

Dresdner Kolloquium am 14. 5. 1998

# Kohlendioxid als Kältemittel

Das Institut für Luft- und Kältetechnik lädt in größeren Abständen zu den traditionellen Dresdner Kolloquien ein, wenn es Neues aus dem eigenen Hause mitzuteilen gibt. So auch dieses Mal, nachdem gute Ergebnisse zur Thematik vorliegen. Aber auch in die Thematik passende Vorträge anderer Forscher, die Mitteilenswertes aufzuweisen haben, werden präsentiert. So entstand ein Tagesprogramm, das nahezu 50 Teilnehmer, die sich mit dem natürlichen Kältemittel Kohlendioxid beschäftigen, nach Dresden zog.

Kohlendioxid, ein Kältemittel der Zukunft ... Mit welchem Satzzeichen soll diese Aussage versehen werden? Mit einem Ausrufungszeichen, weil man endlich aus dem Forschungsstadium in die praktische Nutzung übergehen müßte – oder ist eher ein Fragezeichen angebracht, weil seine praktische Anwendung in der Kälte- und Klimatechnik noch in den Sternen steht? Eine Antwort ist nicht so leicht zu geben, das Kolloquium trug zur weiteren Klärung bei.

In den Begrüßungsworten nannte ILK-Geschäftsführer Dr. Herzog das CO<sub>2</sub> ein faszinierendes Kältemittel. Seine lange Geschichte, s. Abb. 1, hat es zu einem Klassiker unter den Kältemitteln gemacht. Seine Renaissance geht auf Gustav Lorentzen zurück, der es für die Zeit nach FCKW und FKW wiederbelebt hat. Unmittelbar nach seinem Anstoß liefen die Forscher und Entwickler los und machten aus dem alten ein ganz neues Kältemittel. Während sich allerdings der vergangene Zeitabschnitt des CO<sub>2</sub> vorrangig im unterkritischen Druckbereich abspielte, hat heutzutage der überkritische Anwendungsfall die größere Bedeutung. Seine Chancen werden vor allem in Spezialanwendungen gesehen. Das ILK beteiligt sich an den Anwendungsforschungen für das CO<sub>2</sub>.

Den Einführungsvortrag hielt ILK-Fachbereichsleiter Eberhard Wobst, indem er einen Überblick über die Gesamtheit der

- 1866 erstmals von Lowe in den USA in Schiffskälteanlage eingesetzt  
\*\*\*
- 1885 durch Arbeiten von C. v. Lindes in den Vordergrund gerückt  
\*\*\*
- 1930 Pohlmann-Taschenbuch vier Kältemittel NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O angegeben  
\*\*\*
- 1950 nach statistischen Angaben von Bäckström
  - 60 % der Schiffskälte
  - 10 % der Klein- und Großkälte mit CO<sub>2</sub> betrieben
 \*\*\*
- mit Einführung der Freone verschwand CO<sub>2</sub> fast völlig  
\*\*\*
- 1956 letzte CO<sub>2</sub>-Kälteanlage in Sachsen demontiert  
\*\*\*
- Ende der 80er Jahre Wiederbelebung durch Lorentzen für Autoklimatisierung

Abb. 1 Geschichtlicher Überblick zur Verwendung von CO<sub>2</sub> als Kältemittel

## zum Autor

Dipl.-Ing.  
Ulrich Adolph,  
Entwicklungs-  
berater Kälte-  
und Klima-  
technik, Leipzig



natürlichen Kältemittel gab, speziell mit Blick auf die dazu beim ILK durchgeführten Arbeiten, und das CO<sub>2</sub> darin entsprechend einordnete. Ausgehend von den Gesichtspunkten zur Einordnung der Kältemittel in eine Auswahltabelle, wie ODP, GWP, TEWI, thermodynamische Eigenschaften, Werkstoffverträglichkeit, Sicherheitsgesichtspunkte und Wirtschaftlichkeit ergeben sich für jedes Kältemittel bevorzugte Anwendungsgebiete, s. Abb. 2. Das ILK hat in den vergangenen Jahren daran gearbeitet, die Kriterien für die richtigen Auswahlentscheidungen zu schaffen. Dabei sind alternative Einstoffkältemittel, Gemische und natürliche Stoffe in gleicher Weise berücksichtigt worden. In den verschiedensten Gremien und in laufenden Veröffentlichungen ist darüber berichtet worden.

