

2.2 Kältemittel

Als Kältemittel werden die in einem geschlossenen Kältekreislauf enthaltenen Stoffe bezeichnet, die infolge einer Wärmeaufnahme vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand überführt werden. Die Wärmeaufnahme wird zur Kälteerzeugung genutzt. In vielen Anwendungen übernimmt das Kältemittel auch den Wärmetransport zwischen der wärmeaufnehmenden, d. h. kälteerzeugenden, und der wärmeabgebenden Seite des Prozesses (sogenannte Direktsysteme), sodass keine weiteren Kälte- und Wärmeträger-Sekundärsysteme notwendig sind. Kältemittel werden sowohl in Verdichterkältemaschinen als auch in Sorptionskältemaschinen eingesetzt. Die Stoffe, mit denen ohne Phasenwechsel Kälte erzeugt wird, beispielsweise Gase in Kaltgasmaschinen, magnetokalorische Materialien etc., werden üblicherweise als Arbeitsstoff, Arbeitsmittel oder Arbeitsmedium und nicht als Kältemittel bezeichnet. Sie werden in diesem Kapitel nicht behandelt.

Kältemittel können Reinstoffe oder Stoffgemische sein.

Bei den für eine Anwendung geforderten Temperaturen sind häufig mehrere Stoffe bzw. Stoffgemische mit dem gewünschten Phasenwechsel zu finden. Aufgrund von weiteren Randbedingungen muss eine passende, d. h. optimale, Auswahl getroffen werden.

Die Emission von verschiedenen halogenierten Kohlenwasserstoffen kann zu einem erheblichen Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre führen und einen atmosphärischen Treibhauseffekt bewirken. Durch internationale Abkommen, beispielsweise das Montrealer Protokoll von 1987 über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, forciert, ist die Verwendung von ozonschichtzerstörenden Kältemitteln weitgehend verboten. Hauptaugenmerk liegt heute auf einer Beschränkung der Treibhauswirksamkeit von Kältemitteln. Die sich fortlaufend verschärfenden Grenzwerte haben zu chemischen Neuformulierungen von Kältemitteln und der zunehmenden Verwendung sogenannter natürlicher Kältemittel (der Stoff kommt auch in der Natur vor) geführt.

2.2.1 Die Dampfdruckkurve von Kältemitteln

Aus technischer Sicht ist die wichtigste Stoffeigenschaft von Kältemitteln die Abhängigkeit des Dampfdrucks von der Temperatur, die in der sogenannten Dampfdruckkurve abgebildet werden kann. Sie gibt die Abhängigkeit des Dampfdrucks p von der absoluten Temperatur T an. Eine einfache Formulierung, die auf der Gleichung von Clausius-Clapeyron (Annahmen: ideales Gasgesetz, Vernachlässigung des Flüssigkeitsvolumens, konstante Verdampfungsenthalpie) beruht, ist [2-2]:

$$\lg(p) = a - \frac{b}{T} \quad \text{bzw.} \quad \lg(p) = a - \frac{r_0}{R \cdot T} \quad (2-1)$$

Dabei ist p beispielsweise auf ein Bar bezogen, sodass vom Klammersausdruck der Logarithmus gebildet werden kann. Bei einem Druck oberhalb der Dampfdruckkurve ist der Stoff flüssig und unterhalb gasförmig. Die Dampfdruckkurve endet im kritischen Punkt. Mit der Dampfdruckkurve können die bei den geforderten Temperaturen im Prozess auftretenden Drücke bestimmt werden. Dabei ist zu beachten, dass zu hohe Drücke ein Sicherheitsrisiko bedeuten können und andererseits zu niedrige Drücke zu einer geringen Leistungsdichte führen.

Im $\lg(p), 1/T$ -Diagramm stellt sich die Dampfdruckkurve als eine Gerade dar (s. Abbildung 2-1). Ihre Steigung beträgt:

$$\frac{d(\lg(p))}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{r_0}{R} = -\frac{r_{0M} \cdot M}{R_M \cdot M} = -\frac{r_{0M}}{R_M} \quad (2-2)$$

Dabei ist R_M die universelle Gaskonstante $R_M = R \cdot M$, der Index M kennzeichnet molare Größen (Einheit .../mol)

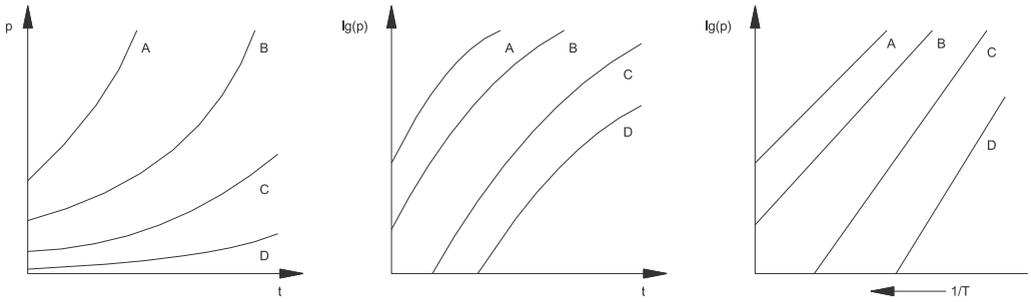


Abb. 2-1: Schematische Darstellung der Dampfdruckkurven von unterschiedlichen Kältemitteln (mit A, B, C und D bezeichnet)

