

FKW-Seminar Nr. XXI

# Neuester Entwicklungsstand bei der Anwendung von Kohlenstoffdioxid als Kältemittel

Das FKW Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH in Hannover veranstaltete am 21. 6. 2001 in Fortsetzung der Tradition dieser Seminare nach längerer Pause ein zweites CO<sub>2</sub>-Seminar, nachdem seit dem ersten Seminar 1995 zu diesem Thema wesentliche Fortschritte erzielt worden sind. An dem erreichten Entwicklungsstand ist das FKW unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse wesentlich beteiligt.



Prof. Kruse gibt einen Überblick über die Entwicklung des FKW im neuen Laborgebäude

Es soll heute noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die Schließung des Instituts für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik IKW der Universität Hannover als Negativum in der Geschichte der deutschen Kältetechnik angesehen werden muß. Prof. Kruse und seine Mitarbeiter haben in der Folge das FKW so umgestaltet, daß es weiterhin als Zentrum aktueller Entwicklungen wirken kann. Im neuen Objekt am Weidendamms wird auf einer Laborfläche von 600 m<sup>2</sup> geforscht und entwickelt. Neben 7 wissenschaftlichen Mitarbeitern sind dort zwei Werkstattmitarbeiter und zwei Verwaltungskräfte tätig.

Die wesentliche Aufgabe des FKW besteht in der Umsetzung des neuesten Wissens in die angemessene praxisgerechte Beratung der Kunden und in der Vorbereitung, Entwicklung und Optimierung von kältetechnischen Ideen und Produk-

ten. Die Arbeiten des FKW in Forschung, Entwicklung und Beratung mit Schwerpunkten in den Bereichen Messungen und Versuche, Studien und Gutachten sowie Lieferung von Hard- und Software lassen sich in unterschiedlichsten Kombinationen für Problemlösungen nutzen. Die 20 Seminare bis 1998 sind u. a. ein Beleg dafür, und das nunmehr 21. Seminar bestätigte das erneut.

In seinen einführenden Worten ging Prof. Kruse auf diese Schwerpunkte ein und betonte besonders die Wirkung des FKW im Rahmen der internationalen Konferenzen für natürliche Kältemittel, die ihren Ausgangspunkt 1994 in Hannover hatten und seitdem alle zwei Jahre stattfinden, und die seit Oslo 1998 als Gustav-Lorentzen-Konferenzen bezeichnet werden.

Die Forschungen zum CO<sub>2</sub> sind weitgehend international orientiert in solchen Projekten wie RACE, COHEPS I und II und gefördert worden. Die Anwendungsforschung orientiert sich in zwei Richtungen:

- der unterkritischen Anwendung in der Niederdruckstufe von Kaskadenanlagen in der Gewerbe- und Industriekühlung sowie
- der transkritischen Anwendung des Kältemittels in der Fahrzeugklimatisierung und -kühlung und in der Wärmepumpentechnik.

An diesen Schwerpunkten orientierte sich auch das jetzt durchgeführte Seminar, wobei es dem Veranstalter darauf ankam zu zeigen, was CO<sub>2</sub> kann und auch, was es nicht kann. Die ca. 60 Teilnehmer einschließlich der Referenten und Gäste aus Instituten und betrieblichen Forschungseinrichtungen dokumentierten ihr Interesse an der aktuellen Thematik der Hinwendung zu CO<sub>2</sub> als natürlichem Kältemittel.

Die erste Präsentation wurde von **Rick Ives** von der **Nestec GmbH** in der Schweiz gegeben. Der Nestle-Konzern hat



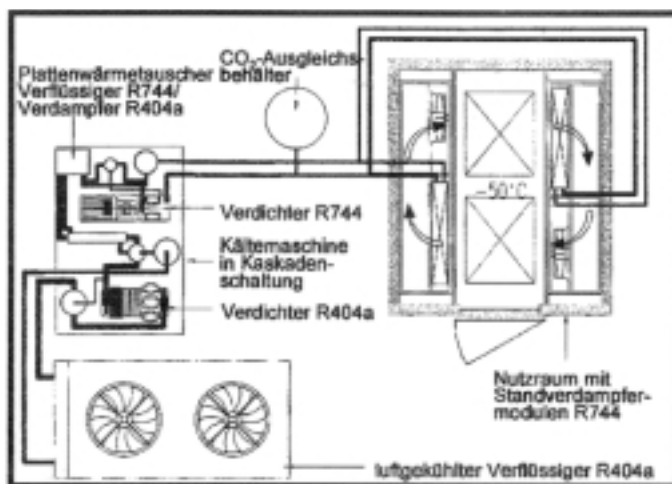
*Rick Ives (Nestec) drückt mit seinem Eröffnungsbild die Internationalität des Nestle-Unternehmens aus*

