältemaschinen ist eine rührige Entwicklung zu beobachten, die kleinere Gewichte, kleineren Raumbedarf und höhere Leistungsziffern zum Ziel hat. So wird der alte Ammoniakverdichter bei grossen Leistungen durch den Turboverdichter, bei mittleren Grössen durch Drehkolben- und Drehschieberverdichter verdrängt. Von unten her dringen

die gekapselten Motorverdichter in die höheren Leistungsbereiche bis 120 000 kcal/h vor. Es sind hier durch systematische Entwicklungsarbeit erstaunliche Ergebnisse erzielbar (Tabelle II). So werden bei einer Konstruktion Schrauben, Bolzen und Dichtungen durch Schrumpf-, Löt- und Passverbindungen ersetzt. Für die direkte Verwendung von Gas als Treibstoff wurde ein Freikolben-Kälteverdichter entwickelt. Die Optimal-Berechnung und Beaufschlagung von Wärmetauschapparaten wie Verdampfer, Verflüssiger u. ä. wurde wieder und wieder verbessert. So erhöht z. B. eine französische Firma den Umlauf in überfluteten Verdampfern durch Injektoren. Bei der Absorptionskältemaschine zeichnet sich neben dem Arbeitsstoffpaar Lithiumbromid-Wasser ein weiteres neues — und evtl. vorteilhafteres — Paar ab, Tetraäthylenglykol-dimethyläther als Lösungsmittel und R 22 als Kältemittel.

Entwicklung der Kälteverdichter einer Firma in den USA, hinsichtlich Raumbedarf und Gewicht (Leistungsgrösse 15 000 kcal/h)

Tabelle II

Jahr	1900	1930	1939	1946	1949	1960
Raumbedarf (Lit.)	3500	2000	500	350	70	40
Gewicht (kg)	1800	490	230	190	90	43
Drehzahl (min^{-1})	160	500	1500	1750	1750	3500

Die Entwicklungsarbeiten zur thermoelektrischen Kühlung sind so weit gediehen, dass schon die Frage der wirtschaftlichsten Abmessungen und der Wettbewerbsfähigkeit im Vordergrund steht. Die Anstrengungen der Halbleiterphysiker richteten sich im letzten Jahr anscheinend vor allem auf die Entwicklung von Werkstoffen, die sich verhältnismässig billig herstellen und leicht weiterverarbeiten lassen. Die Theorie der Halbleiter wurde ausgebaut und auf neue Legierungen vom Typus Zn_{nx}, Cd_{1-x}, Sb erweitert. Dabei war wesentlich, dass es gelang, reines Zn Sb herzustellen. Bisher lagen meist Mischungen von Zn_4Sb_3 und Zn_3Sb_2 vor. Gegenüber den Standardlegierungen (mit n-Schenkel aus $Bi_2\ Te_{2,4}$, $Se_{0,6}$, dotiert mit einigen 0,1 % AgJ oder CuBr und einer Effektivität $Z > 3 \cdot 10^{-3}$ grd^{-1} bei guten Chargen, und p-Schenkel aus 25 Atom-% $Bi_2\ Te_4$, gelöst in 75 Atom-% $Sb_2\ T_3$ mit 4 % Massenteilen Te und 0,05 % Massenteilen Ge) haben die neuen Legierungen den Vorteil, dass Zn leicht in 99,99 %iger Reinheit erhältlich ist und sich gut löten lässt. Ausserdem sinkt die Effektivität bei tiefen Temperaturen langsamer als bei Bi_2Te_3-Typen. In den USA wird von einer Herstellergruppe aus selbst raffiniertem Tellur, Wismuth, Selen und Antimon ein Thermopaar-Werkstoff Neelium hergestellt und im Handel vertrieben. Er wird für die Transistorkühlung, elektronische Kleinthermostate, Kühler für Ferritspeicher in Rechenmaschinen u. ä. verwendet. Die heutigen Kosten und Arbeitsverfahren lassen eine wettbewerbsfähige Massenproduktion für Kälteleistungen bis 125 kcal/h voraussagen (Fig. 10). In Europa haben bereits drei Firmen die Fertigung aufgenommen.

