

Workshop mit Projektergebnissen

CO₂ als Kältemittel – Chance oder Risiko?

Jürgen Süß, Augustenborg, Dänemark

zum Autor

Dr.-Ing.
Jürgen Süß
Zentrale Produktentwicklung der Firma
Danfoss A/S,
Nordborg
(Dänemark)



Am 18. März 1999 stellte die Projektgruppe des von der Europäischen Kommission geförderten COHEPS-Projektes ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit vor. Diese Diskussion wurde darüber hinaus durch Fachbeiträge aus der Industrie sinnvoll ergänzt. Das COHEPS-Projekt, das mit dieser Veranstaltung nach drei Jahren Laufzeit offiziell beendet war, hatte die Untersuchung von Wärmepumpensystemen mit CO₂ (R 744) als Kältemittel zum Ziel.

Der eintägige Workshop, der den Titel „CO₂-Technology in Refrigeration, Heat Pump and Air Conditioning Systems“ trägt, wurde vom Informationzentrum für Wärmepumpen IZW e.V. in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen FKW GmbH, beides Hannover, organisiert. Als Co-Sponsoren traten die International Energy Agency IEA sowie das International Institute of Refrigeration IIR auf.

Zu dem Workshop waren nahezu 80 Teilnehmer aus dem europäischen In- und Ausland angereist, um sich in den 10 Beiträgen über den genannten Themenkreis zu informieren.

Das COHEPS-Projekt und seine Ziele

Das COHEPS-Projekt, dessen Name von CO₂ HEat PumpS abgeleitet wurde und das den offiziellen Titel „Energy efficient and environmental friendly heat Pumping systems using CO₂ as working fluid“ (Con-

tract Nr. JOE3-CT95-0006) trägt, begann im Februar 1996 mit einer Laufzeit von drei Jahren und war mit dem Workshop in Mainz beendet.

Die Koordination des Projektes war von der Energie AG, Oberösterreich übernommen worden. Als Partner im Projekt traten die folgenden Institutionen auf, die sich schwerpunktmäßig jeweils auf bestimmte Wärmepumpen-Anwendungen der CO₂-Technologie konzentrierten:



Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Laue begrüßt als Geschäftsführer des IZW e.V., das den Workshop federführend organisiert hat, nahezu 80 Teilnehmer aus dem In- und Ausland



- Technische Universität Graz, Österreich
- Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen, FKW GmbH, Hannover
- SINTEF Energy, Trondheim, Norwegen
- Universität Essen
- Katholische Universität Leuven, Belgien

Die Projektpartner wurden bei ihrer Arbeit durch die Teilnahme von Industrieunternehmen aus den Bereichen der Anlagentechnik und der Komponentenherstellung unterstützt.

Bei der Verwendung von CO₂ als Kältemittel in Kompressionskältemaschinen ist es möglich, daß sich Drücke von bis zu 150 bar ergeben, während bei den Druckgastemperaturen selten Werte erreicht werden, die die herkömmlicher Kältemittel übertreffen. Das Auftreten der hohen Drücke bedingt die konstruktive Anpassung der Komponenten einer CO₂-Anlage.



Dipl.-Ing. Wilhelm Ritter, Energie AG, Oberösterreich hatte die Koordination des COHEPS-Projektes übernommen

Bei einer Wärmeabgabe entlang einer überkritischen Isobaren, wie sie beim CO₂-Prozeß auftreten kann, liegt anders als bei der Verflüssigung von Kältemitteln ein erhebliches Temperaturgefälle vor. Während der Wärmeaufnahme des Prozesses ist dies nicht der Fall, da, wie bei herkömmlichen Kältemitteln, eine Verdampfung stattfindet.



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Horst Kruse, FKW GmbH leitet zu dem Vortrag über die Forschungsergebnisse des COHEPS-Projektes ein, die am FKW erarbeitet wurden

Folglich eignet sich der CO₂-Prozeß, der den kritischen Punkt des thermischen Zustandsgebietes einschließt, besonders für Wärmepumpenanwendungen, bei denen die Wärmesenke eine große Temperaturpreizung aufweist, während die Wärmequelle eher eine konstante Temperatur behält.

Im Rahmen des COHEPS-Projektes sind entsprechende Anwendungsmöglichkeiten untersucht worden, und im folgenden werden die Ergebnisse der wesentlichen Aktivitäten zusammengefaßt.

Darüber hinaus wird der Inhalt der das Programm ergänzenden Fachbeiträge aus der Industrie dargestellt.

