

Die Technik des Kühlschranks

Einführung in die Kältetechnik für Käufer und
Verkäufer von Kühlschränken, Gas- und
Elektrizitätswerke, Architekten und
das Nahrungsmittelgewerbe

Von

Obering. P. Scholl

Berlin

Mit 51 Abbildungen im Text

Zweite verbesserte Auflage



Berlin
Verlag von Julius Springer
1935

ISBN-13: 978-3-642-90372-4 e-ISBN-13: 978-3-642-92229-9
DOI: 10.1007/978-3-642-92229-9

**Alle Rechte, insbesondere das
der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Vorwort zur zweiten Auflage.

Es gab bisher in der Kältetechnik kein Buch, das für den Laien geschrieben war. Alle Bücher setzten die physikalischen Grundlagen der Kältemaschinen und die Erfordernisse der Kühltechnik als bekannt voraus. Es gibt wohl ausgezeichnete Bücher über Kleinkältemaschinen, sie beschränken sich aber alle darauf, den Fachmann über den neuesten Stand dieses Gebietes zu unterrichten. Dagegen war der kaufmännisch oder technisch vorgebildete Laie kaum in der Lage, sich an Hand der Literatur in das Gebiet der Kältetechnik einzuarbeiten, weil nirgend in zusammenhängender Form unter Fortlassung aller abseits stehenden Fragen alle mit ihr verknüpften Probleme von Grund aus entwickelt und behandelt sind.

Diese Lücke möchte das vorliegende Buch ausfüllen. Es hat sich die Aufgabe gesetzt, allen denen, die sich beruflich mit Kühlschränken befassen müssen, die Kenntnisse zu vermitteln, die sie für ihre Aufgabe benötigen, ohne daß sie Vorkenntnisse für dieses Gebiet zu haben brauchen, und ohne daß sie mit überflüssigem Stoff belastet werden. Es entwickelt dabei nicht nur die physikalischen Grundlagen der Kältetechnik und die besonderen Ausführungsformen von Kühlschränken, sondern geht auch auf die allgemeinen Fragen der Kühlung ein.

Dank dem freundlichen Entgegenkommen des Verlages konnte in die vorliegende zweite Auflage ein besonderes Kapitel über die elektrischen Antriebe der Kompressionskältemaschinen eingefügt werden.

Während die Kapitel über die allgemeinen Grundlagen der Kältetechnik ziemlich unverändert geblieben sind, erfuhr der Abschnitt über die praktische Durchbildung der Kühlschränke eine ziemliche Umänderung. Grundlegend neu sind entsprechend dem heutigen Stande der Technik die beiden letzten Kapitel über die speziellen Ausführungen der verschiedenen Kühlschrankfabrikate. Mehrfachen Wünschen entsprechend wurde auch die Bedeutung des Stromverbrauches für die Elektrizitätswerke behandelt.

Möge die vorliegende zweite Auflage die gleiche freundliche Beachtung finden wie die erste.

Berlin, im Januar 1935.

P. Scholl.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Die physikalischen Grundlagen der Kältetechnik	1
I. Physikalische Grundbegriffe	1
II. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	3
III. Die Grundlagen der Kälteerzeugung	5
IV. Die verschiedenen Arten der Kälteerzeugung	7
V. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	12
VI. Die Wärmeübertragung	14
B. Die praktische Durchbildung der Kühlschränke	17
VII. Die Durchbildung der einzelnen Teile der Kompressor- kältemaschinen	17
VIII. Die elektrischen Antriebe der Kompressorkältemaschinen . .	24
IX. Die Eigenschaften der Kältemittel	29
X. Die Durchbildung der Absorptionskältemaschinen	33
XI. Die automatischen Regelvorrichtungen	43
C. Die allgemeinen Gesichtspunkte der Nahrungsmittel- kühlung	47
XII. Luftfeuchtigkeit	47
XIII. Die für den Schrankbau maßgebenden Gesichtspunkte . . .	50
XIV. Die Bedingungen für günstige Lebensmittellagerung . . .	53
D. Besondere Ausführungsformen von Kühlschränken . . .	59
XV. Einige spezielle Ausführungen von Kompressorkühlschränken	59
XVI. Einige spezielle Ausführungen von Absorptionskühlschränken	68
Literaturverzeichnis	74
Sachverzeichnis	75

A. Die physikalischen Grundlagen der Kältetechnik.

I. Physikalische Grundbegriffe.

Wärme und Kälte sind im physikalischen Sinne keine Gegensätze, sondern lediglich verschiedene Ausdrucksformen derselben Energie. Die Begriffe Wärme und Kälte sind bereits im allgemeinen Sprachgebrauch relativ. Wasser von 20°C empfindet und bezeichnet man beispielsweise als kalt, wenn der Körper vorher in warmem Wasser war, man empfindet es jedoch als warm, wenn der Körper vorher in kälterem Wasser war. Physikalisch bedeutet Kälte nichts anderes als „Abwesenheit von Wärme“. Ja streng genommen spricht man in der Physik überhaupt nicht von Kälte, sondern von Wärme höherer oder tieferer Temperatur. Jeder Körper hat, auch wenn er sehr kalt ist, noch eine gewisse Wärmeenergie in sich. Erst beim absoluten Nullpunkt verschwindet die Wärmeenergie vollständig.

Um mit der Wärme rechnerisch umgehen zu können, muß man entsprechende Maße festsetzen, genau so, wie man Längenmaße, Körpermaße, Gewichtsmaße usw. hat. Die technische Einheit der Wärmeenergie ist nun eine Kalorie = 1 kcal. Dies ist die Wärmemenge, die notwendig ist, um 1 kg Wasser um 1 Grad zu erwärmen. Durch diese Größe kann man jede Wärmemenge eindeutig festlegen.

Stellt man durch Versuche fest, wieviel Wärme notwendig ist, um 1 kg Eisen oder 1 kg Blei oder 1 kg sonst eines Stoffes um 1° zu erwärmen, so findet man, daß hierzu eine geringere Wärmemenge notwendig ist als zum Erwärmen der gleichen Menge Wasser. Man nennt nun die Wärmemenge, die notwendig ist, um 1 kg irgendeines Stoffes um 1° zu erwärmen, seine spezifische Wärme. Diese ist für Eisen beispielsweise 0,115; die spezifische Wärme von Blei beträgt nur 0,03, d. h.: man kann mit 1 kcal 1 kg Blei um 33° oder 33 kg Blei um 1° erwärmen.

Aus dem vorher Gesagten geht hervor, daß die spezifische Wärme von Wasser = 1 gesetzt werden muß. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, hat Wasser die größte spezifische Wärme von allen Stoffen.

