

Einsatz von Kältemitteln

D. Vollmer, Dresden

Klimaanlagen sind in unserem Lebensumfeld einerseits ein Ausdruck gesteigerter Komfortbedürfnisse. So zeigen in südlichen Ländern mit Außen-einheiten übersäte Hausfassaden deutlich, dass der Luxus kühler Wohn-räume nicht vermisst werden möchte. Andererseits wären Glasarchitektur und Chipherstellung ohne Klimatechnik nicht möglich. Klimaanlagen sind für den Betrieb von Gebäuden oder für technologische Prozesse häufig unverzichtbar.

1 Was Kältemittel sind

Die Aufgabe einer Klimaanlage besteht darin, Luft abzukühlen und dabei gegebenenfalls auch zu entfeuchten. Dabei wird der Luft Wärme entzogen, die gegen das natürliche Temperaturgefälle transportiert und an die Umgebung abgegeben werden muss. Dieser Wärmetransport entgegen dem natürlichen Temperaturgefälle kann nur in einer technischen Einrichtung unter Aufwand von Arbeit realisiert werden. Der bei der höheren Temperatur abgegebene Wärmestrom ist daher stets um den Betrag der dem Prozess zugeführten Antriebsleistung größer als der bei niedriger Temperatur aufgenommene. Ist die Kälteerzeugung der Zweck der Einrichtung, d. h. wird die „kalte Seite“ genutzt, spricht man von einer „Kältemaschine“ und von einer „Wärmepumpe“, wenn die an der „warmen Seite“ abgegebene Wärme genutzt wird.

Autor

Dr.-Ing. Dietrich Vollmer, ist bei der gemeinnützigen GmbH Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden, im Hauptbereich Kälte- und Tieftemperaturtechnik tätig.

Als Kältemittel werden nun jene Arbeitsstoffe bezeichnet, die in solchen technischen Einrichtungen in einem geschlossenen oder offenen Prozess zirkulieren, bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnehmen, transportieren und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgeben.

Für die Kälteerzeugung zur Klimatisierung haben sich technisch und wirtschaftlich nur Kompressions-Kaltdampfmaschinen, Sorptionskältemaschinen und Kaltluftmaschinen durchsetzen können.

Der Einsatz der beiden erstgenannten Verfahren ist auf Nischen- und Sonderanwendungen beschränkt, wie der Klimatisierung von Flugzeugkabinen oder von Reisezugwagen (ICE 3) mittels Kaltluftmaschinen oder die Ausnutzung von Abwärme zur Klimatisierung mittels thermisch angetriebener Sorptionskältemaschinen.

Den Hauptanteil stellen die Kompressionskältemaschinen (KKM). Im engeren Sinne werden deshalb unter dem Begriff „Kältemittel“ meist Arbeitsstoffe für KKM verstanden, die im Folgenden auch ausschließlich betrachtet werden sollen.

Die Kältemittelbezeichnungen bestehen aus Ziffern- und Buchstabenfolgen, die einen Code für die Molekülstruktur bzw. die Zusammen-

setzung des Kältemittels darstellen [8]. Der Zeichenfolge ist entweder ein „R“ für „Refrigerant“, eine Stoffklassenkenzeichnung (FCKW, HFKW, ...) oder ein Markenname vorangesetzt.

