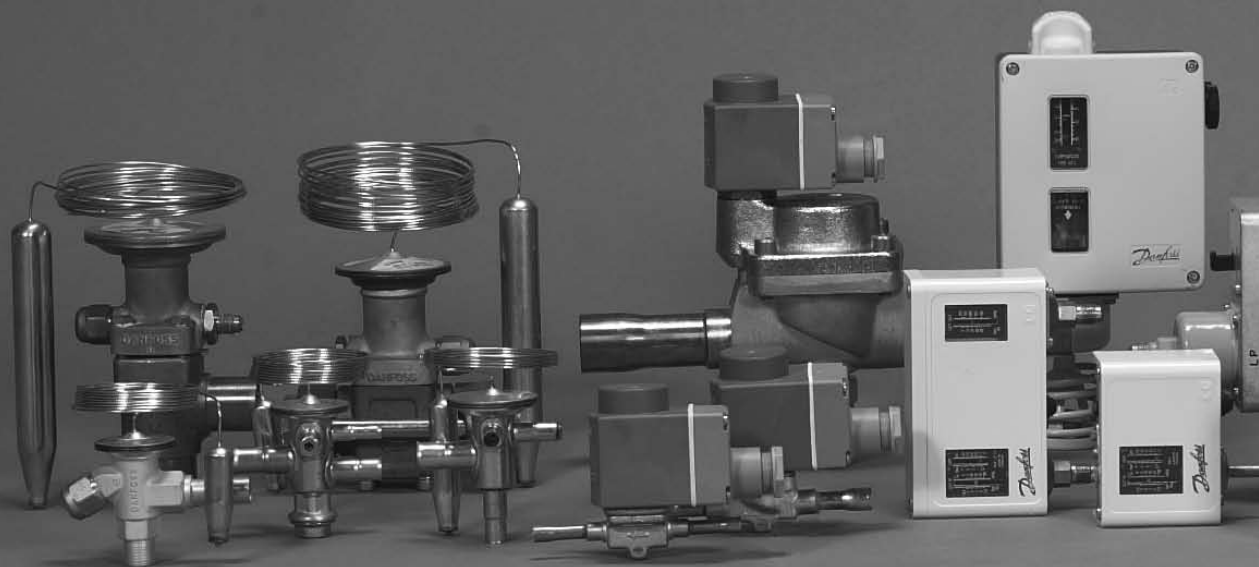


# Kältetechnik

- Einführung in die Grundlagen



## Kältetechnik - Einführung in die Grundlagen

Diese Druckschrift ist als eine Ergänzung zu der erhältlichen umfangreichen Literatur von Danfoss anzusehen, die sich vorwiegend an Leser mit einem professionellen Hintergrund, wie Ingenieure, Planer und Monteure, wendet.

Der Inhalt dieser Schrift zielt darauf ab, das Interesse jener Leser zu gewinnen, die sich nicht täglich mit dem Stoff befassen, ihr Wissen in Bezug auf kältetechnische Grundlagen jedoch zu vertiefen wollen.

Bei der Zusammenstellung des Materials für diese Druckschrift wurde versucht, mit einfachen und verständlichen Worten eine gründliche Beschreibung der elementaren Prinzipien darzustellen.

Für weitere Ausbildungsunterlagen verweisen wir auf:  
[www.danfoss.de/kaelte](http://www.danfoss.de/kaelte)  
Rubrik "lernen & verstehen"

Danfoss, September 2006



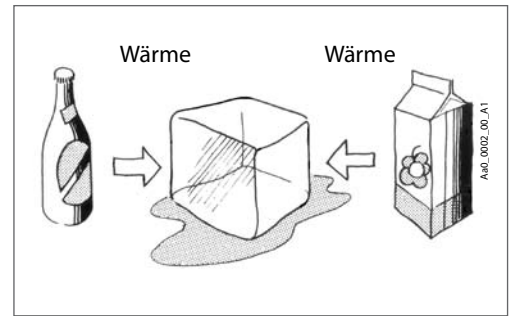
# Inhalt

<b>1. Einführung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Grundlegende Begriffe</b> .....	<b>6</b>
2.1 SI-System .....	6
2.2 Temperatur .....	6
2.3 Kraft und Druck.....	7
2.4 Wärme, Arbeit, Energie und Leistung .....	7
2.5 Zustandsänderungen .....	8
2.6 Latente Wärme .....	9
2.7 Überhitzung .....	9
2.8 Kältetechnische Diagramme.....	10
<b>3. Kältemittelkreislauf</b> .....	<b>11</b>
3.1 Verdampfer .....	11
3.2 Verdichter.....	11
3.3 Verdichtungsprozess.....	11
3.4 Verflüssiger .....	12
3.5 Expansionsprozess.....	12
3.6 Hoch- und Niederdruckseite der Kälteanlage.....	12
<b>4. Kälteprozess und Druck / Enthalpie-Diagramm</b> .....	<b>13</b>
<b>5. Kältemittel</b> .....	<b>14</b>
5.1 Generelle Anforderungen .....	14
5.2 Fluorierte Kältemittel .....	14
5.3 Ammoniak NH <sub>3</sub> .....	14
5.4 Sekundäre Kältemittel .....	14
<b>6. Hauptkomponenten der Kälteanlage</b> .....	<b>15</b>
6.1 Verdichter.....	15
6.2 Verflüssiger .....	15
6.3 Expansionsventil.....	17
6.4 Verdampfer.....	18
<b>7. Praktischer Aufbau einer Kälteanlage</b> .....	<b>19</b>

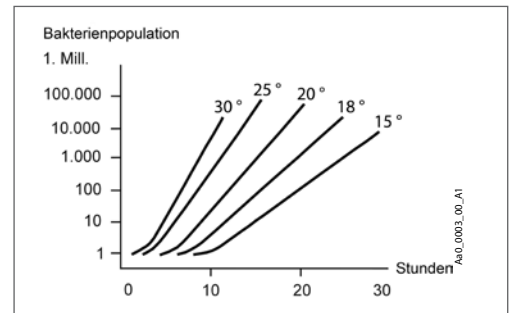


1. Einführung

Die Aufgabe einer Kälteanlage ist es, Waren und anderes Gut abzukühlen und bei einer Temperatur aufzubewahren, die normalerweise tiefer ist als die Umgebungstemperatur. Kühlung kann definiert werden als ein Prozess, bei dem Wärme entzogen wird. Die ältesten und bekanntesten Kältemittel sind Eis, Wasser und Luft. Anfänglich war das Konservieren von Nahrungsmitteln der Hauptzweck. Die Chinesen entdeckten als erste, dass Eis die Haltbarkeit von Getränken verlängern und ihren Geschmack verbessern kann, und die Eskimos konservierten seit Jahrhunderten ihre Lebensmittel durch Gefrieren.



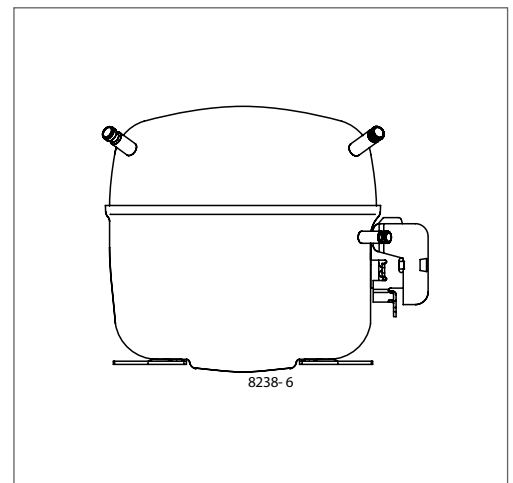
Anfang des vorigen Jahrhunderts waren Begriffe wie Bakterien, Hefe, Schimmel, Enzyme usw. bereits bekannt. Man hat die Temperaturabhängigkeit des Wachstums von Mikroorganismen entdeckt, d.h. dass die Wachstumsrate mit fallender Temperatur abnimmt und bei Temperaturen unter +10 °C sehr klein ist. Als Folge dieses neuerworbenen Wissens wurde Kühlung eingesetzt, um Lebensmittel zu konservieren, wobei natürlich vorkommendes Eis für diesen Zweck verwendet wurde.



Die ersten mechanischen Kältemaschinen zur Herstellung von Eis wurden um das Jahr 1860 produziert. Die ersten Ammoniakverdichter und die ersten isolierten Kühlräume wurden 1880 in den Vereinigten Staaten in Betrieb genommen.

Elektrizität gewann als Energieträger eine immer bedeutendere Rolle am Anfang dieses Jahrhunderts und mechanisierte Kälteanlagen gehörten in gewissen Bereichen schon zur Standardausrüstung: z.B. in Brauereien, Schlachthäusern, in der Fischindustrie und bei der Eiserzeugung.

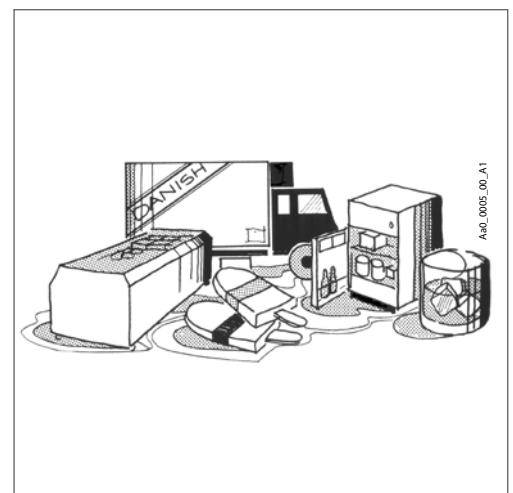
Nach dem zweiten Weltkrieg nahm die Entwicklung von kleinen hermetischen Verdichtern ihren rasanten Lauf und Kühl- und Gefrierschränke hielten ihren Einzug in den Haushalten. Heute sind diese Einrichtungen aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken.



Es gibt unzählige Anwendungen für Kälteanlagen. Beispiele sind:

- Konservieren von Lebensmitteln
- Prozesskühlung
- Klimatisierung
- Trocknungsanlagen
- Medizintechnik
- Trinkwasseranlagen
- Kühlcontainer
- Wärmepumpen
- Eiserzeugung
- Gefriertrocknung
- Transportkälte

Es ist in der Tat schwierig, sich unser Leben ohne Kühlung und Gefrieren vorzustellen - der Einfluss auf unseren Alltag ist viel größer, als man es sich vorstellt.



2. Grundlegende Begriffe

2.1 SI-System

International hat man sich auf ein einheitliches Mass-System geeinigt, das SI-System (*Systeme International d'Unités*).

Für einige Länder ist die Einführung des SI-Systems ein noch nicht abgeschlossener Prozess.

In dieser Druckschrift wird das SI-System zugrunde gelegt. Wo es aber aus traditionellen oder anderen Gründen sinnvoll erscheint, werden auch noch Angaben im metrischen System oder anderen gebräuchlichen Einheiten aufgeführt.

