

# Vergleichende Messungen umweltschonender Kältemittel

**Umweltschonende Aspekte gewinnen in unserer heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Auch im Bereich der Kältetechnik hat man damit begonnen die Entwicklung umweltfreundlicher Kältemittel voranzutreiben.**

**Eine der jüngsten Entwicklungen stellt das Kältemittel R 723 dar, welches vom Institut für Luft- und Kältetechnik in Dresden entwickelt wurde. Da dieses Kältemittel besonders für den Einsatz im Klimabereich geeignet ist, wurde es von der Fa. Combitherm als Drop-In Kältemittel an einem Kaltwassersatz untersucht. Als „Benchmark“ diente R 22, und R 1270 kam als weiteres Vergleichskältemittel zum Einsatz.**

## Comparative measurements of environment friendly refrigerants

These days environmental factors are becoming increasingly important and refrigeration industry has long since begun to further the development of eco friendly cooling agents. One of the most recent discoveries is the coolant R 723 developed by the 'Institut für Kälte- und Klimatechnik' (>Institute for refrigerating and air-conditioning technology<) in Dresden. As this coolant is particularly suitable for use in the air conditioning sector, Messrs. Combitherm tested it as a drop-in coolant with a water chiller. The cooling agent R22 served as a benchmark in this investigation and R1270 was used as another reference coolant.

*Keywords:* environmentally friendly refrigerants, R 723, R 1270, drop-in, thermodynamic properties.

Dipl.-Ing. (FH) S. Pfeiffer, Combitherm Apparate und Anlagenbau, Fellbach

## 1 Einleitung

Die Diskussion um umweltschonende Kältemittel ist spätestens seit der Veröffentlichung des Eckpunktepapiers im Jahre 2002 durch das BMU (Bundesamt für Umwelt, Natur und Reaktorsicherheit) wieder neu entfacht worden. Hierin wurde erstmals öffentlich über ein Verbot der so genannten Sicherheitskältemittel diskutiert. Da solch ein Verbot immense Folgen für die Kälte- und Klimabranche gehabt hätte, wurde bereits im Jahre 2004 in der F-Gase-Verordnung eine Aufhebung dieses Verbotes gefordert. Am 26. Oktober 2005 kam das EU-Parlament dieser Aufforderung nach und lehnte das Verwendungsverbot der Sicherheitskältemittel ab. Zwar ist somit der Einsatz der HFKW- und FKW-Kältemittel EU weit gesichert, dennoch wollen einzelne Mitgliedstaaten wie Österreich und Dänemark das Verbot ab dem Jahre 2007 durchsetzen.

Gerade diese Unstimmigkeit zeigt, dass das Bewusstsein gegenüber umweltschonenden Kältemitteln in einigen Ländern ein ganz anderes ist. Umso deutlicher wird die Notwendigkeit, intensiver über umweltschonende Kältemittel nachzudenken.

Im Bereich der Kleinkälte (Fahrzeugkühlung, Kühlschränke) sind umweltfreundliche Kältemittel, wie Isobutan und CO<sub>2</sub> bereits Stand der Technik. Im Gewerbe- und Industriekältebereich dagegen ist man immer noch auf der Suche nach geeigneten Kältemitteln. Als ein Ergebnis dieser Suche entwickelte das ILK in Dresden (Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH) das azeotrope Kältemittelgemisch R 723 (Ammoniak-Dimethylether). Es besteht aus 60 % Ammoniak und 40 % Dimethylether und wird wie Ammoniak als Kältemittel der Sicherheitsgruppe B2 behandelt. Durch die Beimischung der Alkoholkomponente konnten wesentliche Verbesserungen im Vergleich zu reinem Ammoniak erzielt wer-

den. Die Druckgastemperatur konnte um ca. 15 bis 20 K gesenkt werden, was den Einsatz von gekühlten Zylinderköpfen überflüssig macht. Durch die gute Mischbarkeit mit Mineralölen wird ein zusätzlicher Ölkreislauf überflüssig. Zudem können dank des sehr niedrigen Wassergehalts Kupferrohre verwendet werden.

Da es noch keine ausreichenden praktischen Erfahrungen mit diesem Kältemittel gibt, entschied sich die Fa. Combitherm dazu, dieses Kältemittel in einem Kaltwassersatz zu untersuchen. Betrachtet wurden vor allem die Drop-In Fähigkeit und die thermodynamischen Eigenschaften bei unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen. Um dabei auch aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen diente R 22 als Benchmark und R 1270 (Propen) als weiteres Vergleichskältemittel.

## 2 Aufbau und Messungen

### 2.1 Versuchsaufbau

#### Allgemein

Die Versuchsanlage wurde als glykolgekühlter Kaltwassersatz in Kompaktbauweise konzipiert. Da Messungen auch bei tiefen Verdampfungstemperaturen durchgeführt werden sollten, wurden Verdampfer- und Verflüssigerkreis jeweils mit 25 % Glykol betrieben.

#### Kältekreislauf

Zum Einsatz kam ein offener 4-Zylinder Kolbenverdichter der Fa. Bitzer, welcher mit dem Mineralöl Clavus G 68 betrieben wurde. Kondensator und Verdampfer wurden als kupfergelötete Plattenwärmetauscher der Fa. Swep ausgeführt. Als Expansionsventil diente für R 22 und R 1270 ein Ventil der Fa. Honeywell vom Typ: TMVL, wobei für R 1270 ein R 404A Oberteil eingesetzt wurde. Für R 723 kam ein Danfoss-Ventil vom Typ: TUAE mit R 407C Füllung zum Einsatz. Um die Umbauarbeiten wäh-



**Bild 1:**  
Versuchsaufbau

rend des Versuchs an der Maschine möglichst gering zu halten wurden Handabsperrventile von AWP eingebaut. So können die einzelnen Komponenten angefahren bzw. umfahren werden. Als Besonderheit dieses Kreislaufes ist der Drehkolbengaszähler in der Saugleitung zu erwähnen. Durch dessen Einsatz war es möglich über Zeitmessung den tatsächlich geförderten Volumenstrom des Verdichters zu messen.