Der schematischen Darstellung in Abbildung 2-1 ist zu entnehmen, dass der Dampfdruck eines Stoffs mit der absoluten Temperatur überproportional stark zunimmt. Die Dampfdruckkurven der verschiedenen Stoffe haben einen ähnlichen Verlauf. Insbesondere besitzt kein bekannter Stoff einen von der Temperatur unabhängigen Dampfdruck oder sogar einen mit zunehmender Temperatur abnehmenden Dampfdruck.

Folgerungen aus der Bestimmungsgleichung für den Dampfdruck

Aus der Steigung der Dampfdruckkurve, entsprechend Gleichung 2-2, kann die spezifische Verdampfungsenthalpie ermittelt werden. Je steiler die Dampfdruckkurve verläuft, umso größer ist die spezifische Verdampfungsenthalpie. Bei realen Stoffen sind die Dampfdruckkurven im $\lg(p), 1/T$ -Diagramm keine Geraden, sondern verlaufen mit zunehmender Temperatur flacher (s. Abbildung 2-2), was insbesondere mit der abnehmenden spezifischen Verdampfungsenthalpie erklärt werden kann, die am kritischen Punkt schließlich den Wert Null besitzt.

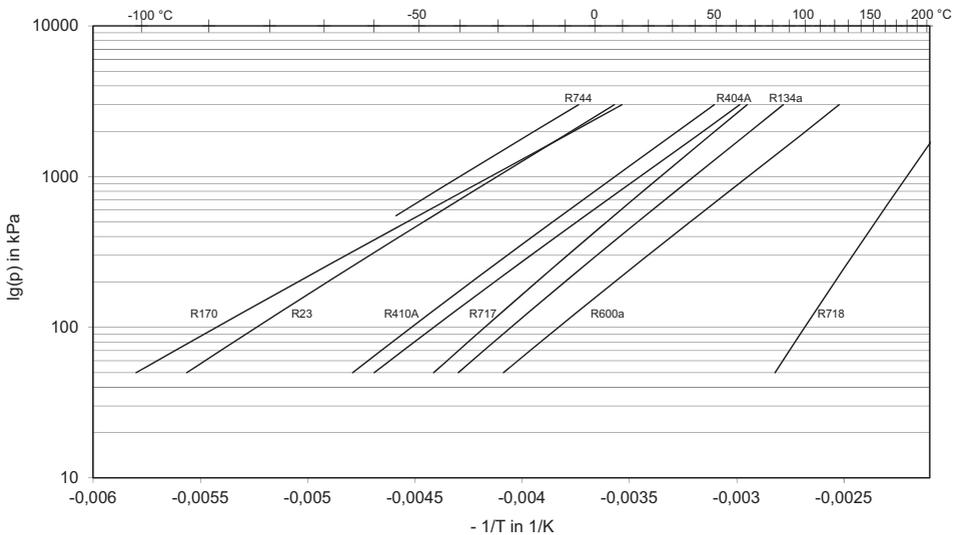


Abb. 2-2: Dampfdruckkurven verschiedener Kältemittel (die Bezeichnungen sind in Kapitel 2.2.2 erläutert)

Auch ist Gleichung 2-2 zu entnehmen, dass das Druckverhältnis p_c/p_0 eines Kaldampfprozesses näherungsweise nur von der molaren Verdampfungsenthalpie abhängt.

Eine weitere Folgerung aus der Gleichung 2-2 ist, dass die spezifische Verdampfungsenthalpie eines Stoffs umso kleiner ist, je größer die relative molare Masse ist.

Da der Isentropenexponent bei mehratomigen Gasen mit großer molaren Masse klein ist, ergeben sich bei einer adiabaten Verdichtung auch kleine Temperaturerhöhungen.

2.2.2 Kältemitteltypen und Bezeichnungen

Als Kältemittel können organische und anorganische Stoffen verwendet werden:

organische Kältemittel (Kohlenwasserstoffe)		anorganische Kältemittel
halogeniert ¹	nicht halogeniert	
z. B. Difluormethan R32, Difluorchlormethan R22	z. B. Propan R290, Isobutan R600a	vor allem Ammoniak R717, Kohlendioxid R744 und Wasser R718, evtl. auch Lachgas R744A u.a.
¹⁾ Das Molekül enthält mindestens ein Atom eines Halogens (Fluor, Chlor, Brom, Iod)		

In Tabelle 2-4 sind die heute gebräuchlichen organischen Typen zusammengestellt.