Einsatzbereich	Temp.-bereich	FKW/FKW-Gemisch								natürliche KM				
		R123 1)	R227	R134a	R407C	R404A R507	R410A	R23 R508A	R14	R718 (H <sub>2</sub> O)	R717 (NH <sub>3</sub> ) NH <sub>3</sub> /DME	KW	CO <sub>2</sub>	Luft
Wärmepumpen groß klein	0 °C ... +20 °C		•		•	•				•	•		•	
Klima, stationär, groß stationär, klein Fahrzeug	0 °C ... +10 °C	(•)	•	•	•					•			•	•
Haushalt	-20 °C ... +5 °C		•	•										
Industrie	-50 °C ... 0 °C					•	•							
Kühlager Kühlhäuser Gewerbe Transport	-10 °C ... +10 °C					(•)	•			•				
Gefrierlagerung Kühlhäuser Gewerbe Transport	-30 °C ... -15 °C						•	•		•				
Gefriertechnik <sup>2)</sup>	-50 °C ... -30 °C						•	•					•	
Tieftemperatur- anlagen <sup>2)</sup>	-90 °C ... -50 °C							•	•				•	•

*Bevorzugte Kältemittel in Neuanlagen nach 200 in Deutschland*

1) ODP = 0,021  
2) Kaltluftkältemaschine

Abb. 2 Nach ILK-Einschätzung bevorzugte Kältemittel in Neuanlagen nach dem Jahre 2000

Hervorzuheben sind die Untersuchungen zur Einsatzerweiterung von Ammoniak, speziell die Untersuchung der Verwendungsbedingungen von Kupferwerkstoffen für NH<sub>3</sub> und zur Senkung der Verdichtungsendtemperatur durch Mischung mit Dimethylether. Die Fragen des Öltransportes sind prinzipiell gelöst und Anlagen mit sehr großen Füllmengen gehören mehr und mehr der Vergangenheit an.

In ähnlicher Weise bedeutungsvoll sind die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verwendung von Wasser als Kältemittel. Im ILK wurde als Voraussetzung zur Verdichtung der großen Volumenströme mit geringer Dichte ein Wasserdampfverdichter geschaffen, dessen Laufrad mit 1 m Durchmesser bei 11 000 U/min aus einem Kohlefaserverbundwerkstoff als herausragendes Ergebnis bewertet werden darf.

Auf dem Gebiet der brennbaren Kältemittel ist die Entwicklung einer Kleinwärmepumpe mit 4 kW Heizleistung hervorzuheben, wie sie für gut wärmegeämmte Häuser ausreichend ist. Das Entwicklungsziel bestand in einer minimalen Kältemittelfüllmenge, was mit 210 g je Anlage bei einem abgeschätzten Weiterentwicklungspotential zu 150 g als erreicht betrachtet werden kann.

Einen breiten Raum nahm die Arbeit des ILK am CO<sub>2</sub> ein. Damit wurde zur eigentlichen Thematik des Tages übergeleitet. Kleine Anlagen mit NH<sub>3</sub> sind wegen dessen Giftigkeit nicht überall anwendbar und sie werden im allgemeinen teurer als FKW-Anlagen, woraus sich der wirtschaftliche Aspekt für die Verwendungsuntersuchung von CO<sub>2</sub> ergibt. Es ist aber dabei zu bedenken, daß fast alle Komponenten eines CO<sub>2</sub>-Kreislaufes neu zu schaffen sind. Der Schwerpunkt liegt dabei allerdings auf dem Verdichter, da es für die anderen Komponenten Lösungen bei Bedarf ohne erhebliche Probleme geben wird. Anwendungsperspektiven sieht