Die nebenstehende Tabelle führt die SI-Einheiten und andere gebräuchliche Einheiten für die Zustandsgrößen, die in dieser Druckschrift zur Anwendung kommen, auf.

Zustandsgröße	SI-Einheit	Alternative Einheiten
Zeit	s (Sekunde)	h (hour - Stunde)
Länge	m (Meter)	in (inch) ft (foot)
Masse	kg (Kilogramm)	lb (pound)
Temperatur	K (Kelvin)	°C (Celsius) °F (Fahrenheit)
Kraft	N (Newton)	kp (kilopond)
Druck	Pa (Pascal) = N/m <sup>2</sup>	bar atm (Atmosphäre) mm Hg (Millimeter Quecksilbersäule) psi (pound per square inch)
Energie	J (Joule) = Nm	kWh (Kilowatt Stunde) kcal (Kilocalorie) Btu (British thermal unit)
Leistung	W (Watt) = J/s	Kalorie/h, Btu/h

Die praktische Anwendung der SI-Einheiten ist nachhaltig verbunden mit der Anwendung der dezimalen Vielfachen und vermeidet entweder sehr kurze oder lange Zahlen.

Eine Anzahl der gebräuchlichsten dezimalen Vielfachen entnehmen Sie bitte der nachfolgenden Tabelle.

*Beispiel:*

Der atmosphärische Luftdruck ist 101325 Pa. Bei Gebrauch der dezimalen Vielfachen entsprechend der nachfolgenden Tabelle, wäre die beste Lösung 101,325

kPa zu schreiben. Die Auswahl der Vielfachen ist "frei", doch die beste Auswahl wird normalerweise sein, einen Wert in einem Bereich zwischen 0,1 und 999,9 anzugeben.

Vielfache können nicht benutzt werden für kombinierte SI-Einheiten - mit Ausnahme wenn [kg] benutzt wird.

*Beispiel:*

2000 W/m<sup>2</sup> K kann geschrieben werden als 2 × 10<sup>3</sup> W/m<sup>2</sup> K und nicht als 2 kW/m<sup>2</sup> K.

Name	Pico	Nano	Micro	Milli	Kilo	Mega	Giga	Tera	Peta
Dezimale Vielfach	p	n	μ	m	k	M	G	T	P
Faktor	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup>

2.2 Temperatur

Temperatur ist eine zentrale Eigenschaft in der Kältetechnik. Geradezu alle Kältemittelsysteme haben Reduktion der Temperatur eines Objektes, wie z.B. die Luft in einem Raum oder in einem Raum gelagerte Güter, zum Ziel.

In Kältemittelsystemen wird die Temperatur in *Grad Celsius [°C]* angegeben. Celsius ist keine absolute Temperaturskala, sondern der Referenzpunkt (0 °C) ist definiert durch den Gefrierpunkt von Wasser.

Die SI-Einheit für Temperatur in *Kelvin [K]* ist eine absolute Temperatur, da der Referenzpunkt [0 K]

die niedrigste Temperatur ist, die in der Theorie erreicht werden könnte.

Der einzige Unterschied zwischen Kelvin und °Celsius ist der Referenzpunkt, d. h. dass eine Temperaturdifferenz von 1°C exakt der Temperaturdifferenz von 1 K entspricht.

Wissenschaftlich werden in der Kältetechnik Temperaturdifferenzen in [K] anstatt in [°C] beschrieben. Diese Praxis verringert mögliche Verwechslungen von Temperaturen und Temperaturdifferenzen.

**Grundlegende Begriffe**

2.3 Kraft und Druck

Die SI-Einheit für Kraft ist *Newton (N)*, welches aktuell einem  $[kg\ m/s^2]$  entspricht.

Wirkt eine Kraft auf eine Fläche, so ist ihr Einfluss abhängig von der Größe dieser Fläche. Ein überzeugendes Beispiel hierfür ist die Tatsache, dass man auf einer Schneedecke mit Skiern weniger tief einsinkt, als ohne. Sie verteilen nämlich das Gewicht über eine große Fläche, so dass das Gewicht pro Flächeneinheit relativ klein wird.

Druck ist definiert als das Verhältnis zwischen Kraft und Fläche, auf die sie wirkt. In dem Beispiel mit den Skiern ist die Kraft (Schwerkraft) in beiden Fällen die gleiche, nur die Fläche ist unterschiedlich. Ohne Ski ist die Fläche klein und der Druck groß, mit Ski ist die Fläche groß und der Druck klein.



In der Kältetechnik ist Druck zumeist verknüpft mit Flüssigkeiten, die als Kältemittel verwendet werden.

Wenn eine Substanz in flüssiger oder gasförmiger Form in einem geschlossenen Behälter aufbewahrt wird, übt das Gas einen Druck auf die Innenwände des Behälters aus. Der Druck des Gases auf die innere Oberfläche dividiert durch seine Fläche wird *absoluter Druck* genannt.

Aus praktischen Gründen wird der Wert des Druckes hin und wieder angegeben als "Druck über Atmosphärendruck" - meint der Atmosphärendruck ( $101325\ kPa = 1,013\ bar$ ) wird vom absoluten Druck subtrahiert. Der Druck über Atmosphärendruck wird häufig als *Manometerdruck* bezeichnet.

Die verwendete Einheit sollte widerspiegeln, ob absoluter Druck oder Manometerdruck angegeben wird. Ein absoluter Druck ist angezeigt durch Verwendung eines Kleinbuchstabens "a" und ein Manometerdruck wird angezeigt durch einen Kleinbuchstaben "g".

*Beispiel:*

Der absolute Druck ist  $10\ bar(a)$ , welcher umgerechnet zu einem Manometerdruck von  $(10 - 1,013)\ bar(g) \approx 9\ bar(g)$  wird.

Diese Kombination von SI-Einheiten für Druck in [Pa] wird nicht empfohlen.

Andere gebräuchliche Einheiten für Druck sind mm Quecksilbersäule [*mmHg*] und Meter Wasserförderhöhe [*mwg*]. Letztere wird häufig in Verbindung mit Pumpen, als Indikator für die Höhe der Wassersäule, die die Pumpe generieren kann.

Vakuum ist definiert als ein absoluter Druck von  $0\ Pa$  - doch da es nahezu unmöglich ist, die Bezeichnung "Vakuum" zu erreichen, ist es allgemein gebräuchlich einen Druck viel niedriger als Atmosphärendruck zu beschreiben. Beispiel: Der absolute Druck ist  $0,1\ bar(a)$ , wird zu einem Manometerdruck umgerechnet von  $(0,1 - 1,013)\ bar(g) \approx -0,9\ bar(g)$ . Vakuum ist auch oft in Torr ( $1\ Torr$  entspricht  $133,3\ Pa$ ) angegeben oder auch in Millibar (ein tausendstel bar).

2.4 Wärme, Arbeit, Energie und Leistung

Wärme und Arbeit sind Energieformen, d.h. sie können zwischen Gegenständen oder Systemen übertragen werden. Die Übertragung von Wärme ist eng verbunden mit der Temperatur (oder Temperaturdifferenz), welche zwischen zwei oder mehr Gegenständen besteht. An sich wird Wärme immer übertragen von einem Objekt mit höherer Temperatur zu einem Objekt mit niedrigerer Temperatur. Erwärmen eines Topfes mit Wasser auf einer Herdplatte ist ein passendes, alltägliches Beispiel für Wärmeübertragung. Die Herdplatte wird heiß und die Wärme wird über den Topfboden zum Wasser hin übertragen. Die Wärmeübertragung zum Wasser bewirkt einen Temperaturanstieg des Wassers. *Mit anderen Worten, erwärmen eines Objekts ist dasselbe wie Übertragen von Energie (Wärme) an das Objekt.*

In vielen praktischen Anwendungen ist eine Reduzierung der Temperatur eines Objektes notwendig, anstatt einer Temperaturanhebung. Dem obigen Beispiel folgend kann dies nur mit einem Objekt erreicht werden, das eine niedrigere Temperatur

hat, als das zu kühlende Objekt. Bringt man diese beiden Objekte in Kontakt, wird eine Wärmeübertragung veranlaßt weg von dem zu kühlenden Objekt, folglich sinkt die Temperatur. Mit anderen Worten, kühlen eines Objektes ist dasselbe wie Übertragung von Energie (Wärme) vom Objekt weg.

Die typische Übertragung von Arbeit erfolgt über eine mechanische Welle, die in einem elektrischen Motor rotiert oder in einer Verbrennungsmaschine. Andere Formen der Übertragung von Arbeit sind möglich, aber eine rotierende Welle ist die meist verbreitetste Methode, die in Kältemittelsystemen zur Anwendung kommt.

Wie erwähnt, sind sowohl Wärme als auch Arbeit Energieformen. Die Methoden zur Übertragung zwischen Objekten sind unterschiedlich, doch in einem Prozess mit Übertragung von Wärme und Arbeit, ist es die Summe aus Übertragung von Wärme und Arbeit, die das Ergebnis des Prozesses bestimmt.

**Grundlegende Begriffe**

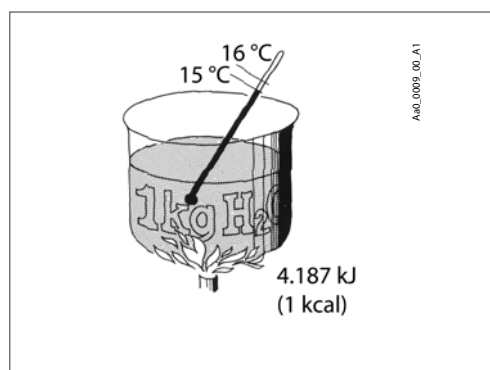
2.4 Wärme, Arbeit, Energie und Leistung (Fortsetzung)

Die SI-Einheit *Joule [J]* wird angewandt, um Energie, Wärme und Arbeit zu bemessen. Die Energiemenge, die notwendig ist, um 1 kg Wasser von 15 °C auf 16 °C zu erwärmen ist 4,187 kJ. Diese 4,178 kJ können als Wärme oder Arbeit übertragen werden - doch wird Wärme die gebräuchlichste und geeignetste Lösung in diesem Prozess sein.

Unterschiedliche Stoffe benötigen unterschiedliche Wärmemengen, um ihre Temperatur um 1 K zu erhöhen: 1 kg Eisen benötigt 0,447 kJ, während 1 kg Luft etwa 1 kJ benötigt.

Die "spezifische Wärme" eines Stoffes ist die Wärmemenge, mit der 1kg um 1 K erwärmt werden kann. Sie ist für eine lange Reihe von Stoffen und Substanzen tabellarisch aufgeführt und hat die SI-Einheit *J/kg K*.

Das Maß mit der Energie übertragen wird, nennt man Leistung. Die SI-Einheit für Leistung ist *Watt (W)*.