Tabelle 2-4: Organische Kältemittel-Typen

Abkürzung deutsch	Abkürzung englisch	Bezeichnung	Halogenierung	enthaltene Elemente
FCKW	CFC	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff	vollhalogeniert	F, Cl, C
HFCKW	HCFC	Hydrogen-Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff	teilhalogeniert	H, F, Cl, C
FKW	PFC	Fluor-Kohlenwasserstoff	vollhalogeniert	F, C
HFKW	HFC	Hydrogen-Fluor-Kohlenwasserstoff	teilhalogeniert	H, F, C
HFCO	HCFO	Hydrogen-Fluor-Chlor-Olefin	teilhalogeniert	H, F, Cl, C
HFO	HFO	Hydrogen-Fluor-Olefin	teilhalogeniert	H, F, C
KW	HC	Kohlenwasserstoff	nichthalogeniert	H, C
HO	HO	Hydrogen-Olefin	nichthalogeniert	H, C

Bei den halogenierten Kältemitteln handelt es sich überwiegend um Derivate von Alkanen (Methan, Ethan, Propan, Butan) und von Alkenen (Ethen, Propen, Buten) sowie deren Isomere mit üblicherweise maximal vier Kohlenstoffatomen. Alkohole (das Molekül enthält eine oder mehrere Hydroxylgruppen OH) werden heute selten als Kältemittel verwendet.

Als Olefine werden zyklische und azyklische Kohlenwasserstoffe mit einer oder mehreren Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung bezeichnet (beispielsweise Propen).

International wurden zunächst die folgenden Bezeichnungen für halogenierte Kältemittel festgelegt:

$$R(m-1)(n+1)(p)$$

R = Refrigerant (Kältemittel)

m = Anzahl der C-Atome

n = Anzahl der H-Atome

p = Anzahl der F-Atome

Die Anzahl der evtl. im Molekül vorhandenen Chloratome ergibt sich aus der Wertigkeit von Kohlenstoff (= 4).

Beispiele:

R12 (oder FCKW-12 entspricht eigentlich R012, wobei die führende Null nicht geschrieben wird): $m = 1$, $n = 0$, $p = 2$ und das Molekül enthält 2 Cl-Atome. Es handelt sich um ein Derivat des Methans CH_4 : CCl_2F_2 (Dichlordifluormethan).

R125 (oder HFKW-125): $m = 2$, $n = 1$, $p = 5$. Es handelt sich um ein Derivat des Ethans C_2H_6 : CHF_2CF_3 (Pentafluorethan).

R134a (oder HFKW-134a): $m = 2$, $n = 2$, $p = 4$ und das Molekül enthält kein Cl-Atom. Es handelt sich um 1,1,1,2-Tetrafluorethan CH_2FCF_3 .

Weitere Bezeichnungen

Aufgrund von neuentwickelten Kältemitteln und der vermehrten Nutzung von Kältemittelgemischen mussten weitere Bezeichnungen eingeführt werden (vollständige Auflistung siehe [2-5]).

RxxxBx	das Molekül enthält Brom
RCxxx	zyklische Verbindung, z. B. RC318 Octafluorocyclobutan C_4F_8
Rxxxxa	nachgestellte Kleinbuchstaben kennzeichnen Isomere und die Position der Elemente im Molekül, z. B. R134a
R4xx	zeotrope Gemische, fortlaufend durch ASHRAE ab 400 nummeriert, z. B. R404A; nachgestellte fortlaufende Großbuchstaben kennzeichnen Mischungsanteile
R5xx	azeotropes Gemisch, fortlaufend durch ASHRAE ab 500 nummeriert, z. B. R507; da die azeotrope Gemischzusammensetzung druckabhängig ist, können ebenfalls nachgestellte Großbuchstaben auftreten
R6xx	organische Verbindungen (auch mit Sauerstoff), durch ASHRAE ab 600 nummeriert, z. B. R600 (Butan $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$). Die bereits früh als Kältemittel verwendeten Stoffe werden wie halogenierte Kohlenwasserstoffe, wie beispielsweise Propan mit R290, bezeichnet
R7xx	anorganische Kältemittel werden mit einer vorgestellten 7 und der molaren Masse gekennzeichnet, z. B. R744 (Kohlendioxid), R717 (Ammoniak), R718 (Wasser); R744A ist Lachgas (N_2O)
R1xxx	Alkene (ungesättigte organische Verbindungen mit mindestens einer Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung) werden mit einer vorgestellten Zahl für die Anzahl der Doppelbindungen gekennzeichnet, z. B. R1150 (Ethen $\text{CH}_2=\text{CH}_2$; diesem bereits früh als Kältemittel verwendeten Stoff wurde ebenfalls keine R6xx-Nummer zugeordnet)

Anmerkungen

Die bekannten bromhaltigen Kältemittel besitzen ein sehr großes Ozonabbaupotenzial und sind daher heute verboten.