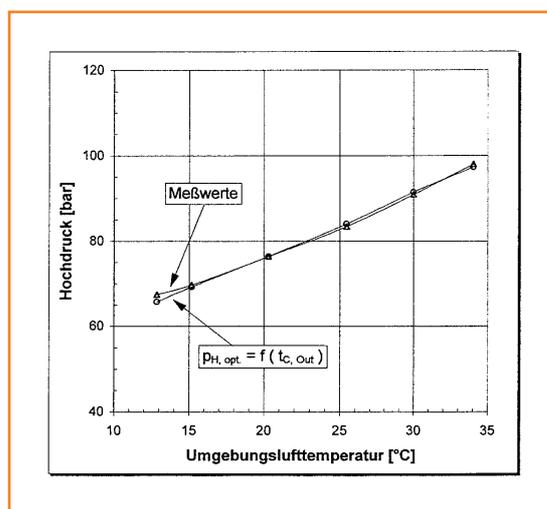


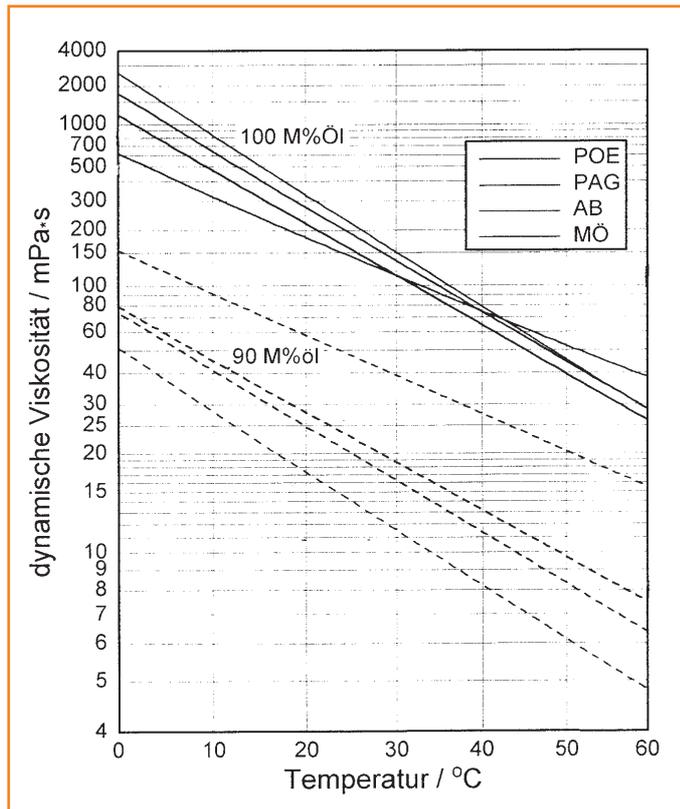
Abb. 3 Vergleich von Meßergebnissen für den Hochdruck mit berechneten Werten in Abhängigkeit von der Lufteintrittstemperatur in den Gaskühler

Wobst wie auch andere auf diesem Feld arbeitende Autoren vorrangig als Brauchwasserwärmepumpe wegen der dabei erreichbaren niedrigen Druckgasaustrittstemperaturen und mit dem ähnlichen Effekt in der Fahrzeugklimatisierung, da bei dieser Anwendung schon bei verhältnismäßig niedrigen Außentemperaturen Kühlbedarf besteht. Auch Luftentfeuchtungs- und Trocknungsprozesse sind erfolgversprechende Anwendungen.

Die grundsätzlichen Erkenntnisse des ILK zur Prozeßführung und Regelung von CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen mit dem Ziel des Verzichtes auf eine Hochdruckregelung stellte Steffen Grohmann als verantwortlicher Themenbearbeiter dar. In einer Kreisprozeßsimulation mit trockener Expansion ohne und mit innerer Wärmeübertragung wurde das Betriebsverhalten bei unterschiedlichen Kältemittelfüllmengen untersucht. Als Fazit konnte er prinzipiell feststellen, daß CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen mit konventioneller Kreisprozeßführung, d. h. mit Trockenexpansion des Kältemittels und ohne Hochdruckregelung betrieben werden können, s. Abb. 3. Die Kältemittelfüllmenge bestimmt bei vorgegebener Komponentendimensionierung den Hochdruck und die Kälteleistung und ist aus der Sicht des zugelassenen Anlagendruckes festzulegen. Die wirtschaftliche und energetische Optimierung wird durch die Auslegung der Wärmeübertrager beeinflusst. Die Hochdruckregelung kann die Kälteleistung nur geringfügig beeinflussen, nach Grohmann nur bis zu 20 %. Die Zweckmäßigkeit eines inneren Wärmeübertragers ist unter Berücksichtigung der Kältemittelüberhitzung unter Beachtung der sonstigen Einsatzbedingungen zu bewerten.