Durch die Wärmemenge allein ist aber der Zustand eines Körpers noch nicht genügend definiert. Die zweite Größe, die notwendig ist, ist die Temperatur. Die Temperatur wird bekanntlich in Deutschland und fast allen übrigen Ländern durch Grad Celsius ausgedrückt. Bei der Temperaturskala nach Celsius ist der Gefrierpunkt von Wasser = 0^0 , und der Siedepunkt von Wasser bei normalem Atmosphärendruck = 100^0 gesetzt worden. Diese Skala wird dann nach oben und unten beliebig weit ausgedehnt. Bei der früher üblichen Skala nach Réaumur war der Gefrierpunkt von Wasser ebenfalls = 0^0 gesetzt worden, der Siedepunkt von Wasser jedoch = 80^0 . Um also Celsius-Grade in Réaumur umzurechnen, muß man mit $\frac{4}{5}$ multiplizieren. Umgekehrt muß man bei der Umrechnung von Réaumurgraden in Celsiusgrade mit $\frac{5}{4}$ multiplizieren.

In England und Amerika ist auch heute noch eine dritte Temperaturskala im allgemeinen Gebrauch, nämlich die nach Fahrenheit. Hier ist der Gefrierpunkt von Wasser = 32^0 gesetzt und der Siedepunkt von Wasser = 212^0 , so daß zwischen Gefrier- und Siedepunkt eine Differenz von 180^0 besteht. Man muß also die Celsiusgrade mit $\frac{9}{5}$ multiplizieren und dann noch 32^0 addieren, um die entsprechenden Grade Fahrenheit zu erhalten. Die folgende Tabelle gibt für das praktisch vorkommende Temperaturgebiet einen Vergleich zwischen den drei Temperaturskalen.

Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit	Celsius	Réaumur	Fahrenheit
0	0	0	0	0	0	0	0	0
-15	-12	+ 5,0	+ 4	+ 3,2	+39,2	+23	+18,4	+73,4
-14	-11,2	+ 6,8	5	4,0	41,0	24	19,2	75,2
-13	-10,4	+ 8,6	6	4,8	42,8	25	20,0	77,0
-12	- 9,6	+10,4	7	5,6	44,6	26	20,8	78,8
-11	- 8,8	12,2	8	6,4	46,4	27	21,6	80,6
-10	- 8,0	14,0	9	7,2	48,2	28	22,4	82,4
- 9	- 7,2	15,8	10	8,0	50,0	29	23,2	84,2
- 8	- 6,4	17,6	11	8,8	51,8	30	24,0	86,0
- 7	- 5,6	19,4	12	9,6	53,6	31	24,8	87,8
- 6	- 4,8	21,2	13	10,4	55,4	32	25,6	89,6
- 5	- 4,0	23,0	14	11,2	57,2	33	26,4	91,4
- 4	- 3,2	24,8	15	12,0	59,0	34	27,2	93,2
- 3	- 2,4	26,6	16	12,8	60,8	35	28,0	95,0
- 2	- 1,6	28,4	17	13,6	62,6	36	28,8	96,8
- 1	- 0,8	30,2	18	14,4	64,4	37	29,6	98,6
± 0	0	32,0	19	15,2	66,2	38	30,4	100,4
+ 1	+ 0,8	+33,8	20	16,0	68,0	39	31,2	102,2
2	1,6	35,6	21	16,8	69,8	40	32,0	104,0
3	2,4	37,4	22	17,6	71,6			

Heute hat man fast allgemein die Celsiusskala angenommen. Auch in England und Amerika beginnt man in der Wissenschaft und Technik mehr und mehr die Celsiusskala zu verwenden, und im folgenden soll nur noch von ihr die Rede sein.

Die Temperatur in Grad Celsius gibt also an, wieviel Grad ein Körper über oder unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegt. Die Temperatur kann somit positiv oder negativ sein. Die physikalische Forschung steht nun auf Grund theoretischer Überlegungen und praktischer Versuchsergebnisse auf dem Standpunkt, daß es einen absoluten Nullpunkt gibt, dessen Temperatur mit keinem Mittel unterschritten werden kann. Bei dieser Temperatur sind alle Stoffe fest, auch Luft und andere noch schwerer verflüssigbare Gase. Dieser absolute Nullpunkt liegt bei -273°C .

Es ist nun für viele Zwecke der Physik vorteilhaft, wenn man die Temperatur von diesem absoluten Nullpunkt aus zählt. Dann liegt also der Gefrierpunkt von Wasser bei 273° und der Siedepunkt von Wasser bei 373° . Um stets sicher zu unterscheiden, welche Temperatur gemeint ist, bezeichnet man die absolute Temperatur mit T und die gewöhnliche, relative Temperatur mit t . Es ist also

$$T = t + 273^{\circ}.$$

II. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik¹.

Außer der Wärmeenergie gibt es noch eine Reihe anderer Energieformen, z. B. mechanische, elektrische, chemische Energie usw. Alle diese Energien werden in verschiedenen Maßen gemessen. Um sie miteinander vergleichen und ineinander umrechnen zu können, muß man untersuchen, ob, wie weit und in welchem Verhältnis sie sich untereinander umwandeln lassen. Nun gilt als oberstes Gesetz, daß keinerlei Energie aus nichts erzeugt werden kann und daß keine Energie verloren gehen kann. Es kann wohl mechanische Energie in elektrische und Wärmeenergie umgewandelt werden, oder umgekehrt, kurz es ist eine theoretisch unbeschränkte Umwandlungsmöglichkeit von einer Energieform in die andere vorhanden; niemals aber kann dabei Energie aus dem Nichts entstehen, bzw. verloren gehen. Interessant ist jedoch dabei, daß bei fast allen Umwandlungen ein Teil der Energie sich in Wärme umsetzt, die vielfach schwierig oder gar nicht in eine andere Energie zurückzuverwandeln ist.

Die bekannteste Einheit der mechanischen Energie ist die Pferdestärke oder kurz 1 PS. Die bekannteste Einheit der elektrischen Energie ist das Kilowatt kW. Bekanntlich ist $1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW}$ oder $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}$. Die beiden eben genannten Größen stellen allerdings nach der strengen Auffassung der Physik

¹ Thermodynamik ist die Lehre von der Wechselwirkung zwischen Arbeit und Wärme.

nicht eine Energie, sondern eine Leistung dar. Um Energie, d. h. Arbeit zu erhalten, müssen sie noch mit der Zeit multipliziert werden. Wenn die Kraft von 1 PS eine Stunde lang gewirkt hat, so ist eine PS-Stunde (PSh) geleistet, ebenso spricht man von 1 kW-Stunde (kWh). Für diese Werte gelten natürlich die gleichen Verhältniszahlen, wie oben, d. h. $1 \text{ PSh} = 0,736 \text{ kWh}$ oder $1 \text{ kWh} = 1,36 \text{ PSh}$.