2 Anforderungen an Kältemittel

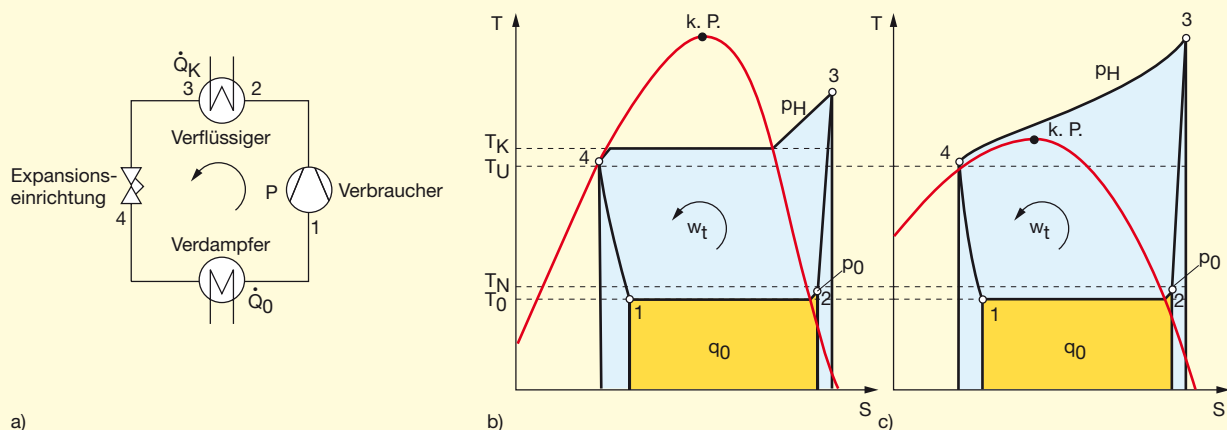
Das Bild 1a) zeigt die Funktionsweise einer KKM am Beispiel eines einfachen einstufigen Prozesses, bei dem in einem geschlossenen Kreislauf ein Kältemittelmassenstrom geführt wird, der in einem Verdampfer bei niedrigem Druck p_0 und der Temperatur T_0 verdampft (Zustandsänderung 1–2 im T,s-Diagramm), dabei eine Kälteleistung $\dot{Q}_0$ aufnimmt, mithilfe eines Verdichters auf höheren Druck p_H gebracht wird (2–3), im Verflüssiger unter Wärmeabgabe abkühlt und bei der Temperatur T_K kondensiert (3–4), und schließlich wieder auf den Verdampfungsdruck und damit niedrige Temperatur entspannt wird (4–1). Der zugehörige Kreisprozess ist schematisch im T,s-Diagramm (Bild 1b) dargestellt. Die dunkel hinterlegte Fläche q_0 ist ein Maß für die Kälteleistung. Die hellere Fläche W_t ist proportional der Antriebsleistung P .

Für den spezifischen Antriebsenergiebedarf einer Kältemaschine

$$l_k = P / \dot{Q}_0 \text{ gilt } l_k \sim (T_K - T_0) / T_0.$$

Je niedriger also beispielsweise die Temperatur T_0 ist, bei der die Kälteleistung vom Kältemittel aufgenommen wird, umso größer wird der spezifische Energiebedarf. Eine Absenkung der Verdampfungs-temperatur um nur 1 K bedeutet einen Mehraufwand an Antriebsleistung von ca. 3 %.

Im Bild 1 steht T_N für die Nutztemperatur, z. B. die geforderte Raumlufttemperatur, und T_U für die Umgebungstemperatur, die Temperatur der Wärmesenke. Die für die Wärme-



1 Funktionsschemata einer Kompressionskältemaschine

a) Funktionsweise; b) T,s-Diagramm des zugehörigen Kreisprozesses; c) so genannter „transkritischer“ Prozessverlauf

Werben Sie einen neuen ep-Abonnenten und wählen Sie Ihre Prämie!

1 TRAVELITE Reiseset „Orlando“

- 2-tlg., schwarz
- Trolley (B70 × H35 × T34 cm) mit Rollen und arretierbarem Alugestell + Kulturtasche (B26 × H15 × T10 cm) aus Polyester 600D

3 APPLE iPod nano, 8GB, schwarz*

- 2" LCD-Display, 320 × 240 Pixel bei 204 ppi
- Wiedergabe: 4 Std. Video/24 Std. Musik
- Maße: B38,7 × H90,7 × T6,2 mm
- speichert Daten via USB-Flash-Laufwerk

*2-Jahres-Abo

2 GARMIN Navigationsgerät „Nüvi 205“

- 3,5" Farbdisplay, 320 × 240 Pixel Auflösung
- detailliertes Kartenmaterial von D, A, CH, CZ und FL bereits vorinstalliert
- inkl. Saugnapfhalterung und Kabel für Zigarettenanzünder

4 JENOPTIK Digitalkamera JD 8.0 z3C

- 2,5" TFT LCD Display
- 3 × optischer Zoom
- 4 × digitaler Zoom
- 16 MB interner Speicher
- Kartensteckplatz für SD/MMC Karten
- Maße: B9,1 × H6,2 × T2,9 cm

Weitere Prämien unter www.elektropraktiker.de/praemie

PRÄMIEN-GUTSCHEIN

einsetzen an: **ep**-Leserservice, HUSS-MEDIEN GmbH, 10400 Berlin, FAX: 030 42151-232

PRÄMIEN-EMPFÄNGER

☐ Ja, ich habe einen neuen Abonnenten für den **ELEKTRO-PRAKTIKER** geworben. Meine Prämie erhalte ich, sobald der neue Abonnent seine Bezugsgebühren bezahlt hat. Ich möchte die angekreuzte Prämie:

- ☐ 1 TRAVELITE Reiseset
 ☐ 2 GARMIN Navigationsgerät
 ☐ 3 APPLE* iPod nano
 ☐ 4 JENOPTIK Digitalkamera

KUNDEN-NR.:
(siehe Adressaufkleber oder letzte Warenrechnung)

Firma, Name, Vorname

Straße/Hausnummer

PLZ/Ort

Tel. Fax

Neuer Abonnent und Prämien-Empfänger dürfen nicht identisch sein.