mit seiner Kältemittelstrategie den Einsatz von CO<sub>2</sub> als Kälte-träger in der Tieftemperaturstufe von Kaskadenanlagen favorisiert, wie es schon bei den letzten DKV-Tagungen durch Holm Gebhardt vorgetragen worden war. Ammoniak ist in dieser Strategie zwar das Kältemittel Nr. 1, aber CO<sub>2</sub> gewinnt als verdampfender Kälte-träger an Bedeutung. Besonders in Frankreich wird diese Technologie durch die strengen gesetzlichen Regelungen zur Füllmengenbegrenzung bei Ammoniak zusätzlich herausgefordert. Dabei ist das Nestle-Unternehmen keine Kältefirma, betreibt aber weltweit 70 große Kälteanlagen mit Ammoniak.

Bei Verwendung einer zweistufigen Ammoniakanlage auf der Hochdruckseite erhält man eine sehr effiziente Lösung und das CO<sub>2</sub> gewährleistet auch bei tiefen Temperaturen einen Überdruck gegenüber der Umgebung. Zudem wird CO<sub>2</sub> als sicherer im Vergleich mit NH<sub>3</sub> betrachtet. Während eine reine NH<sub>3</sub>-Anlage mit 35 bis 50 kg Ammoniak je kW Kälteleistung ausgestattet ist, benötigt eine mit CO<sub>2</sub>-Tieftemperaturstufe kombinierte Kaskade nur noch 1 bis 10 % dieser Ammoniakmenge. Weitere Vorteile ergeben sich aus den viel geringeren Rohrleitungsabmessungen (ca. 1/3) und dem kleineren erforderlichen Verdichterhubvolumen (ca. 1/8) in der Tieftemperaturstufe. Damit gibt es überhaupt keine Gründe, auf die Anwendung dieses Kältemittels im subkritischen Bereich zu verzichten, zumal immer mehr Komponentenlieferanten diesen Weg mitgehen. Eine große Anlage mit einer Kälteleistung von 2,4 MW ist bereits erstellt und bei vier weiteren sind Untersuchungen zur Umstellung in Arbeit.

In Netzschkau kann man schon von einer anwendungsgewohnten Technologie sprechen, wenn es um die Nutzung von CO<sub>2</sub> in der Kältetechnik geht. **Jörg Fuhrmann** von der mittelständischen Firma **Fuhrmann und Schreiner GmbH** berichtete über die vorliegenden langjährigen Erfahrungen und die Lösungen für Anlagen der Schockfrostung im Temperaturbereich von -38 bis -50 °C, die das Hauptgeschäftsfeld der Firma darstellen. Die Kaskadenanlagen werden überwiegend in Container eingebaut und in der Hochdruckstufe mit R 404A betrieben. Eine Kälteleistung von z. B. 500 kW kann mit einer Füllmenge von nur 83 kg realisiert werden. Bemerkenswert ist die Lösung für eine Druckbegrenzung im Ausgleichszustand mittels Ausgleichsbehälter, der bei dieser Leistung allerdings 7,2 m<sup>3</sup> Inhalt hat und den Druck auf 22 bar begrenzt. Es gibt nach Angaben von Fuhrmann immer mehr Entscheidungen zu Gunsten von CO<sub>2</sub>. Die

*So sieht das Anlagenschema für eine Schockfrostung bei Fuhrmann und Schreiner aus*



Dichtheitsfrage wird so streng wie bei gewöhnlichen Kältemitteln behandelt, aber bei auftretenden Undichten ist der niedrige Preis des CO<sub>2</sub> ebenso vorteilhaft wie die völlig unproblematische Entsorgung ohne Rückgewinnungsaufwendungen.

Während Fuhrmann und Schreiner in einem Leistungsbereich arbeitet, der den Hubkolbenverdichtern vorbehalten ist und dabei mit der Anwendung von Bock-Erzeugnissen gute Erfahrungen gesammelt hat, widmete sich der folgende Vortrag von **Dr.-Ing. Dieter Mosemann, GEA Grasso**, der Anwendung von Schraubenverdichtern in CO<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>-Kaskadenkälteanlagen. Dabei geht man davon aus, daß für große Industriekälteanlagen der überkritische Prozeß nicht zur Anwendung kommen wird, daß aber die Reduzierung der NH<sub>3</sub>-Füllmengen durch Anlagen mit CO<sub>2</sub> in der Tieftemperaturstufe ein wesentliches Anwendungskriterium im möglichen Temperaturbereich von -35 bis -54 °C darstellt. Die Wirtschaftlichkeit wird unterhalb von -40 °C besser als bei der Anwendung von zweistufigen NH<sub>3</sub>-Anlagen, obwohl die COP-Gleichwertigkeit erst bei -50 °C erreicht worden ist. Insofern wird die neue Technologie als Ergänzung der bisherigen Lösungen gesehen, nicht als Ersatz. Die Druckbegrenzung im Ausgleichszustand erfolgt durch einen kleinen R 134a-Kältesatz mit 1 kW Kälteleistung, was bei der Anlagenleistung von 750 kW nicht ins Gewicht fällt. Ausgleichsbehälter wie bei Fuhrmann würden viel zu groß werden.

