

*Die universelle Lösung für die Kälte-Klimabranche?*

## Das Kältemittel CO<sub>2</sub>

Andrea Voigt, Pourrain (F)

*Wer Augen und Ohren offen hält, weiß: CO<sub>2</sub> als Kältemittel ist „in“. Mindestens drei Namen fallen vielen dazu auf Anhieb ein – Danfoss, Linde, York – und auch Veranstaltungen wie die DKV-Tagung vergangenen November und die RAC Fachkonferenz im Januar dieses Jahres in London sprechen eine deutliche Sprache. Die Industrie nimmt sich dieses altbekannten Kältemittels neu an, fast alle großen Hersteller bieten entsprechende Komponenten an und selbst zu den Endverbrauchern scheint die Botschaft durchzudringen, dass hiermit ihre Treibhausprobleme auf einen Schlag gelöst werden könnten. Aber ist dem tatsächlich so oder hat die Politik hier ganz entscheidend ihre Finger im Spiel? Fest steht, dass Fachleute vor übereiltem Enthusiasmus warnen, und dass sich diese Mitteilung vor allem an die Politiker richtet, die in CO<sub>2</sub> gerne das Allheilmittel für die Branche sehen.*

Ganz knapp sind die fluorierten Kältemittel letzten Oktober ihrem Schicksal entronnen, ab 2010 in allen Bereichen der Gewerbe- und Industriekälte sowie in der stationären Klimatechnik verboten zu werden. Dies hätte eine 180° Wendung verglichen zu der im Vorjahr erzielten einvernehmlichen Regelung des EU-Rats über eine europäische F-Gase-Verordnung bedeutet. Diese sieht nämlich keineswegs ein Verbot der umstrittenen F-Gase vor, sondern zielt vielmehr auf Anlagendichtheit, Sachkunde und fachgerechte Entsorgung ab. Jetzt bleibt es zwar erst einmal dabei, das Damoklesschwert schwebt jedoch weiterhin über den F-Gasen und damit auch über den HFKWs. Der politische Druck im Hinblick auf die Suche nach Alternativen für diese synthetischen Kältemittel lässt sich nicht leugnen und beeinflusst den Aufschwung der natürlichen Kältemittel ohne Treibhauspotenzial ganz entscheidend.

Bestes Beispiel dafür ist Dänemark. Obwohl rechtlich noch nicht abschließend geklärt ist, ob das Land sein geplantes Verwendungsverbot der HFKWs in Neuanlagen ab 2006/2007 durchziehen darf, wird

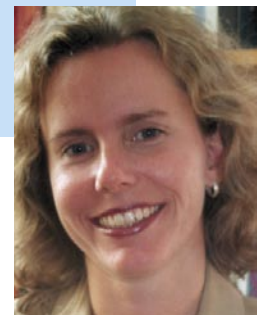
hier alles daran gesetzt, natürliche Kältemittel zu fördern. Dazu zählt die Besteuerung importierter Treibhausgase (R134a: umgerechnet ca. 16,50 Euro/kg, R404A: 47,95 Euro/kg), aber auch die Einrichtung eines Informationszentrums für HFKW-freie Kühlung, finanziert durch das dänische Umweltamt (Danish Environmental Protection Agency – EPA). Hier wird Anwenden mit Rat und Tat größtenteils kostenfrei zur Seite gestanden, PR Aktionen für natürliche Kältemittel durchgeführt und vieles mehr.

### **Transkritisch bleibt kritisch**

Umweltpolitisch gesehen erfüllt CO<sub>2</sub> mit seinem quasi nicht vorhandenen Treibhauspotenzial (GWP=1) und Ozonabbau-potenzial von Null (ODP=0) zumindest auf den ersten Blick alle Voraussetzungen und bietet eine willkommene Alternative zu den fluorierten Kältemitteln. Wie jedoch sieht es auf der technischen Seite aus? Erlaubt der Stand der Technik den umfassenden Einsatz von CO<sub>2</sub> in allen bislang mit HFKW betriebenen Anwendungen oder gibt es hier Einschränkungen?