Durch ausführliche Versuche und theoretische Überlegungen, die hier nicht näher angeführt werden können, sind nun die Verhältniszahlen zwischen mechanischer und elektrischer Energie einerseits und der Wärmeenergie andererseits festgestellt worden. Dabei hat sich ergeben, daß

1 PSh gleichwertig mit 632 kcal und dementsprechend
 1 kWh „ „ 860 kcal sind.

Dies soll an einigen Beispielen veranschaulicht werden. Um 1 l Wasser = 1 kg Wasser von 14° aus zum Kochen zu bringen, d. h. um 86° zu erwärmen, sind nach Kap. I 86 kcal erforderlich. Um 10 l Wasser zum Kochen zu bringen, dementsprechend 860 kcal. Unter der Annahme, daß keine Wärmeverluste durch Abstrahlung entstehen, kann man also mit 1 kWh 10 l Wasser zum Kochen bringen. Praktisch verringert sich diese Zahl natürlich infolge der nicht zu vermeidenden Wärmeausstrahlung auf etwa 7—8 l.

Als weiteres Beispiel sei ein Elektromotor mit einer Leistung von 10 PS erwähnt. Es sei angenommen, daß dieser Motor einen Wirkungsgrad von 80 % hat; d. h. 8 PS werden nutzbar in mechanische Energie umgewandelt, während 2 PS in Wärme umgewandelt werden und damit für die praktische Ausnutzung verloren gehen. Dieser Motor entwickelt in einer Stunde eine Wärmemenge von $2 \cdot 632 \text{ kcal} = 1264 \text{ kcal}$. Diese Wärmemenge wird bei einem luftgekühlten Motor vollständig von der Luft aufgenommen und bedingt eine entsprechende Temperaturerhöhung derselben.

Diese Verhältniszahlen sind unabänderliche Größen. Überall können wir beobachten, wie mechanische und elektrische Energie in Wärme umgewandelt werden. Stets sind hierfür die oben genannten Verhältniszahlen maßgebend. Man nennt die Zahlen daher das mechanische Wärmeäquivalent und den Satz von der Äquivalenz von Wärme und mechanischer Energie den ersten Hauptsatz der Thermodynamik.

Eine scheinbare Ausnahme von diesem Satz ergibt sich bei dem umgekehrten Prozeß, nämlich bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit. Erzeugt man mit der Verbrennungswärme von Kohle Wasserdampf und mit diesem Dampf in einer Dampfmaschine oder Turbine mechanische

oder elektrische Energie, so ist es niemals möglich, den vollen Betrag der aufgewendeten Wärmeenergie in eine andere Energieform umzuwandeln. Es kann immer nur ein gewisser Teil der Wärme in eine andere Energieform übergeführt werden. Der Rest der aufgewendeten Wärmeenergie wird eben wieder als Wärme abgeführt. Wie gesagt, ist dieser Vorgang nur eine scheinbare Ausnahme, denn es geht auch hierbei keine Energie verloren. Der nicht in eine andere Energieform umgewandelte Teil der Wärmeenergie bleibt eben Wärme. Ausführlich wird diese Erscheinung noch in einem der nächsten Kapitel behandelt werden.

III. Die Grundlagen der Kälteerzeugung.

Nach dem vorher Gesagten können wir folgendermaßen definieren: Die Kälteerzeugung besteht darin, daß einem Körper Wärme entzogen wird. Dies gilt jedoch mit einer wichtigen Einschränkung: Wenn ein heißer Körper sich auf die Temperatur der Umgebung abkühlt, so ist das keine Kälteerzeugung; denn dieser Vorgang tritt ja von selbst ein. Unter Kälteerzeugung verstehen wir nur Entziehung von Wärme bei einer Temperatur, die tiefer ist, als die der Umgebung.

Einer der günstigsten physikalischen Prozesse, um bei beliebigen, vorher festgesetzten Temperaturen Wärme zu entziehen, d. h. Wärme zu binden, ist die Verdampfung von Flüssigkeiten. Jedermann weiß, daß beispielsweise zur Verdampfung von Wasser große Wärmemengen erforderlich sind. Es ist leicht, 1 l Wasser zum Kochen zu bringen. Will man aber dieses Liter Wasser vollständig verdampfen, so dauert das bekanntlich noch sehr lange, d. h. es werden große Wärmemengen dazu benötigt. Beispielsweise sind, um 1 kg Wasser bei 100° zu verdampfen, 539 kcal erforderlich. Diese Zahl nennt man die Verdampfungswärme; sie ist für jede Flüssigkeit verschieden groß. Bei Wasser beträgt sie über 5mal soviel, wie notwendig wäre, um das Wasser von 0° auf 100° zu bringen.

Nun kann man Wasser aber nicht nur bei 100° verdampfen, sondern auch bei beliebigen anderen Temperaturen. Im Dampfkessel eines Kraftwerkes wird es beispielsweise zwischen 200° und 300° verdampft, allerdings dann unter entsprechend höherem Drucke. Der normale Druck, der in unserer Umgebung herrscht, wird bekanntlich mit 1 at (Atmosphäre) bezeichnet. Das entspricht einem Druck von 1 kg pro cm^2 . Der Druck, der in einem Dampfkessel herrscht, ist außerordentlich viel höher und schwankt etwa zwischen 10 und 40 at, ist teilweise sogar noch höher.

Umgekehrt kann man Wasser auch bei niedrigeren Temperaturen als 100° verdampfen. Man muß nur dann den Druck entsprechend geringer machen als 1 at. Bekannt ist, daß auf hohen

Bergen das Wasser schon bei 90° oder noch weniger siedet. Das kommt daher, weil der Luftdruck hier schon viel geringer ist als 1 at. Man kann Wasser aber auch ebenso gut bei 20° verdampfen, d.h. bei 20° zum Sieden bringen. Man muß aber dann schon mit dem Druck bis auf 0,02 at heruntergehen. Ebenso kann man bei 0° und unter 0° verdampfen und auch Eis läßt sich direkt in Wasserdampf überführen. Daraus folgt, daß die Siedetemperatur um so geringer ist, je geringer der Druck ist und umgekehrt. Jedem

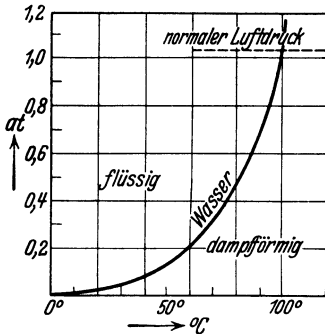


Abb. 1. Dampfdruckkurve von Wasser.

Werte des Druckes entspricht eine ganz bestimmte Siedetemperatur.

In der Abb. 1 ist beispielsweise die Siedekurve für Wasser im Bereich zwischen 0° und 100° dargestellt. Man erkennt daraus ohne weiteres den oben geschilderten Verlauf. Alles, was über dieser Kurve liegt, entspricht dem flüssigen Zustand und alles, was unter der Kurve liegt, dem dampfförmigen. Setzt man beispielsweise Wasser bei einer Temperatur von 60° einem Druck

von 0,1 at aus, so liegt dieser Punkt in dem Bereich unterhalb der Siedekurve, d.h. das gesamte Wasser hat die Neigung, in Dampf überzugehen. Erhöht man dagegen den Druck auf 0,3 at, so liegt dieser Punkt oberhalb der Siedekurve, d.h. der gesamte Wasserdampf hat die Neigung, wieder in den flüssigen Zustand überzugehen, zu kondensieren. Die Siedepunktskurve ist daher die Grenzkurve zwischen dem flüssigen und dampfförmigen Zustand. Man bezeichnet sie auch allgemein als Dampfdruckkurve.