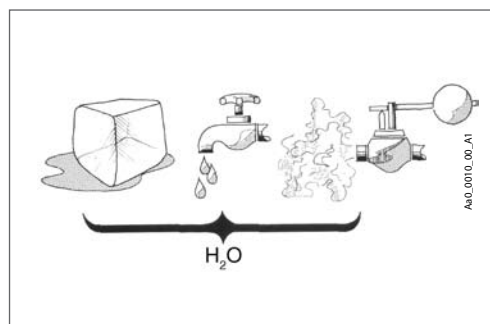


*Beispiel:*

Wenn 10 J pro Sekunde übertragen werden, ist das Maß der Energieübertragung mit 10 J/s = 10 W angegeben. Im SI-System ist die Auswahl der Einheit für Leistung die gleiche wie für Übertragung von Wärme und Arbeit. In anderen Systemeinheiten hat die Übertragung von Wärme und Arbeit unterschiedliche Einheiten.

2.5 Zustandsänderungen

Alle Substanzen können in drei Aggregatzuständen vorkommen: Fest, flüssig oder gasförmig. Das bekannteste Beispiel ist Wasser: In festem Zustand tritt es als Eis auf, in gasförmigem Zustand als Dampf, während wir es in seiner flüssigen Form überall in unserem Leben begegnen. Für Wasser haben die drei Phasen unterschiedliche Bezeichnungen - welches es etwas schwierig macht, es als eine Modellsubstanz zu betrachten. Die feste Form wird Eis genannt, die flüssige Form nennen wir einfach Wasser und die gasförmige Form wird als Wasserdampf bezeichnet. All diese Zustandsformen haben eines gemeinsam: Das Wassermolekül tritt in unveränderlicher Form auf; d.h. dass Eis, Wasser und Wasserdampf mit derselben molekularen Bezeichnung benannt werden können: H<sub>2</sub>O. Wenn eine Substanz von der festen Phase in die flüssige Phase übertritt, nennt man diesen Prozess schmelzen (verflüssigen) und wenn er weiter in



die gasförmige Phase wechselt, spricht man von sieden (verdampfen). Geht es in die umgekehrte Richtung; eine gasförmige Substanz tritt in die flüssige Phase ein, nennt man das kondensieren, wenn sie weiter in die feste Phase wechselt, nennt sich der Prozess gefrieren (verfestigen).

Bei konstantem Druck weist der Übergangsprozess eine signifikante Eigenschaft auf. Wenn Eis bei 1 bar erwärmt wird, steigt seine Temperatur bis zum Erreichen von 0 °C an - dann beginnt das Eis zu schmelzen. Während des Schmelzprozesses ändert sich die Temperatur nicht - alle Energie, die in das Eis / Wasser-Gemisch übertragen wird, wird dazu verwendet, das Eis zu schmelzen und nicht um das Wasser zu erwärmen. Erst wenn das Eis komplett geschmolzen ist, wird die weitere Energieübertragung eine Temperaturerhöhung bewirken.

Die gleiche Art der Reaktion kann beobachtet werden, wenn Wasser in einem offenen Topf erhitzt wird.

Die Wassertemperatur steigt an, bis sie 100°C erreicht hat, dann beginnt die Verdampfung. Während des Verdampfungsprozesses bleibt die Temperatur auf 100 °C. Erst wenn alle Flüssigkeit verdampft ist, steigt die Temperatur des restlichen Wasserdampfes an.

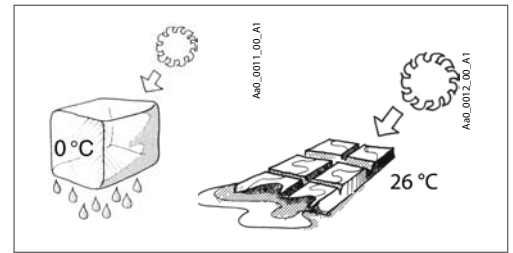
Temperatur und Druck bestimmen, ob eine Substanz in festem, flüssigem oder gasförmigem Zustand vorkommt - oder in zwei oder in allen drei Zuständen. In unserer Umwelt kommt Eisen in seinem festen Zustand, Wasser fest, flüssig und gasförmig sowie Luft in seinem gasförmigen Zustand vor.

**Grundlegende Begriffe**

2.5 Zustandsänderungen  
(Fortsetzung.)

Verschiedene Substanzen haben unterschiedliche Schmelz- und Siedepunkte; z.B. Gold schmilzt bei 1064 °C, Schokolade bei 26 °C und die meisten Kältemittel schmelzen bei Temperaturen um -100 °C.

Obeine Substanz, in zwei seiner Phasen zur gleichen Zeit auftritt - oder eine Phasenänderung durchmacht - ist von Druck und Temperatur abhängig. Wenn die zwei Phasen in einem geschlossenen Gefäß auftreten und sich beide Phasen in einem thermischen Beharrungszustand befinden, gilt der Zustand als gesättigt. Wenn die Temperatur der Zwei-Phasen-Mischung ansteigt, steigt auch der Druck im Gefäß an. Die Verknüpfung zwischen Druck



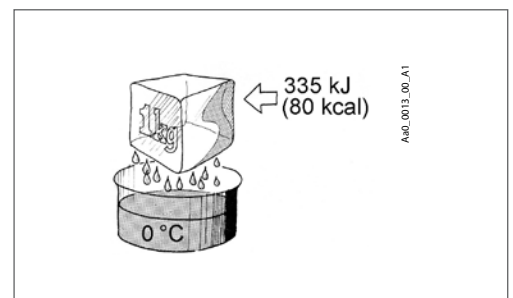
und Temperatur für den gesättigten Zustand (Flüssigkeit und Dampf) wird üblicherweise als Dampf-Druck-Kurve bezeichnet. Mittels Dampf-Druck-Kurve ermittelt man den Druck bei Verdampfung oder Verflüssigung.

2.6 Latente Wärme

Zum Prozess der Eisschmelze ist wichtig anzumerken, dass die Menge an Energie, die übertragen werden muss, um 1 kg Eis zu schmelzen, viel höher ist als die benötigte Energie, um die Temperatur von 1 kg Eis um z.B. 1 K zu erhöhen. In Abschnitt 2.4 war die spezifische Wärmemenge für Wasser mit 4,187 kJ/kg K angegeben. Die Energie um 1 kg Eis zu schmelzen ist 335 kJ. Der gleiche Betrag an Energie, der 1 kg Eis schmilzt, kann die Temperatur von 1 kg Wasser auf  $(335 \text{ kJ} / 4,187 \text{ kJ/kg K}) = 80 \text{ K}$  erwärmen!

Zurück zum Prozess des Wassersiedens, hier wäre die benötigte Energie zur Verdampfung von 1 kg Wasser 2501 kJ. Der gleiche Betrag an Energie, der 1 kg Wasser verdampft, kann die Temperatur nicht von 1 kg, jedoch von 6 kg auf 100 °C erhitzen!

Diese Beispiele zeigen, dass Energieübertragung bezogen auf die Übergangsprozesse zwischen den Phasen von Bedeutung ist. Aus diesem Grunde wird Eis zum Kühlen benutzt



- man benötigt eine große Menge an Energie um das Eis zu schmelzen, und während dessen bleibt die Temperatur bei 0 °C. Der Kälteeffekt in Kältemittelsystemen basiert auf der kontrollierten Anwendung der Phasenänderung im Verdampfungsprozess. Wenn das Kältemittel verdampft, absorbiert es Energie (Wärme) aus seiner Umgebung. Durch thermischen Kontakt eines Objektes mit dem verdampfenden Kältemittel wird es abkühlt.

2.7 Überhitzung

Überhitzung ist ein wichtiger Begriff im Vokabular der Kältetechnik - doch wird es bedauerlicherweise unterschiedlich benutzt. Es kann einen Prozess beschreiben, in dem Kältemitteldampf in gesättigten Zustand auf eine höhere Temperatur erhitzt wird. Kann aber auch dazu verwendet werden, das Ende des zuvor beschriebenen Prozesses zu beschreiben.

Überhitzung kann erklärt werden als eine Temperaturdifferenz - zwischen der Temperatur gemessen mit einem Thermometer und der Sättigungstemperatur des Kältemittels gemessen mit einem Manometer. Aus diesem Grunde kann die Überhitzung nicht mit Hilfe einer einfachen Temperaturmessung allein festgelegt werden - eine

Messung des Druckes oder der Sättigungstemperatur wird außerdem benötigt.

Wenn eine Überhitzung zahlenmäßig bestimmt ist, muss sie als eine Temperaturdifferenz angegeben werden, und das konsequenterweise mit der Einheit [K]. Wird sie in [°C] angegeben, kann die Fehlerursache darin liegen, wo die Temperatur für die Überhitzungsangabe gemessen wurde oder umgekehrt.

Der Verdampfungsprozess eines Kältemittelsystems ist einer der Prozesse, wo der Begriff Überhitzung benutzt wird. Dies wird nachfolgend näher erläutert.

**Grundlegende Begriffe**

2.8 Kältetechnische Diagramme

Die Charakteristiken eines Kältemittels können in einem Diagramm erklärt werden, mit Hilfe dessen Abszisse und Ordinate die relevanten Eigenschaften erläutert werden. Die wichtigsten Eigenschaften für Kältemittelsysteme sind normalerweise Energieinhalt und Druck. Die thermodynamische Eigenschaft "spezifische Enthalpie" steht für den Energieinhalt - bewertet durch die Änderung des Energieinhaltes per Maßeinheit des Kältemittels ausgesetzt in einem Prozess eines Kältemittelsystems.

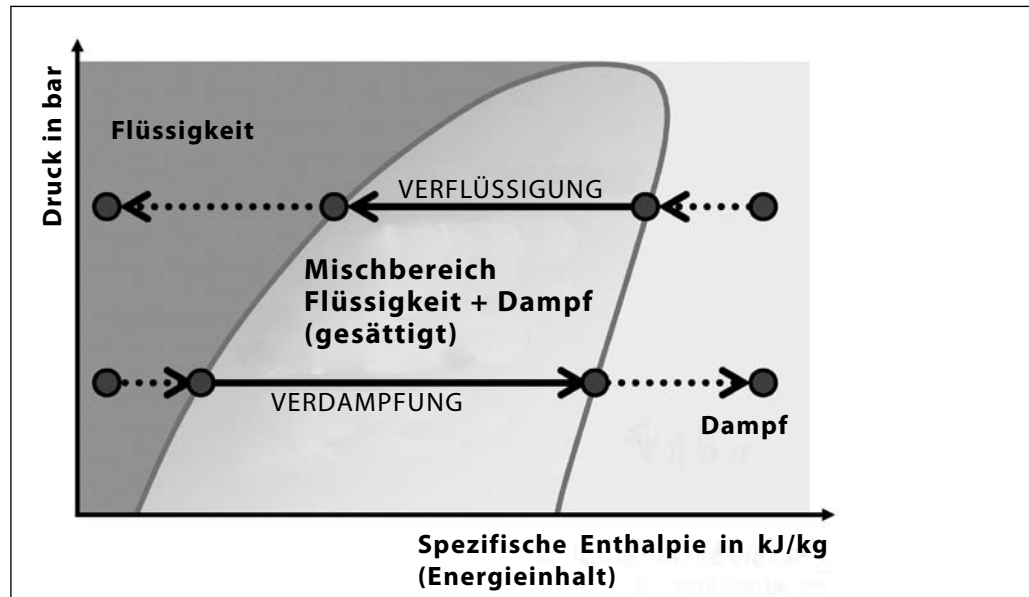
Ein Diagrammbeispiel, basierend auf die spezifische Enthalpie (Abszisse) und dem Druck (Ordinate), kann nachfolgend eingesehen werden. Der für ein Kältemittel typisch anwendbare Druckbereich ist groß - daher benötigen Diagramme eine logarithmische Skala für den Druck.