Nachfolgend stellte Dr. R. Heide seine im ILK durchgeführten grundlegenden Untersuchungen zu den physikalischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub>-Öl-Gemischen vor. Ausgangspunkt war die Schaffung einer Meßapparatur, die den hohen Drücken des CO<sub>2</sub> standhält. Es wurden vier Öltypen der ISO VG 68-Viskositätsklasse untersucht, je ein Polyolester, ein Polyalkylglykol, ein Polyalkylbenzol und ein Mineralöl. Wichtig für die prak-

Abb. 4 Viskositäts-Temperaturverhalten der untersuchten Öle ohne und mit 10 % CO<sub>2</sub>-Gehalt. Wenn man die ebenfalls von Heyde vorgestellten Dampfdruckkurven in die Bewertung einbezieht, muß man mit bedeutend stärkeren Verdünnungen als nur 90 % und damit gefährlichen Viskositätsabsenkungen rechnen, falls nicht Schutzmaßnahmen für den Verdichter (Ölheizung, Abpumpschaltung) getroffen werden



Über Kohlendioxid als Kältemittel für Pkw-Klimaanlagen berichtete Dr. H. Gentner von der BMW AG München. Er stellte die Ergebnisse aus dem europäischen RACE-Projekt vor. Seit einem Jahr ist die geförderte Forschungsaufgabe abgeschlossen, gegenwärtig wird noch an Verbesserungsmöglichkeiten gearbeitet. Hauptinhalt der Entwicklung war der Effektivitätsvergleich zu R 134a, wozu Leistungsvergleichsversuche im Windkanal bei verschiedenen Fahrzuständen mit einem BMW 520i durchgeführt worden sind. Die Anlage wurde ausführlich beschrieben, s. Abb. 5. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte die Ebenbürtigkeit der beiden Kältemittel festgestellt werden, lediglich im Leerlauf schneidet CO<sub>2</sub> schlechter ab, was auf zu geringe Luftmenge am Gaskühler zurückzuführen ist. Weiterhin führte Gentner aus, daß der innere Wärmeübertrager zu überprüfen ist, weil die höhere Überhitzung am Verdichter negativen Einfluß auf die Effektivität hat. Ein Sicherheitsrisiko sieht er nicht, da es keine Probleme mit den bei der hohen Drucklage eingesetzten Werkstoffen gegeben hat. Die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis des Automobilbaus sieht er

tische Beurteilung sind das Mischungs- und Viskositätsverhalten. Bisher gab es in den Datenblättern der Ölhersteller erhebliche Lücken, aber jeder Verdichtenterwickler weiß, wie wichtig diese Daten für den zuverlässigen Verdichterbetrieb sein können. Die starke Viskositätsniedrigung auch des bestgeeigneten Polyol-esteröles, das zwischen -30 °C und +20 °C keine Mischungslücke aufweist, hat ja in der Anfangsphase der Arbeit mit CO<sub>2</sub> erhebliche Probleme bereitet, s. Abb. 4. Nun gibt es einen tieferen Einblick in die Zusammenhänge. Die Ölhersteller wären gut beraten, die technischen Möglichkeiten des ILK zur Kennwertermittlung zu nutzen, soweit sie nicht schon selbst dazu in der Lage sind.