Mosemann stellte dann den Versuchsschraubenverdichter und die Testanlage vor. Der Verdichter wird in seiner Geometrie kompakt, da er nur ca. 1/7 des Fördervolumens gegenüber einer NH<sub>3</sub>-Maschine benötigt. Er ist durch kurze Rotoren mit geringem Längen-Durchmesser-Verhältnis gekennzeichnet, wodurch eine



Dieter Mosemann (GEA Grasso) zeigt ein Bild des CO<sub>2</sub>-Testverdichters Typ H

große Biegesteifigkeit der Rotoren erreicht wird. Mit dem Zähnezahlverhältnis von 5 : 6 ergibt sich eine gleichmäßige Belastung der druckseitigen Axiallager für beide Rotoren. Die Fördervolumenregelung sollte den Bereich von 100 bis 0 % abdecken und eine Anpassung des inneren Volumenverhältnisses an den Teillastzustand ist erforderlich.

Im Ergebnis der Entwicklung konnte Mosemann die Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub>-Schraubenverdichtern mitteilen, die sowohl mit Gleit- als auch mit Wälzlagern erfolgreich getestet worden sind und die bis 35 bar Kondensationsdruck arbeiten können. Für diesen Einsatz stehen auch geeignete Kältemaschinenöle zur Verfügung.

Für ähnliche Anwendungen, für die GEA Grasso Schraubenverdichter für CO<sub>2</sub> entwickelt hat, sammelt **Sulzer Escher Wyss GmbH**, Lindau, Erfahrungen mit ersten Anlagen. Dabei sind die Eisportanlagen erste realisierte Objekte, denn bei ihnen spielt die Gleichmäßigkeit der Eisflächentemperatur eine große Rolle für die Qualität des Eises. Und das ist besonders gut zu erreichen mit verdampfendem CO<sub>2</sub> als Kälteüberträger. Aber **Holger König** wandte sich in seinem Vortrag dann speziell den Erfahrungen bei der Erzeugung von tiefen Temperaturen zu. Beim Vergleich verschiedener möglicher Varianten für Tieftemperaturanlagen für -54 °C ergeben sich für die NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>-Variante solche Vorteile wie kleinste Baugrößen für den Tieftemperaturverdichter, die Behälter und die Saugleitung bei etwa gleichwertigem COP-Wert. Auch im Kostenvergleich schneidet diese Ausführung am besten ab.

Wenn man sie 100 % setzt, liegen die anderen einbezogenen Ausführungen R 410A/NH<sub>3</sub>-Kaskade, NH<sub>3</sub> zweistufig, R 410A zweistufig und R 507 zweistufig zwischen 110 und 142 %.

In einer Versuchsanlage für den Temperaturbereich von -30 bis -55 °C mit Glassichtstrecken für die Beobachtung des Ölverhaltens wurden Öl- und Wärmeübergangsprobleme, Strömungsgeschwindigkeiten und Verschleißfragen sowie die Werkstoffverträglichkeit der Dichtungsmaterialien untersucht. Bei PAO-Ölen, in denen sich das CO<sub>2</sub> nicht löst, ist das Ölmanagement von NH<sub>3</sub> erforderlich. Bei der Verwendung der gut löslichen POE-Öle sind die Probleme mit der Mischungslücke unterhalb -45 °C noch konstruktiv zu lösen und Langzeiterfahrungen müssen gesammelt werden.

Mit den Expansionsverfahren wurde die Erfahrung gemacht, daß thermostatische Ventile für tiefe Temperaturen zu träge sind und elektronisch geregelte Ventile gute Betriebsstabilität und optimale Überhitzungswerte gewährleisten.

In seiner abschließenden Einschätzung des Entwicklungsstandes konnte König auf ausreichendes Know-how für die Realisierung spezifischer Anlagenausführungen hinweisen, wobei im jeweiligen Fall zu bestimmten und noch nicht allgemein gelösten Fragen noch weitere Erfahrungen zusammenzutragen sind. Er wies auch darauf hin, daß man die Toxizität beim konzentrierten Auftreten von freigesetztem CO<sub>2</sub> nicht unterschätzen sollte, ebenso wie die Probleme beim Befüllen der Anlagen und beim Anfahren der Kaskaden.