Das Diagramm ist so angeordnet, dass es Flüssigkeit, Dampf und den Mischbereich des Kältemittels aufzeigt. Flüssigkeit ist links (mit einem niedrigen

Energieinhalt) und Dampf rechts (mit einem hohen Energieinhalt) zu finden. Zwischen den beide befindet der Mischbereich. Die Bereiche sind begrenzt durch eine Linie - der so genannten Sättigungslinie. Die wesentlichen Prozesse von Verdampfung und Verflüssigung sind damit erklärt.

Die Idee, solch ein kältetechnisches Diagramm zu verwenden, ist, den Prozess in einem Kältesystem in einer Weise darzustellen, dass Analyse und Auswertung des Prozesses einfacher werden. Bei Verwendung eines Diagramms sind Systembetriebsbedingungen (Temperatur und Druck), in relativ einfacher und schneller Art und Weise zu ermitteln.

Diagramme werden nach wie vor zur Analyse eines Kälteprozesses verwendet. Dennoch stehen neuerdings eine Anzahl von PC Auswahlprogrammen zur Verfügung, mit denen die gleiche Analyse schneller und mit mehr Details ausgeführt werden kann.



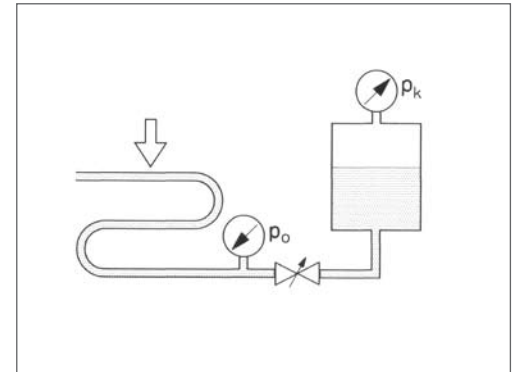
**3. Kältemittelkreislauf**

In den vorausgegangenen Abschnitten wurden die physikalischen Begriffe am Beispiel von Wasser behandelt, obwohl diese Medium aus praktischen Gründen als Kältemittel ungeeignet ist. Im fol-

genden werden die einzelnen Bauteile eines einfachen Kältemittelkreislauf beschrieben, um schließlich den gesamten Kreislauf verständlich erläutern zu können.

**3.1 Verdampfer**

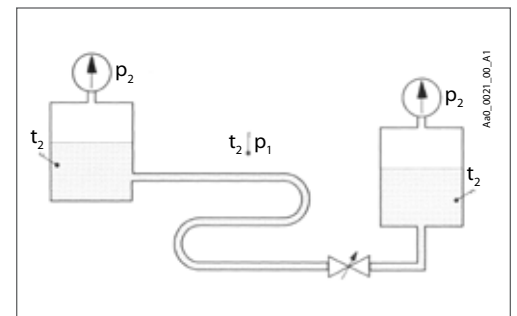
Ein flüssiges Kältemittel nimmt während seiner Verdampfung Wärme auf. Diese Phasenänderung erzeugt in einem Kältemittelkreislauf Kälte. Wenn ein Kältemittel bei Umgebungstemperatur durch eine Drosselstelle in die freie Atmosphäre hinaus expandiert, nimmt sie von der umgebenden Luft Wärme auf und verdampft. Ändert sich der Atmosphärendruck, verdampft das Kältemittel mit einer anderen Temperatur, da die Verdampfungstemperatur druckabhängig ist. Das Bauteil, in dem der beschriebene Prozess abläuft, ist der Verdampfer. Seine Aufgabe ist es, Wärme aus dem umgebenen Medium zu entfernen, d.h. Kälte zu erzeugen.



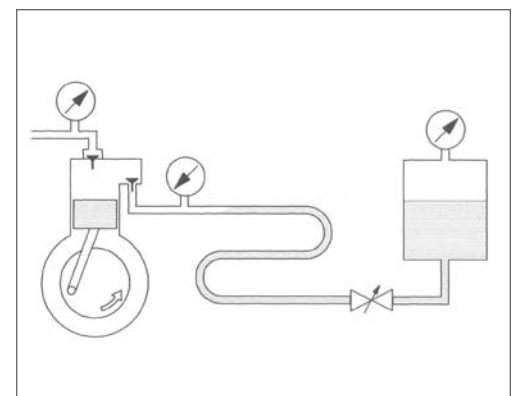
**3.2 Verdichter**

Der Kälteprozess ist, wie bereits erwähnt, ein geschlossener Kreisprozess. Das Kältemittel expandiert folglich nicht, wie im obigen Beispiel beschrieben, in die freie Atmosphäre.

Wird das vom Verdampfer kommende Kältemittel in einen geschlossenen Behälter eingespeist, steigt dessen innerer Druck bis zum Verdampfungsdruck. Die Kältemittelzufuhr vom Verdampfer wird somit allmählich aufhören, und die Temperatur sowohl im Verdampfer als auch im Behälter wird sich nach und nach der Umgebungstemperatur anpassen.

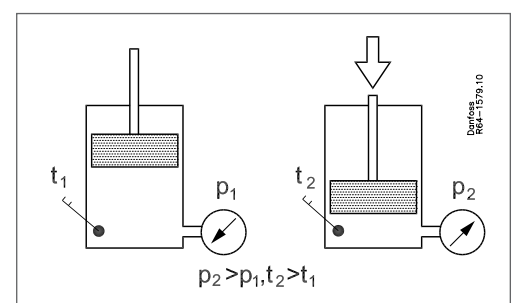


Um einen niedrigeren Druck und somit eine niedrigere Temperatur in dem Behälter aufrechtzuerhalten, muss ihm Dampf entzogen werden. Dies erreicht man mittels eines Verdichters, der Dampf aus dem Verdampfer saugt. Der Verdichter kann mit einer Pumpe verglichen werden, die im Kältemittelkreislauf Dampf fördert. In einem geschlossenen Kreislauf streben Druck und Temperatur immer einem Gleichgewichtszustand zu. Saugt beispielsweise der Verdichter aus dem Verdampfer mehr Dampf ab, als dort erzeugt wird, fällt der dort herrschende Druck und damit die Temperatur. Umgekehrt steigen Druck und Temperatur, sofern die Verdampferbelastung so ansteigt, dass die erzeugte Dampfmenge die Kapazität des Verdichters übersteigt.



**3.3 Verdichtungsprozess**

Kältemittel verlässt den Verdampfer entweder im Zustand gesättigten oder überhitzten Dampfes und wird nach dem Eintritt in den Verdichter komprimiert. Die Verdichtung wird in der Regel mit Hilfe eines Kolben erreicht und ist daher vergleichbar mit der Betriebsweise eines Verbrennungsmotors eines Autos. Um seine Arbeit verrichten zu können, muss dem Verdichter Energie zugeführt werden. Diese Energie wird beim Verdichtungsprozess wiederum auf das Kältemittel überführt. Aufgrund der zugeführten Verdichtungsenergie verlässt das Kältemittelgas den Verdichter bei einem - im Vergleich zum Eintrittszustand - höheren Druck und in einem stark überhitzten Zustand. Die zugeführte Verdichterenergie ist abhängig von Anlagendruck

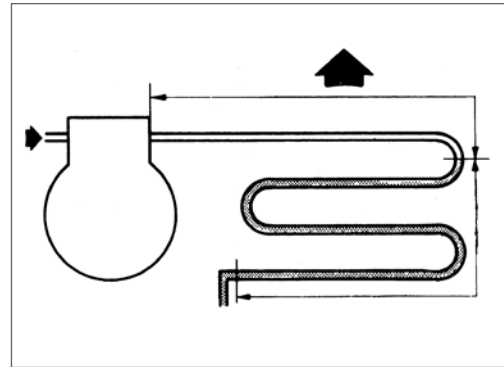


und -temperatur. Es ist einleuchtend, dass mehr Energie aufgewandt werden muss, um 1 kg Dampf auf 10 bar zu komprimieren als auf 5 bar.

3.4 Verflüssiger

Das Kältemittel gibt im Verflüssiger Wärme ab, die einem anderen Medium niedrigerer Temperatur zugeführt wird. Die abgegebene Wärmemenge setzt sich zusammen aus der im Verdampfer aufgenommenen Energie und der für die Verdichtung benötigten Verdichtungsenergie.

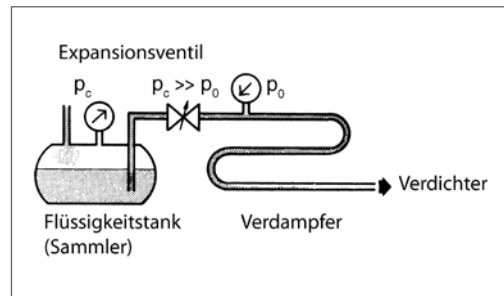
Das Medium, das diese Wärmemenge aufnimmt, kann Wasser oder Luft sein. Bedingung ist, dass die Temperatur des Mediums niedriger ist als die Verflüssigungstemperatur. Der Verflüssigungsprozess ist vergleichbar mit dem Verdampfungsprozess, nur sind die Zustandsänderungen gegenläufig, d.h. von der Dampfphase zum flüssigen Zustand.



3.5 Expansionsprozess

Kältemittelflüssigkeit strömt vom Verflüssiger zu einem Sammler, der dem im Abschnitt 3.1 erwähnten Behälter entspricht.

Aufgrund der Druckerhöhung durch den Verdichter ist der Sammlerdruck viel höher als der Verdampfendruck. Um wiederum den Druck auf das Niveau des Verdampfendruckes abzusenken, muss eine Drosselstelle eingebaut werden, durch die das Kältemittel expandieren kann. Das entsprechende Bauteil ist in der Regel ein Expansionsventil.

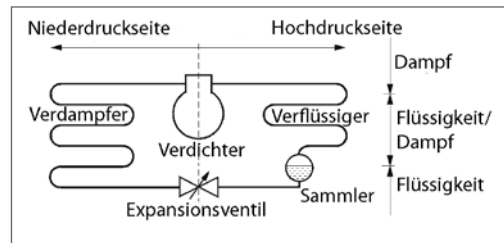


Unmittelbar vor dem Expansionsventil befindet sich das flüssige Kältemittel etwas unterhalb seiner Siedetemperatur. Durch die plötzliche Drucksenkung geschieht eine Zustandsänderung. Das

Kältemittel fängt an zu siedeln und verdampft bei einer niedrigeren Temperatur. Diese Verdampfung vollzieht sich im Verdampfer, womit sich der beschriebene Kältekreislauf schließt.