Im Prinzip kann man mit jeder Flüssigkeit Kälte erzeugen, und zwar dadurch, daß man sie durch richtige Bemessung des Druckes bei der gewünschten Temperatur verdampfen läßt. Für die praktische Durchbildung einer Kältemaschine kommen aber noch andere Gesichtspunkte in Frage, die beispielsweise Wasser für Haushaltkältemaschinen als wenig geeignet erscheinen lassen. Man wendet daher in der Kältetechnik andere Stoffe an, z.B. Ammoniak, Schwefeldioxyd, Methylchlorid, Äthylchlorid, Kohlensäure u. a.

Die Dampfdruckkurven dieser Stoffe verlaufen im Prinzip ganz ähnlich wie die von Wasser. Lediglich liegen die Siedepunkte erheblich niedriger. In Abb. 2 sind beispielsweise die Dampfdruckkurven einiger Kältemittel gezeigt. Spricht man vom Siedepunkt einer Flüssigkeit schlechthin, so versteht man darunter den Siede-

punkt bei einem Druck von 1 at. So liegt der Siedepunkt von Ammoniak bei -33° , von Methylchlorid bei -24° , von Äthylchlorid bei $+12^{\circ}$, von Schwefeldioxyd bei -10° usw. Man erkennt aus diesen Kurven folgendes:

Um beispielsweise Ammoniak bei -10° verdampfen zu können, dürfen wir höchstens einen Druck von 3 at haben; um es bei 0° verdampfen zu können, dürfen wir höchstens einen Druck von 4,3 at haben. Umgekehrt müssen wir, um Ammoniakdampf bei $+10^{\circ}$ kondensieren zu können, mindestens einen Druck von 6,3 at haben; um es bei $+30^{\circ}$ kondensieren zu können, müssen wir mindestens einen Druck von 12 at haben usw.

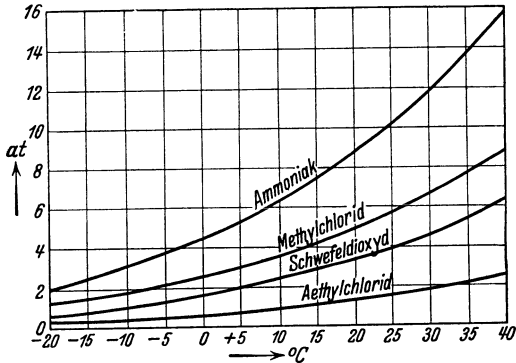


Abb. 2. Dampfdruckkurven verschiedener Kältemittel.

Man kann also stets durch eine richtige Bemessung des Druckes eine Flüssigkeit bei jeder gewünschten Temperatur verdampfen lassen und damit Kälte erzeugen. Wie groß dieser Druck höchstens sein darf, lehrt unmittelbar ein Blick auf die Dampfdruckkurve.

IV. Die verschiedenen Arten der Kälteerzeugung.

Eine Flüssigkeit braucht also Wärme, um zu verdampfen. Sorgt man dafür, daß der Druck über der Flüssigkeit genügend niedrig ist, so beginnt die Verdampfung von selbst, und die hierzu notwendige Wärme wird der Umgebung entzogen, d.h. die Umgebung wird gekühlt. Die einfachste Art der Kälteerzeugung ist die, daß man Wasser verdunsten läßt. Unter Verdunstung versteht man dabei eine durch Anwesenheit anderer Gase verzögerte Verdampfung. Bekannt ist, daß sich Wasser in porösen Tonkrügen besonders kühl hält. Das kommt daher, daß das Wasser durch die Wand hindurch den Tonkrug durchsetzt und an der Außenfläche verdunstet. Sehr verbreitet sind beispielsweise die nach diesem System gebauten Butterkühler.

Man kann ein Gefäß auch dadurch kühlen, daß man es mit sehr feuchten Tüchern umhüllt und der Zugluft oder einem Ventilator aussetzt. Dem Laien kann man die Kälteerzeugung durch Ver-

dampfung einer Flüssigkeit am besten dadurch deutlich machen, daß man darauf hinweist, daß der menschliche Körper, wenn er naß ist, ein recht intensives Kältegefühl erfährt. Besonders stark ist die Kältewirkung dann, wenn man anstatt Wasser eine andere leichter verdunstende Flüssigkeit nimmt, wie z. B. Äther. Die örtliche Betäubung durch Äther oder Chloräthyl beruht ja hauptsächlich darauf, daß die Nerven durch die große Kältewirkung unempfindlich gemacht werden.

Die Kühlung durch verdunstendes Wasser ist jedoch für eine systematische Kühllhaltung von Lebensmitteln nicht ausreichend. Aus einem später noch näher zu erläuternden Grunde erreicht man damit nur verhältnismäßig geringe Temperaturabsenkungen.

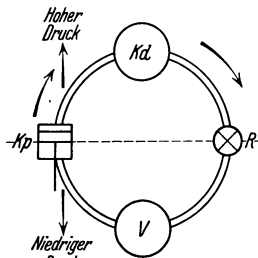


Abb. 3. Vereinfachtes Schema einer Kompressionskältemaschine.

Die geringsten Betriebskosten verursacht eine Kälteanlage dann, wenn das verdampfte Kältemittel wieder zurückgewonnen werden kann. Erst dieses Prinzip hat die moderne Kältemaschinentechnik überhaupt möglich gemacht. Das Kältemittel wieder zurückzugewinnen heißt, es an einer anderen Stelle wieder kondensieren, d. h. das verdampfte Kältemittel wieder zu Flüssigkeit verdichten.

Ein vereinfachtes Schema einer derartigen Kältemaschine zeigt Abb. 3. Hier bedeutet V den Verdampfer und Kd den Kondensator. Dazwischen liegt ein Kompressor Kp , der die Aufgabe hat, das bei niedrigem Druck verdampfte Kältemittel auf den hohen Druck zu bringen, bei dem es im Kondensator wieder kondensieren kann. Das flüssige Kältemittel fließt dann über R wieder dem Verdampfer zu. R ist ein sog. Reduzierventil und hat die Aufgabe, die unter hohem Druck stehende Flüssigkeit wieder auf den niedrigen Verdampfendruck zu entspannen. Man nennt eine derartige Anlage eine Kompressionskältemaschine.