Auch **Dr.-Ing. Michael Kauffeld** vom Dänischen Technologischen Institut **DTI** in Aarhus beschäftigt sich in seinem Vortrag mit Kaskadensystemen mit CO<sub>2</sub> in der Tieftiefkühlstufe und Propan im Normalkühlbereich, allerdings zunächst in einem viel kleineren Leistungsbereich als in den vorangegangenen Vorträgen. In Dänemark ist diese Entwicklung gefördert durch die Kältemittelsteuer für alle HFKW und deren Verwendungsverbot ab 2006. Die beschriebenen Anlagen für die Tieftiefkühlung sind mit einem Propan-Sole-System für die Normalkühlung gekoppelt. Die erste ist für einen kleinen Supermarkt ausgeführt. Durch diesen Anwendungsbereich sind spezifische Bedingungen gegeben, die sowohl vom Supermarktbetreiber als auch vom Kälteinstallateur verursacht sind und die man für solche Anwendungen auch verallgemeinern kann. Das sind einerseits die geringen zulässigen Investitionskosten und der geringe Energieverbrauch, andererseits

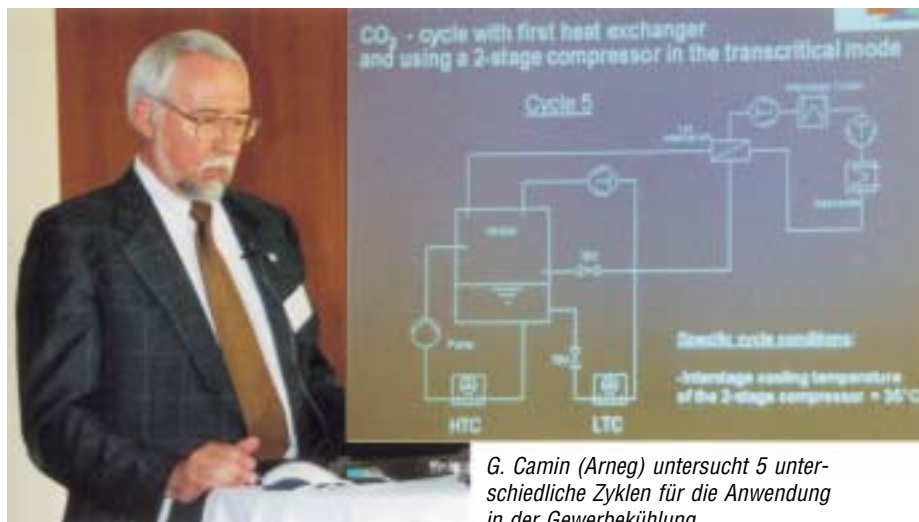


Holger König (Sulzer Escher Wyss) zeigt den Kostenvergleich verschiedener Anlagenkonfigurationen, bei dem die NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>-Variante am besten abschneidet

rerseits die Beibehaltung gewohnter Installationstechniken, sowie die Verwendung ungefährlicher und möglichst einheitlicher Kältemittel für alle Kühlfälle.

Die Betriebsdrücke der Versuchsanlage liegen bei 12,6 bar (Propan) und 32 bar (CO<sub>2</sub>). Der Propaneinsatz wurde wegen der erforderlichen Beibehaltung der Kupferrohrtechnik bevorzugt. Im Propankreislauf konnte die Anschlußleistung von ursprünglich 8,7 kW (R 12) auf 7,1 kW gesenkt werden, während der CO<sub>2</sub>-Kreislauf energetisch neutral zur Direktverdampfung mit R 502 ist. Die Anwendung des CO<sub>2</sub> als direktverdampfendem Kälteüberträger erspart die Soleanwendung im Tiefkühlkreis, wenn man dafür giftiges oder brennbares Kältemittel anwenden müßte. Eine Stillstandskühlanlage erübrigt sich im Supermarkt, da die Anlagen ununterbrochen in Funktion sind. Für den Havariefall werden portionsweise abblasende Sicherheitsventile angewendet, die immer nur so viel CO<sub>2</sub> abblasen, wie für die Einhaltung der Druckgrenze erforderlich ist. Dadurch kann bei schneller Reparatur ein größerer Füllungsverlust verhindert werden. Die 30 % höheren Installationskosten sind dem Prototypcharakter der Anlage geschuldet. Es wird eingeschätzt, daß man zukünftig mit 10 bis 15 % Mehrkosten auskommen kann. Es kann geschlußfolgert werden, daß CO<sub>2</sub> sehr gut für die Tiefkühlstufe in Supermärkten geeignet ist und daß man dabei auch ein indirektes System mit Eisbrei in Betracht ziehen sollte. R 404A ist in Dänemark keine Perspektive, da dieses Kältemittel zusätzlich besteuert wird und künftig auch auf der Verbotsliste steht.