NEUER ABONNENT

☐ Ja, ich bestelle ab sofort den **ELEKTROPRAKTIKER** für mindestens 1 Jahr zum Jahresabonnementspreis von 64,20 € zzgl. 9,60 € Porto- und Versandkosten. Ich war in den letzten 6 Monaten kein Abonnent des ep. Das Abonnement verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn ich es nicht bis 6 Wochen vor Ende des Kalenderjahres schriftlich künde.

Firma, Name, Vorname

Telefon

Telefax

E-Mail

Straße/Hausnummer

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift des neuen Abonnenten

L907



übertragung wirksamen Temperaturdifferenzen $T_N - T_0$ und $T_K - T_U$ sollten daher möglichst gering sein. Dieser Sachverhalt ist der wesentliche Grund, warum die Kälteerzeugung mittels Kaldampfmaschinen das dominierende Kälteerzeugungsverfahren darstellt. Verdampfung und Kondensation erfolgen bei konstanter oder gering veränderlicher Temperatur, wodurch kleine wirksame Temperaturdifferenzen möglich sind.

Bild 1c) zeigt einen so genannten „transkritischen“ Prozessverlauf, bei dem die Prozesswärme ohne Phasenwechsel bei einem Druck p_H abgegeben wird, der höher als der kritische Druck des Kältemittels ist. Ein solcher Prozessverlauf ist typisch für Klima-Kälteanlagen mit dem Kältemittel Kohlendioxid (R744). Der Hochdruck p_H kann bis etwa 120 bar betragen. Das ist das 3- bis 10-fache im Vergleich zu konventionellen Kältemaschinen.

Maßgeblich für die Eignung eines Kältemittels sind insbesondere die Anforderungen hinsichtlich der Drucklage und der Kälteleistung sowie die Umwelteigenschaften eines Stoffes. Günstig sind mäßige Drücke (geringe Anforderungen an Druckfestigkeit) und hohe volumetrische Kälteleistung (kleine, kostengünstige Verdichter, geringe Leitungsschnitte, geringe Druckverluste).

Bild 2 zeigt Dampfdrücke von einigen derzeit in der Klima- und Wärmepumpentechnik gebräuchlichen Kältemitteln. Das Rechteck markiert den für Klimaanwendungen technisch relevanten Temperatur- und Druckbereich. In Bild 3 werden volumetrische Kälteleistungen einiger Kältemittel verglichen, d. h. die pro m^3 angesaugtem Kältemittel erreichbare Kälteleistung.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine Kältemittelauswahl stets einen Kompromiss darstellt, der zu speziellen Anlagengestaltungen führt und sowohl vom Entwicklungsstand als auch der Wichtung bestimmter Eigenschaften abhängt.

3 Historische Entwicklung und gesetzliche Regelungen

Zu Beginn der technischen Erzeugung von Kälte wurden natürliche Substanzen, wie Kohlendioxid und Dimethylether, Ammoniak und Schwefeldioxid als Kältemittel verwendet, die mit Ausnahme von CO_2 brennbar oder giftig sind und offensichtlich nicht den oben formulierten Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz genügen. Es ist deshalb verständlich, dass mit der Entwicklung und Markteinführung chemisch hergestellter Fluorchlorkohlenwasserstoffe eine Abkehr von brennbaren und giftigen Stoffen einsetzte. Mit einer ganzen Palette voll- und teilhalogener Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW und HFCKW) standen der Kältetechnik nun Arbeitsstoffe mit ausgezeichneten thermodynamischen Eigenschaften zur Verfügung, die außerdem chemisch stabil, nicht brennbar, nicht oder nur wenig gesundheitsschädigend sind, in idealer Weise den Anforderungen zu genügen schienen und letztendlich die Verbreitung der stationären und mobilen Klimatechnik erheblich beförderten. Es handelt sich hierbei chemisch um Methan- und Ethanderivate, bei denen einige oder alle Wasserstoffatome durch Chlor und Fluor ersetzt sind. Chlor und Fluor gehören im Periodensystem der Elemente zur 7. Hauptgruppe, der Gruppe der „Halogene“. Die FCKW und HFCKW bewirkten nicht nur einen rasanten Aufschwung der Kälte- und Wärmepumpentechnik, sondern sie wurden auch in großen Mengen z. B. als Treibmittel für Schaumstoffe oder Treibgase für Sprays verwendet.