3.6 Hoch- und Niederdruckseite der Kälteanlage

Es treten eine Anzahl verschiedener Temperaturen im Kältekreislauf auf, da wir es mit unterkühlter und gesättigter Flüssigkeit sowie mit gesättigten und überhitzten Dampf zu tun haben. Prinzipiell herrschen aber nur zwei Drücke in der Anlage vor; der Verdampfungs- und der Verflüssigungsdruck. Entsprechend teilt sich der Kältekreislauf in eine Niederdruck- und eine Hochdruckseite auf.



**4. Kälteprozess und Druck- / Enthalpie-Diagramm**

Das verflüssigte Kältemittel hat im Sammler den Zustand A, der sich auf der Siedepunktkurve der Flüssigkeit befindet. Demzufolge hat die Flüssigkeit die Temperatur  $t_c$  (Verflüssigungstemperatur) und den Druck  $p_c$  (Verflüssigungsdruck), dies bezeichnet man als gesättigte Temperatur und Druck. Die kondensierte Flüssigkeit wird im Verflüssiger abgekühlt und hat die Temperatur  $A_1$  und die Enthalpie  $h_0$ . Die Flüssigkeit ist nun unterkühlt, d.h. dass sie auf eine niedrigere Temperatur gekühlt ist, wie die Sättigungstemperatur.

Die kondensierte Flüssigkeit im Sammler hat den Zustand  $A_1$ , und es handelt sich um unterkühlte Flüssigkeit. Diese Flüssigkeitstemperatur kann sich ändern, wenn der Sammler oder die Flüssigkeit oder beides durch die Umgebungstemperatur erwärmt oder gekühlt wird. Wird die Flüssigkeit gekühlt, vergrößert sich die Unterkühlung und umgekehrt.

Beim Durchgang durch das Expansionsventil ändert sich der Zustand des Kältemittels von  $A_1$  nach B. Aufgrund der dort stattgefundenen Drucksenkung auf den Druck  $p_0$  fängt das Kältemittel an zu siedeln; die Verdampfungstemperatur ist nun  $t_0$ . Da während des Expansionsprozesses dem Kältemittel Wärme weder zu- noch abgeführt wird, bleibt die Enthalpie  $h_0$  konstant.

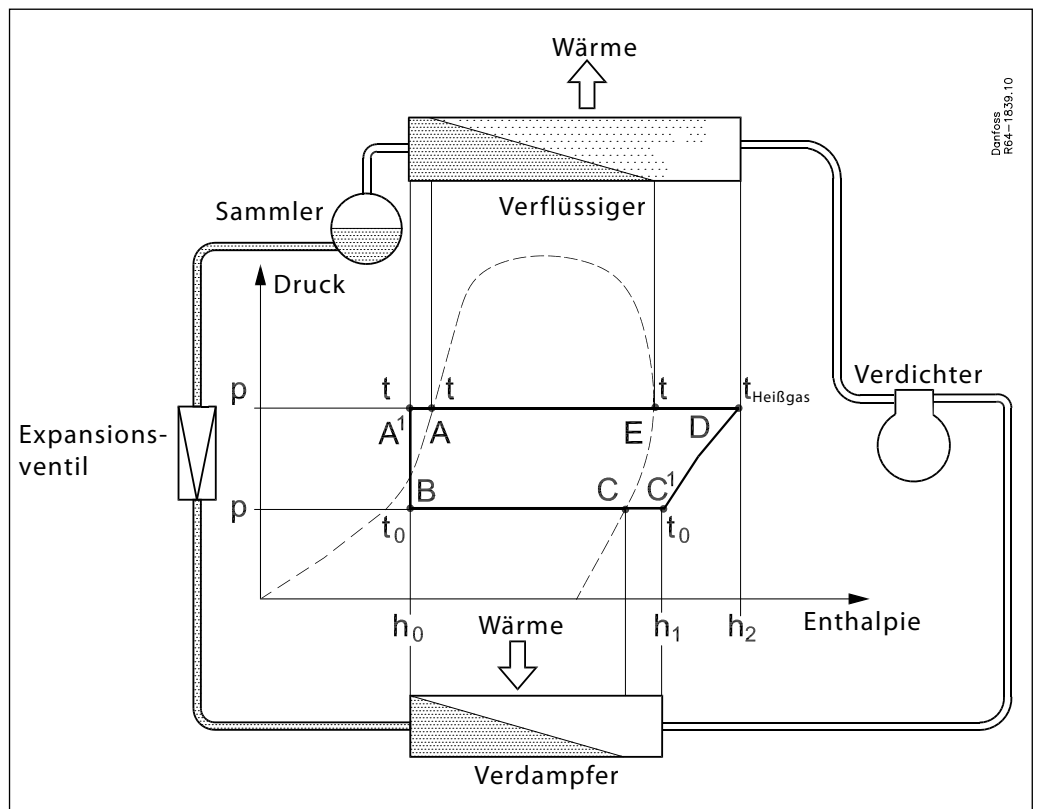
Am Verdampfereintritt B tritt ein Mischzustand von flüssigem und dampfförmigen Kältemittel auf, am Austritt C gesättigter Dampf. Am Verdampferaustritt Punkt  $C_1$  ist der Dampf überhitzt, d.h. das Sauggas

ist höher erhitzt, wie die gesättigte Temperatur. Druck und Temperatur sind im Punkt B und am Austrittspunkt  $C_1$  gleich, weil aber der Verdampfer von seiner Umgebung Wärme aufgenommen hat, steigt die Enthalpie auf  $h_1$  an.

Beim Durchgang des Kältemittels durch den Verdichter ändert sich sein Zustand von Punkt C nach D. Der Druck steigt auf das Niveau des Verflüssigungsdrucks  $p_c$ . Die Temperatur am Verdichteraustritt  $t_{\text{Heißgas}}$  ist höher als die Verflüssigungstemperatur  $t_c$ , da der Dampf stark überhitzt ist. Durch die Zufuhr von Energie bei der Verdichtung des Kältemittels (Abwärme vom Verdichtermotor) steigt die Enthalpie von  $h_1$  auf  $h_2$ .

Am Verflüssigereintritt D befindet sich das Kältemittel dementsprechend im Zustand einer starken Überhitzung mit Druck  $p_c$ . Vom Verflüssiger wird Wärme an die Umgebung abgegeben, so dass sich am Austritt wieder der ursprüngliche Zustand  $A_1$  einstellt.

Im ersten Teil des Verflüssigers geht das Kältemittel vom Zustand der Überhitzung (Punkt D) in den gesättigten Dampf (Punkt E) über, dann kondensiert der gesättigte Dampf. Von Punkt E auf Punkt A bleibt die Temperatur gleich, da Verflüssigung und Verdampfung bei konstanter Temperatur geschehen. Von Punkt A zu Punkt  $A_1$  im Verflüssiger wird die kondensierte Flüssigkeit weiter abgekühlt, jedoch bleibt der Druck unverändert und Flüssigkeit wird nun unterkühlt.



- $t_c$  = Verflüssigungstemperatur
- $p_c$  = Verflüssigungsdruck
- $t_i$  = Flüssigkeitstemperatur
- $t_0$  = Verdampfungstemperatur
- $p_0$  = Verdampfungsdruck

5. Kältemittel

5.1 Generelle Anforderungen

Während der Betrachtungen des Kälteprozesses wurde auf die Frage nach den Kältemitteln nicht näher eingegangen, da dies in Bezug auf die Erläuterungen der grundlegenden physikalischen Verhältnisse bei Zustandsänderungen von Stoffen nicht notwendig war. Bekanntlich kommen aber in der Praxis verschiedene Kältemittel zum Einsatz, abhängig von den jeweils gegebenen Anwendungen und Bedingungen. Die wichtigsten Anforderungen an ein Kältemittel lauten wie folgt:

- Das Kältemittel sollte ungiftig sein. Wenn möglich, sollte es einen charakteristischen Geruch haben oder mit Hilfe eines geeigneten Spurstoffes bei Leckagen leicht geortet werden können.
- Das Kältemittel sollte weder leicht entzündbar noch explosiv sein. Wo dies nicht der Fall ist, muss es - wie zuvor beschrieben - leicht aufzuspüren sein.
- Das Kältemittel sollte im gewünschten Verdampfungstemperaturbereich ein passendes Druck-niveau haben, das etwas über dem Atmosphärendruck liegt.
- Um die Größe der Bauteile in Grenzen zu halten, sollte der Druck, der der Verflüssigungstemperatur entspricht, nicht zu hoch sein.
- Relativ hohe Verdampfungstemperaturen werden benötigt, damit die Wärmeübertragung mit kleinstmöglicher Kältemittelzirkulation erfolgen kann.
- Das gasförmige Kältemittel sollte kein hohes spezifisches Volumen aufweisen, damit die Größe des Verdichters klein gehalten werden kann.
- Das Kältemittel muss bei allen vorkommenden Drücken und Temperaturen in der Kälteanlage chemisch stabil sein.
- Das Kältemittel sollte nicht korrosiv sein und darf in keiner Zustandsform Werkstoffe angreifen, mit denen es in Berührung kommt.
- Das Kältemittel darf den zur Verdichterschmierung benötigten Schmierstoff nicht zersetzen.
- Das Kältemittel muss leicht erhältlich und anwendbar sein.
- Das Kältemittel sollte preiswert sein.

5.2 Fluorierte Kältemittel

(Fluorierte) Kältemittel tragen immer den Anfangsbuchstaben "R", nachgefolgt von einer Ziffer, z.B. R22, R134a, R404A and R407C. Sie werden aber auch mit ihrem Handelsnamen bezeichnet. Fluorierte Kältemittel haben folgende Eigenschaften:

- Gasförmig sind sie geruchsfrei und haben ein niedriges Reizniveau.
- Sie sind ungiftig, geben jedoch während einer Verbrennung Säure und Phosgene ab, die äußerst giftig sind.
- Sie sind nicht korrosiv.
- Sie sind nicht entflammbar und nicht explosiv.

Die bekanntesten Kältemittel sind:

**R134a**, eine Substanz aus der Ethan-Gruppe mit der Formel  $CH_2FCF_3$  hat einen Siedepunkt bei  $-26,1^\circ C$ . Seine thermodynamischen Eigenschaften macht es geeignet als Kältemittel für mittlere Temperaturanwendungen wie Haushaltskühlgeräte und Gewerbekälte.

**R22**, eine Substanz aus der Methan-Gruppe mit der Formel  $CHF_2Cl$  hat einen Siedepunkt bei  $-40,8^\circ C$ . Seine thermodynamischen Eigenschaften macht es geeignet in einen weiten Bereich in Anwendungen der Gewerbekälte und Klimaanlage. R22 läuft als Kältemittel in vielen Ländern auf Grund seines Ozonabbaupotentiales aus.