Weitere Themen des Vortrages von Kaufeld waren die transkritischen Anwendungen in CO<sub>2</sub>-Brauchwasserwärmepumpen und in einer Transportkälteanlage, für die jeweils günstige Werte für den Energieverbrauch ermittelt werden konnten.



G. Camin (Arneg) untersucht 5 unterschiedliche Zyklen für die Anwendung in der Gewerbekühlung

Das war auch gleich die Überleitung zu den Themen der transkritischen Anwendung des CO<sub>2</sub>, die ja eigentlich der ursprüngliche Anlaß für die Renaissance dieses Kältemittels war, jetzt aber von der subkritischen Anwendung hinsichtlich des Umsetzens der Entwicklungsergebnisse in die praktische Anwendung überflügelt wird.

Der nächste Vortrag war dann auch betitelt mit „Untersuchungen an einer zweistufigen CO<sub>2</sub>-Kälteanlage bei transkritischer Anwendung für die Gewerbekälte“ und wurde von G. Camin und A. Veronidini dargeboten. Sie stehen für das Unternehmen ARNEG SPA, Italien, das dieses Marktsegment bedient. Zunächst handelt es sich um theoretische Untersuchungen zur Gestaltung des effektivsten Systems, die gemeinsam mit dem das Seminar veranstaltenden FKW erarbeitet worden sind. Vergleiche wurden mit R 134a- und R 22-Anlagen durchgeführt. Für die Saugleitungsdurchmesser wurde bei –30 °C Verdampfung und für 5,8 kW Kälte-

leistung 14 mm gegenüber dem für R 134a von 42 mm ermittelt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Werte aus den strömungstechnischen Parametern berechnet wurden und die Hinweise aus den Vorträgen von Mosemann und König, dieses Ergebnis praktisch nicht auszuschöpfen, nicht berücksichtigt.

Es wurden verschiedene Grundkonzeptionen von zweistufigen transkritischen Anlagensaltungen verglichen:

- mit Zwischenbehälter,
- mit innerem Wärmeübertrager, in der Saugleitung 2. Stufe bzw. 1. Stufe,
- mit beiden inneren Wärmeübertragern,
- mit innerem Wärmeübertrager für die 2. Stufe und mit einem zweistufigen Hochdruckverdichter

Die letzte Version führt zum besten COP-Wert, der beim Hochdruck von 85 bis 90 bar ca. 2,3 beträgt und der auch am nächsten an den Werten des R 22-Systems liegt (je nach Ausführung und Lastverteilung Tief- bzw. Normalkühlung bis 2,5). Die Einflüsse der Druckverluste wurden rechnerisch untersucht und eine Versuchsanlage für die optimale Ausführung konzipiert. Nun geht es an die praktische Umsetzung des erreichten Erkenntnisstandes!

Für die Realisierung der im Rahmen des Seminars vorgestellten und so mancher anderer schon bekannt gewordenen CO<sub>2</sub>-Anwendung werden geeignete Komponenten benötigt. Neben den schon erwähnten Schraubenverdichtern wurden dazu in je einem Vortrag die Hubkolbenverdichter, die Wärmeübertrager und die Regelungselemente vorgestellt, teilweise in spezifischer Anwendung.



Dr.-Ing. M. Kauffeld (DTI) favorisiert das CO<sub>2</sub> für die Zukunft, ohne es aber zum Allroundkältemittel zu erklären

**Dr.-Ing. Harald Kaiser** stellte den erreichten Entwicklungsstand der Hubkolbenverdichter für unter- und überkritische CO<sub>2</sub>-Anwendungen der **Bock GmbH & Co. Kältemaschinenfabrik** dar. Frühzeitig schon hat sich das Unternehmen der Verdichterentwicklung für CO<sub>2</sub> gewidmet und kann heute auf ein bemerkenswertes Ergebnis zurückblicken, ohne zu vergessen, welche Probleme zur Verbesserung der Parameter noch zu lösen sind. Für unterkritische Anwendungen sind 40 bar der mögliche Betriebsdruck, auch mit Rücksicht auf R 410A-Anwendungen. Konstruktiv wurden stabilere Triebwerke für die größeren Lagerkräfte und leistungsfähigere Ölpumpen vorgesehen und auch das Öl selbst durch höhere Viskosität tragfähiger gemacht. In mehreren Stufen wurden die Verdichter für überkritische Anwendungen auf einen seriennahen Entwicklungsstand gebracht. Das Gehäuse wurde verstärkt und aus Stahlguß ausgeführt. Auf der Hochdruckseite kann mit 300 bar abgedrückt werden. Die Ventilentwicklung führte zu Ringplattenventilen mit geringen Arbeitsverlusten. Aus der Indizierung des Arbeitsraumes ergab sich die Schlußfolgerung, daß die Ventile bis 3000 U/min gut arbeiten. Darüber hinaus sind noch verbesserte Auslegungen erforderlich.