Die Ära der FCKW-Kältemittel begann 1930 mit der Entwicklung von R12 und endete praktisch 1987 mit dem Montrealer Protokoll, das einen weltweiten Fahrplan für das Verbot chlorhaltiger Kältemittel einleitete. Ausgelöst war dies durch die Erkenntnis, dass Chlor- und Bromradikale als Zersetzungsprodukte von FCKW und Halonen die lebenswichtige Ozonschicht in der Hochatmosphäre zerstören.

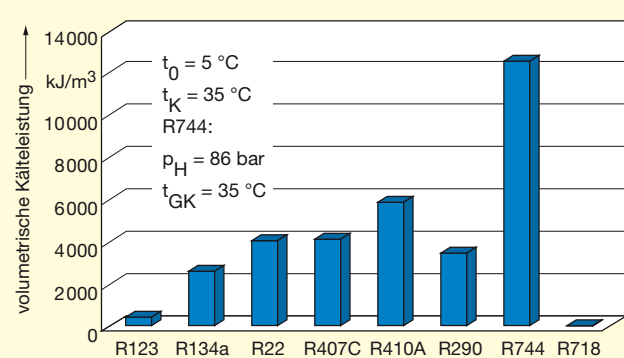
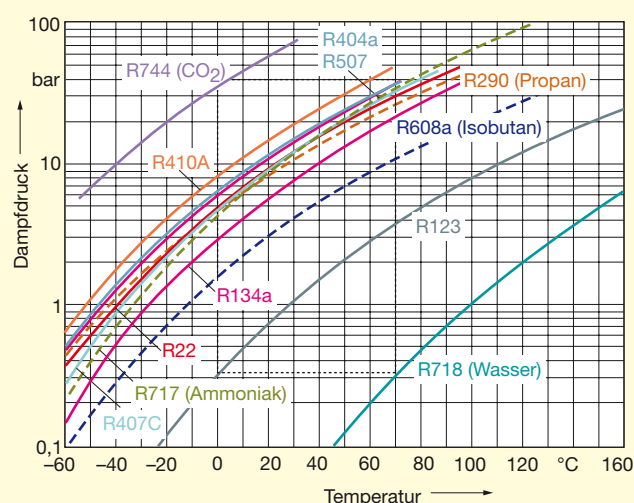
In der Folge wurden teilhalogenierte Kältemittel und Kältemittelgemische entwickelt, die Fluor, aber kein Chlor enthalten und nicht zur Ozonerstörung beitragen – Auf die zahlreichen Facetten dieser Entwicklung und spezifischen Probleme der Systemanpassung soll hier nicht weiter eingegangen werden. Diese HFKW bilden das Rückgrat der heutigen Kälte- und Wärmepumpentechnik.

Allerdings war bereits mit der Entwicklung und Markteinführung dieser dritten Kältemittelgeneration klar, dass die HFKW zwar viele gewünschte Eigenschaften aufweisen, aber nicht umweltneutral sind und zur anthropogen verursachten Erderwärmung beitragen. Ihr Gesamtanteil am globalen Treibhauseffekt liegt jedoch aufgrund der vergleichsweise geringen Emissionsmengen nur bei wenigen Prozent. Ebenso wie andere Treibhausgase unterliegen auch Halogenkohlenwasserstoffe restriktiven gesetzlichen Regelungen, die auf den 1997 auf dem Weltklimagipfel in Kyoto vereinbarten Klimaschutzziele (Kyoto-Protokoll) fußen.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass alle wichtigen konventionellen Kältemittel – mit Ausnahme von Ammoniak – zu Stoffgruppen gehören, die spezifischen internationalen und nationalen gesetzlichen Regelungen zum Schutz der Atmosphäre unterliegen.

Auf EU-Ebene sind folgende Regelungen zu nennen, die für Kälteanlagen relevant sind:

1. Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 [3] über Verbotsregelungen von Stoffen, die zur Zerstörung der Ozonschicht beitragen;
 2. Verordnung (EG) Nr. 842/2006 [5] über fluorierte Treibhausgase („F-Gase-Verordnung“) in ortsfesten Anlagen;
 3. Richtlinie 2006/40/EG [7] über Emissionen aus Klimaanlagen in Kraftfahrzeugen.
- Die Gesetzespakete orientieren sich am Schädigungsmechanismus der geregelten Stoffe und schreiben unterschiedliche Maßnahmen und Verfahrensweisen fest. Es ist deshalb auch erforderlich, die konkreten Maßnahmen zum Umgang mit Kältemitteln stoffabhängig



3 Volumetrische Kälteleistungen einiger Kältemittel

t_0 Verdampfungstemperatur; t_K Kondensationstemperatur;
 p_H Hochdruck; t_{GK} Gaskühleraustrittstemperatur