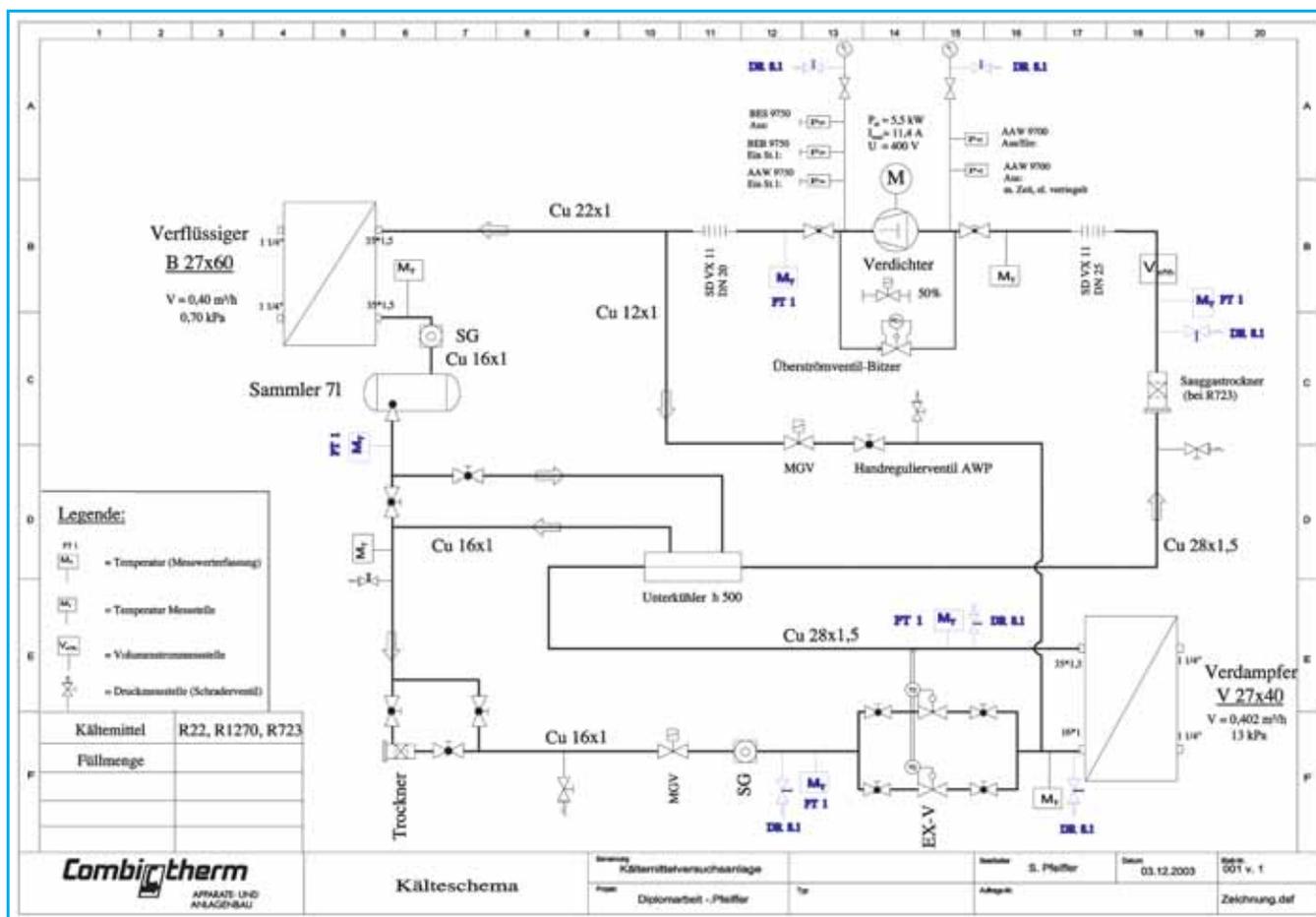
**Glykolkreislauf**

Der Glykolkreislauf wurde so aufgebaut, dass ein „Inselbetrieb“ der Anlage möglich ist. Dazu wurde ein Zwischenwärmetauscher eingebaut über den ein Wärmeaustausch von der Verflüssigerseite zum Verdampferkreis stattfinden kann. Zugleich wird so dem Verdampferkreis eine Last simuliert. Die überschüssige Wärme wird über einen dem Zwischenwärmetauscher nachgeschalteten luftgekühlten Glykollrückkühler an die Umgebung abgeführt.

Jeder Kreislauf wurde mit einer drehzahlgeregelten Pumpe und einem Durchflussmengenmesser ausgestattet. Um die Eintrittstemperatur in dem Verdampfer konstant zu halten wurde ein temperaturgesteuertes Drei-Wege-Ventil eingesetzt. Der Lüfter des Glykollrückkühlers wurde ebenfalls temperaturgesteuert, um so die Kühlwassereintrittstemperatur konstant zu halten.

**2.2 Komponentenauswahl/ Materialverträglichkeit**

Beim Aufbau des Versuchstandes galt es zuerst die Materialverträglichkeit der drei Kältemittel zu prüfen. Hierbei mussten alle Komponenten auf R 723 abgestimmt werden, da Ammoniak ein sehr reaktionsfreudiger Stoff ist. So ist beispielsweise der Einsatz von Messing nicht empfehlenswert, da nach [1] in Verbindung mit Wasser eine Entzinkung stattfinden kann, was wiederum zu Spannungsrisskorrosionen führt. Aber auch Cu-Zn-Legierungen werden vom Ammoniak angegriffen. Lediglich Cu-Ni-Legierungen und Buntmetalle sind nach [1] beständig. Somit kamen Stahlkomponenten bzw. Komponenten aus Buntmetallen zum Einsatz. Des Weiteren ist der Wassergehalt so niedrig wie möglich zu halten,



**Bild 2:** Kälteschema

was eine sehr sorgfältige Arbeitsweise beim Betriebspersonal aber auch bei der Herstellung einer Anlage erfordert. Laut [2] sollte der Wassergehalt der Anlage 1000 ppm nicht übersteigen um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

## 2.3 Versuchsdurchführung

### 2.3.1 Allgemein

Da R 22 als Benchmark diente und hier die thermodynamischen Eigenschaften bekannt waren, wurde zunächst die Anlage mit R 22 einreguliert und anschließend die Basisdaten aufgezeichnet. Danach folgten Propen und Ammoniak-Dimethylether.