Chlorhaltige Kältemittel besitzen zumeist ebenfalls ein großes Ozonabbaupotenzial. Dies trifft jedoch nicht für das HFO R1233zd (kurz als HFO-1233zd bezeichnet), das zwar ein Chloratom besitzt, dessen Ozonabbaupotenzial jedoch als vernachlässigbar klein gilt und daher mit Null angegeben ist.

Organische Stoffe mit Sauerstoffatomen, wie beispielsweise Ether oder Alkohole, werden bisher selten als Kältemittel verwendet. Ein 60%:40%-Gemisch aus Ammoniak (R717) und Dimethylether (CH_3OCH_3 , als E170 bezeichnet) wird gelegentlich eingesetzt. Es wird als „R723“ bezeichnet (keine von der ASHRAE festgelegte Bezeichnung).

Isomere besitzen zwar die gleiche molare Masse, können aber sehr verschiedene physikalische Stoffeigenschaften aufweisen. Beispielsweise beträgt die Normalsiedetemperatur (dies ist die Siedetemperatur bei dem Normaldruck von 1013,25 mbar) von R134 (HCF₂-HCF₂) $t_S = -23\text{ °C}$, hingegen die von R134a (CF₃-H₂CF) $t_S = -26\text{ °C}$. Auch das Mischungsverhalten dieser Stoffe mit anderen Stoffen, insbesondere mit Kältemaschinenölen, kann sehr unterschiedlich sein.

Stoffgemische ermöglichen es, Dampfdruckkurven an die Temperaturerfordernisse anzupassen, sodass gegenüber den verfügbaren reinen Stoffen zum einen der Verdampfungsdruck bezüglich der Leistungsdichte hinreichend hoch und zum anderen die Höhe des Verflüssigungsdrucks nicht unerwünscht hoch ist. Außerdem können bei einem nichtbrennbaren Kältemittelgemisch brennbare Gemischkomponenten enthalten sein. Brennbare Komponenten besitzen in der Regel ein niedriges Treibhauspotenzial, siehe unten, sodass Kältemittel mit günstigen Sicherheitseigenschaften und akzeptierten Umwelteigenschaften hergestellt werden können. Ferner kann zumindest eine der Komponenten ein günstiges Mischungsverhalten mit Kältemaschinenöl aufweisen, sodass Kältemaschinen ohne aufwendiges Ölmanagement und mit Trockenexpansionsverdampfer ausgeführt werden können.

Von der zeotropen 400er-Reihe werden heute Zwei-, Drei- und Mehrstoffgemische eingesetzt. Das zeotrope Verhalten ist in Abbildung 2-3 a) zur Veranschaulichung für ein Zweistoffgemisch skizziert. Die Gemischzusammensetzung der Dampfphase und die der Flüssigkeitsphase sind unterschiedlich, die Dampfphase enthält einen größeren Molanteil (bzw. Massenanteil) der leichter flüchtigen Komponente. Bei zeotropen Gemischen muss bei einem gegebenen Druck vom Beginn der Siedetemperatur an die Temperatur weiter erhöht werden, um den Stoff vollständig verdampfen zu können. Diese Temperaturdifferenz wird als Temperaturgleit bezeichnet (s. Abbildung 2-4). Auch die in einem realen Prozess bei der Verflüssigung und bei der Verdampfung tatsächlich auftretenden Beträge der Temperaturdifferenzen werden als Temperaturgleit bezeichnet. Das Kältemittel R404A besitzt bei einem Druck von einem Bar einen Temperaturgleit von nur $\Delta T_G = 0,7\text{ K}$, sodass dieses Gemisch auch als „quasiazeotrop“ bezeichnet wird. Hingegen beträgt der Temperaturgleit von R407C $\Delta T_G = 7,4\text{ K}$. Im Betrieb ist im Verdampfer der Temperaturgleit je nach Dampfmassenanteil nach der Entspannung auch kleiner. Zur Angabe des Dampfdrucks von zeotropen Gemischen wurde die *Taupunkttemperatur* (und nicht die Siedepunkttemperatur) festgelegt. Mit zunehmendem Einsatz von zeotropen Gemischen Ende des 20. Jahrhunderts wurde befürchtet, dass sich bereits bei geringen Leckagen die Gemischzusammensetzung aufgrund der unterschiedlichen Gemischzusammensetzungen der Phasen so sehr verändert, dass der Kältemaschinenbetrieb problematisch wird. Dies hat sich nicht in dem befürchteten Ausmaß bestätigt. Unter ungünstigen Bedingungen können sich bei tiefen Temperaturen einzelne Gemischkomponenten in der flüssigen Phase abtrennen und nicht weiter am Verdampfungsprozess teilnehmen. Infolgedessen sind niedrigere Verdampfungsdrücke erforderlich, und/oder es können die gewünschten Verdampfungstemperaturen nicht erreicht werden. Aufgrund einer solchen Separation ist es bei der Verwendung von Stoffgemischen mit brennbaren Komponenten auch möglich, dass sich bei Leckagen ein brennbares Kältemittel-Luft-Gemisch bilden kann. Für die heute überwiegend eingesetzten Stoffe hat sich in den üblichen Anwendungen aber kein erhöhtes Risiko gezeigt. Zeotrope Stoffgemische bieten das Potenzial, mit gleitenden Temperaturen Stoffströme abzukühlen bzw. für Wärmepumpenanwendungen zu erwärmen und so energetisch günstig einen Lorenz-Prozess (zwei Isentrope und zwei Polytrope, die als Isobare realisiert werden) zu verwirklichen. Allerdings erfordert dies aufwändige Gegenstromwärmeübertrager. Bei sogenannten Gemischkaskaden kommen zeotrope Zwei- und Mehrstoffgemische zum Einsatz. Bei diesen Maschinen erfolgt die Verflüssigung der Kältemittelkomponentenweise. Solche Maschinen werden beispielsweise im kleinen Leistungsbereich zur Laserkühlung und im großen Leistungsbereich zur Erdgasverflüssigung eingesetzt.