2 Dampfdruckkurven einiger Kältemittel

zu betrachten. Ein gemeinsamer Lösungsansatz besteht darin, grundsätzlich die Freisetzung potentiell schädlicher Gase in die Atmosphäre zu unterbinden bzw. zu minimieren. In Deutschland ist die VO (EG) 2037/2000 durch die Chemikalien-Ozonschichtverordnung [4] in nationales Recht umgesetzt, die auch die auf der Grundlage des Montrealer Protokolls verfasste deutsche FCKW-Halon-VVO [2] ablöst. Die wesentlichsten Regelungen sind:

- Verwendungsverbot für FCKW (z.B. R11, R12);
- seit 2001: Verwendungsverbot für HFCKW in Neuanlagen;
- ab 2010: Verwendungsverbot für HFCKW-Frischware (ungebrauchtes Kältemittel);
- ab 2015: Generelles Verwendungsverbot auch für HFCKW.

Seit dem 1. August 2008 ist die Chemikalien-Klimaschutzverordnung [6] in Kraft, die den Umgang mit fluorierten Treibhausgasen auf der Grundlage der VO (EG) 842/2006 national regelt. Im Gegensatz zur VO (EG) 2037/2000 [4] und daraus abgeleiteten Verordnungen, schreiben weder die F-Gase-VO [5] noch die deutsche Chemikalien-Klimaschutzverordnung [6] derzeit Verbote für den Einsatz fluorhaltiger Stoffe als Kältemittel (HFKW) in ortsfesten Kälte- und Klimaanlage sowie Wärmepumpen fest, allerdings sind 2011 Überprüfungen der Regelungen vorgesehen. Es sei erwähnt, dass (zumindest befristet) in einigen EU-Ländern deutlich schärfere Sanktionen gegen HFKW als in Deutschland bestehen, was zu lokal unterschiedlichen Marktentwicklungen führte. Besondere Regelungen gelten für Klimaanlage in Kraftfahrzeugen: Die Richtlinie 2006/40/EG [7] untersagt ab 2011 Typgenehmigungen für Fahrzeuge, deren Klimaanlage Kältemittel mit einem GWP > 150 enthalten.

Nach James M. Calm [9] ist die gegenwärtige (vierte) Etappe der Kältemittelentwicklung durch die Hinwendung zu natürlichen Stoffen (CO_2 , NH_3 , H_2O , Kohlenwasserstoffe) und die Entwicklung von Kältemitteln mit niedrigem GWP (Global Warming Potential) (z. B. R1234yf [10]) charakterisiert. Das einzige Kältemittel, das alle Phasen der Kältemittelhistorie „überlebt“ hat, ist Ammoniak (R717).

4 Kältemiteileinsatz in Klimaanlage

Wie bereits ausgeführt, handelt es sich bei Kältemitteln für Klimaanlage um Stoffe, die für den Verdampfungstemperaturbereich von 0°C bis $+15^\circ\text{C}$ und einen Kondensationstemperaturbereich von $+30^\circ\text{C}$ bis ca. 55°C , für Fahrzeugklimaanlagen auch darüber (70°C), geeignet sein müssen und über eine hinreichende volumetrische Kälteleistung verfügen sollten.

Tafel 1 zeigt eine Übersicht jener Kältemittel, die noch im aktuellen Anlagenbestand einge-

Tafel 1 Kältemittel für Kälte- und Klimaanlage sowie Wärmepumpen

Kältemittel	Stoffgruppe	T_{krit} [$^\circ\text{C}$]	p_{krit} [bar]	S	ODP	GWP ₁₀₀	Kommentar
R11 (CCl_3F)	FCKW	198,0	44,1	A1	1	4000	generelles Verwendungsverbot [2]
R12 (CCl_2F_2)	FCKW	112,0	41,4	A1	1	8100	generelles Verwendungsverbot [2]
R22 (CHClF_2)	HFCKW	96,1	49,9	A1	0,055	1500	Verwendungsverbot [4]: • in Neuanlagen seit 2001; • für Frischwaren ab 2010; • generell ab 2015
R123 (CHClF_2)	HFCKW	183,7	36,6	B1	0,02	90	
R134a ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$)	HFKW	101,1	40,6	A1	0	1300	keine Verbotsregelung für stationäre Kälteanlagen und Wärmepumpen; Restriktionen bezüglich Handhabung [5, 6]
R407C (Gemisch)	HFKW	86,2	46,3	A1	0	1520	
R410A	HFKW	71,3	49,0	A1	0	1720	
R290 (C_3H_8) (Propan)	KW	96,7	42,5	A3	0	3	keine Restriktionen; brennbar; praktische Beschränkungen hinsichtlich Füllmenge und Aufstellung [1]
R717 (NH_3)	anorganisch	132,4	113,0	B2	0	0	keine Restriktionen; giftig; brennbar; selbstwarnend
R744 (CO_2)	anorganisch	31,0	73,8	A1	0	1	keine Restriktionen; sehr hohe Drücke; transkritischer Prozess
R718 (H_2O)	anorganisch	374,1	222,1		0	0	keine Restriktionen; Prozess bei Vakuum