Thermodynamischer Prozeß und Stoffdaten

Dr. Rene Rieberer, heute SINTEF Energy und während der Projektlaufzeit beim Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz beschäftigt, begann die Reihe der Vorträge mit einem Überblick über die Stoffeigenschaften von CO₂. Die Untersuchung dieses Bereiches wurde innerhalb des Projektes von der TU Graz koordiniert.

Obwohl die thermodynamischen Stoffdaten von CO₂ seit langem aus verschiedensten Anwendungen verfügbar sind, ist es nach Aussage von Dr. Rieberer bislang kaum möglich, mit den bekannten Model-



Dr. Rene Rieberer, heute SINTEF Energy, Norwegen und während der Projektlaufzeit beim Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz, Österreich beschäftigt, begann die Reihe der Vorträge mit einem Überblick über die Stoffeigenschaften von CO₂

len das Wärmeübertragungsverhalten von CO₂ mit hinreichender Genauigkeit vorherzusagen. Besonders bei Anwesenheit von Schmiermittel ist experimentell ein starker Einfluß auf den Wärmeübergangskoeffizienten nachgewiesen worden, der sich mit theoretischen Modellen nicht beschreiben läßt, und weitere Untersuchungen erfordert.

Die theoretische Darstellung von Druckverlusten stellt hingegen, wie die Berechnung der Stoffeigenschaften, keine besondere Schwierigkeit dar und die bekannten Modelle sind zu ihrer Beschreibung gut geeignet.

Retrofit bestehender Heizungsanlagen mit CO₂-Wärmepumpen

Dipl.-Ing. Henrick Brandes, FKW GmbH, stellte die Aktivitäten des Forschungszentrums für Kältetechnik und Wärmepumpen (FKW GmbH) auf dem Workshop vor.

Untersucht wurde vom FKW das Anwendungspotential der CO₂-Wärmepumpentechnik zur Beheizung älterer Wohngebäude mit bestehenden Wärmeverteilungssystemen auf der Basis von Radiatoren, die ursprünglich für hohe Vorlauftemperaturen ausgelegt wurden. Diese Anwendung ist für den CO₂-Prozeß günstig, da ungewöhnlich hohe Vorlauftemperaturen

ren zu realisieren sind, während die Rücklauftemperaturen vergleichsweise gering bleiben, womit sich eine hohe Temperaturspreizung ergibt.

Brandes berichtete über die Untersuchung von zwei Wärmepumpensystemen. Eines nutzte Luft als Wärmequelle, während beim anderen Wasser bzw. Sole Verwendung fand. Die Wärmesenke war jeweils ein Solekreislauf, der den Heizwasserkreislauf der betrachteten Anwendung darstellte.

Mit den Systemen wurden in Abhängigkeit der Wärmequellentemperatur zwischen -5 °C und 10 °C Wärmeleistungszahlen von 2 bis 3,5 erzielt, wobei die Sole jeweils von 40 °C auf ca. 95 °C erwärmt wurde. Diese Werte belegten nach Aussage von Brandes die energetischen Vorteile der CO_2 -Wärmepumpe gegenüber traditionellen Wärmeerzeugungssystemen.

Nach den Untersuchungen des FKW ist die Entwicklung eines Regelungskonzeptes zur Erhaltung des optimalen Hochdruckes beim CO_2 -Prozeß, wie es zum Erreichen der maximalen Prozeßgüte häufig vorgeschlagen wird, bei der betrachteten Anwendung nicht erforderlich. Statt dessen sollte besonders im Bereich der Verdichter, aber auch bei der Auslegung der Wärmeaustauscher weiter gearbeitet werden.

Als kommende Aktivitäten in dem vom FKW betrachteten Anwendungsbereich werden Feldversuche genannt.

CO₂-Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung

Prof. Hermann Halozan, Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz, Österreich, bezog sich in seinem Vortrag ebenfalls auf die Anwendung der CO_2 -Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung.

Auch Prof. Halozan wies darauf hin, daß die Verwendung von CO_2 als Kältemittel in Wärmepumpen nur energetische Vorteile mit sich bringt, wenn die beabsichtigte Anwendung zum Prozeßverlauf paßt, d. h. wenn eine hohe Temperaturdifferenz während der Wärmeabfuhr zu realisieren ist.

Die von der TU Graz untersuchte Anwendung zielte auf ein System zur Erwärmung von Luft zur Beheizung von Niedrigenergiehäusern mit einem Wärmebedarf von ca. 10 kW. Neben der Reduzierung des Primärenergiebedarfs zur Gebäudebeheizung, die sich aus dem Einsatz einer CO_2 -Wärmepumpe ergibt, ermittelte Prof. Halozan eine Reduzierung der Installations-



Prof. Hermann Halozan, Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz, Österreich, bezog sich in seinem Vortrag ebenfalls auf die Anwendung der CO_2 -Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung

kosten gegenüber einem traditionellen Beheizungssystem.