Azeotrope Gemische der 500er-Reihe sind Zweistoffgemische, wobei die Normalsiedetemperaturen der beiden Stoffe nur wenig voneinander abweichen. Bei azeotroper Zusammensetzung verhält sich das Gemisch wie ein reiner Stoff und verdampft vollständig bei einer konstanten Temperatur. Die Mischungsanteile sind in der flüssigen und in der dampfförmigen Phase gleich groß. Da die azeotrope Gemischzusammensetzung auch vom Druck abhängig ist, können Kälte-

mittel der 500er-Reihe ebenfalls mit nachgestellten Großbuchstaben versehen sein, um die Mischungsanteile zu kennzeichnen. Gebräuchlich sind heute nur wenige azeotrope Gemische, wie beispielsweise R513A für Verdampfungstemperaturen von ca. < -20 °C, R507 für Verdampfungstemperaturen von ca. < -50 °C und R508B für Verdampfungstemperaturen von ca. < -90 °C.

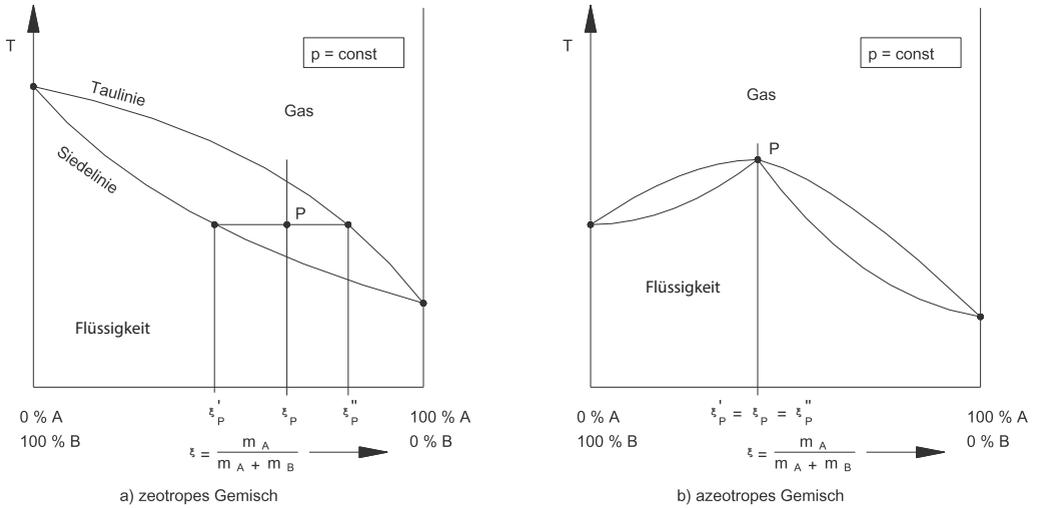


Abb. 2-3: Siedediagramme¹ von Kältemittelgemischen

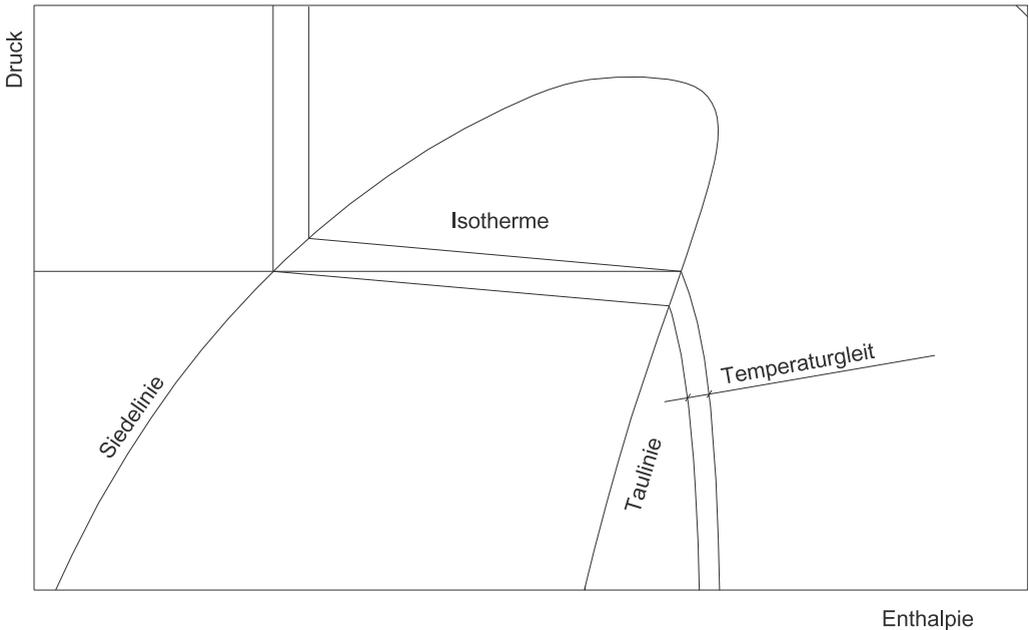


Abb. 2-4: Veranschaulichung des Temperaturgleits

¹ andere geläufige Bezeichnungen sind Zustandsdiagramme oder Phasendiagramme

2.2.3 Von Kältemitteln ausgehende Risiken und Gefahren

Das Risiko ist das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses und dem Schadensumfang als Folge dieses Ereignisses. Aufgrund stetiger Verbesserungen der Technik und des Kenntnisstands treten heute in der Kältetechnik Ereignisse mit erheblichem Schadensumfang selten ein, sodass es schwierig oder gar unmöglich ist, Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie die möglichen Schadensumfänge exakt zu quantifizieren. Aufgrund dieser Ungewissheit und Unwissenheit bleibt jedoch immer ein Restrisiko bestehen. Die Gefahr, die von Kältemaschinen und Kältemitteln ausgeht, d. h. der Schadensumfang, der bei einem ungehinderten, nicht beeinflussbaren Ablauf des Ereignisses eintreten würde, ist ebenfalls nur schwer vorhersehbar.