### zur Autorin

**Andrea Voigt,**  
Fachjournalistin  
Kälte-Klimatechnik,  
Pourrain  
(Frankreich)



CO<sub>2</sub> unterscheidet sich in vielen Punkten von herkömmlichen Kältemitteln wie den HFKWs. Besonders drei Merkmale fallen bei der Konstruktion von Komponenten und Anlagen ins Gewicht: Der hohe Betriebsdruck bei einer vorgegebenen Temperatur, der hohe Tripelpunkt von 5,2 bar (hier existieren alle drei Phasen – fest, flüssig, dampfförmig – nebeneinander im Gleichgewicht) und der extrem niedrige kritische Punkt von 31,1 °C. Bei dieser Temperatur ist die Dichte der Flüssigkeit und des Dampfes gleich groß, der Unterschied zwischen den beiden Phasen verschwindet und eine neue Phase, die überkritische Phase liegt vor. Daraus ergeben sich die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten von CO<sub>2</sub>.

Einerseits spricht man von unterkritischem Betrieb, d. h., der Kreisprozess findet unterhalb des kritischen und oberhalb des Tripel-Punktes statt. Diese klassische Anwendung, hier ist man sich in der Branche einig, wird weitgehend beherrscht, bereits in zahlreichen Fällen eingesetzt, entsprechende Komponenten sind vorhan-

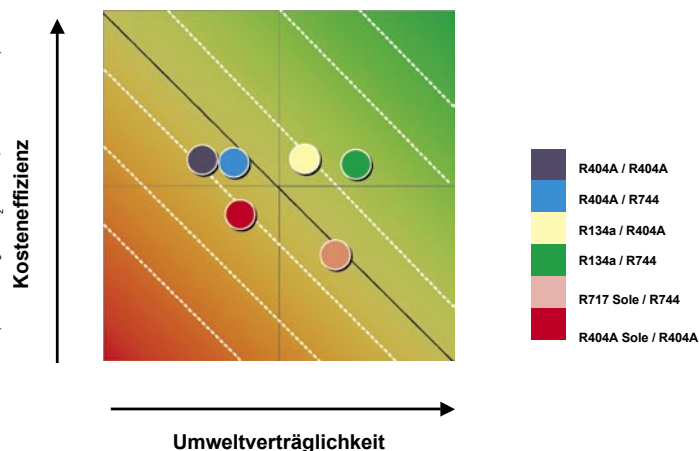


*RAC Konferenz: Über 300 Teilnehmer aus ganz Europa fanden sich zur CO<sub>2</sub>-Konferenz der britischen Fachzeitschrift RAC in London ein. Ein deutliches Zeichen dafür, wie wichtig dieses Thema für die Branche ist*



*COOP Megastore in Wettingen NK-Verbundanlage für Kühlinseln und -Regale*

Quelle: Cooling with CO<sub>2</sub> Konferenz, London, Dr. Jakob



*Ökoeffizienz in Supermärkten*

den. Die Betriebsdrücke liegen bei 5,7 bis 35 bar (d.h. -55°C bis +/- 0°C) und es werden häufig Kaskaden-Kälteanlagen angewendet, in denen CO<sub>2</sub> auf der Hochdruckseite mit einem anderen Kältemittel wie z.B. NH<sub>3</sub> (Industriekälte) oder R404A (Gewerbekälte) kombiniert wird. Dabei kann CO<sub>2</sub> sowohl direkt verdampft als auch im Pumpenzwangsumlauf oder als Sekundär-Fluid eingesetzt werden. Auf der anderen Seite gibt es die transkritischen Kälteanlagen, in denen der Kreisprozess sowohl im unterkritischen Bereich (Verdampfung) als auch im überkritischen

Bereich (Gaskühlung) stattfindet. Für diese Anwendung wird zwar ein vielversprechendes Potenzial prognostiziert, allerdings ist man technisch gesehen noch lang nicht so weit wie bei Anlagen mit unterkritischem Betrieb. Bislang werden transkritische Anlagen hauptsächlich für kleinere und gewerbliche Systeme wie Kfz-Klimatisierung, Wärmepumpen, Supermarktanlagen oder Getränkeautomaten eingesetzt. Auch hier besteht jedoch noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, so dass auf keinen Fall von einem grundsätzlichen Ersatz der HFKWs durch CO<sub>2</sub> ausgegangen werden kann.