FCKW vollhalogenerter Kohlenwasserstoff, der Fluor und Chlor im Molekül enthält; **HFKW** teilhalogenerter Kohlenwasserstoff, der Fluor und mindestens ein Wasserstoffatom im Molekül enthält; **KW** Kohlenwasserstoff; T_{krit} kritische Temperatur; p_{krit} kritischer Druck; **S** Sicherheitsgruppe nach [1] (Giftigkeit: A = gering, B = höher; Brennbarkeit: 1 = keine, 2 = gering, 3 = höher); **ODP** Ozon Depletion Potential; Beitrag zum Ozonschädigungspotential, Bezugsbasis: R12 = 1 [1]; **GWP** Global Warming Potential; Beitrag zum Treibhauspotenzial, Zeitrahmen 100 Jahre, Bezugsbasis: $\text{CO}_2 = 1$ [1]

setzt sind, sowie von Stoffen, die aktuell in Neuanlagen verwendet werden.

R11 und **R123** sind Niederdruckkältemittel, die ausschließlich in Turbo-Kälteanlagen sehr großer Leistung eingesetzt werden. R123 wurde als Ersatzstoff für R11 eingeführt, ist aber als HFCKW ab 2015 ebenfalls verboten. Erprobte Alternativlösungen gibt es nicht.

R22 war und ist noch eines der wichtigsten Kältemittel für Klimaanlage. Ab 2011 darf im Service nur noch recycelte Ware eingesetzt werden. Kältemittelhersteller empfehlen, bestehende Anlagen bald auf andere Kältemittel umzustellen, da die ausreichende Versorgung mit recyceltem Kältemittel nicht gesichert ist. Für die Umstellung von R22-Altanlagen wurden speziell die HFKW-Kältemittel **R417A**, **R422A**, **R422D** und **R427A** entwickelt. Es handelt sich dabei um so genannte „zeotrope“ Gemische, deren Phasenumwandlungsprozesse bei gleitender Temperatur erfolgen. Die spezifischen Probleme der Umstellung von Altanlagen sollen hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.

R407C ist in seinen Eigenschaften dem R22 relativ ähnlich (vgl. Bilder 2 und 3) und wird seit Jahren erfolgreich als Ersatz für R22 in Neuanlagen eingesetzt. Es ist ein zeotropes Gemisch mit einem Temperaturgleit (Temperaturband, das beim Phasenwechsel durchlaufen wird) von ca. 5–6 K. Der Leistungsbe-

reich reicht vom „Baumarktgerät“ mit Kälteleistungen von wenigen kW bis hin zu Großanlagen von mehreren 100 kW. Es ist nicht brennbar und physiologisch unbedenklich, sodass Anlagen mit Direktverdampfung, d. h. ohne sekundären Kreislauf zur Versorgung der Kühlstellen, realisiert werden können.

R410A ist ein zeotropes Gemisch mit sehr geringem Temperaturgleit und weist vergleichsweise hohe Dampfdrücke sowie hohe volumetrische Kälteleistung auf. Es ist im Klimamarkt ein „Seiteneinsteiger“, wird z. B. in Splitklimaanlagen verwendet und verdrängt zunehmend R407C.

R134a wurde als Ersatzstoff für R12 entwickelt und wird heute als Kältemittel in Turbo-Kälteanlagen großer und mittlerer Leistung verwendet. Sein Haupteinsatzfeld sind jedoch PKW-Klimaanlagen, wo es ab 2011 aber durch klimagünstigere Stoffe zu ersetzen ist [7]. Favorisiert werden **R744** (CO_2) und **R1234yf** ($\text{CF}_3\text{-CF=CH}_2$). Letzterer ist ein HFKW, der nach Angaben der Entwickler [10] ähnliche thermodynamische Eigenschaften wie R134a aufweist, aufgrund seiner Doppelbindung und der damit verbundenen geringen atmosphärischen Lebensdauer einen GWP-Wert von nur 4 besitzt, und in praktisch fast unveränderten Klimaanlage verwendet werden könnte. Ein Kritikpunkt ist die (geringe) Entflammbarkeit des Stoffes. In R744-Anlagen treten Drücke bis ca. 120 bar auf (vgl. Bild 1c)). Bestehende Anlagen Ausführungen sind für R774 weder hinsichtlich der Druck-

festigkeit noch der Regelung geeignet und müssen durch komplette Neuentwicklungen ersetzt werden. Welche dieser beiden Lösungen sich letztlich durchsetzen wird, ist derzeit noch unbestimmt.