Die Wärme, die das flüssige Kältemittel zum Verdampfen braucht, nimmt es der nächsten Umgebung fort, d. h. es wird zunächst einmal das noch flüssige Kältemittel selbst heruntergekühlt, dann die Wandung des Verdampfers, dann die Luft, die außen am Verdampfer vorbei streicht usw. Der Raum, der gekühlt werden soll, wird durch Wände mit schlecht wärmeleitenden Stoffen von der Umgebung getrennt. Der Verdampfer muß also stets im Kühlraum liegen oder wenigstens mit dem Kühlraum in wärmeleitender Verbindung stehen. Naturgemäß ist die Wärmeisolation des Kühlraumes nicht vollständig, d. h. es dringt durch

die Wände dauernd eine gewisse Wärmemenge ein. Außerdem wird durch das Kühlgut, d. h. durch die in den Kühlraum eingebrachten Lebensmittel Wärme in den Kühlraum hineingebracht. Alle diese Wärme wird dem Verdampfer zugeführt und durch das verdampfende Kältemittel aus dem Kühlschranks herausgeschafft.

Bei der Kondensation von Dampf wird umgekehrt wie bei der Verdampfung eine gewisse Wärmemenge, die sog. Kondensationswärme, frei, und zwar ist diese Kondensationswärme bei gleicher Temperatur genau so groß wie die Verdampfungswärme. Wird also 1 kg Wasserdampf bei 100° kondensiert, so werden dabei auch 539 kcal frei. Soll nun im Kondensator einer Kältemaschine dauernd eine bestimmte Menge kondensiert werden, so muß die Kondensationswärme abgeführt werden, denn sonst würde dieselbe eine Temperaturerhöhung verursachen, und dann könnte bei gleichem Druck der Dampf nicht mehr kondensiert werden, sondern nur noch bei höherem. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, den Kondensator zu kühlen. Dies macht man entweder durch fließendes Wasser oder durch Luft. Da die Temperatur dieser Medien wesentlich höher liegt als die Verdampfertemperatur, muß auch der Druck im Kondensator entsprechend höher liegen als im Verdampfer.

Man kann die Wirkung einer Kältemaschine auch so erklären, daß man sagt: Die mit Hilfe des Verdampfers aus dem Kühlraum herausgeholtte Wärmemenge muß mit Hilfe des Kondensators wegbeefördert werden. Als Zwischenträger dient das Kältemittel. Um den Prozeß stetig weiterlaufen zu lassen, muß man dauernd Energie in das System hineinstecken.

Bei der soeben beschriebenen Kompressionskältemaschine wird diese Energie in Form von mechanischer, bzw. elektrischer Energie dem Kompressor zugeführt. Das Kältemittel durchläuft dabei einen geschlossenen Kreislauf, ohne verbraucht zu werden.

Eine weitere Möglichkeit der künstlichen Kühlung bietet die Absorptionskältemaschine. Bei dieser wird die notwendige Energie nicht als mechanische Energie, sondern im wesentlichen als Wärmeenergie zugeführt. Man unterscheidet zwei verschiedene Bauweisen nämlich die kontinuierliche und die periodische. Zunächst sei die kontinuierliche beschrieben.

Ein vereinfachtes Schema sieht man in Abb. 4. Man sieht dort ebenso wie bei der Kompressionskältemaschine in Abb. 3 den Kondensator Kd , das Reduzierventil R und den Verdampfer V . Man benutzt für diese Art Maschinen meist Ammoniak. Anstatt nun das verdampfte Ammoniak von einem Kompressor ansaugen zu lassen, führt man es in den sog. Absorber A ; das ist ein mit Wasser gefülltes Zwischengefäß. Das Ammoniak wird von dem Wasser begierig aufgesogen und die Wasser-Ammoniaklösung wird nun

durch eine Pumpe P in den Kocher K gefördert. Dieser Kocher wird geheizt und durch Anwendung von Wärme wird das Ammoniak aus dem Wasser wieder ausgetrieben. Das dampfförmige Ammoniak geht dann in den Kondensator und führt den oben bereits beschriebenen Kreislauf zu Ende. Die im Kocher von Ammoniak weitgehend befreite Lösung, die sog. arme Lösung, geht nun über ein weiteres Reduzierventil R_1 wieder in den Absorber zurück, um sich von neuem mit Ammoniak anzureichern. Die Lösung beschreibt also zwischen dem Kocher und dem Absorber einen dauernden Kreislauf.

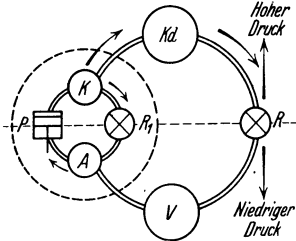


Abb. 4. Vereinfachtes Schema einer kontinuierlich arbeitenden Absorptionskältemaschine.

Man kann das System Kocher-Absorber einschl. Pumpe und Reduzierventil auch einen thermischen Kompressor nennen. Es ist in der Abb. 4 durch eine gestrichelte Kreislinie eingerahmt. Beim Eintritt in dieses System hat das Kältemittel den geringen Verdampferdruck, beim Austritt den hohen Kondensatordruck. Kocher und Kondensator haben denselben, nämlich den hohen Druck, und Absorber und Verdampfer haben gleichfalls denselben, aber niedrigen Druck. Das Gebiet des hohen Druckes ist in Abb. 3 und 4 durch die horizontale, gestrichelte Linie von dem Gebiet des niedrigen Druckes getrennt.

Die für die Pumpe notwendige mechanische Energie ist außerordentlich gering. Sie beträgt nur wenige Prozente der Energie, die der Kompressor einer gleichgroßen Kompressionskältemaschine verlangt. Alle übrige Energie wird in Form von Wärme zugeführt. Diese Maschinen sind besonders dort von Vorteil, wo billige Wärmequellen zur Verfügung stehen, beispielsweise Abdampf, Abgase o. ä. In dieser Form haben sie jedoch nur für größere Anlagen Verbreitung gefunden.

Für einen Haushaltskühlschrank ist eine kontinuierliche Kältemaschine der eben beschriebenen Bauart zu kompliziert und teuer; denn man braucht dazu eine mechanisch betriebene Pumpe, zwei Reduzierventile usw. Sie wäre also nicht einfacher als eine Kompressionskältemaschine. Eine kontinuierliche Absorptionskältemaschine für Kühlschränke, die Pumpen und Ventile vermeidet, wird später noch beschrieben.

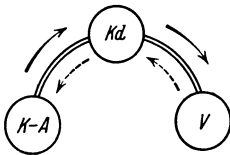


Abb. 5. Vereinfachtes Schema einer periodisch arbeitenden Absorptionskältemaschine.

Man kann aber für den Haushaltskühlschrank das Aggregat noch erheblich einfacher bauen und zwar nach Abb. 5 als periodische Maschine. Hier bedeutet $K-A$ den Kocher und Absorber. Kd ist der Kondensator und V der Verdampfer. Der Betrieb geht in der Weise vor sich, daß der Kocher, der ebenfalls eine Ammoniaklösung enthält, geheizt wird und die aus der Lösung ausgetriebenen Ammoniakdämpfe im Kondensator bei hohem Druck kondensiert werden. Das kondensierte Ammoniak läuft dann in den Verdampfer und speichert sich dort auf. (Richtung des ausgezogenen Pfeiles.)