Damit das Restrisiko möglichst klein bleibt, bestehen in der Kältetechnik Sicherheitsvorgaben, welche die Verwendung und die Handhabung der Stoffe, den Aufbau von Kältemaschinen, die Aufstellung der Maschinen und die Überwachung der Maschinen regeln.

Risiken und Gefahren betreffen vor allem potenzielle Personen- und Sachschäden infolge:

- Überschreitung der Berstdrücke von Kältemaschinen
- Entflammung oder Explosion von Kältemittel-Luftgemischen
- Panikauslösung, Narkotisierung, Erstickung und Vergiftung durch Kältemittel in der Atemluft
- unmittelbare Umweltschäden, wie beispielsweise Wasserverschmutzung durch Kältemittelaustritt
- Treibhauswirksamkeit des Kältemittels bei einem Austritt in die Atmosphäre
- Treibhauswirksamkeit der Emission von Kohlendioxid und weiterer gasförmiger Stoffe, infolge des Antriebs und Betriebs der Kältemaschinen
- Ozonschichtzerstörung infolge des Kältemittelaustritts in die Atmosphäre
- weitere Risiken und Gefahren durch Produktion und Entsorgung des Kältemittels

Sicherheitstechnische Klassifizierung von Kältemitteln

Für die Klassifizierung der Brennbarkeit und der Toxizität von Kältemitteln sind die in Tabelle 2-5 aufgeführten Gruppen festgelegt worden.

Tabelle 2-5: Klassifizierung der Brennbarkeit und der Toxizität von Kältemitteln

Brennbarkeit in Luft bei 60 °C und 101,3 kPa	Sicherheitsgruppe (s. [2-4] und [2-6])	
	geringe Toxizität OEL \geq 400 ml/m ³	höhere Toxizität OEL < 400 ml/m ³
höhere Brennbarkeit LFL bzw. ETFL ₆₀ \leq 100 g/m ³ oder HOC \geq 19 MJ/kg	A3	B3
geringe Brennbarkeit LFL bzw. ETFL ₆₀ > 100 g/m ³ und HOC < 19 MJ/kg	A2	B2
geringe Brennbarkeit LFL bzw. ETFL ₆₀ > 100 g/m ³ und HOC < 19 MJ/kg max. Flammenausbreitungsgeschw. \leq 10 cm/s	A2L	B2L
keine Flammenausbreitung	A1	B1
Legende HOC = Heat Of Combustion; deutsch: Verbrennungsenthalpie LFL = Lower Flammability Limit; deutsch: untere Explosionsgrenze UEG ETFL ₆₀ = Elevated Temperature Flame Limit at 60 °C; untere Explosionsgrenze bei 60 °C OEL = Occupational Exposure Limit; deutsch: Arbeitsplatz-Richtgrenzwert		