## Erfolg auf der ganzen Linie

Dennoch kann man über Erfolgsgeschichten von Unternehmen wie Danfoss, York oder Linde schon einmal die gebotene Zurückhaltung vergessen.

So bietet beispielsweise der dänische Hersteller ein komplettes Regler- und Komponentenkonzept (Adap-Kool) für den Einsatz von CO<sub>2</sub> sowie Verdichter-Prototypen für überkritische CO<sub>2</sub>-Anlagen an, die nach eigenen Angaben schon ab 2006/2007 kommerziell verfügbar sein sollen.

Auch York äußert sich positiv. Mark Maunder, Denman Group, und Alex Pachai, York, zur Ausrüstung eines Sainsbury Supermarkts in Großbritannien mit einer CO<sub>2</sub>-Kaskade: „Nachdem die Techniker durch Schulungen auf die speziellen Eigenschaften von CO<sub>2</sub> vorbereitet worden waren, gab es weder bei der Installation noch bei der Inbetriebnahme Probleme. Ganz im Gegenteil, die Fachleute waren überrascht, wie einfach alles vonstatten ging.“ Als besonders erfreulich wurde die Zeit- und Kostenersparnis durch den geringeren Rohrleitungsdurchmesser hervorgehoben.

Weitere Erfolgsmeldungen aus der Gewerbekälte kommen von Linde wie die Ausstattung eines COOP Megastores in Wettingen (Schweiz) mit im überkritischen Betrieb arbeitenden NK-Verbundkältesätzen. Zwar weist Bernd Heinbokel, Linde, darauf hin, dass „die Investitionskosten

dieser überkritischen CO<sub>2</sub>-Anlage für die Normalkühlung noch deutlich über denen von vergleichbaren R404A-Direktverdampfungsanlagen liegen“, er sieht die Hauptsache dafür jedoch darin, „dass wesentliche Komponenten Neuentwicklungen darstellen, die nur in geringen Stückzahlen hergestellt werden.“ Weiter sagt Heinbokel: „Zwar erfordern die wesentlich höheren Drücke in der CO<sub>2</sub>-Anlage einen höheren Aufwand für die Festigkeit von Komponenten und die Anlagensicherheit, sie beinhalten jedoch auch ein Potenzial zur Kostendegression durch die starke Reduzierung des Bauvolumens von Komponenten und insbesondere des in Supermärkten weit verzweigten Rohrsystems.“

## **CO<sub>2</sub> als Chance**

Wärmeübertragerhersteller wie Güntner oder der italienische Hersteller LU-VE Contardo sehen in CO<sub>2</sub> ebenfalls eine vielversprechende Lösung. Für beide sind die spezifischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub> weniger ein Handicap, als vielmehr eine Chance zu erhöhter Effizienz und Wirtschaftlichkeit, beispielsweise durch die kleineren Rohrleitungs- und Armaturenquerschnitte dank der hohen volumetrischen Kälteleistung von CO<sub>2</sub>. Auch an Erfahrungen aus der Praxis fehlt es nicht. LU-VE lieferte die Gaskühler zur oben genannten Linde Anlage in Wettingen, die mit einem Wasserspraysystem im Falle von Umgebungstemperaturen von über 30 °C ausgestattet sind. Daneben sind nach eigenen Angaben insgesamt bereits über 200 CO<sub>2</sub> Verdampfer für Supermarktanwendungen und Kühlräume sowie rund 20 Gaskühler im Einsatz.