Ist aus dem Kocher genügend Ammoniak ausgedampft, dann stellt man die Heizung ab und läßt den Kocher abkühlen. Wenn derselbe genügend abgekühlt und damit der Druck wieder genügend niedrig geworden ist, ist der Kocher in der Lage, von neuem Ammoniakdampf zu absorbieren. Das im Verdampfer angesammelte Ammoniak verdampft also und wird vom Absorber absorbiert, wobei Druck und Temperatur allmählich sinken. (Richtung des gestrichelten Pfeiles.) Dieser Vorgang geht solange, bis alles Ammoniak verdampft ist und der Kochprozeß von neuem eingeleitet wird.

Man erkennt daraus, daß sich hier stets eine Heiz- und eine Kühlperiode abwechseln. Die Heizperiode dauert je nach der Bemessung des Aggregates 1—4 Stunden, die Kühlung entsprechend 6—20 Stunden. Man ersieht aus der Abb. 5, daß der Aufbau dieser Maschine außerordentlich einfach ist, daß beispielsweise Ventile und bewegte Teile ganz vermieden sind. Für die ältere Wasser-Ammoniakmaschine kommen bei der praktischen Ausführung allerdings noch verschiedene Teile dazu; vor allem die Kühlung des Kondensators und Absorbers durch Kühlwasser. Während der Heizperiode muß der Kondensator gekühlt und während der Kühlperiode der Absorber gekühlt werden. Das Kühlwasser muß also nach jeder Periode umgeleitet werden. Man ersieht hieraus bereits, daß ein voll-automatischer Betrieb ziemliche Schwierigkeiten bietet. Neue Ausführungen vermeiden das Kühlwasser und sind infolgedessen von großer Einfachheit. Auf die Einzelkonstruktionen wird später noch besonders eingegangen werden.

Der Vollständigkeit halber seien noch andere Methoden der Kälteerzeugung erwähnt. Die verbreitetste Kühlung ist heutzutage noch die Kühlung durch Eis. 1 kg Eis verbraucht zum Schmelzen 80 kcal. Man kann also mit Eis ziemlich kräftige Kühlwirkungen erzielen. Allerdings ist die Kühllhaltung stets abhängig von der rechtzeitigen Eisanlieferung und die erreichten Temperaturen sind meist nicht so niedrig wie im elektrischen Kühlschränk.

Statt des gewöhnlichen Eises verwendet man in letzter Zeit auch Kohlen säureeis. Dies ist nichts anderes als gefrorene Kohlensäure. Sie hat eine Temperatur von etwa -80° . Das besondere beim Kohlen säureeis ist, daß es nicht schmilzt, also in den flüssigen Zustand übergeht, sondern direkt verdampft, d. h. also, daß es vom festen sofort in den dampfförmigen Zustand übergeht. Dies ist für viele Zwecke ein erheblicher Vorteil, vor allem für den Transport leicht verderblicher Lebensmittel. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem gewöhnlichen Eis ist die tiefere Temperatur, die es vor allem gestattet, Kristall- und Speiseeis für Genußzwecke herzustellen. 1 kg Kohlen säureeis benötigt zum Verdampfen etwa 150 kcal, so daß also pro Kilogramm mehr Kälteleistung aufgespeichert werden kann als beim gewöhnlichen Eis. Der Preis des Kohlen säureeises ist allerdings auf die gleiche Kälteleistung bezogen etwa 3mal so hoch wie der des Wassereises, so daß seine Verwendung vorläufig auf Spezialzwecke beschränkt bleiben wird.

Mit der Kühlung durch Eis sind wir zu den sog. Verschleißprozessen ge-

kommen, d. h. der Stoff, der einmal Kälte geleistet hat, wird verbraucht und nicht wieder zurückgewonnen. Hier ist außerdem der Vollständigkeit halber zu erwähnen die Verdampfung von alkoholähnlichen Flüssigkeiten. Die Anordnung wird dabei beispielsweise so getroffen, daß durch eine kleine Wasserstrahlpumpe in dem Verdampfungsgefäß ein bestimmter Unterdruck erzeugt wird, bei dem das Kältemittel verdampfen kann. Die Dämpfe werden von der Wasserstrahlpumpe angesaugt und mit dem Wasser zusammen fortgeleitet. Doch hat sich diese Methode der Kälteerzeugung praktisch nicht durchsetzen können, weil eben die Betriebskosten zu hoch werden. Bei der Verdampfung von 1 kg Alkohol o. ä. gewinnt man etwa 200 kcal. Dies ist im Verhältnis zu den hohen Kosten des Kältemittels sehr wenig.

Kälte dadurch zu erzeugen, daß man Wasser in die Atmosphäre hinein verdunsten läßt, scheidet leider daran, daß die erreichbaren Temperaturen nicht tief genug sind, weil in der Luft stets schon Wasserdampf vorhanden ist und dessen Druck so hoch ist, daß keine tieferen Temperaturen möglich sind. Bei feuchter Luft versagt diese Methode der Kühllhaltung vollständig.

Eine weitere Art der Kälteerzeugung stellen die sog. Kältemischungen dar. Mischt man beispielsweise Wasser oder Schnee mit verschiedenen Salzen oder Säuren, so erreicht man unter Umständen recht erhebliche Temperaturabsenkungen, die unter 0° führen. Am bekanntesten ist die Mischung von Schnee oder Eis mit Kochsalz, bei der man eine Temperatur von etwa -20° erreicht. Diese Methode wird ja hauptsächlich zur Speiseeiserzeugung in den Haushalteismaschinen angewendet. Abgesehen aber von diesen Sonderzwecken haben alle diese Kältemischungen für die Kühlung von Schränken keinerlei Verwendung gefunden, hauptsächlich deshalb, weil dieses Verfahren auf die Dauer zu teuer und vor allem zu umständlich wird.

V. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.

Es ist vorher bereits betont worden, daß bei der Umwandlung von Wärme in eine andere Energieform, z. B. mechanische oder elektrische Energie, nicht die gesamte Wärmemenge umgewandelt werden kann. Ein Teil der Wärme muß wieder als Wärme bei tiefer Temperatur abgeführt werden. Der umwandelbare Teil ist nun um so größer, je größer die Temperaturspanne zwischen dem warmen Körper und der Umgebung ist. Ein Beispiel möge dies veranschaulichen: In eine Dampfmaschine werde Dampf von 200° eingeführt. Dieser Dampf werde dann bis auf 100° abgekühlt und ins Freie ausgestoßen. Die Temperaturdifferenz, die also zur Energieerzeugung ausgenutzt wird, beträgt 100°.