Kältemittel der Sicherheitsgruppen A2L und B2L sind zwar brennbar, werden jedoch unter ihren technischen Einsatzbedingungen in Kältemittelkreisläufen als so schwer entflammbar eingeschätzt (ein Stoff muss brennbar sein, damit er mit einer Flamme auch entflammt werden kann), dass ihr Gefahrenpotenzial als ähnlich niedrig wie bei Stoffen angesehen wird, bei denen überhaupt keine Flammenausbreitung erfolgt.

Die Sicherheitsklassifizierung nach DIN EN 378 ist nicht mit dem internationalen System zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zu verwechseln, s. Verordnung (EG) 1272/2008, engl. CLP Classification, Labelling and Packaging of Chemicals. Beispielsweise ist nach dieser Verordnung R1234yf als extrem entzündliches Gas eingestuft und muss entsprechend behandelt und gekennzeichnet werden, während R1234ze(E) als nicht brennbar deklariert ist.

Die Toxizität gilt als gering, wenn die zeitgewichtet gemittelte Kältemittelkonzentration in der Luft von $\geq 400 \text{ ml/m}^3$ (400 ppm Volumenanteil) „keine nachteiligen Auswirkungen auf die meisten Mitarbeiter hat, die Tag für Tag während eines normalen 8-h-Arbeitstags und einer 40-h-Arbeitswoche“ dieser Konzentration ausgesetzt sind. Die Toxizität gilt als erhöht, wenn die Kältemittelkonzentration $< 400 \text{ ml/m}^3$ sein muss, um nachteilige Auswirkungen zu haben. Für die oberen Grenzwerte gibt es AGW-Werte (Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte). Stoffe mit sehr hoher Toxizität sind generell als Kältemittel in gewerblichen Kältemaschinen nicht zugelassen. Ein Beispiel ist Schwefeldioxid, das für einige Anwendungen zwar sehr günstige kalorische Eigenschaften aufweist, jedoch aufgrund von Unglücksfällen als zu risikobelastet gilt. Hinsichtlich der erstickenden Wirkung der Kältemittel sind ebenfalls Grenzwerte festgelegt. Die sogenannten praktischen Grenzwerte (PG) geben die höchste zulässige Masse an Kältemittel pro Rauminhalt in einem Personenaufenthaltsbereich an [2-6], bei denen im Fall eines Austritts des Kältemittels aus der Anlage noch keine akute Gefährdung durch Toxizität oder Erstickung zu erwarten ist.

Umweltgefährdung durch Kältemittel

Kältemittel, die in die Umwelt gelangen und hier nicht natürlich vorkommen, stehen zumindest im Verdacht mittel- und langfristig Schäden in der belebten Natur herbeiführen zu können. Kältemittel, die als Stoffe auch natürlich in der Umwelt vorkommen, wie z. B. Kohlendioxid und Ammoniak, werden weniger kritisch bewertet. Je nach Umwelt-Gefährdungspotenzial der Kältemittel gibt es Vorgaben, welche das Ausmaß der Kältemittlemission begrenzen sollen.

Als die wesentlichen potenziellen Umweltgefährdungen werden heute das Ozonabbaupotenzial und das Treibhauspotenzial der Kältemittel angesehen.

Es gibt Kritik an der methodischen Vorgehensweise bei der Bestimmung von Umweltgefährdungspotenzialen, da solche Potenziale *relativ* zu anderen Stoffen ermittelt werden und die Verweilzeiten der emittierten Stoffe in der Umwelt unterschiedlich lang sind, aber das Umweltgefährdungspotenzial für eine gewählte Zeitdauer (Zeithorizont) bestimmt wird. Obwohl die Aussagekraft der angegebenen Umweltgefährdungspotenziale der verschiedenen Stoffe folglich angezweifelt werden kann, besteht jedoch weitgehend Konsens darüber, dass diese relativen Bewertungen zu verwenden sind, solange es keine „besseren“ wissenschaftlich untermauerten Methoden gibt.

Ozonabbaupotenzial von Kältemitteln

Verschiedene Kältemittel, deren Moleküle Chlor und Brom enthalten und in die Erdatmosphäre gelangen, werden als mitursächlich dafür angesehen, die Ozonschicht (hauptsächlich die der unteren Stratosphäre) abzubauen und das sog. „Ozonloch“ mit herbeizuführen.