Dabei wurden die Kältemittel bei folgenden Verdampfungstemperaturen gemessen:  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $-5^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $+5^\circ\text{C}$ .

Zusätzlich wurden bei den einzelnen Verdampfungstemperaturen folgende Betriebszustände untersucht:

1. 100 % mit Unterkühler
2. 100 % ohne Unterkühler
3. 50 % mit Unterkühler

Die einzelnen Parameter wie Temperaturen und Drücke wurden an der Anlage mittels Rohranlegefühler bzw. Druckaufnehmer erfasst und anschließend mittels Datenlogger aus der *Siemens SPS* ausge-

lesen und gespeichert. Im nächsten Schritt wurden diese Daten in Excel-Tabellen übertragen und mit Hilfe des Add-Ins *Aserep for Excel* vom *ILK-Dresden* ausgewertet.

### 2.3.2 Berechnung der wichtigsten Parameter

Kälteleistung:

$$\dot{Q}_0 = \dot{m}_R \cdot h_1 - h_4 \quad (1)$$

wobei der Massenstrom folgendermaßen berechnet wird:

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{V}_{\text{Gas}}}{v_1} \quad (2)$$

$\dot{V}_{\text{gas}}$ : entspricht dem tatsächlich gemessenen Volumenstrom vor dem Verdichter

$v_1$ : spezifisches Volumen im Ansaugzustand bei Betriebsbedingungen

$h_1$ ;  $h_4$ : spezifische Enthalpie bei Betriebsbedingungen

Verflüssigerleistung:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_R \cdot h_2 - h_3 \quad (3)$$

Klemmenleistung:

$$P_{KL} = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (4)$$

Kälteleistungszahl:

$$\varepsilon_{KM} = \frac{\dot{Q}_0}{P_{ZU}} \quad (5)$$

wobei  $P_{ZU} = P_{KL}$

## 2.4 Messergebnisse

Ziel dieses Versuches war es, die geforderte Verdampfungstemperatur über die Wassertemperatur einzustellen. Da dies nicht immer 100 % gelungen ist, sind Abweichungen bei den einzelnen Messungen vorhanden. Dennoch lassen sich die Messwerte für Tendenzen heranziehen. Des Weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass eine gewisse Messgenauigkeit allein durch die hier eingesetzte Messtechnik und durch das Ablesen der Werte (z.B. Volumenstrom) vorhanden war. Beispielhaft werden im Folgenden ein paar Messungen diskutiert.

### 2.4.1 Messwerte Versuch 2.0 ( $t_0 = -5^\circ\text{C}$ , mit Unterkühler)

In dieser Versuchsreihe sind die Verdampfungstemperaturen bei allen 3 Kältemitteln in etwa gleich. Beim Blick auf die Wassertemperaturen fällt auf, dass R 22 und R 1270 ungefähr die gleichen Temperaturniveaus aufweisen. R 723