Es steht immer wieder die Frage nach dem Aufwand-Nutzen-Verhältnis solcher vorbildlicher Entwicklungen, wie sie Kaiser am Beispiel der Verdichter vorgestellt hat. Kurzfristig ist diese Frage nicht positiv zu beantworten. Deshalb ist besonders die Aussage von ihm bemerkenswert, daß es auch ein Ausdruck des Umweltbewußtseins ist, sich diesen zukunftssträchtigen Aufgabenstellungen zu widmen.

Neben den Verdichtern hat sich, insbesondere bei Fahrzeugklimaanlagen, eine echte Entwicklung bei den Wärmeübertragern für CO<sub>2</sub> vollzogen. Zu diesem Thema gab es den Vortrag von **Dr. Frank Vetter** von der **Modine Europe GmbH** für



*Dr. Vetter erläutert (Modine Europe) die Festigkeitsberechnung an den extrudierten Aluminiumelementen, deren Zylindrische Kanäle die Rohre darstellen*

den Anwendungsfall der Fahrzeugklimatisierung. Ausgangspunkt für die Gestaltung der Verdampfer und Gaskühler ist die schon erwähnte Möglichkeit der Verwendung deutlich geringerer Rohrdurchmesser, in den vorgestellten Lösungen handelt es sich dabei um extrem niedrige Werte von 0,8 bzw. 2 mm, ohne daß der prozeßseitige Druckverlust zu groß wird. Durch die geringeren Außenabmessungen der Rohre wird bei sonst gleichen Maßen für die Wärmeübertrager auch der luftseitige Druckverlust geringer, oder man kann Geräte mit größerer Leistungsdichte realisieren. Die erreichten Wärmedurchgangszahlen betragen bis 7000 W/m<sup>2</sup>·K.

Die Rohrelemente sind durch Aluminiumextrusion hergestellt. Für den Gaskühler befinden sich in einer Aluminiumplatte von ca. 1,7 × 16,5 mm Querschnitt 11 zylindrische Kanäle als die Rohre, mit einem Durchmesser von 0,8 mm. Bei diesen Abmessungen werden auch die hohen Drücke auf der Gaskühlerseite beherrscht, obwohl die Fragen der Materialermüdung

des Aluminiums aber im Zusammenhang mit der detaillierten Festigkeitsberechnung noch weiter untersucht werden müssen. Die einzelnen Aluminiumstränge werden außen mit einer vergrößerten Oberfläche durch gewellte und profilierte Bleche versehen, die den Abstand zwischen je zwei Strängen bestimmen und mit diesen fest verlötet sind. Auch die Verbindung mit den Sammelrohren am Ein- und Ausgang erfolgt durch Löten. Der Einfluß dieser Aluminium-Löttechnologie auf die Materialeigenschaften ist schwer bestimmbar und bedarf ebenfalls weiterer Forschungen. Beim Verdampfer spielt das insofern eine herausragende Rolle, weil er bei der üblichen Direktverdampfung zum sicherheitsrelevanten Bauteil wird. Der Vergleich der Massen der Wärmeübertrager zwischen der 134a-Ausführung und der für CO<sub>2</sub> ergibt 4,3 kg gegen 4,5 kg, was man als gleichwertig bezeichnen kann.

Im Vortrag wurde die CO<sub>2</sub>-Klimaanlage für einen BMW 328i und die damit erreichten Testergebnisse im Vergleich zu R 134a vorgestellt. Die Leistungen sind als gleichwertig zu betrachten, wobei allerdings der positive Effekt auftritt, daß die Temperatur-Absenkungsgeschwindigkeit bei CO<sub>2</sub> größer ist. Da CO<sub>2</sub> auch ein für Wärmepumpen gut geeignetes Kältemittel ist, konzentriert sich die weitere Entwicklung bei Modine auf eine kombinierte Klimaanlagen-Wärmepumpen-Schaltung, da bei den modernen Motoren die Motorverlustwärme für die Heizung des Fahrzeuges nicht mehr ausreicht und neue Lösungen dafür gefunden werden müssen.