Der Nachmittag wurde von den auswärtigen Vortragenden bestritten. Den Anfang machte Jürgen Köhler, KONVEKTA/IPEK, der seinen gemeinsam mit Michael Sonneckalb verfaßten Vortrag zum erfolgreichen Einsatz von Busklimaanlagen mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel vortrug. Über diesen Vortrag ist bereits in KK 5/98,

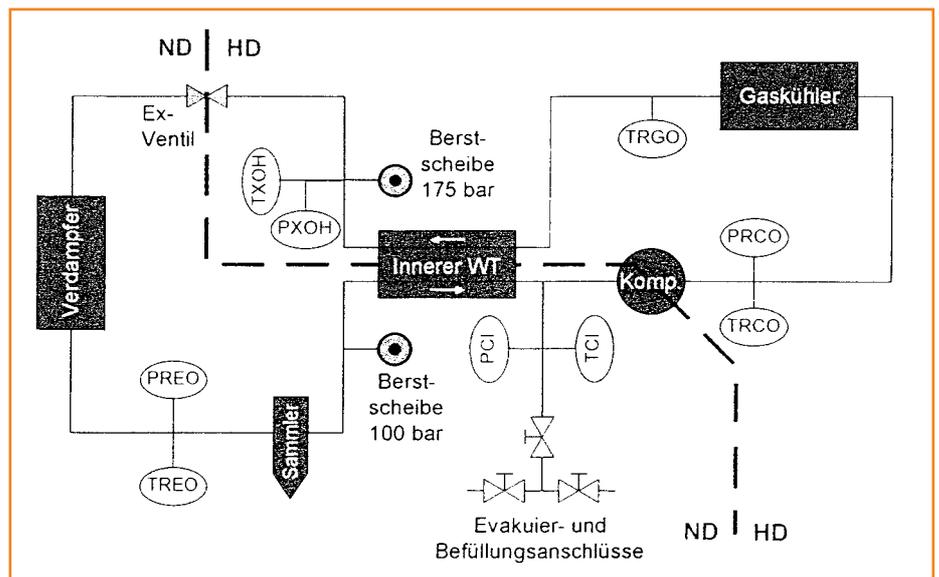


Abb. 5 CO<sub>2</sub>-Kältekreislauf mit Instrumentierung im BMW 520i

S. 326, im Zusammenhang mit dem Karlsruher Fahrzeugklimasymposium berichtet worden. Bemerkenswert soll nur noch einmal auf die mit Grohmann übereinstimmende Aussage zur Bestimmung des optimalen Hochdruckes ohne spezielle Regelung durch eine optimierte Kältemittelfüllmenge hingewiesen werden.

noch nicht, da noch zahlreiche Fragen zu Wirtschaftlichkeit und Effektivität zu klären sind und er eine weltweite Akzeptanz des CO<sub>2</sub> als Voraussetzung betrachtet. Derzeit gibt es in den USA zu wenig

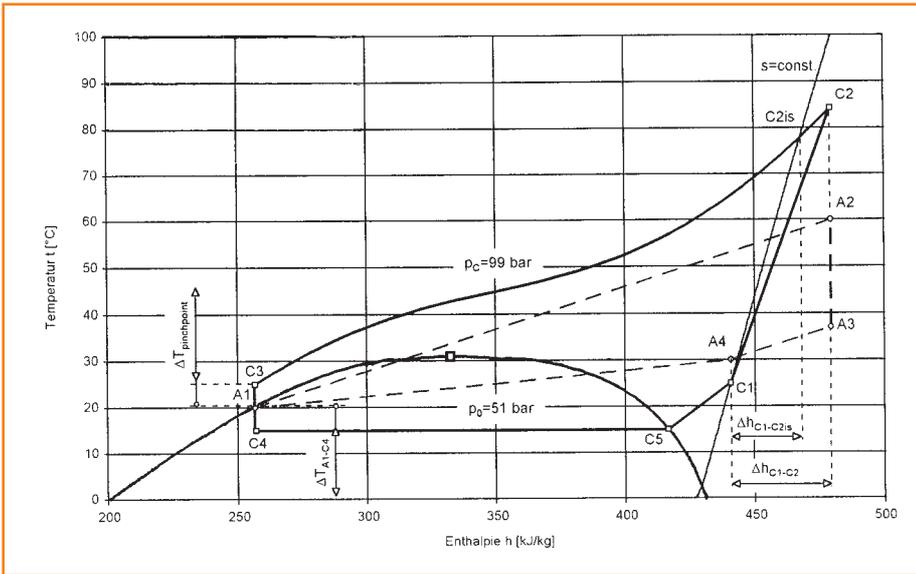


Abb. 6 Überkritischer WP-Trocknungsprozeß mit CO<sub>2</sub> als Arbeitsstoff

Bereitschaft und Aktivitäten dafür. Längerfristig wären unterschiedliche Kältemittel am Fahrzeugweltmarkt untragbar.