Das Ozonabbaupotenzial eines Stoffs, der sogenannte ODP-Wert (Abkürzung für Ozone Depletion Potential), ist eine Verhältniszahl. Sie wird ermittelt durch einen Bezug auf den ODP-Wert = 1, der für R11 (Trichlorfluormethan) festgelegt wurde. Die in Neuanlagen zulässigen Kältemittel besitzen einen ODP-Wert von Null, d. h. kein Ozonabbaupotenzial mehr.

Das Kältemittel R1233zd enthält zwar ein Chloratom, besitzt jedoch soweit bekannt kein nennenswertes Ozonabbaupotenzial.

Von den ozonschichtzerstörenden Kältemitteln befindet sich immer noch R22 und R22-Gemische in gewerblichen Altanlagen. Falls Wartungen an solchen Anlagen notwendig sind, können HFKW-Kohlenwasserstoff-Gemische (beispielsweise R422D, R417A und R422A, die jedoch einen relativ großen GWP_{100} -Wert besitzen) als Ersatzstoffe ohne weitere Umbaumaßnahmen eingesetzt werden.

Treibhauswirksamkeit von Kältemitteln

Die Treibhauswirksamkeit eines Stoffs wird über eine bestimmte Zeitdauer (Zeithorizont) auf die von Kohlendioxid bezogen und somit eine Verhältniszahl gebildet. Dabei wird von der gleichen in die Erdatmosphäre emittierten Menge des Stoffs und des Kohlendioxids ausgegangen (jeweils ein Kilogramm). Die Verhältniszahl wird GWP, Global Warming Potential, genannt.

Beispielsweise wird für das Kältemittel R134a ein $GWP_{20} = 3300$, ein $GWP_{100} = 1300$ und ein $GWP_{500} = 400$ angegeben [2-7]. Die Indizes geben den Zeithorizont in Jahren an. Aufgrund fortlaufender Verbesserung der Bestimmungsmethoden (Experimente und aufwendige Berechnungsmodelle) ändern sich auch die veröffentlichten Zahlenwerte, sodass für R134a beispielsweise auch ein $GWP_{100} = 1549$ genannt wird [2-8]. Die Zeithorizonte werden aufgrund (umwelt-)politischer Überlegungen festgelegt. Zumeist werden 100 Jahre gewählt. Die Verweilzeiten (atmosphärische Lebensdauer) von R134a und die von Kohlendioxid in der Erdatmosphäre sind sehr unterschiedlich. Während das emittierte R134a nach 100 Jahren kaum noch vorhanden ist, befindet sich von der emittierten Kohlendioxidmenge noch etwa die Hälfte in der Atmosphäre (s. Abbildung 2-5).

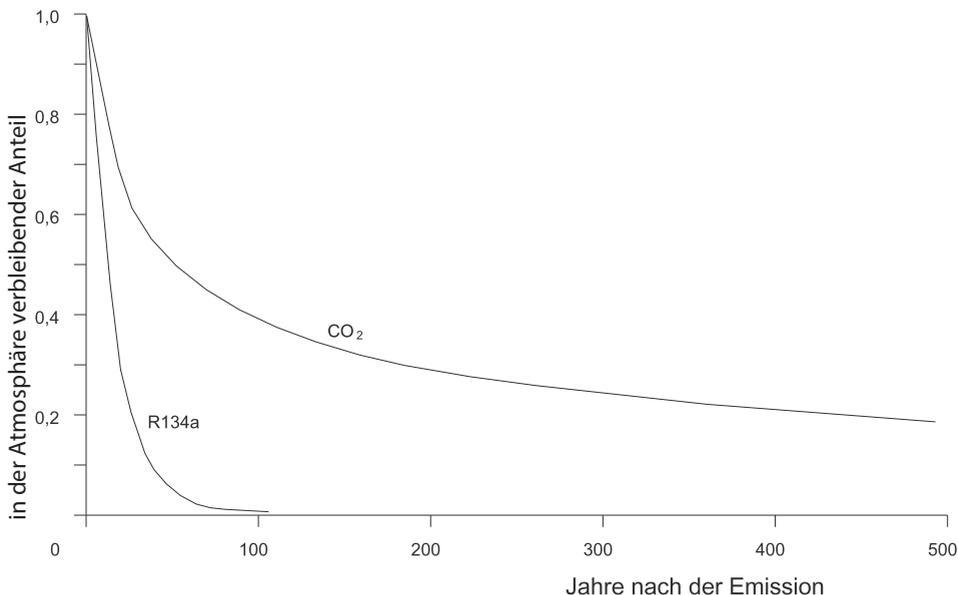


Abb. 2-5: Atmosphärische Lebensdauer einer Gasemission (qualitativer Verlauf, da die atmosphärische Lebensdauer nicht genau bekannt ist)