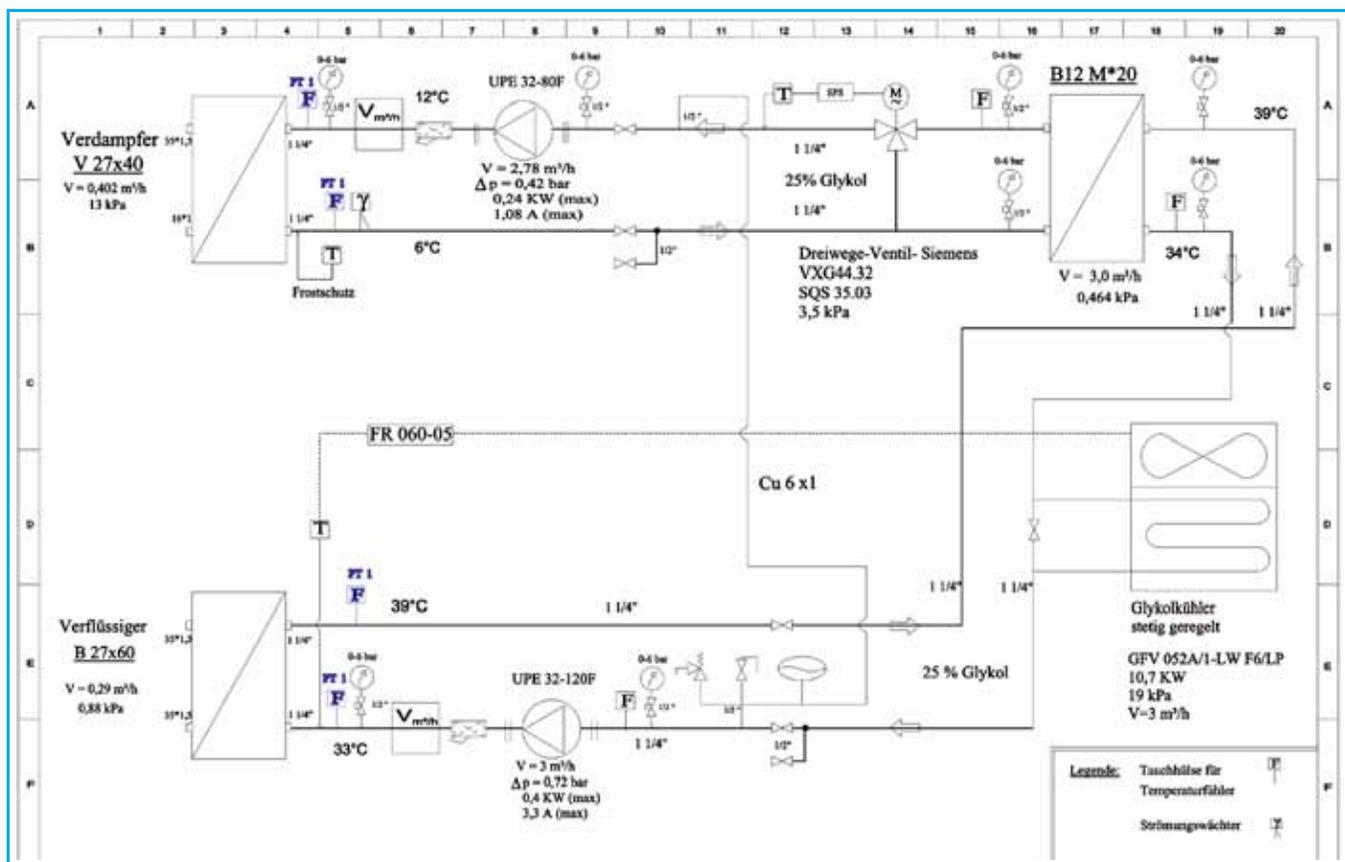


Bild 3: Kühlwasserschema

**Tabelle 1: Ergebnisse Versuch 2.0**

Messprotokoll-Nr. 2,0								
Versuchsreihe: $T_0 = -5^\circ\text{C}$ mit Unterkühler 100 %								
Allgemeine Kennwerte bezogen auf Auslegungszustand (lt. Hersteller):								
geometrischer Volumenstrom	$V_{geo}$	in $\text{m}^3/\text{h}$	21,95		21,95		21,95	
theoretische Kälteleistung:	$Q_0$	in kW	15		k.A.		k.A.	
Betriebsbedingungen:								
Kältemittel:			R 22		R 1270		R 723	
Wasserseite:								
Verdampfer EIN:	$t_{WK1}$	in $^\circ\text{C}$	3,9		3,7		9,9	
Verdampfer AUS:	$t_{WK2}$	in $^\circ\text{C}$	-1,7		-2,1		4,4	
Verflüssiger EIN:	$t_{WW1}$	in $^\circ\text{C}$	31,1		32,5		31,0	
Verflüssiger AUS:	$t_{WW2}$	in $^\circ\text{C}$	38,9		40,9		39,3	
$\Delta T$ über Verdampfer	$\Delta T_{Verd}$	in K	5,6		5,7		5,5	
Kälte:								
Verdampfungstemperatur	$t_0$	in $^\circ\text{C}$	-6,1		-5,2		-5,1	
Verdampfungsdruck (abs.)	$p_0$	in bar	4,1		5,0		3,9	
Verflüssigungstemperatur	$t_c$	in $^\circ\text{C}$	38,7		40,3		37,9	
Verflüssigungsdruck (abs.)	$p_c$	in bar	14,8		16,6		15,5	
Überhitzung	$\Delta t_{oh}$	in K	8,9		9,1		8,4	
Unterkühlung	$\Delta t_U$	in K	6,2		4,2		6,1	
Kältemittelmassenstrom	$m_R$	in $\text{kg}/\text{s}$	0,083	100 %	0,051	-39,2 %	0,018	-78,6 %
Volumenstrom – berechnet	$V_0$	in $\text{m}^3/\text{h}$	18,3	100 %	18,4	+0,3 %	16,3	-10,8 %
Kälteleistung	$Q_0$	in kW	14,4	100 %	15,2	+5,8 %	14,6	+1,7 %
Verflüssigerleistung	$Q_c$	in kW	17,1	100 %	18,5	+8,4 %	16,8	-1,5 %
Klemmenleistung des Verdichters – gemessen	$P_{KL}$	in kW	5,4	100 %	5,6	+5,1 %	5,3	-0,3 %
Liefergrad	$\lambda$		0,83	100 %	0,84	+0,3 %	0,74	-10,8 %
Druckverhältnis	$\pi$		3,6	100 %	3,3	-9,0 %	3,9	+8,5 %
Carnot Leistungszahl	$\varepsilon_C$		5,99	100 %	5,91	-1,4 %	6,23	+4,0 %
Kälteleistungszahl	$\varepsilon_{KM}$		2,68	100 %	2,70	+0,7 %	2,74	+2,0 %
Gütegrad des Kreisprozess	$\eta_G$		44,8 %	100 %	45,8 %	+2,1 %	43,9 %	-2,0 %

dagegen liegt um etwa 6 K höher. Dies deutet daraufhin, dass der Wärmeübergang im Verdampfer schlechter ist – eventuell verursacht durch Ölanreicherung im Verdampfer, da sich dieser Temperaturunterschied in nachfolgender Messreihe nicht mehr einstellte.

Wie erwartet, liegen R 22 und R 723 in gleicher Drucklage wohingegen R 1270 um etwa 1 bar höher liegt. Auffallend sind auch die um ein Vielfaches geringer ausfallenden Massenströme der natürlichen Kältemittel.

Bei der Kälteleistung können die natürlichen Kältemittel gegenüber R 22 etwas verbesserte Werte aufweisen, wobei Propen hier mit 15,2 KW den größten Wert aufweisen kann, bedingt durch das niedrige Druckverhältnis.

Ammoniak-Dimethylether kann hier Dank seiner geringen Leistungsaufnahme auch eine verbesserte Kälteleistungszahl erzielen.

Bei Ammoniak-Dimethylether liegen zwar die Werte etwas besser als bei R 22 doch unter Berücksichtigung der Wassertemperaturen müssten die Werte nach unten korrigiert werden und dürften somit gleich bzw. schlechter ausfallen. Dennoch fällt die geringe Leistungsaufnahme bei R 723 auf.