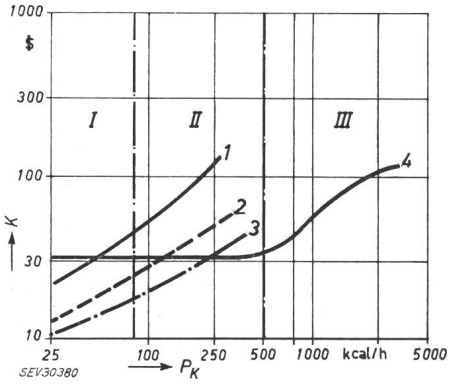

Fig. 10

Die Herstellungskosten von Thermopaaren für thermoelektrische Kälteerzeugung im Vergleich zu den Kosten eines Kaltdampf-Kältekreislaufes

K Herstellungskosten; P_K Kälteleistung

I Kälteanwendung für spezielle Zwecke; *II* Kälteerzeugung für Haushaltgeräte; *III* gewerbliche Kälte und Klima

1 Kosten für Effektivität $Z = 3 \cdot 10^{-3}$ °C; *2* Grenzkosten bei Massenherstellung für $Z = 3 \cdot 10^{-3}$ °C; *3* Grenzkosten für eine Effektivität von $Z = 10 \cdot 10^{-3}$ °C; *4* Kosten für Kaltdampf-Kältekreislauf

2.6 Kälteschutzstoffe

Hier haben die Kunststoffschäume wegen ihrer günstigen Eigenschaften (kleine Wärmeleitung, hohe Wasserdampfdiffusionswiderstände, Formgebung ohne Abfall, leichter Transport der Grundstoffe) zu ganz neuen Entwicklungen geführt. Neben dem seit einigen Jahren verwendeten Polystyrolschaum gewinnt der Polyurethanschaum an Bedeutung. Er wird u. a. zum Ausschäumen von Schiffsisolierungen, in Transportfahrzeugen und zum Isolieren grosser Behälter verwendet. Gegenüber früher ist die Giftigkeit der beim Schäumen entstehenden Dämpfe reduziert worden. Schäume können in beliebigen Formen hergestellt und zusammen mit geeigneten Oberflächenschichten zu Sandwichplatten verarbeitet werden. Die grösste Bedeutung erhalten sie im Kühlmöbelbau, wo sie dank ihrer guten mechanischen Eigenschaften selbsttragende Verbundkonstruktionen erlauben. Die Möbel werden in Schäumformen, die ähnlich einer Giessform mit Kern und Mantel ausgebildet sind, in einem Arbeitsgang fertig ausgeschäumt. Die Verfahren sind schon im grosstechnischen Einsatz. Die Erhöhung der Isolierwirkung durch Füllen mit Schwergas wird bei Polyurethanschäumen schon laufend angewendet. Neuerdings wird auch Glaswolle in eine Luft- und R 12-dichte Verbundfolie verpackt und mit R 12 gefüllt.

Für die Tiefsttemperaturtechnik mussten neue Kälteschutzstoffe und -techniken entwickelt werden, die hohe Tragfestigkeit haben. Z. T. werden die Apparaturen mit Vakuummänteln umgeben, in welche gekühlte Reflexionswände eingebaut werden.

3. Schlusswort

In dieser kurzen Zusammenstellung einiger jüngerer Entwicklungen der Kältetechnik musste zwangsläufig sehr viel unerwähnt bleiben. Welche Fülle von Anwendungsbeispielen aus der industriellen Fertigung und Verarbeitung von Lebensmitteln! Wieviel wichtige Detaillösungen, die erst in den letzten Jahren die Kältemaschine zu dem betriebssicheren, wartungsfreien, automatisch arbeitenden Gerät werden liessen, das heute in Stadt und Land überall zum Wohl der Menschen seinen Dienst versieht!

Es ist schwer zu beurteilen, was «bedeutend» ist. Der Autor hofft, dem Leser wenigstens eine gewisse Vorstellung von der wirtschaftlichen und technischen Bedeutung der Kältetechnik vermittelt zu haben.

Literatur

[1] *Cube, H. L. von:* Kältetechnik in Jahresübersichten. VDI-Z. 99(1957)7, S. 299...310; 100(1958)7, S. 289...299; 101(1959)7, S. 285...293; 102(1960)7, S. 273...281; 103(1961)7, S. 301...313.

Adresse des Autors:

Dr. *H. L. von Cube*, Diplom-Ingenieur, Panoramaweg 8, Wilhelmsfeld bei Heidelberg (Deutschland).