R290 (Propan) ist ein Kältemittel mit ungewissem Entwicklungspotential. Nach DIN EN 378-1 sind für brennbare Kältemittel bei Füllmengen bis 150 g keine spezielle Sicherheitsmaßnahmen vorgeschrieben. Damit sind Kälteleistungen um ca. 1 kW ohne Auflagen realisierbar – viel zu wenig für Klimatisierungsaufgaben. Höhere Füllmengen bedingen zusätzliche Anforderungen an die Anlagenaufstellung und Sicherheitstechnik, was die Marktakzeptanz von R290-Anlagen beeinträchtigt. Lösungen sind in Form von Kompaktanlagen kleiner Leistung mit Sekundärkreisläufen zur Versorgung der Kühlstellen realisiert.

R717 (Ammoniak) spielt in der Klimatechnik trotz hervorragender thermodynamischer Eigenschaften eine untergeordnete Rolle. Aufgrund seiner Brennbarkeit und Toxizität sind Auflagen hinsichtlich Aufstellung und Havarievorsorge zu beachten. Kompaktsätze in Form direkt oder indirekt gekühlter Kaltwassersätze mit Kälteleistungen von bis zu mehreren 100 kW sind Stand der Technik.

R744 (CO₂) ist als Arbeitsstoff eine mögliche Alternative für Halogenkältemittel. Beispielösungen für mobile und stationäre Klimaanlagen existieren. Nachteilig sind die außerordentlich hohen Drücke (bis etwa 120 bar) sowie die relativ hohe mittlere Temperatur bei der Wärmeabgabe aufgrund der transkritischen Prozessführung (vgl. Bild 1c)).

R718 (H₂O) ist ein Außenseiter unter den Arbeitsstoffen für KKM: Der Verdampfungsdruck liegt bei Klimaanwendungen unter 10 mbar, also praktisch bei Vakuumbedingungen. Die damit verbundene geringe volumetrische Kälteleistung erfordert den Einsatz von Turboverdichtern mit hoher Umfangsgeschwindigkeit. Neben Kohlendioxid ist Wasser eine der wenigen vom Sicherheitsstandpunkt zufriedenstellenden Alternativen für konventionelle Kältemittel der HFKW-Klasse. Prototypen der ersten und zweiten Generation von R718-Kaltwassersätzen laufen seit Jahren erfolgreich im Praxistest.

5 Was zu beachten ist und wer etwas darf

Zum Umgang mit Kältemitteln sind folgende grundlegende Regeln vorzuschicken:

1. Der Betreiber ist für die Anlage und damit auch für die Einhaltung der für den Betrieb, die Stilllegung und die Entsorgung der Anlage gültigen Vorschriften und Gesetze verantwortlich.
2. Kältemittel sind keine harmlosen Stoffe. Voraussetzung für Arbeiten am Kältemittelkreislauf sind sowohl ausreichende handwerkliche Qualifikation als auch Kenntnisse

über Kältemiteleigenschaften und einschlägige Vorschriften. Die Sachkunde muss durch entsprechende berufliche Qualifikation und/oder Zertifikate nachgewiesen sein (vgl. § 5 Abs (2) ChemOzonSchichtV [4], § 5 ChemKlimaSchutzV [6]).

3. Halogenkältemittel müssen zurück gewonnen werden. Es ist strikt verboten, sie in die Atmosphäre „zu entsorgen“!

Von Ausnahmen abgesehen, sind im Bestand hauptsächlich Klimaanlagen mit Halogenkältemitteln anzutreffen. Die Rahmenbedingungen für den Umgang mit den Kältemitteln resultieren aus der Art des Kältemittels (FCKW, HFCKW, HFKW) und der Kältemittelfüllmenge.

FCKW: Es besteht ein Verwendungsverbot für FCKW-Kältemittel (R11, R12), die u. U. noch in älteren Anlagen eingesetzt sind. Unter dem Begriff „Verwendung“ wird eine aktive Handlung mit dem geregelten Stoff verstanden, z. B. bei Wartungs- oder Nachfüllarbeiten [3]. Im Falle eines Schadens, der einen Eingriff am Kältemittelkreislauf erforderlich macht, muss das FCKW-Kältemittel entsorgt und ggf. durch ein chlorfreies Kältemittel ersetzt werden. Kältemittelumstellungen sind jedoch in der Regel mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, sodass vor einer solchen Maßnahme die Erfolgsaussichten und der wirtschaftliche Nutzen sorgsam abzuwägen sind.