**2.4.2 Ergebnisse Versuch ( $t_0 = +5^\circ\text{C}$ , mit Unterkühler)**

In dieser Versuchsreihe können die Messwerte von R 1270 nicht direkt zum Vergleich herangezogen werden. Zwar sind die Wassertemperaturen auf

gleichem Niveau, doch ist die Verdampfungstemperatur um ca. 3K niedriger. Dies ist zurückzuführen auf die große Überhitzung bei Propen. Das Expansionsventil war bei dieser Verdampfungstemperatur an seiner Grenze und konnte nicht weiter geöffnet werden. Doch können diese Werte durchaus zum Aufzeigen von Tendenzen herangezogen werden.

Auffallend bei dieser Versuchsreihe sind die verbesserten Werte von R 723 im Vergleich zu R 22. Kälteleistung sowie Kälteleistungszahl sind deutlich größer. Auch der Wärmeübergang im Verdampfer hat sich im Vergleich zum vorherigen Versuch ( $t_0 = -5^\circ\text{C}$ ) wesentlich verbessert. Selbst Propen liegt trotz der großen Überhitzung noch im Bereich der Werte

**Tabelle 2: Ergebnisse Versuch 4.0**

<b>Messprotokoll-Nr.: 4,0</b>								
<b>Versuchsreihe: <math>T_0 = + 5 \text{ °C}</math> mit Unterkühler 100 %</b>								
<b>Allgemeine Kennwerte bezogen auf Auslegungszustand (lt. Hersteller):</b>								
geometrischer Volumenstrom	$V_{geo}$	in $\text{m}^3/\text{h}$	21,95		21,95		21,95	
theoretische Kälteleistung:	$Q_0$	in kW	22		k.A.		k.A.	
<b>Betriebsbedingungen:</b>								
<b>Kältemittel:</b>			R 22		R 1270		R 723	
<b>Wasserseite</b>								
Verdampfer EIN:	$t_{WK1}$	in $^{\circ}\text{C}$	21,8		22,9		19,0	
Verdampfer AUS:	$t_{WK2}$	in $^{\circ}\text{C}$	13,3		14,5		10,4	
Verflüssiger EIN	$t_{WW1}$	in $^{\circ}\text{C}$	33,3		32,4		34,5	
Verflüssiger AUS:	$t_{WW2}$	in $^{\circ}\text{C}$	44,3		43,3		46,6	
$\Delta T$ über Verdampfer	$\Delta T_{Verd}$	in K	8,5		8,4		8,5	
<b>Kälte:</b>								
Verdampfungstemperatur	$t_0$	in $^{\circ}\text{C}$	5,3		2,6		5,7	
Verdampfungsdruck (abs.)	$p_0$	in bar	5,9		6,3		5,8	
Verflüssigungstemperatur	$t_C$	in $^{\circ}\text{C}$	43,9		42,4		44,7	
Verflüssigungsdruck (abs.)	$p_C$	in bar	16,8		17,4		18,6	
Überhitzung	$\Delta t_{oh}$	in K	9,9		21,3		6,3	
Unterkühlung	$\Delta t_U$	in K	4,3		3,3		4,7	
Kältemittelmassenstrom	$m_R$	in $\text{kg/s}$	0,124	100 %	0,064	- 48,1 %	0,029	- 76,3 %
Volumenstrom – berechnet	$V_0$	in $\text{m}^3/\text{h}$	19,1	100 %	19,6	+ 2,2 %	18,4	- 3,7 %
Kälteleistung	$Q_0$	in kW	20,9	100 %	20,3	- 2,6 %	23,4	+ 11,8 %
Verflüssigerleistung	$Q_c$	in kW	24,2	100 %	23,6	- 2,6 %	26,7	+ 10,3 %
Klemmenleistung des Verdichters – gemessen	$P_{KL}$	in kW	5,8	100 %	5,8	0,0 %	5,9	+ 1,8 %
Liefergrad	$\lambda$		0,87	100 %	0,89	2,2 %	0,84	- 3,7 %
Druckverhältnis	$\pi$		2,9	100 %	2,8	- 3,5 %	3,2	+ 12,5 %
Carnot Leistungszahl	$\varepsilon_C$		7,22	100 %	6,92	- 4,1 %	7,14	- 1,0 %
Kälteleistungszahl	$\varepsilon_{KM}$		3,58	100 %	3,49	- 2,6 %	3,94	+ 9,9 %
Gütegrad des Kreisprozess	$\eta_G$		49,6 %	100 %	50,4 %	+ 1,6 %	55,1 %	+ 11,0 %

von R 22. Würde hier eine entsprechende Anpassung des Expansionsventils erfolgen, wären die Werte mit großer Wahrscheinlichkeit größer als bei R 22.

Des Weiteren wurde der Einfluss eines inneren Wärmetauschers (Unterkühler) untersucht:

#### 2.4.3 Einfluss innerer Wärmetauscher bei $t_0 = - 5^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 1)

Anhand Bild 3 lassen sich die Auswirkungen bzw. der Einfluss eines inneren Wärmetauschers auf den Kreisprozess klar erkennen. Während bei R 22 der Wärmetauscher nur geringe bis gar keine Auswirkungen auf die Kälteleistung hat, macht sich dagegen bei den natürlichen Kältemitteln ein größerer

Einfluss bemerkbar. Am deutlichsten wird dies bei Propan. Lagen die Werte ohne inneren Wärmetauscher noch knapp unterhalb von R 22, konnten mit innerem Wärmetauscher verbesserte Werte erzielt werden.

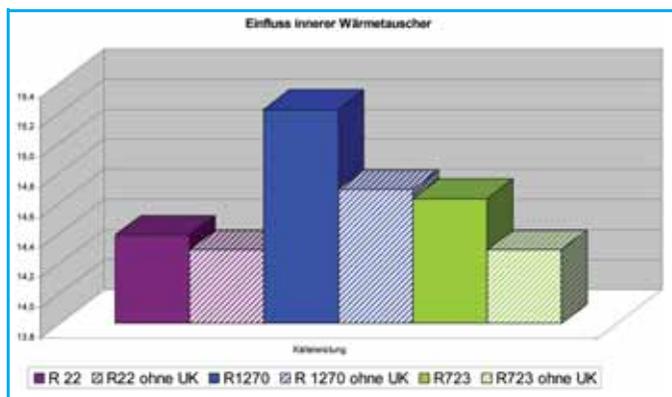
#### 2.4.4 Einfluss innerer Wärmetauscher bei $t_0 = + 5^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 2)

In Bild 5 ist gut zu erkennen, dass bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 = + 5^{\circ}\text{C}$  der Einfluss des inneren Wärmetauschers deutlich nachlässt. Dies ist vor allem bei R 22 und bei R 723 der Fall. Bei beiden Kältemitteln ist nahezu keine Auswirkung auf die Kälteleistung zu verzeichnen. Bei R 1270 ist immerhin noch eine leichte Verbesserung zu erkennen.