Der Teil, der höchstens in mechanische Energie umgewandelt werden kann, beträgt nach den Gesetzen der Physik

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ von der Gesamtenergie.}$$

Hierin ist T_1 die hohe Temperatur, bei der die Wärme zugeführt wird und T_2 die niedrige Temperatur, bei der die Wärme abgeführt wird. Wir wollen diesen Wert einmal für das oben gegebene Beispiel ausrechnen. T ist bekanntlich die absolute Temperatur, die sich ergibt, wenn man zu der gewöhnlichen Temperatur 273° addiert. Es wird also

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{473 - 373}{473} = 0,212,$$

d. h. also, bei einer derartigen Maschine lassen sich höchstens 21,2% der gesamten Wärmeenergie in mechanische Energie umwandeln. In Wirklichkeit ist diese Zahl infolge der verschiedenen Verluste noch erheblich kleiner.

Der Wert $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ist immer kleiner als 1. Man ersieht aber daraus, daß es günstig ist, mit sehr hohen Temperaturdifferenzen zu arbeiten. Daher kommt es, daß man bei allen Dampfkraftmaschinen nach sehr hohen Anfangstemperaturen und damit sehr hohen Anfangsdrücken strebt. Denn der Druck ist bekanntlich um so höher, je höher die Temperatur ist. Eine moderne Dampfkraftanlage arbeitet beispielsweise mit ca. 30 at Anfangsdruck, d. h. etwa 240°. Die untere Temperatur, bei der die Wärme wieder abgeführt wird, beträgt etwa 40°. Damit ergibt sich als maximaler Ausnutzungsfaktor $\frac{513 - 313}{513} = 0,39$. Der praktisch erreichte Ausnutzungsfaktor ist natürlich noch kleiner. Er beträgt nur etwa 0,2.

Den Faktor $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ nennt man auch den thermischen Wirkungsgrad. Die hierdurch beschränkte Umwandlungsfähigkeit von Wärme in mechanische Arbeit bildet den Inhalt des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik. Man sieht auch daraus, daß es sich nicht lohnt, kleine Temperaturunterschiede zur Kräfteerzeugung auszunutzen, weil der Energiegewinn im Verhältnis zu den hohen Anlagekosten nur außerordentlich klein wäre.

Bei der Kälteerzeugung handelt es sich um den umgekehrten Vorgang. Es wird dabei mechanische Energie aufgewendet, um Wärme zu erzeugen, d. h. streng genommen, um Wärme bei einer tieferen Temperatur aufzunehmen und bei höherer Temperatur wieder abzuführen. Dementsprechend ist der Wirkungsgrad umgekehrt zu definieren. Man bezeichnet ihn hier als Leistungsziffer. Diese beträgt (dies gilt zunächst nur für Kompressionskältemaschinen) $\frac{T_0}{T_1 - T_0}$. Hierin bedeutet T_0 die Temperatur, bei der die Wärme entzogen, d. h. bei der die Kälte geleistet wird und T_1 die Temperatur, bei der die Wärme wieder abgeführt wird; oder man kann auch sagen: T_0 ist die Temperatur im Verdampfer und T_1 die Temperatur im Kondensator. Ein Beispiel möge dies veranschaulichen.

Verdampfertemperatur -10° , Kondensatortemperatur $+20^\circ$. Dann ergibt sich $\frac{263}{293 - 263} = 8,75$. Es können also 8,75 kcal Kälte mit 1 kcal Arbeit erzeugt werden. Man sieht also, daß die theoretische Leistungsziffer bei einer Kältemaschine stets höher ist als 1, wenigstens in dem für Kühlschränke in Frage kommenden Temperaturbereich. Man sieht ferner, daß die Leistungsziffer um so höher ist, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Kondensator ist, und umgekehrt. Daraus folgt die für die gesamte Kältetechnik überaus wichtige Tatsache, daß die Leistungsziffer einer Kälteanlage um so höher ist, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Kondensator ist und umgekehrt. Diese Tatsache muß man sich stets vor Augen halten.

Wenn die eben berechnete Leistungsziffer einer Kälteanlage zu 8,75 ermittelt wurde, so ist dies natürlich nur ein theoretischer Wert. Die praktisch erreichten Werte sind erheblich geringer. So erreicht man beispielsweise bei einer sehr großen Kälteanlage mit Wasserkühlung eine Leistungsziffer von etwa 6, d. h. man kann mit 1 PSh etwa $6 \cdot 632 \text{ kcal} =$ ungefähr 4000 kcal Kälte leisten. Bei kleineren Anlagen beträgt die Leistungsziffer nur etwa 2—3, bei wassergekühlten Haushaltschrankten 1 oder etwas mehr und bei

luftgekühlten Haushaltschrank geht die Leistungsziffer sogar unter 1 bis auf etwa 0,5 herunter.

Dies gilt zunächst nur für Kompressionskältemaschinen. Bei Absorptionskältemaschinen wird ja nicht mechanische Arbeit zur Kälteerzeugung verwendet, sondern Wärme. Wärme ist aber, wie wir vorher gesehen haben, nur zu einem verhältnismäßig kleinen Teil in andere Energieformen umzuwandeln. Dies gilt auch bei der Umwandlung von Wärme in Kälteenergie, um diesen nicht ganz korrekten Ausdruck einmal zu gebrauchen. Man muß also bei Absorptionsmaschinen die zuletzt genannte Leistungsziffer noch mit dem weiter oben genannten thermischen Wirkungsgrad, der immer unter 1 liegt, multiplizieren.

Der Inhalt des 2. Hauptsatzes noch einmal kurz zusammengefaßt ist folgender:

Die Umwandlung von Wärme in eine andere Energieform ist nur zu einem kleinen Teil möglich. Der thermische Wirkungsgrad, d. h. die Verhältniszahl liegt weit unter 1. Er ist um so kleiner, je kleiner die ausgenutzte Temperaturdifferenz ist.

Bei der Anwendung von mechanischer Energie zur Kälteerzeugung ist die Leistungsziffer allgemein größer als 1. Sie ist um so größer, je kleiner die Temperaturdifferenz ist.

Das ist kein Widerspruch mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie; denn die Wärme wird gewissermaßen nicht neu erzeugt, sondern nur von einer niederen Temperatur auf eine höhere Temperatur gehoben. Man kann also eine Kältemaschine auch als Wärmepumpe bezeichnen.

VI. Die Wärmeübertragung.

Überall spielt bei der Erzeugung und Verwendung von Wärme bzw. Kälte die Wärmeübertragung eine wesentliche Rolle. Da ein Verständnis aller dieser Vorgänge nur möglich ist, wenn man die Gesetze der Wärmeübertragung einigermaßen kennt, soll an dieser Stelle etwas näher darauf eingegangen werden.

Jedermann weiß aus Erfahrung, daß Wärme nur dann von einem Körper auf einen anderen übergeht, wenn zwischen beiden Körpern eine Temperaturdifferenz besteht. Es ist ferner bekannt, daß es Körper gibt, die die Wärme sehr gut leiten, vor allem die Metalle, und daß es Körper gibt, die die Wärme sehr schlecht leiten, z. B. Wolle, Gummi, Kork usw.