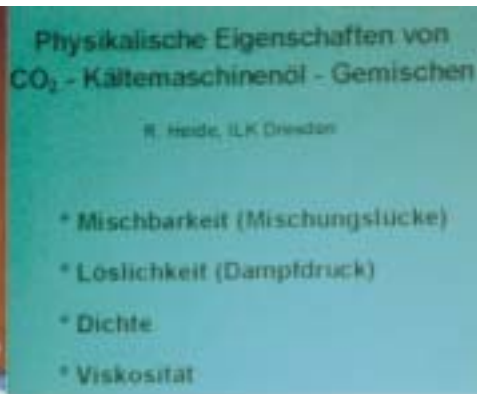


*Dr.-Ing. H. Kaiser (Bock) hat die Verdichterentwicklung bei Bock wesentlich mit gestaltet*

Mit regelungstechnischen und weiteren Anlagenkomponenten sowie Prozeßgestaltungsfragen der CO<sub>2</sub>-Anwendungstechnik befaßte sich **Dr.-Ing. Jürgen Süß** von **Danfoss A/S**, Nordborg. Mit der Feststellung, daß alle Komponenten für die bisherige Technik auch gehen, wenn CO<sub>2</sub> bei den ähnlichen oder gleichen Druckbedingungen wie bisher angewendet wird, gibt er die gegenwärtige Praxis der Sicherung des Komponentenbedarfes wider. Danfoss erhält dazu kaum Rückinformationen, denn das Geschäft läuft im wesentlichen über die Händler. Selbst die Molekularsiebe der Filtertrockner sind unverändert verwendbar. Deshalb stellen die Niederdruckanwendungen keine Herausforderung an die Komponenten dar. Einschränkung müßte vielleicht der Verdichter mit Rücksicht auf das Ölproblem genannt werden.

Aber CO<sub>2</sub> ist kein Universalkältemittel, seine bevorzugten Anwendbarkeitsfelder sind gefunden und werden beachtet. Der überkritische CO<sub>2</sub>-Prozeß wird im optimalen Fall doppelt geregelt, nämlich die Überhitzung und der Hochdruck unter Verwendung eines Sammlers. Aber auch der Niederdruck oder die Gaskühler-Austrittstemperatur können Regelgrößen sein. Der Entwicklung der entsprechenden Regelventile auf der Basis der bisherigen Produkte wurde bei Danfoss begonnen. Gute Ergebnisse gibt es mit den elektronischen CO<sub>2</sub>-Prototypventilen, da durch den Regler jede gewünschte Ventilkennlinie erreichbar ist.

Ein gewisses Potential zur thermodynamischen Verbesserung des Prozesses sieht Süß in der Nutzung der Expansions-



*Rudolf Heide (ILK) gibt wichtige Hinweise zur Ölauswahl für CO<sub>2</sub>-Kälte- und Klimaanlage*

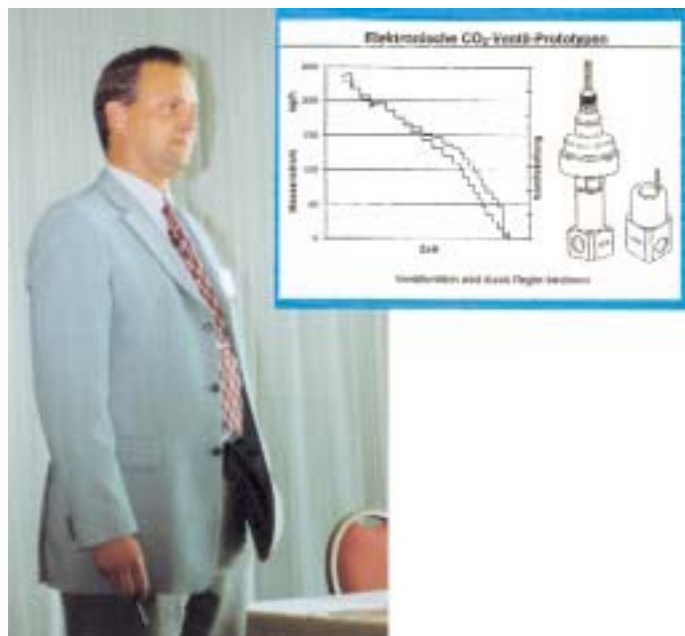
arbeit in einer Entspannungsmaschine. Dabei schätzt er das Potential der gewinnbaren Arbeit eher begrenzt und nennt 25 % als mögliche höchste Werte. Bei -15/+30 °C tritt kein Effekt bei CO<sub>2</sub> mehr ein. Dagegen ist der Realisierungsaufwand für eine funktionierende Expansionsmaschine mit isentroper arbeitsleistender Expansion nicht unerheblich und es ist eine realistische Kosten-Nutzen-Betrachtung erforderlich. Produkttaugliche Konzepte für eine Nutzung der Entspannungsarbeit sind jedoch bis heute nicht gefunden worden. Insofern darf Süß die weitere Arbeit auf diesem Gebiet auch als eine eigene Aufgabenstellung betrachten.