**R404A/R507A** (auch als R507 bekannt) ist eine Mischung von Kältemitteln, ( $CHF_2CF_3$ ) und R143a

( $CH_3CF_3$ ) mit einem Siedepunkt von  $-46,7^\circ C$ , diese ist etwas niedriger als die von R22. Seine thermodynamischen Eigenschaften machen dieses Kältemittel geeignet für Anwendungen mit niedrigen und mittleren Temperaturen in der Gewerbekälte (z.B. Supermärkte).

**R407C** ist eine Mischung aus den Kältemitteln R32 ( $CH_2F_2$ ), R125 ( $CHF_2CF_3$ ) und R134a ( $CH_2FCF_3$ ) mit einem Siedepunkt von  $-43,6^\circ C$ , dieser ist etwas niedriger als der von R22. Seine thermodynamischen Eigenschaften machen dieses Kältemittel geeignet für Anwendungen mit mittleren und hohen Temperaturen in Klimaanlage.

**R410A** ist eine Mischung aus den Kältemitteln R32 ( $CH_2F_2$ ) und R125 ( $CHF_2CF_3$ ) mit einer Siedetemperatur von  $-51,4^\circ C$ , diese ist niedriger als die von R22. Seine thermodynamischen Eigenschaften machen dieses Kältemittel geeignet für Klimaanlage.

Außer den genannten fluorierten Kältemitteln gibt es noch eine Reihe anderer, die aber nicht so häufig verwendet werden: R23, R123, R124 und R218.

Mit Ausnahme von R22, werden Systeme mit fluorierten Kohlenwasserstoffgenerell mit Polyolester (POE) als Schmierstoff betrieben. Diese Schmierstoffe sind empfindlicher auf Reaktion mit Feuchtigkeit, die sogenannte „Hydrolyse“. Aus diesem Grunde müssen Kältemittelkreisläufe mit einem Filtertrockner äußerst trocken gehalten werden.

5.3 Ammoniak  $NH_3$

Ammoniak ( $NH_3$ ) wird in großem Umfang in industriellen Kälteanlagen eingesetzt. Sein Normal-siedepunkt liegt bei  $-33^\circ C$ . Ammoniak hat noch in kleinen Konzentrationen einen charakteristischen Geruch. Es ist nicht brennbar, aber in der Luft bei

einer Konzentration zwischen 13% und 28% explosiv. Aufgrund seiner korrosiven Eigenschaften dürfen Kupfer oder kupferhaltige Legierungen als Werkstoff in Ammoniakanlagen nicht verwendet werden.

5.4 Sekundäre Kältemittel

Die oben aufgeführten Kältemittel bezeichnet man als "primäre Kältemittel". Die sogenannten "sekundären Kältemittel" dienen als Zwischenträger bei

der Wärmetransmission von der Umgebung zum Verdampfer. Die gängigen, sekundären, Kältemittel sind Wasser, Luft und Sole.

**6. Hauptkomponenten der Kälteanlage**

6.1 Verdichter

Aufgabe des Verdichters ist es, aus dem Verdampfer Dampf zu saugen und diesen in den Verflüssiger hineinzufördern. Die gängigen Typen sind Hubkolben-, Schrauben- und Scrollverdichter.

Der Hubkolbenverdichter deckt einen großen Leistungsbereich ab: vom kleinen hermetischen Kühlschrankverdichter bis zum großen 8 - 12 Zylinder Modell für industrielle Anwendungen.

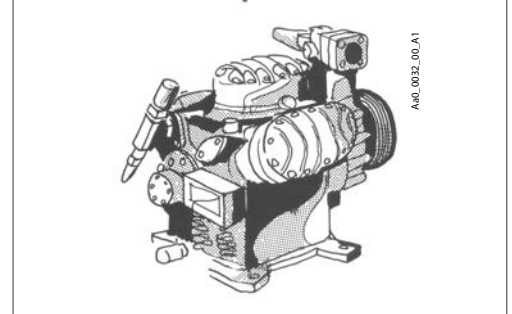
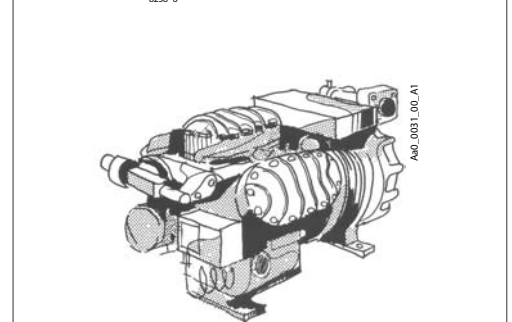
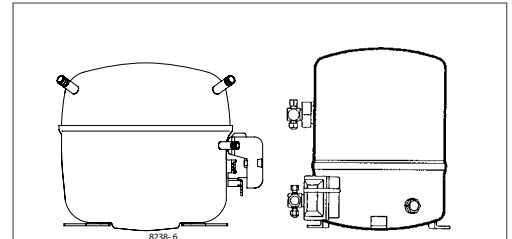
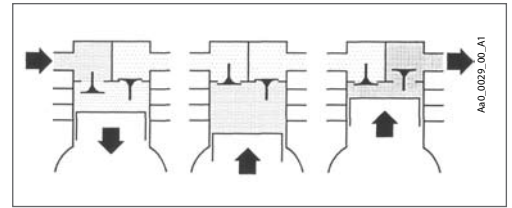
Bei hermetischen Verdichtern für Kleinstleistungen sind Verdichter und Antriebsmotor in einer Einheit integriert.

In Anlagen mit mittlerer Kälteleistung werden vielfach hermetische Verdichter sowohl als Hubkolben- wie auch als Scroll-Ausführung eingesetzt. Anwendungen sind neben Klimaanlage auch Kaltwassersätze.

In größeren Anlagen ist der halbhermetische Verdichter oft anzutreffen. Sein Vorteil ist, dass die Achse gegen den Motor nicht abgedichtet werden muss. Tritt ein Leck in einer solchen Dichtung auf, ist diese nur sehr schwer auszuwechseln. Allerdings kann dieses Prinzip in Ammoniakanlagen nicht angewendet werden, da Ammoniak die Motorwicklungen angreift.

Verdichter größerer Abmessungen sowie sämtliche Ammoniakverdichter sind als "offene" Verdichter konstruiert; d.h. mit dem Motor außerhalb des Kurbelgehäuses. Die Antriebsenergie kann mittels einer Kurbelwelle oder eines Keilriemens übertragen werden.

Für besondere Anwendungen gibt es ölfreie Verdichter. In der Regel ist das Schmieren von Lagern und Zylinderwänden jedoch unumgänglich. Bei großen Kälteverdichtern wird das Öl mittels einer Pumpe umgewälzt.

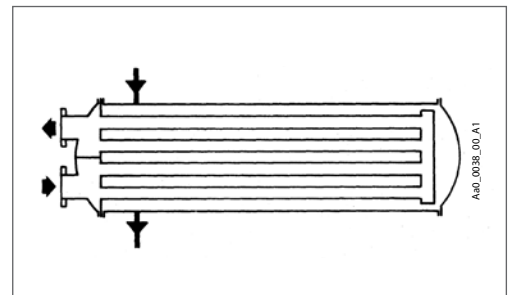


6.2 Verflüssiger

Der Zweck des Verflüssigers ist das Entfernen der Wärmemenge, die sich aus der Verdampfungswärme und der während des Verdichtens zugeführten Energie zusammensetzt. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Verflüssigerbauformen.

*Bündelrohrverflüssiger:* Dieser Verflüssigertyp wird bei genügend vorhandenem Kühlwasser eingesetzt. Es besteht aus einem horizontalen Rohrmantel mit angeschweißten Eintritts- und Umlenkplatten, welche die Innenrohre stützen. Die beiden Enddeckel sind durch Bolzen und Rohrmantel befestigt.

Das Kältemittelkondensat durchströmt den Mantelraum, während das Kühlwasser durch die Innenrohre geführt wird. In den Enddeckeln geschieht durch Trennplatten eine Umlenkung des Wassers, das auf diese Weise mehrmals den Verflüssiger durchläuft. In der Regel wird der Verflüssiger auf eine Kühlwassererwärmung von 5-10 K bemessen.

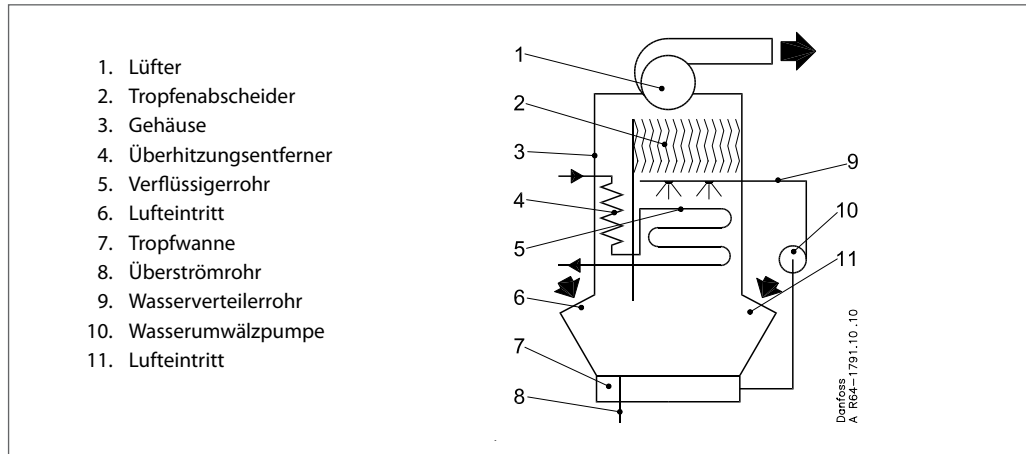


**Hauptkomponenten der Kälteanlage**

6.2 Verflüssiger (Fortsetzung)

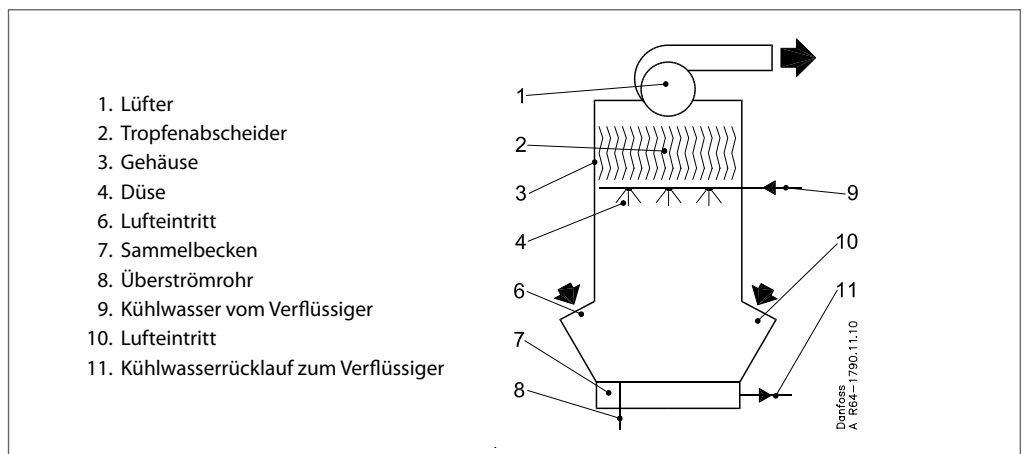
Sofern eine Reduzierung der umgewälzten Wassermenge wünschenswert oder gar notwendig ist, kann ein *Verdunsterverflüssiger* eingesetzt werden. Dieser Verflüssigertyp besteht aus einem Gehäuse mit eingebauter Verflüssigerrohrschlange, Wasserverteilerrohren, Tropfenabscheider und Lüftern. Das gasförmige Kältemittel tritt am oberen Ende der Rohrschlange ein und verläßt diese am unteren

Ende in flüssigem Zustand. Aus Verteilerrohren, die über der Rohrschlange angebracht sind, wird Wasser durch Düsen auf die Rohrschlange gesprüht, wonach es in die Tropfwanne hinunterfällt. Lüfter sorgen für einen kräftigen, nach oben gerichteten Luftstrom. Die dazu benötigte Verdampfungswärme wird dem Kältemittel entzogen, das damit zu kondensieren anfängt.