Ein Vergleich von Wärmepumpensystemen mit CO_2 bzw. R 134a ergab für den betrachteten Fall mit Wärmeleistungszahlen der CO_2 -Anlage von 4,6 Vorteile von ca. 20 % gegenüber der Verwendung von R 134a als Kältemittel.

Gewerbliche Wärmepumpen zur Brauchwassererwärmung und Wärmerückgewinnung

Dr. Petter Neksa, Sintef Energy, Norwegen, berichtete auf dem Workshop über die von Sintef Energy betrachtete Anwendung von CO_2 -Wärmepumpen, die darin besteht, Brauchwasser für gewerbliche Zwecke zu erwärmen. Die Wärmeleistung der betrachteten Anlage wurde mit ca. 50 kW angegeben.

Nach Dr. Neksa ist es möglich, 20 % des bestehenden Wärmebedarfs in Norwegen mit dem von ihm beschriebenen Wärmeerzeugungssystem abzudecken.

Je nach der Temperatur der Wärmequelle, die im Rahmen der experimentellen Untersuchungen von -20 °C bis 10 °C variiert wurde, ergaben sich bei der Wassererwärmung von 10 °C auf 60 °C Wärmeleistungszahlen zwischen 3 und 5. Damit sieht der Autor gegenüber dem bislang eingesetzten System der elektrischen Direktbeheizung ein Einsparpotential an elektrischer Energie von ca. 75 %.

Dr. Neksa wies in seinem Vortrag weiterhin auf die Bedeutung eines inneren Wärmeaustauschers hin, der besonders bei geringen Druckverhältnissen um 2,5 die Prozeßgüte der Wärmepumpe günstig beeinflusst.

Die von Sintef Energy durchgeführten Untersuchungen belegen eine hohe Prozeßgüte der Anlagenkomponenten. Besonders bei der Wärmeübertragung, aber auch bei der Verdichtung sind energetische Vorteile gegenüber der Verwendung anderer Kältemittel nachgewiesen worden, ohne daß diese näher beziffert wurden.



Dr. Petter Neksa, Sintef Energy, Norwegen, erläuterte auf dem Workshop die von Sintef Energy untersuchte Anlagenschaltung zur Erwärmung von Brauchwasser für gewerbliche Zwecke

Den größten Handlungsbedarf sieht Dr. Neksa im Bereich der Verdichterentwicklung für die von ihm betrachtete Anwendung, während die Verfügbarkeit geeigneter Wärmeaustauscher weniger kritisch ist und mit Regelventilen aus der Verfahrenstechnik auch geeignete Expansionsorgane zur Verfügung stehen.

Dr. Neksa berichtete weiter, daß Sintef Energy bereits vom kommenden Sommer an plante, in Feldversuchen die Anwendbarkeit von CO_2 als Kältemittel und die sich daraus ergebenden Vorteile endgültig zu dokumentieren.

Wärmepumpen zur Anwendung in Trocknungsprozesse

Im anschließenden Vortrag stellte Dipl.-Ing. Ernst Ludwig Schmidt vom Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität Essen die Möglichkeit des Einsatzes von CO₂-Wärmepumpen in Trocknungsprozessen vor. Am Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik wurde ein gewerblicher Wäschetrockner auf den Betrieb mit einer CO₂-Wärmepumpe umgerüstet, wobei 12 kW elektrische Heizelemente zu ersetzen waren.



Dipl.-Ing. Ernst Ludwig Schmidt, Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Universität Essen, stellte die Möglichkeit des Einsatzes von CO₂-Wärmepumpen in Trocknungsprozessen vor

Auch für diese Anwendung ist der CO₂-Prozeß günstig, da beim Erwärmen der Luft, die zur Trocknung der Trommel zugeführt wird, ein erhebliches Temperaturgefälle zu überwinden ist.

Durch die erwähnte Charakteristik Wärmeabfuhr des CO₂-Prozesses lassen sich die Exergieverluste bei der Wärmeübertragung minimieren, was sich letztlich als Einsparung von Primärenergie auswirkt. In den Versuchen mit der CO₂-Wärmepumpe wurden Wärmeleistungszahlen von 5 bis 6 über den gesamten Zeitraum der Trocknung erzielt, was nach Schmidt das Potential dieser Technologie gegenüber der elektrischen Direktbeheizung eindrucksvoll belegt.