Auch Güntner konnte schon zahlreiche Erfahrungen mit CO<sub>2</sub> sammeln, wie z.B. in Zusammenarbeit mit dem dänischen Unternehmen Birton. Außerdem bietet Güntner die Möglichkeit, CO<sub>2</sub> Verdampfer mit dem Güntner Auslegungsprogramm (Güntner Product Calculator) nach der gleichen Methode wie alle anderen Verdampfer zu berechnen. Wie zuverlässig das Programm arbeitet, zeigte ein 2004 im Labor des FKW Hannover durchgeführter Test, bei dem die mit dem GPC berechnete Leistung auf 1% genau bestätigt werden konnte. Allerdings weist Güntner darauf hin, dass bei Betriebsdrücken über 28 bar höhere Wandstärken oder andere Materialien wie Stahl oder Edelstahl eingesetzt werden müssen. Dies wirke sich negativ auf die

Wirtschaftlichkeit aus und könne langfristig durch eine spezielle Lamellengeometrie (kleinere Rohrdurchmesser bei gleichem Rohrabstand) ausgeglichen werden. Doch ein solcher Aufwand lohne sich erst bei höheren Stückzahlen an CO<sub>2</sub> Verdampfern, so der Hersteller.

Ist CO<sub>2</sub> also doch die viel beschworene universelle Lösung, die sich bei ausrei-

chender Nachfrage sogar in wirtschaftlicher Hinsicht rentiert?

## **Keine Universallösung**

Genau vor dieser vorzeitigen Schlussfolgerung und der Annahme, die CO<sub>2</sub>-Technologie sei bereits völlig ausgereift und könne schon „morgen“ in sämtlichen HFKW An-

wendungen eingesetzt werden, warnen die Fachleute.

ASERCOM Präsident Winkler im Namen der europäischen Kältemaschinenverdichter dazu: „CO<sub>2</sub> ist sicher eine Lösung, die sich für bestimmte Anwendungen eignet, aber kein universelles Kältemittel.“ Auch Hermann Renz, Bitzer, freut sich über die bereits erzielten Erfolge, weist

aber darauf hin, dass diese in erster Linie den unterkritischen Anwendungsbereich betreffen: „Halbhermetische Verdichter für unterkritische CO<sub>2</sub> Anwendungen stellen ihre Zuverlässigkeit und Leistung seit über fünf Jahren unter Beweis, und wir werden unsere derzeitige Palette bald um 16 Modelle erweitern. Bei überkritischen Anwendungen sieht es anders aus. Hier ist ein

völlig neues Design mit speziellen Bauteilen erforderlich, so dass man sich trotz der bereits erzielten Fortschritte noch immer in der Entwicklungsphase befindet. Fest steht, dass es sich hierbei keinesfalls um eine generelle Lösung zum Ersatz von HFKW Kältemitteln handelt.“

Dr. Rainer Jakobs vom IZW in Hannover geht sogar noch einen Schritt weiter. In Anbetracht der Tatsache, dass Anwender wie Coca Cola CO<sub>2</sub> als die Lösung für den Einsatz in kleinen gewerblichen Getränkeköhlern ansehen, führte das IZW eine theoretische Studie zum Vergleich der Kältemittel CO<sub>2</sub> im überkritischen Betrieb und R134a in dieser Anwendung durch. Im Ergebnis schneidet CO<sub>2</sub> bei gleichermaßen optimierten Anlagen mit einem um 57% geringeren COP Wert als R134a ab. „Man muss Äpfel mit Äpfeln und nicht mit Birnen vergleichen“, so Jakobs zu dem für manche überraschenden Ergebnis. „Natürlich sieht das Ergebnis anders aus, wenn man eine optimierte CO<sub>2</sub> Anlage mit einer R134a Anlage in ihrem Urzustand vergleicht.“

In diesem Zusammenhang ist auch die Ökoeffizienzbeurteilung von Supermarktkälteanlagen interessant, die Dr. Jakobs in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Meurer und Dr. Diehlmann von der Solvay GmbH durchführte. Hier wurden unter Berücksichtigung von Ökobilanz und Lebenszykluskostenanalyse, d. h. unter Einbeziehung aller Faktoren von der anfänglichen Investition über Energieverbrauch und Betriebskosten bis hin zur Entsorgung, sechs verschiedene Supermarktkältesysteme für Normkälte und Tiefkühlung miteinander verglichen. Dabei schnitt die Anlagenkombination R134a/R744 in Kaskadenschaltung