Die Wärmeübertragung kann auf drei verschiedene Arten erfolgen, 1. durch Strahlung; das ist also beispielsweise die Art der Wärmeübertragung, wie sie von der Sonne zur Erde erfolgt, oder wie sie von einer Glühlampe aus stattfindet. Die Strahlung spielt hauptsächlich bei hohen Temperaturen eine Rolle. Wir wollen sie daher an dieser Stelle nicht ausführlicher untersuchen.

Die 2. Art der Wärmeübertragung geschieht durch Leitung. Erwärmt man beispielsweise einen Metallstab an der einen Seite, so wird er nach einiger Zeit auch an der anderen Seite warm und zwar um so schneller und um so wärmer, je besser die Wärme-

leitfähigkeit des Stabes ist. Die in der Zeiteinheit, beispielsweise pro Stunde, übergehende Wärmemenge ist um so größer, je größer die Fläche ist, durch die sie hindurchtritt und je größer der Temperaturunterschied zwischen Anfang und Ende ist. Sie ist jedoch um so kleiner, je größer die Länge des Körpers ist, d. h. je größer die Längsrichtung ist, in der der Wärmestrom fließt. Das ist beispielsweise beim Kühlschranks die Dicke der isolierten Wandung. Formelmäßig können wir das folgendermaßen ausdrücken:

$$Q = \frac{F \cdot t}{d} \lambda .$$

Hierin bedeutet Q die Wärmemenge, die pro Stunde vom wärmeren zum kälteren Teil übergeht, F die Fläche in m^2 , t die Temperaturdifferenz in Grad Celsius, d die Dicke der Schicht in Meter und λ (Lamda) einen Faktor, der von dem verwendeten Material abhängt. Um einen Überblick über λ zu geben, seien für einige Stoffe folgende Werte genannt:

Kupfer . . .	330	Glas	0,5—0,9
Aluminium .	175	Mauerwerk .	0,75
Eisen usw. .	35—50	Korkstein .	0,035
Eis	1,5—2	Holz	0,04—0,19

Hieraus ersieht man die außerordentlich gute Leitfähigkeit der Metalle, vor allem von Kupfer. Korkstein dagegen leitet etwa 10 000mal so schlecht. Wo es auf besonders gute Leitfähigkeit ankommt, wählt man daher Kupfer oder Aluminium, wo es auf besonders schlechte Leitfähigkeit ankommt Korkstein oder eines der zahlreichen anderen Isoliermittel, deren Wärmeleitzahl in der gleichen Größenordnung liegt.

Aus der obigen Formel geht hervor, daß die Wärmeleitung in einem Körper bzw. zwischen zwei Körpern gleich Null ist, wenn die Temperaturdifferenz zwischen beiden gleich Null ist. Obwohl diese Tatsache selbstverständlich und allgemein bekannt ist, muß sie hier nochmals scharf hervorgehoben werden. Überall, wo Wärmeübertragungen stattfinden, müssen entsprechende Temperaturdifferenzen bestehen. Und zwar müssen bei gleicher zu übertragender Wärmemenge die Temperaturunterschiede um so größer sein, je kleiner die Oberflächen sind, und umgekehrt. Der Körper, der Wärme an einen anderen abgeben soll, muß also stets wärmer sein als dieser andere Körper. Beispielsweise muß der Kondensator einer Kältemaschine wärmer sein als das Kühlwasser bzw. bei Luftkühlung die Außenluft. Wenn Speisen in einem Kühlschranks gekühlt werden sollen, muß die Luft im Kühlschranks kälter sein, sonst werden sie nicht weiter gekühlt. Ebenso muß der Verdampfer in einem Kühlschranks kälter sein als die Luft im Kühl-

schränk, und zwar muß bei einer gegebenen Kälteleistung diese Temperaturdifferenz um so größer sein, je kleiner die Oberfläche des Verdampfers ist und umgekehrt.

Ein anderes Beispiel: Ein großes Stück Fleisch wird im Kühlschrank nur sehr langsam heruntergekühlt; denn seine Oberfläche ist im Verhältnis zu seinem Gewicht nur sehr klein. Infolgedessen kann die Wärme nur langsam übergehen. Will man also irgend etwas sehr schnell kühlen, so muß man ihm eine möglichst große Oberfläche geben.

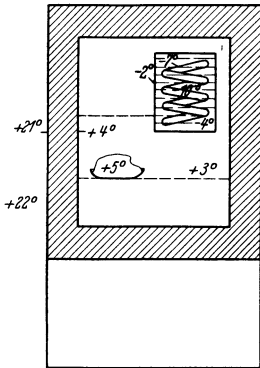


Abb. 6. Beispiel einer Temperaturverteilung im Kühlschrank.

Hiermit sind wir bereits zu der 3. Art der Wärmeübertragung gekommen, nämlich durch Konvektion. Wenn ein fester Körper an flüssiges oder gasförmiges Medium grenzt und es besteht zwischen beiden eine Temperaturdifferenz, so geht natürlich auch hier eine bestimmte Wärmemenge durch Leitung über. Sobald das flüssige oder gasförmige Medium in Bewegung kommt, tritt hierzu noch die Wärmeübertragung durch Konvektion. Beide zusammen bezeichnet man als Wärmeübergang. Auch dieser Wärmeübergang ist um so größer, je größer die Fläche und je größer die Temperaturdifferenz

ist. Er ist aber außerdem davon abhängig, ob die Wärmeübertragung an Flüssigkeiten oder an Gase erfolgt bzw. umgekehrt. Der Wärmeübergang an Flüssigkeiten ist verhältnismäßig groß, noch größer, wenn die Flüssigkeit in schneller Bewegung ist. Der Wärmeübergang an Gase dagegen ist bei Atmosphärendruck verhältnismäßig klein, steigt aber ziemlich stark, wenn die Gase eine große Geschwindigkeit haben. Der Wärmeübergang an sehr schnell strömende Gase ist aber immer noch nicht so groß wie an eine ruhende bzw. schwach bewegte Flüssigkeit. Jedermann weiß aus der täglichen Erfahrung, daß der menschliche Körper beispielsweise bei ruhender Luft eine sehr große Temperaturdifferenz vertragen kann, daß dagegen bei starkem Wind bei gleicher Temperaturdifferenz der Körper viel stärker durchgekühlt wird und daß der menschliche Körper im Wasser nur sehr geringe Temperaturdifferenzen vertragen kann.

Ein weiteres Beispiel: Stellt man eine Flasche in kaltes Wasser, so wird sie viel schneller gekühlt, als wenn man sie in kalte Luft stellt. Faßt man mit der Hand in kochendes Wasser, so wird man sich unfehlbar verbrühen, dagegen kann man ohne weiteres längere Zeit die Hand in heiße Luft von etwa 100° halten.