Das Prinzip der Wasserverdunstung wird auch in den sogenannten "Kühltürmen" angewendet. Sie werden in Verbindung mit Bündelrohrverflüssigern eingesetzt. Das Kühlwasser zirkuliert dann zwischen diesen beiden Einheiten. Der Kühlturm ist im Prinzip wie ein Verdunstungsverflüssiger aufgebaut, jedoch ist anstelle des Verflüssigungs-Wärmeaustauschers ein Register

zur Tropfenabscheidung eingebaut. Luft erwärmt sich während ihrer Strömung durch den Kühlturm im Gegenstrom zum herabfallenden Wasser. Die Wärmeaufnahme geschieht in erster Linie durch Verdunstung eines Teils des umgewälzten Wassers. Das verdunstete Wasser steht dem Kühlkreislauf nicht mehr zur Verfügung und muss durch Zusatzwasser ersetzt werden.

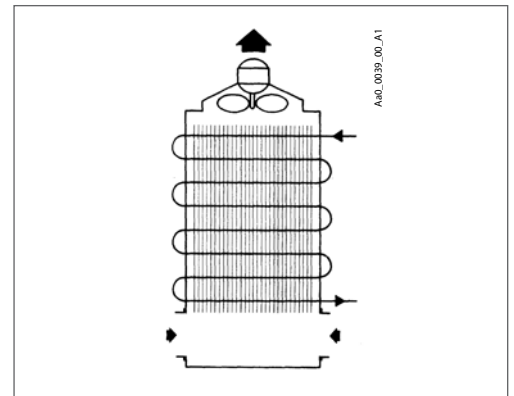


**Hauptkomponenten der Kälteanlage**

6.2 Verflüssiger (Fortsetzung)

In den Fällen, in denen zur Abführung der Verflüssigerwärme kein Wasser zur Verfügung steht, bietet sich der Einsatz eines *luftgekühlten* Verflüssigers an. Aufgrund der schlechteren Wärmeübertragungseigenschaften von Luft im Vergleich zu Wasser ist hier eine große, äußere Wärmeübertragungsfläche notwendig. Durch die Anwendung von Lamellen oder Rippen, die auf den Verflüssigerrohren montiert sind, sowie durch einen genügend großen, durch Lüfter erzeugten Luftdurchsatz erreicht man entsprechende Leistungen wie beim Kühlwasserbetrieb.

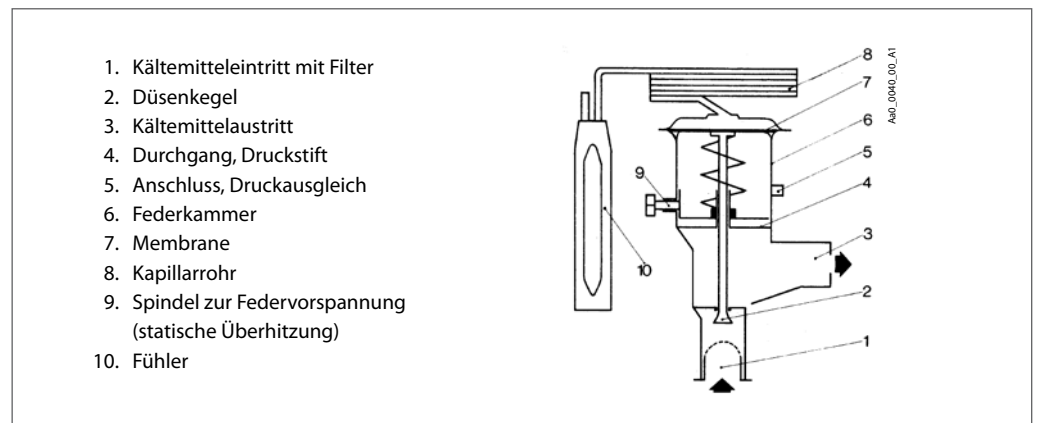
Normalerweise wird dieser Verflüssigertyp in der Gewerbekälte angewendet.



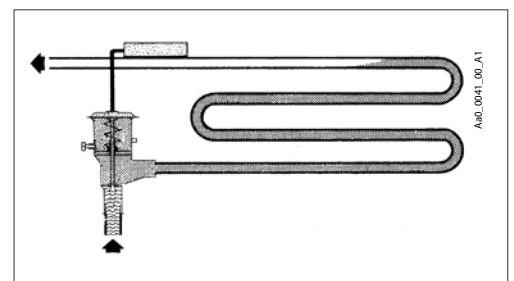
6.3 Expansionsventil

Die Aufgabe des Expansionsventils ist es, den Verdampfer mit einer passenden Menge Kältemittel zu versorgen. Die Kältemittelzufuhr geschieht durch den Druckunterschied zwischen der Verflüssiger- und Verdampferseite. Die einfachste Lösung dieser Aufgabe erreicht man mit Hilfe eines Kapillarrohres, das zwischen Verflüssiger und Verdampfer eingebaut wird.

Ein Kapillarrohr findet jedoch nur Anwendung in kleineren, einfachen Anlagen wie z.B. Kühl- und Gefrierschränken, da es keine Regeleigenschaften besitzt. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, muss ein Expansionsventil verwendet werden. Es besteht aus einem Gehäuse, einer Kapillare und einem Fühler. Das Gehäuse wird in die Flüssigkeitsleitung eingebaut und der Fühler am Verdampferaustritt angebracht.



Die nebenstehende Abbildung zeigt die Flüssigkeitseinspritzung eines Expansionsventils in einen Verdampfer. Im Fühler befindet sich eine kleine Menge flüssige Füllung. Im restlichen Teil des Fühlers, der Kapillare und des Raumes über der Membrane befindet sich gesättigter Dampf bei einem Druck, welcher der Temperatur des Fühlers entspricht. Der Raum unter der Membran steht in unmittelbarer Verbindung mit dem Verdampfer, so dass der dort herrschende Druck dem Verdampfungsdruck entspricht.



**Hauptkomponenten der Kälteanlage**

6.3 Expansionsventil  
(Fortsetzung)

Der Öffnungsgrad des Ventils wird bestimmt durch:

- den Füllungsdruck über der Membrane,
- den Verdampfungsdruck unter der Membrane,
- den Federdruck unter der Membrane.

Während des normalen Betriebes ist kurz vor dem Verdampferaustritt das eingespritzte Kältemittel gänzlich verdampft. Im letzten Teil des Verdampfers wird der gesättigte Dampf überhitzt. Die vom Fühler erfasste Temperatur entspricht somit der Verdampfungstemperatur plus der Überhitzung, z.B. bei einer Verdampfungstemperatur von -10 °C kann die Fühlertemperatur 0 °C betragen.

Wird zu wenig Kältemittel eingespritzt, erhitzt sich der Kältemitteldampf noch mehr, was einen Temperatur- und Druckanstieg im Fühler mit sich führt. Demzufolge biegt sich die Membrane nach unten durch und öffnet über den Druckstift das Ventil entsprechend. Im umgekehrten Fall verkleinert sich die Ventilöffnung bei fallender Fühlertemperatur.

Es gibt die unterschiedlichsten Versionen von thermostatischen Expansionsventilen und darüber hinaus werden viele Varianten der einzelnen Typen gefertigt.

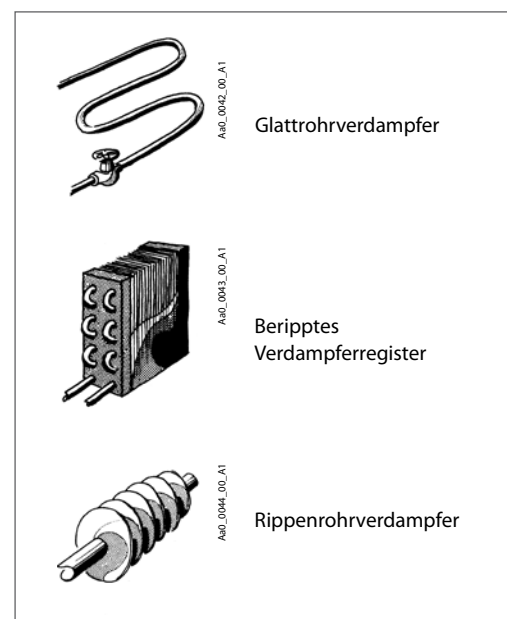
6.4 Verdampfer

Abhängig von der Anwendung werden unterschiedliche Anforderungen an den Verdampfer gestellt. Daher gibt es eine Vielzahl von Verdampferbauarten.

*Verdampfer für natürliche Konvektion* oder "stille Kühlung" werden wegen ihrer schlechten Wärmeübertragung verhältnismäßig selten eingesetzt. Sie bestehen oft aus berippten Rohren.

Sofern ein Luftstrom mittels eines Lüfters durch den Verdampfer geleitet wird, erhöht sich seine Kälteleistung erheblich. Durch die erhöhte Luftgeschwindigkeit verbessert sich die Wärmeübertragung von der Luft zum Verdampferrohr in einem solchen Maße, dass für gleiche Leistungen kleinere Verdampfer eingesetzt werden können.

Zur Flüssigkeitskühlung werden verschiedene Verdampfer angewendet. Die einfachste Ausführung besteht in einer Rohrschlange, die in einem offenen Wassertank versenkt wird. Geschlossene Systeme in Form von Bündelrohrverdampfern sind jedoch am häufigsten anzutreffen.