Aus dem Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität Essen kam ein Vortrag zu Trocknern mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel. N.

ferenz zwischen Heizwärmeübertrager und Trocknungsluft erreicht werden kann. Der Prozeß mit geschlossenem Luftkreislauf und Differenzwärmeabgabe weist dabei die besten Ergebnisse auf, s. Abb. 6. Die Untersuchungen wurden an einem labormäßigen Wäschetrockner-Versuchs-

lassen – wie in allen anderen Anwendungen in der serienmäßigen Bereitstellung zuverlässiger und preiswerter Komponenten.

Im Schlußvortrag stellte R. Rieberer den gemeinsam mit H. Halozan vom Institut für Wärmetechnik der TU Graz erarbeiteten Vortrag zu CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen vor. Ausführlich wurden die bekannten und schon erwähnten Vorzüge der CO<sub>2</sub> als Kältemittel und wiederum speziell in der Wär-



Dipl.-Ing. Eberhard Wobst spricht über die Arbeiten des ILK zur Anwendungsvorbereitung natürlicher Stoffe als Kältemittel

mepumpenanwendung dargestellt. Die Anwendung zur Warmwasserbereitung als vorteilhafte Anwendung steht an erster Stelle, wobei im Gegensatz zu den Aussagen von Grohmann und Köhler auf die Einhaltung eines optimalen Hochdruckes Wert gelegt wird. Die gerätetechnisch völlig offene Effizienzsteigerung mittels Ex-

Dipl.-Ing. Steffen Grohmann kann den interessierten Teilnehmern seine allgemeingültigen Simulationsergebnisse für CO<sub>2</sub>-Prozesse präsentieren



ILK-Geschäftsführer Dr. R. Herzog begrüßt die Teilnehmer: „CO<sub>2</sub> ist ein faszinierendes Kältemittel“. Der Titel der Veranstaltung lockte nahezu 50 Gäste nach Dresden



Flacke trug vor, was er gemeinsam mit K. Klöcker und E. L. Schmidt erarbeitet hatte. Der überkritische CO<sub>2</sub>-Prozeß in der Wärmepumpenschaltung bietet sich für Trocknungsprozesse noch vorteilhafter an, als die unterkritischen Prozesse, da man in der Temperaturführung nicht auf die kritische Temperatur begrenzt ist und weil eine nahezu gleichbleibende Temperaturdif-

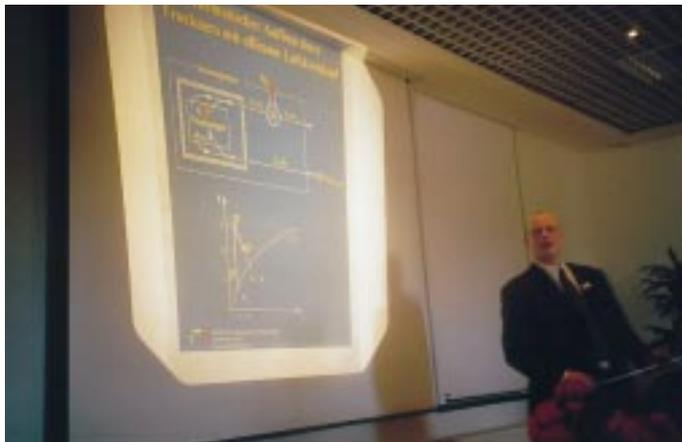
ferenz durchgeföhrt. Als Verdichter diente der für CO<sub>2</sub>-Anwendungen bekannte Zweizylinder-Bock-Verdichter, der 12 bis 17 kW Heizleistung erbrachte. Die energetische Effizienz wurde als erfolversprechend bewertet, obwohl die zu Grunde gelegten isentropen Verdichterwirkungsgrade nicht gemessen wurden, sondern aus einer gänzlich anderen Quelle stammen. Die Markteinführung im Bereich der Haushaltsgeräte wird optimistisch gesehen, zumal AEG erstmals einen wärmepumpenunterstützten Wäschetrockner kommerziell anbietet. Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der Optimierung der Wärmeübertrager und der Untersuchung des Regelung- und Teillastverhaltens und natürlich – von den Verfassern unausgesprochen ge-