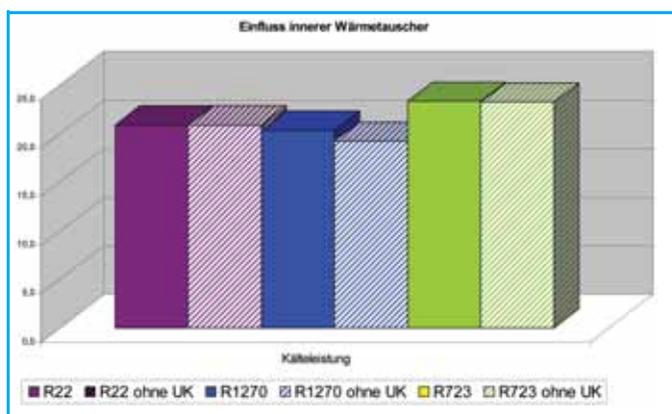
### 3 Schlussfolgerungen

#### Hinweis: Alle Vergleiche beziehen sich auf R 22

Beim Vergleich der thermodynamischen Werte fällt auf, dass bei Verdampfungstemperaturen von  $t_0 = 0$  bis  $- 10^{\circ}\text{C}$  Propan überwiegend verbesserte bzw. gleiche Werte im Bezug auf Kälteleistung und Kälteleistungszahl aufweisen kann. Doch diese Werte lassen sich nur unter Verwendung eines inneren Wärmetauschers erreichen. Dank des niedrigen Isentropenexponenten von R 1270 ist hier der Einsatz des Wärmetauschers effizient. Kommt hingegen der Wärmetauscher nicht zum Einsatz, liegen die Werte deutlich unterhalb derer von R 22. Auch bei 50 % Teillast können



**Bild 4:**  
Einfluss innerer  
Wärmetauscher  
Versuchsreihe 2



**Bild 5:**  
Einfluss innerer  
Wärmetauscher  
Versuchsreihe 4

die Werte von R 22 mit Einsatz des Unterkühlers bestätigt werden.

Bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 = +5^\circ\text{C}$  nähern sich die Werte trotz deutlich zu großer Überhitzung denen von R 22 an.

Bei Ammoniak-Dimethylether war auffällig, dass bei Verdampfungstemperaturen von  $t_0 = 0$  bis  $-10^\circ\text{C}$  der Wärmeübergang am Verdampfer schlechter war als bei R 22. Dies wirkte sich durch tiefere Verdampfungstemperaturen bei gleichen Wassertemperaturen oder durch ein höheres Temperaturniveau auf der Wasserseite bei gleichen Verdampfungstemperaturen aus. Wobei hier der Grund für den schlechteren Wärmeübergang noch genauer untersucht werden muss. Eine mögliche Ursache könnte eine Ölverlagerung in den Plattenverdampfer sein. Dies wurde im Rahmen dieses Versuches jedoch nicht mehr untersucht.

Auffällig war jedoch, dass R 723 bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 = +5^\circ\text{C}$  deutlich verbesserte Werte aufweisen konnte. Auch war hier der Wärmeübergang im Verdampfer deutlich besser als bei R 22.

Im Teillastverhalten konnte R 723 ähnliche Werte aufweisen. Diese lagen jedoch tendenziell etwas unterhalb von R 22.

#### 4 Zusammenfassung

Umweltschonende Aspekte haben in unserer heutigen Gesellschaft mittlerweile einen hohen Stellenwert erlangt. Auch in der Kältetechnik hat sich dieser Trend verfestigt, weshalb man seit einigen Jahren nach umweltfreundlichen Kältemitteln forscht, die weder ein Ozonabbaupotenzial noch Treibhauspotenzial besitzen.

Ziel dieses Versuches war es, zu untersuchen, inwieweit umweltfreundliche Kältemittel als Drop-In-Kältemittel verwendet werden können und ob sie bereits heute ernstzunehmende Alternative für Neuanlagen darstellen. Hierzu wurden zwei umweltfreundliche Kältemittel mit einem herkömmlichen Kältemittel in einem Versuchsstand bezüglich ihrer thermodynamischen Eigenschaften und ihrer Energieeffizienz verglichen. Aus der Reihe der umweltfreundlichen Kältemittel wurde zum einen R 1270 (Propen) und zum anderen R 723 (Ammoniak-Dimethylether) ausgewählt. R 22 (Chlordifluormethan) wurde als Vertreter der herkömmlichen Kältemittel ausgewählt. Aufgrund seines langjährigen und äußerst bewährten Einsatzes im Klima- und Industriebereich stellte es somit die Basis des Versuches dar.