*Wolfgang Sandkötter (Technischer Direktor Bitzer): „Natürliche Kältemittel sind Teil unserer Welt und es wird Platz für alle Lösungen geben. Ich hoffe nur, dass es keine „verrückte“ Gesetzgebung geben wird, nach der HFKWs grundsätzlich verboten und der Einsatz von CO<sub>2</sub> und Ammoniak grundsätzlich für gut befunden wird.“*



*Dr. Rainer Jakobs (Manager IZW): „Man muss Äpfel mit Äpfeln und nicht mit Birnen vergleichen. Bei gleichermaßen optimierten Anlagen schneidet CO<sub>2</sub> im überkritischen Betrieb in Kälteanwendungen mit einem um 57% geringeren COP Wert als R134a ab.“*



*John Morley (Technischer Manager DuPont, UK): „Wir werden sicher nicht eines Morgens aufwachen und plötzlich setzt jeder CO<sub>2</sub> ein!“*

mit der besten Ökoeffizienz ab, gefolgt von R134a/R404A. Erst an dritter Stelle folgt das mit einer relativ positiven Umweltperformance, dafür aber mit sehr hohen Lebenszykluskosten ausgestattete R717/R744 System in Kaskadenschaltung. Werden außerdem die jährlichen HFKW Kältemittelverluste von den ursprünglich angenommenen 5% auf jährlich 2% reduziert, verschiebt sich das Ergebnis sogar noch weiter zu Gunsten des Systems R404A/R404A, wobei die Variante R134a/R744 in Kaskadenschaltung weiterhin die beste Ökoeffizienz aufweist. Die Untersuchung zeigt, wie wichtig es ist, nicht nur Teilaspekte eines Kältemittels zu betrachten, wie z. B. seinen GWP-Wert, sondern vielmehr alle Parameter einer Anlage inklusive Energieverbrauch und Lebenszykluskosten.

Dieser Ansatz bewahrheitet sich angesichts des erfolgreichen Eco Cute Konzepts in Japan. Hierbei handelt es sich um eine CO<sub>2</sub> betriebene Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung, die derzeit von den drei Herstellern Denso, Daikin und Sanyo vermarktet wird. Durch die hohe Energieeffizienz (COP Wert > 3) und die daraus resultierenden geringen Betriebskosten werden die höheren Anschaffungskosten des Eco Cute im Vergleich zu konventionellen, elektrischen Boilern schnell hereingeholt.

Ein weiterer theoretischer Vergleich des IZW von R134a und CO<sub>2</sub> in Wärmepumpen bestätigt diese Werte, denn der unterkritische R134a Kreisprozess weist in dieser Anwendung wesentlich höhere Verluste als der transkritische CO<sub>2</sub> Betrieb auf.

### **Rosige Zeiten für CO<sub>2</sub>?**

In Anbetracht der zahlreichen unterschiedlichen Sichtweisen und Interessen ist es schwierig, eine allgemein gültige Schlussfolgerung hinsichtlich des künftigen Einsatzes von CO<sub>2</sub> zu ziehen. Drei Punkte zeichnen sich jedoch klar ab.

1. Der unterkritische Einsatz von CO<sub>2</sub> in Kaskaden ist technisch kein Problem und bietet in industriellen Anwendungen sowie in der Supermarktkälte eine realistische Alternative zum reinen Einsatz von HFKWs.
2. Im Bereich der transkritischen CO<sub>2</sub> Anlagen gibt es zwar schon Prototypen und erste Erfahrungen, es besteht jedoch noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf bis hin zur Marktreife.