Dr. Rudolf Heide stellt seine umfassenden Untersuchungen zu Öl-CO<sub>2</sub>-Gemischen vor und findet dafür große Aufmerksamkeit



pansionsmaschine wird herausgearbeitet und für Großanlagen favorisiert. Günstige Bedingungen bietet auch die Anwendung in Luftheizungsanlagen, vor allem in Frischluftheizungsanlagen in Verbindung mit Abwärmenutzung. Der Prozeß

Dipl.-Ing. Norbert Flacke begeistert sich und die Zuhörer für die Anwendung von CO<sub>2</sub> als das optimale Kältemittel für Trocknungsprozesse



bleibt dabei unterkritisch, und für Grazer Klimabedingungen werden Jahresarbeitszahlen von ca. 6,3 prognostiziert. Eine noch effektivere Anwendung ergibt sich bei der Schwimmhallenentfeuchtung. Abschließend wird auf den Vorteil des CO<sub>2</sub> in Direktverdampfungs- und -kondensationssystemen hingewiesen, bei denen die brennbaren oder giftigen natürlichen Kältemittel meist nicht zur Anwendung kommen können.

Die eingangs gestellte Frage ist also auch nach diesem Kolloquium nicht eindeutig zu beantworten. Beim heutigen Kenntnisstand kann man folgendes Resümee ziehen:

CO<sub>2</sub> ist offenbar wirklich ein Kältemittel der Zukunft. Seine Anwendung wird zumindest anfangs auf bestimmte besonders geeignete Einsatzgebiete beschränkt sein, wenn nämlich seine Vorteile in wirtschaftlicher, technischer und ökologischer Hinsicht überzeugend sind. Und wegen der Drücke wird es eine Leistungsbegrenzung nach oben hin geben. Solange R 134a legal verwendet werden darf, gibt es kaum einen Anlaß für die Umstellung normaler Kälte- und Klimaanlageanlagen. Für den Einsatz in Kraftfahrzeugen und Bussen liegen die umfangreichsten Entwicklungsergebnisse vor, und man darf erwarten, daß dies wegen der ökologischen Situation eines der ersten Anwendungsfelder sein wird. Das wäre ein guter Rückenwind für andere Anwendungen. In der Kraftfahrzeuganwendung wirken die besonders hohe Leckrate und die besonders niedrigen Jahresbetriebsstunden zu Gunsten des CO<sub>2</sub>. Vorteile lassen sich auch bei der Wärmepum-

penanwendung, speziell bei der Brauchwassererwärmung nachweisen. Auch für Bahnanwendungen ist CO<sub>2</sub> interessant, nämlich im Wettbewerb mit der Luft, die im Hochgeschwindigkeitszug ICE 3 erst-

mals aus ökologischen und ökonomischen Gründen zum Einsatz kommt.

Dreh- und Angelpunkt wird aber die Verfügbarkeit von zuverlässigen und kostengünstigen Serienverdichtern im Kälteleistungsbereich bis 30 kW sein; für mobile Anlagen in offener Bauform, für alle anderen Fälle in halb- oder vollhermetischer Ausführung. Gegenwärtig ist diesbezüglich aber noch kein Land in Sicht.



Beim Rundgang in den Labors und Testräumen des ILK wurde ein Prototyp-Klimagerät für den Fahrerstand einer Straßenbahn mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel gezeigt

Und natürlich muß der Umgang mit den hohen Drücken gelernt werden, nicht nur von den Entwicklern, bei denen ist das ja größtenteils schon Vergangenheit, vor allem aber von den Installateuren, dem Wartungspersonal und den Betreibern.

Das Thema CO<sub>2</sub> als Kältemittel war und ist ein dankbares Forschungsfeld und wird es auch weiterhin sein, der Zeitpunkt der praktischen Umsetzung der Ergebnisse ist noch nicht abzusehen. □



Dipl.-Ing. E. Wobst erläutert den Gästen beim Rundgang die Prüfmöglichkeiten in der Thermochamber des ILK