Als Versuchsstand kam ein Kaltwassersatz in kompakter Bauweise zur Ausfüh-

rung, welcher für einen Klimaanwendungsfall projiziert wurde. Hierbei stellte sich vor allem die Materialverträglichkeit von R 723 gegenüber den üblicherweise eingesetzten Komponenten für R 22 und R 1270 als echte Herausforderung dar. Aufgrund der Reaktionsfreudigkeit mit Messing kamen für R 723 nur Komponenten aus Buntmetall oder Stahl infrage. Dank der ähnlichen thermodynamischen Eigenschaften und der Materialverträglichkeit gegenüber Kupfer (Wassergehalt  $< 1000$  ppm) konnten jedoch Hauptkomponenten wie Verdichter, Verdampfer, Kondensator und Sammler in herkömmlicher Ausführung für alle Kältemittel verwendet werden. Letztendlich mussten nur wenige Umbaumaßnahmen zwischen den einzelnen Kältemitteln durchgeführt werden. Damit man auch das Betriebsverhalten der einzelnen Kältemittel bei verschiedenen Verdampfungstemperaturen beurteilen kann, wurden folgende Versuchs- bzw. Messreihen festgelegt:

- Versuchsreihe 1:  $t_0 = 0^\circ\text{C}$
- Versuchsreihe 2:  $t_0 = -5^\circ\text{C}$
- Versuchsreihe 3:  $t_0 = -10^\circ\text{C}$
- Versuchsreihe 4:  $t_0 = +5^\circ\text{C}$

Zusätzlich wurden diese Versuchsreihen in drei verschiedene Messreihen unterteilt, um so zum einen den Einfluss eines Unterkühlers untersuchen zu können und zum anderen das Teillastverhalten bei 50 % der Verdichterleistung. Somit ergab sich folgende Messreihenfolge:

- Messreihe 1: 100 % (Leistung), mit Unterkühler
- Messreihe 2: 100 %, ohne Unterkühler
- Messreihe 3: 50 %, mit Unterkühler

Sämtliche relevanten Messwerte wie Drücke und Temperaturen des Kalt-dampfprozesses wurden mittels Drucktransmitter und Rohranlegefühler über eine SPS-Steuerung eingelesen und anhand einer Software ausgewertet und archiviert. Daten des Wasserkreislaufes, sowie Stromaufnahme und Volumenstrom wurden von Hand abgelesen und mittels Messwerttabellen weiter verarbeitet. Als erstes Kältemittel wurde R 22 durchgemessen, da hier die Werte bekannt waren und sich somit die Inbetriebnahme der Anlage einfacher darstellte. Danach folgte Propen und als letztes Kältemittel wurde R 723 untersucht.

Propen überzeugte vor allem durch sein einfaches Handling. Nach Befüllen der Anlage konnte diese ohne Probleme in Betrieb genommen werden und er-

reichte schnell ihren Auslegungspunkt. In Messreihe 1 konnte Propan bei Verdampfungstemperaturen  $t_0 < +5^\circ\text{C}$  vor allem durch seine erhöhte Kälteleistung und durch sein niedriges Druckverhältnis eine verbesserte Kälteleistungszahl gegenüber R 22 aufweisen. Der Gütegrad hingegen wies in allen Versuchsreihen größere Werte auf. Dagegen merkte man in Messreihe 2 deutlich das Fehlen des inneren Wärmetauschers. Dadurch näherte sich die Kälteleistung mehr den Werten von R 22 an. Da aber zugleich auch die Stromaufnahme etwas höher war, verschlechterte sich die Kälteleistungszahl und R 22 konnte hier die etwas besseren Werte erreichen.

Bei Ammoniak-Dimethylether trat bei Verdampfungstemperaturen von  $t_0 = 0$  bis  $-10^\circ\text{C}$  ein schlechterer Wärmeübergang am Verdampfer auf. Dadurch waren die Werte unterhalb von R 22 und R 1270. Dennoch fiel auf, dass R 723 im Verhältnis eine geringe Leistungsaufnahme hatte. Ähnlich wie bei R 22 war der Einfluss des inneren Wärmetauschers nicht so ausgeprägt wie bei R 1270. Trotzdem war die Leistungssteigerung größer als bei R 22. Bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 = +5^\circ\text{C}$

war auch bei R 723 keine Leistungssteigerung mehr zu verzeichnen.

Im Teillastbetrieb konnten beide natürlichen Kältemittel keine wesentlich verbesserten Werte gegenüber R 22 aufweisen. Hier lagen die Werte eher etwas schlechter oder zumindest gleich.

Des Weiteren bestätigten beide natürlichen Kältemittel ihre bevorzugten Anwendungsgebiete. Propan konnte deutlich bessere Werte bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 < -10^\circ\text{C}$  aufweisen, während Ammoniak-DME eindeutig verbesserte Werte bei einer Verdampfungstemperatur von  $t_0 > 0^\circ\text{C}$  erreichen konnte. Hieran ist zu erkennen, dass Propan auf Grund seiner thermodynamischen Eigenschaften den Vorzug im Normal- und Tiefkühlbereich findet, während Ammoniak-DME eher im Normal- und Klimakühlbereich sein Anwendungsgebiet hat.

Alles in Allem hat dieser Versuch gezeigt, dass beide umweltfreundlichen Kältemittel durchaus ernstzunehmende Alternativen zu herkömmlichen Kältemitteln darstellen, weshalb ihr Einsatz auch weiter favorisiert werden sollte.

Doch muss an dieser Stelle unbedingt auf die erforderliche Sicherheitstechnik hingewiesen werden, welche sich wiederum nachteilig auf die Kostenrechnung niederschlägt. Bei Ammoniak-Dimethylether dürfte diese etwas günstiger ausfallen, da die untere Explosionsgrenze größer ist als bei Propan. Des Weiteren zählt Ammoniak zu den ältesten Kältemitteln mit denen man bestens umzugehen weiß.

#### Literatur

- [1] Knabe, M., Reinhold, S., Schenk, J.: Ammoniakanlage und Kupfer-Werkstoffe? Sonderdruck des DKI (Deutschen Kupfer Institutes). KI Luft- und Kältetechnik 33 (1997) 9, S. 394–397
- [2] Frigopol: Natürliche Kältemittel R 717 und R 732 als Alternative zu HFKW und FKW

#### Schlüsselwörter

umweltfreundliche Kältemittel  
R 723  
R 1270  
Drop-In  
thermodynamische Eigenschaften

## Die Temperatur im Griff!

# Combi**G**therm

APPARATE- UND  
ANLAGENBAU

Wir, die Firma Combi**G**therm GmbH, wurden 1972 in Fellbach gegründet. Aus kleinsten Anfängen entwickelte sich ein Produktionsbetrieb mit heute ca. 50 qualifizierten Mitarbeitern und einem weitverzweigten Kundenstamm.