**7. Praktischer Aufbau einer Kälteanlage**

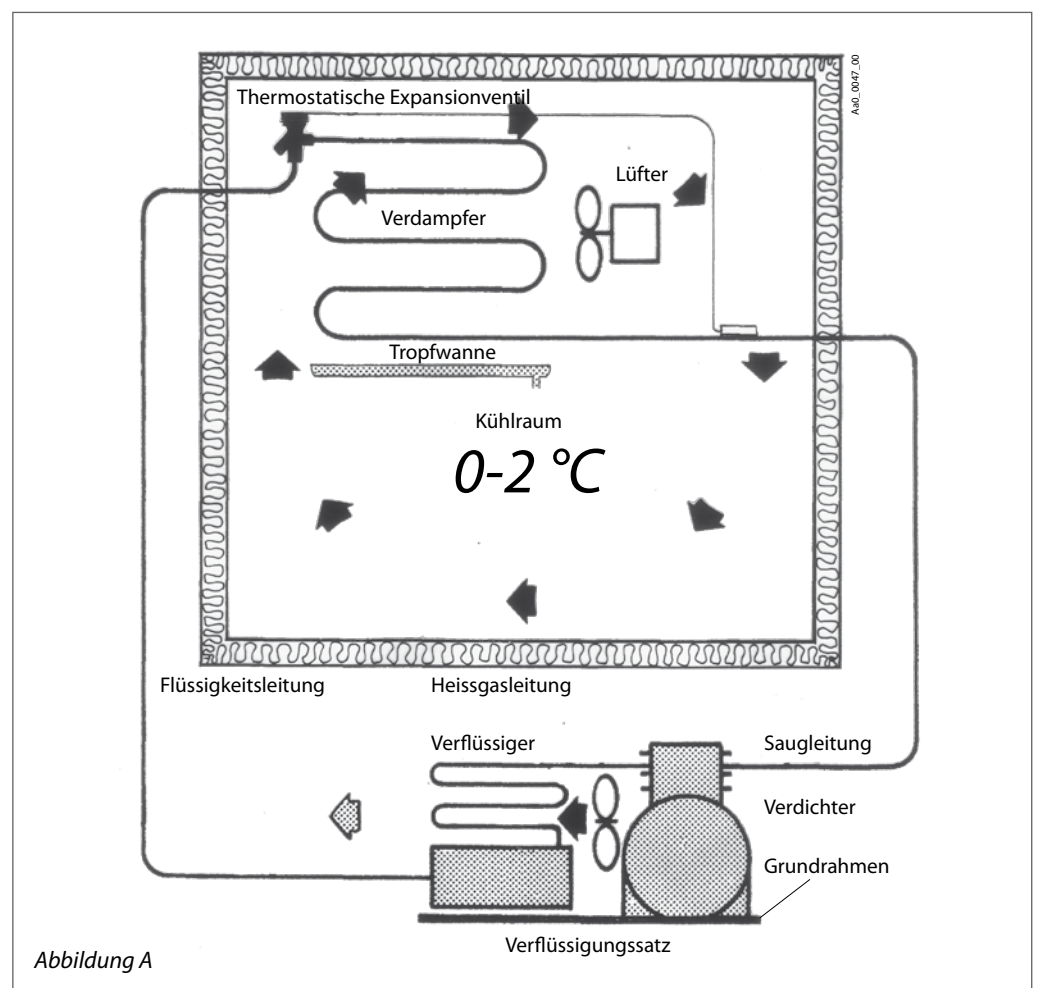
Abbildung A zeigt das Prinzip einer Kälteanlage für einen einfachen Kühlraum, wie er häufig in Metzgereien oder in Supermärkten anzutreffen ist.

Der Verflüssigungssatz kann beispielsweise in einem anliegenden, belüfteten Raum installiert werden. Er besteht zum Einen aus einem Verdichter. Auf dem Grundrahmen ist zusätzlich noch ein luftgekühlter Verflüssiger sowie ein Sammler montiert. Ein auf der Motorachse angebrachter Lüfter sorgt für den Luftdurchsatz durch den Verflüssiger sowie für die Verdichterkühlung. Die Leitung zwischen Verdichter und Verflüssiger nennt man Heißgasleitung.

Heutzutage werden häufig Verdichter halbhermetischer oder hermetischer Bauweise verwendet.

Vom Sammler führt eine unisolierte Flüssigkeitsleitung zum Expansionsventil, das sich im Kühlraum unmittelbar am Verdampfereintritt befindet. Der Verdampfer enthält ein dicht beripptes Rohrregister und ist noch mit einem Lüfter und einer Tropfwanne ausgestattet.

Vom Verdampferaustritt führt die sogenannte Saugleitung zurück zum Verdichter. Ihr Durchmesser ist etwas größer als der der Flüssigkeitsleitung, da sie großvolumigen Dampf leiten muss. Wegen möglicher Tropfen- oder Reifbildung am Außenrohr ist diese Leitung normalerweise isoliert.



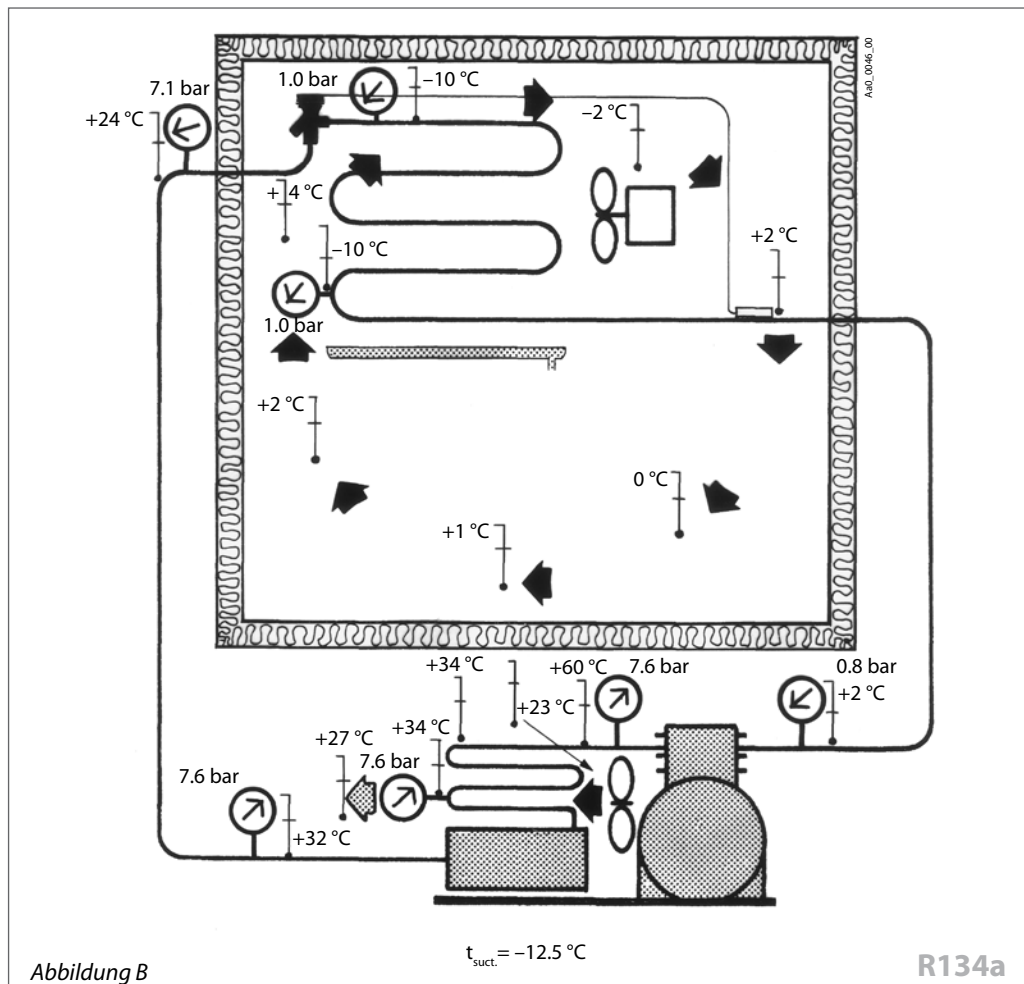
**Praktische Aufbau einer Kälteanlage**

Abbildung B zeigt die momentanen Druck- und Temperaturverhältnisse in einer solchen Anlage. Am Verdichteraustritt herrscht ein Druck von 7,6 bar und eine Temperatur von 60 °C, denn es handelt sich um stark überhitztes Gas. Im oberen Teil des Verflüssigers fällt die Temperatur schnell auf den Sättigungspunkt, der bei dem genannten Druck 34 °C entspricht. Bei dieser Temperatur beginnt die Verflüssigung.

Der Druck im Sammleraustritt ist in etwa der gleiche, aber aufgrund der entstandenen Unterkühlung ist die Temperatur um 2 K auf +32 °C gefallen. Im Verdampfer wird ein Druck von 1 bar und eine Verdampfungstemperatur von -10 °C angezeigt. Im hinteren Teil des Verdampfers erhöht sich die Temperatur bei gleichbleibendem Druck, so dass die Fühlertemperatur, entsprechend der Überhitzungseinstellung am Expansionsventil, +2 °C beträgt.

Wie unten dargestellt, ändert sich während der Strömung durch den Raum die Lufttemperatur bedingt durch die Wärmeaufnahme von den eingelagerten Waren, den Wänden, der Beleuchtung etc.. Die Temperatur, der durch den Verflüssiger strömenden Außenluft ändert sich ebenfalls entsprechend der Jahreszeit.

Eine Kälteanlage muss auf der Grundlage Ihrer größten Belastung ausgelegt werden. Um auch im Teillastbereich gut funktionieren zu können, sind Hilfsmittel notwendig. Die Anpassung an Teillastverhältnisse wird durch den Begriff *Regelung* abgedeckt. Dies Aufgabe wird durch das Danfoss Automatikprogramm gelöst, welches alle benötigten Komponenten für einen Kältemittelkreislauf umfaßt. Auf eine nähere Beschreibung wird in dieser Druckschrift verzichtet, wir verweisen auf die entsprechende Danfoss Literatur.





# Notizen

A large grid of graph paper for taking notes, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares.



## Die Danfoss Produktpalette für Kälte- und Klimatechnik

Danfoss ist einer der führenden Hersteller von Systemen und Produkten für die Kälte- und Klimatechnik - sowohl für industrielle, gewerbliche als auch kommerzielle Anwendungen.

Oberste Priorität haben bei Danfoss leistungsfähige und langlebige Qualitätsprodukte, mit denen sich die Effizienz von kältetechnischen Anlagen steigern und die Betriebskosten reduzieren lassen.



*Komponenten für die  
Gewerbekälte*



*Komponenten für die  
Industriekälte*



*Elektronische Regler*



*Industriemotoren*



*Verdichter für die  
Kleinkälte*



*Verdichter für gewerbliche  
Anwendungen*



*Verflüssigungssätze*



*Thermostate*

Danfoss bietet technisch hochwertige Produkte  
sowie Komplettlösungen und den zugehörigen Service.

Damit möchten wir unseren Teil für den Erfolg Ihres  
Unternehmens beitragen.

**Danfoss GmbH • [www.danfoss.de/kaelte](http://www.danfoss.de/kaelte)**