Kältemittel	CO <sub>2</sub>	R 134a	R 404A	NH <sub>3</sub>
<b>Brennbar oder explosiv</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>
<b>Giftig</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>
<b>Natürlicher Stoff</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>	<b>Nein</b>
<b>Ozonabbaupotenzial (ODP)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Erderwärmungspotenzial (GWP)</b>	<b>1</b>	<b>1300</b>	<b>3260</b>	<b>0</b>
<b>Kritischer Punkt bar</b>	<b>73,6</b>	<b>40,7</b>	<b>37,3</b>	<b>113</b>
<b>Kritischer Punkt °C</b>	<b>31,1</b>	<b>101,2</b>	<b>72</b>	<b>132,4</b>
<b>Tripelpunkt bar</b>	<b>5,18</b>	<b>0,004</b>	<b>0,028</b>	<b>0,06</b>
<b>Tripelpunkt °C</b>	<b>-56,6</b>	<b>-103</b>	<b>-100</b>	<b>-77,7</b>

Tabelle 1 CO<sub>2</sub> im Vergleich mit verschiedenen Kältemitteln

3. CO<sub>2</sub> in Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung ist ein vielversprechendes Konzept, das sich in der Praxis bereits vielfach bewährt hat.

Alles in allem dürfen die positiven Erfahrungen der letzten Jahre aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass CO<sub>2</sub> keine universelle Lösung für alle Anwendungsbereiche der HFKWs darstellt. Denn wie sagt John Morley, Technischer Manager bei DuPont (GB) so schön: „Wir werden sicher nicht eines Morgens aufwachen und plötzlich setzt jeder CO<sub>2</sub> ein!“ ■

**Quellen:**

- „Ökoeffizienzbetrachtungen von Supermarkt-Kälteanlagen“, Dr. Achim Diehlmann (Solvay Management Support GmbH), Dipl.-Ing. Christoph Meurer (Solvay Fluor GmbH), Dr.-Ing. Rainer Jakobs (Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik), KK Die Kälte & Klimatechnik, Ausgabe 2/2006
- „HeatXchange spezial“, Ausgabe 10/2004, Güntner GmbH
- „Erste CO<sub>2</sub>-Kälteanlage für den Normal- und Tiefkühlung in einem Schweizer Hypermarkt“, Dipl.-Ing. Siegfried Haaf, Dipl.-Ing. Bernd Heinbokel, Dr.-Ing. Andreas Gernemann (Linde Kältetechnik GmbH), KK Die Kälte & Klimatechnik, Ausgabe 2/2005
- „Cooling with Carbon Dioxide: Harnessing the potential of CO<sub>2</sub> for mainstream cooling“, RAC Konferenz, London, 17. 1. 2006

**Kontrovers diskutiert**

**Friedrich Busch**, Generaldirektor des Interessenverbands EPEE (European Partnership for Energy and the Environment).



Die F-Gase-Verordnung wird ein Erfolg. Wir haben aus unseren Fehlern in der Vergangenheit (Protokoll von Montréal) gelernt und kämpfen jetzt für den Fortbestand der HFKWs. Ich frage mich: Geht es bei diesem neuen Ansatz, nach dem nur noch die Suche nach HFKW Alternativen eine Rolle spielt, nicht aber Kriterien wie Anlagendichtheit, Sachkunde und Entsorgung, tatsächlich nur um die Umwelt, oder stehen nicht vielmehr wirtschaftliche Interessen im Vordergrund? [...] Dänemark zum Beispiel unterstützt bei seinem geplanten HFKW Verbot, von dem im Übrigen noch gar nicht sicher ist, ob es rechtlich überhaupt möglich ist, eindeutig die inländische Wirtschaft. Denn der Import von HFKW-haltigen Anlagen soll verboten werden, der Export aber keineswegs!

**Andy Pearson**, Geschäftsführer des schottischen Unternehmens Star Refrigeration und Gründungsmitglied des Interessenverbands c-dig (Carbon Dioxide Interest Group).



Wir sind alle nur Menschen und werden wieder und wieder dieselben Fehler machen wie in der Vergangenheit. Unser Weg ist nicht klar vorgezeichnet. Die F-Gase-Verordnung ist als solche nicht ausreichend und wird die Politiker nicht zufrieden stellen. Denn es liegt einfach nicht in deren Natur, die Dinge so zu belassen, wie sie sind. Sie werden weiter bohren, bis sie eine strengere Regelung zu den F-Gasen erreichen. [...] Ich bewundere die Dänen, den dortigen hohen Ausbildungsstandard der Kältefachleute und die Konsequenz, mit der die Politik den Einsatz von alternativen Kältemitteln unterstützt.