Kernpunkt unseres täglichen Tuns ist die industrielle Herstellung von Kälteaggregaten, insbesondere für die Gebäudeklimatisierung und Produktionskühlung. Aufgrund der über 30-jährigen Erfahrung stehen auch viele Individuallösungen im Sonderanlagenbau bereit. Von der Planung über die Ausführungsphase bis hin zur Betreuung im After-Sales-Bereich stehen erfahrene Ansprechpartner zur Verfügung.



Kühlung des weltweit größten Internet-Rechenzentrums in Karlsruhe. Die Kühlleistung entspricht etwa 20.000 Haushaltskühlschränken.



Kälteversorgung für die Kommunikationseinrichtung der EU-Kommission in Brüssel. Die Anlage entspricht den höchsten Sicherheitsstandards.



„Silberpfeil“ für einen Automobilveredler in Affalterbach. Kühlt Büro- und Serverräume sowie die Motorenmontage.



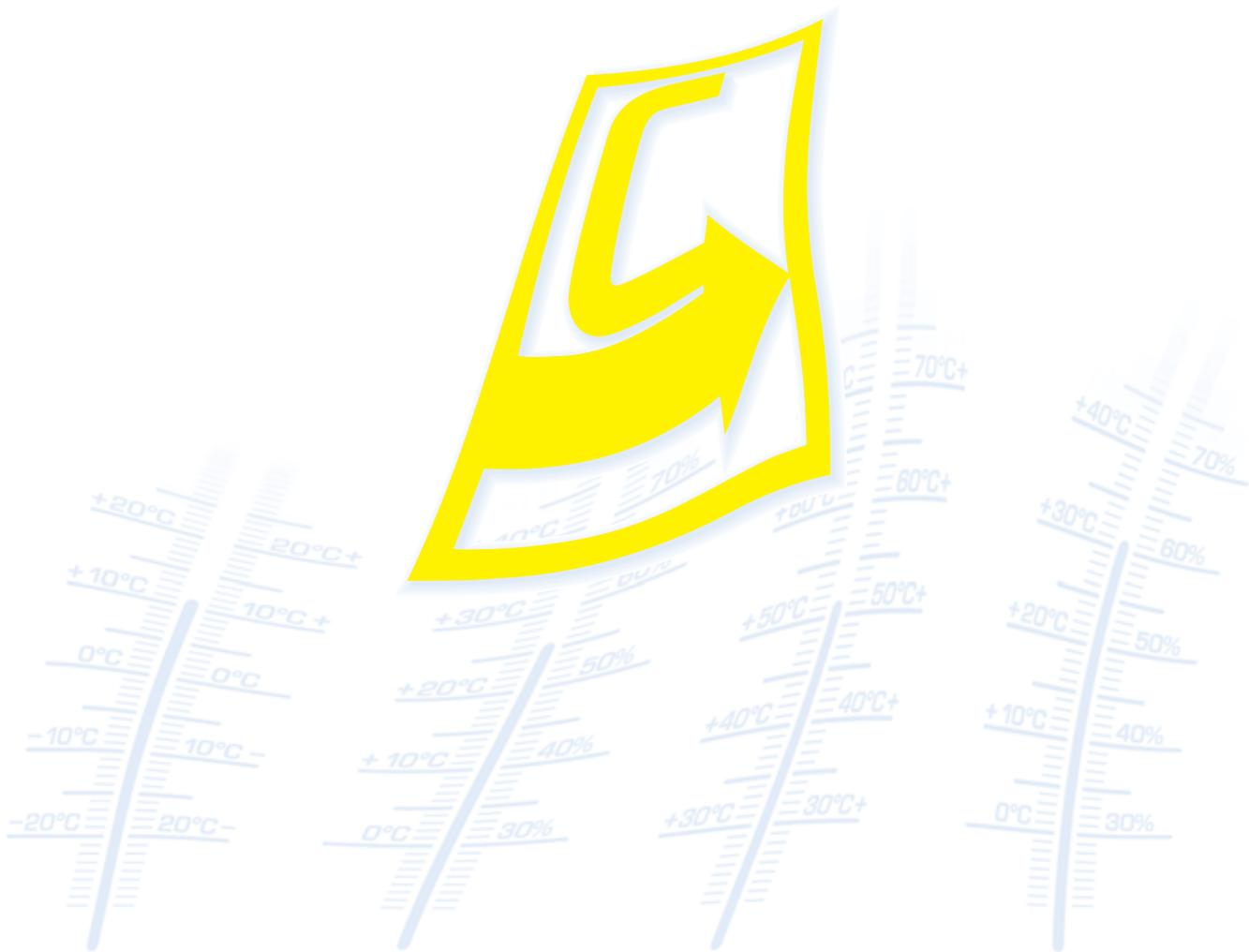
Mobiles Kühlaggregat zur Klimatisierung geparkter Flugzeuge. Mit dem Lkw können Flugzeuge bis zur Größe eines Jumbo-Jets ohne Hilfsmittel ganzjährig klimatisiert werden.

COMBITHERM GmbH • Friedrichstraße 14 • 70736 Fellbach • Tel. (0711) 951918-0 • Fax -40 • info@combitherm.de

Kältetechnik • Wärmepumpentechnik • Wärmerückgewinnung • Energietechnik • Kältemittel-Umrüstungen • Wartung & Service

# Combi**g**therm

APPARATE- UND ANLAGENBAU



Kältetechnik ■ Wärmepumpentechnik ■ Wärmerückgewinnung ■ Energietechnik ■ Kältemittel-Umrüstungen ■ Wartung und Service

COMBITHERM GmbH ■ Friedrichstraße 14 ■ 70736 Fellbach

Telefon (0711) 951918-0 ■ Fax (0711) 951918-40 ■ E-mail: [info@combitherm.de](mailto:info@combitherm.de) ■ [www.combitherm.de](http://www.combitherm.de)