Zu den Komponenten der Anlage gehört im weitesten Sinne auch das Öl, wenn es auch selten explizit in Erschei-

nung tritt, sondern im Verdichter integriert ist und in der gesamten Anlage wirkt. Bis es dahin kommt, sind aber alle Bedingungen dafür abzuklären. Einen Beitrag dazu lieferte **Dr.-Ing. Rudolf Heide, ILK** Dresden, mit seinem Beitrag zu den physikalischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub>-Kältemaschinenöl-Gemischen. Es wurden Mischungslücke, Dampfdruck, Dichte und Viskosität für 5 verschiedene Öle (Mineralöl, Polyalkylbenzen, Polyalphaolefin, Polyolester und Polyalkylglykol) untersucht. Dabei waren die gezeigten Entmischungsvorgänge als bewegte Bilder beeindruckende Anschauungsobjekte. Das untersuchte Polyolesteröl ist im Bereich von +20 bis -30 °C voll mischbar, was den Bedingungen in den transkritischen Anwendungen entspricht. Oberhalb 30 °C findet eine Entmischung statt, was jedoch im Bereich geringen Ölanteils liegt und deshalb während des Verdichterbetriebes im Kurbelgehäuse unberücksichtigt bleiben kann. Vorsichtsmaßnahmen sind aber für die Stillstandszeit erforderlich, wenn die Füllmenge mit CO<sub>2</sub> im Verhältnis zur Ölmenge entsprechend groß ist. Die Viskositätserniedrigung durch Temperaturanstieg und Kältemittelbeimischung ist für die Schmierfähigkeit ein wichtiges Kriterium. Dazu wurden Ergebnisse mitgeteilt, die im Temperaturbereich von 0 bis 60 °C bei 10 % CO<sub>2</sub>-Anteil Werte der Erniedrigung auf 48 bis 78 % bedeuten.

In der Gesamteinschätzung ergeben sich folgende Wertungen für die verschiedenen Öle der Viskositätsklasse ISO VG 68:

- Mischbarkeit: POE > PAG > AB > PAO > MO
- Löslichkeit: POE > PAG > AB > PAO > MO
- Viskositätserniedrigung: AB > MO > POE > PAO > PAG



*Jürgen Süß (Danfoss) erläutert die vorteilhafte Funktion der elektronischen Einspritzventile bei der Anwendung für CO<sub>2</sub>*



*Carmen Stadtländer (FKW) stellt die Arbeitsbedingungen für CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen vor*

Die guten Erfahrungen mit Polyolesterölen in der Praxis der CO<sub>2</sub>-Anwendung werden durch diese Ergebnisse durchaus gestützt.

Zur aktuellen Entwicklungsarbeit des FKW auf dem Gebiet der Gebäudeheizung bei höheren Vorlauftemperaturen mit CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen sprach abschließend **Carmen Stadtländer** vom **FKW**. Für Radiatorenheizung

sind Vorlauftemperaturen bis 55 °C erforderlich, bei älteren Installationen bis 70 °C. Das sind günstige Bedingungen für CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen. Dafür wurden mehrere transkritische Kreislaufvarianten untersucht, vom einstufigen Prozeß mit innerem Wärmeübertrager bis zum zweistufigen Prozeß mit Wärmeabgabe in zwei Gaskühlern und mit zusätzlicher Unterkühlung nach dem zweiten Gaskühler. Diese Ausführung ergibt ein um 25 % besseres COP als die Grundschialtung. Der Berechnung liegt eine Luft-Wasser-Ausführung zu Grunde mit Gaskühler-Temperaturdifferenz 5 K, Verdampfer-Eintrittstemperaturdifferenz 8 K, Überhitzung am Verdampferaustritt 8 K. Der Prototyp für die Messungen wurde zunächst nach der einstufigen Variante ausgeführt und als optimale Temperaturspreizung für den Heizkreislauf wurde 93/40 °C gefunden.

Die Jahresarbeitszahl konnte zu 2,7 ermittelt werden, und Marktchancen werden beim Austausch von bestehenden Ölheizungsanlagen in Deutschland und im Export gesehen.

Die weitere Arbeit erfolgt im Förderprogramm COHEPS II mit einer Wärmepumpe in Splitausführung, wobei der Gaskühler-Verdichterblock als Innenteil angeordnet ist. Der Verdichter wird ein Halbhermetik von Dorin sein.

Der Projektstand ist durch die Schaffung aller Bedingungen für den baldigen Feldtest gekennzeichnet, so daß mit Meßergebnissen nach der kommenden Heizperiode zu rechnen ist. Eine wichtige Aufgabe wird dabei die Ermittlung der Jahresarbeitszahl sein.

Zum Schluß des Seminars konnte der Technische Leiter des FKW und Seminarleiter Rudolf Heide allen Mitwirkenden für die ausführlichen Informationen zu Ihren Arbeiten in der entwicklungssträchtigen Thematik danken. Die Teilnehmer werden nicht bereuen, den Weg nach Hannover gefunden zu haben. Und wer kompetente Beratung oder sonst eine Hilfe braucht, wird sie auch dort finden. Davon ist überzeugt

*U. A.*