HFCKW: Ein generelles Verwendungsverbot für HFCKW (R22, R123) wie bei FCKW besteht noch nicht. Bis 2015 ist es noch gestattet recyceltes Kältemittel in bestehende Anlagen nachzufüllen. Der Einsatz von frisch produziertem Kältemittel ist verboten!

HFKW: HFKW („F-Gase“) schädigen zwar nicht die Ozonschicht, tragen aber zum Treibhauspotential bei. Mit Ausnahme von PKW-Klimaanlagen bestehen keine zeitlichen Verwendungs- oder Produktionsbeschränkungen für HFKW als Kältemittel. Die einschlägigen gesetzlichen Regelungen zielen deshalb darauf ab, Kältemittlemissionen während des Betriebes, bei Wartung und Stilllegung zu minimieren. Die F-Gase-Verordnung [5] schreibt dazu u.a. vor:

1. Betreiber von Kälteanlagen mit mehr 3 kg Kältemittelfüllmenge (bzw. mehr als 6 kg bei vollhermetischen Anlagen) sind verpflichtet, regelmäßige Leckagekontrollen durchzuführen und Mängel unverzüglich zu beseitigen. Die Prüfintervalle hängen von der Kältemittelfüllmenge ab (> 3 kg bzw. 6 kg: 12 Monate, > 30 kg: 6 Monate, > 300 kg: 3 Monate). Anlagen zur Klimatisierung einzelner Wohnungen fallen daher meist nicht unter die Überwachungspflicht.
2. Der Kältemittelverbrauch ist zu protokollieren.
3. Der Umgang mit F-Gasen ist ab 4. Juli 2009 ausdrücklich nur noch hierfür zertifiziertem Personal gestattet. Dies geht über die Sachkundeforderung für FCKW hinaus. Die grundlegenden Bedingungen für die Zertifizierung von Personal und Unternehmen

sind in Verordnung (EG) 303/2008 [11] festgelegt. Kurse zum Erwerb von Zertifikaten bieten z. B. die Berufsschuleinrichtungen für Kälte-Klima-Technik an.

6 Zusammenfassung

Das Anwendungsspektrum bei Klimaanlagen reicht von wenigen kW bis zu mehreren MW Kälteleistung und Temperaturbereichen von ca. 0 °C bis 15 °C Verdampfungstemperatur und Kondensationstemperaturen von etwa 30 °C bis 70 °C.

Im Klimaanlagenbestand sind noch umfangreich HFCKW genutzt, für die ab 2015 Verwendungsverbot besteht.

In stationären und mobilen Neuanlagen überwiegen HFKW als Kältemittel.

Die zukünftige Entwicklung wird stärker durch den Einsatz natürliche Kältemittel in Nischen geprägt sein. Für den Umgang mit Kältemitteln schreibt der Gesetzgeber Kontrollpflichten und Anforderungen an die fachliche Qualifikation des Servicepersonals fest.

Literatur

- [1] DIN EN 378-1: 2008, Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien.
- [2] Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-VVO). BGBl. I 1991, S. 1090 u. BGBl. I 2001, S. 2865.
- [3] Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (geänderte Fassung vom 03.03.2004). ABl. EU Nr. L 71 S. 28.
- [4] Verordnung über Stoffe, die die Ozonschicht schädigen (Chemikalien-Ozonschichtverordnung – ChemOzonSchichtV). BGBl. I 2006 Nr. 53 S. 2638 v. 22.11.2006.
- [5] Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase. ABl. EU Nr. L 161, 14.06.2006.
- [6] Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluoriierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung – ChemKlimaSchutzV). Bundesgesetzblatt Jg. 2008 Teil I Nr. 27 S. 1139, 07.07.2008.
- [7] Richtlinie 2006/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlagen in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates. ABl. EU Nr. L 161, 14.06.2006
- [8] ANSI/ASHRAE Standard 34-2007: Designation and Safety Classification of Refrigerants.
- [9] *Calm, James M.*: The next generation of refrigerants – Historical review, considerations and outlook. International Journal of Refrigeration 31(2008) S. 1123-1133
- [10] *Spatz, M.; Minor, B.*: HFO-1234yf – A Low GWP Refrigerant for MAC. SAE World Congress – Detroit, Michigan, April 14-17, 2008
- [11] Verordnung (EG) 303/2008 zur Festlegung ... der Mindestanforderungen für Unternehmen und Personal in Bezug auf bestimmte fluorierte Treibhausgase... ABl. EU L92/3, 3.4.2008