Auch beim Vergleich des Energieverbrauchs der CO₂-Wärmepumpe mit herkömmlichen Wärmepumpen, die beispielsweise mit R 134a arbeiten und die prinzipiell auch für diese Anwendung in Betracht kommen, schneidet die CO₂-Technologie günstiger ab.

Ähnlich wie seine Vorredner stellt auch Schmidt die Durchführung von Feldversuchen in direkter Zusammenarbeit mit entsprechenden Unternehmen in Aussicht.

CO₂ – ein sicheres Kältemittel?

Ein weniger anwendungsbezogener, sondern eher genereller Aspekt der CO₂-Technologie wurde von der Katholischen Universität Leuven in Belgien untersucht und von Prof. Jan Berghmans auf dem Workshop diskutiert.

Eingangs erläuterte Prof. Berghmans das Verfahren der Risikoanalyse, die besagt, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Ereignisses und der Effekt zusammen betrachtet werden müssen. Aus diesen beiden Parametern läßt sich das Risiko, das mit einer bestimmten Technologie verbunden ist, abschätzen.

Die Schwierigkeit der Wahrscheinlichkeitsabschätzung bestimmter Ereignisse liegt bei neuen Technologien stets darin, daß es in der Vergangenheit nicht genug Unfälle gab, um eine zuverlässige Datenbank aufstellen zu können.

Üblicherweise werden daher Wahrscheinlichkeiten aus technologisch vergleichbaren Bereichen herangezogen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Leckage an einer CO₂-Wärmepumpe beträgt demnach 4,1 10⁻⁵ pro Jahr und für eine plötzliche Explosion noch 10⁻⁶ pro Jahr.

Als weitere Einflußgröße zur Berechnung des Risikos, das mit einer Technologie verbunden ist, wird der Effekt des Ereignisses abgeschätzt. Kommt es beispielsweise zu einer plötzlichen Explosion einer Komponente einer CO₂-Anlage und entspannt sich das Gas ausgehend von 100 bar und einer Temperatur von 120 °C, so wird eine Energie von 180 kJ/kg freigesetzt. Diese Energie ist 3 mal so groß, wie diejenige, die bei der Explosion einer Hochdruckkomponente einer R 22-Anlage freigesetzt wird. Kommen Kohlenwasserstoffe als Kältemittel zum Einsatz und tritt ein ähnliches Ereignis ein, so ist bei der Annahme der Zündung des Gemisches die freigesetzte Energie pro kg 40 mal so groß, wie bei der Betrachtung von CO₂.

In seinem Vortrag gab Prof. Berghmans für verschiedene Anlagenschaltungen, Füllmengen, Aufstellungsorte und Entfernungen vom Explosionsort das Risiko an,



Prof. Jan Berghmans, Katholische Universität Leuven, Belgien erläuterte das Verfahren der Risikoanalyse und wandte sie auf die Verwendung von CO₂ als Kältemittel an

durch den Einsatz einer CO₂-Anlage tödlich verletzt zu werden. Als Fazit hielt er fest, daß dieses Risiko mit dem vergleichbar ist, das von einer R 22-Anlage ausgeht. Besonders dann, wenn die Füllmenge der CO₂-Anlage begrenzt wird und sie im Außenbereich aufgestellt wird, sieht Prof. Berghmans kein besonderes Risiko in dieser Technologie.

Pkw-Klimatisierung

Dipl.-Ing. Christoph Walter berichtete anschließend über die Arbeiten der Firma Behr GmbH & Co auf dem Gebiet der Pkw-Klimatisierung mit CO₂ als Kältemittel.

Nach Aussage von Walter ist es durch den Einsatz von CO₂ statt R 134a in diesem Anwendungsbereich möglich, die erforderliche Abkühlzeit der Zuluft zur Fahrgastzelle zu halbieren. Dieser Faktor wirkt sich positiv auf den Komfort, aber auch auf die Sicherheit aus. Möglich wird diese Verbesserung durch die bis zu 15 % höhere Kälteleistung der CO₂-Anlage bei gleichem Bauvolumen einer R 134a-Anlage. Die höhere Kapazität der CO₂-Anlage resultiert letztlich aus den hohen Prozeßdrücken, die sich auch auf die Kälteleistungszahl der Anlage positiv auswirken. Bei der Firma Behr wurde eine Verbesserung der Kälteleistungszahl von 20 % gegenüber heutigen Standartanlagen mit R 134a ermittelt.

Weitere Aspekte, die für den Einsatz von CO₂ als Kältemittel zur Pkw-Klimatisierung sprechen, sind nach Walter die Umweltverträglichkeit von CO₂, die ein Recycling-System überflüssig werden läßt, sowie die Tatsache, daß CO₂ nahezu unbegrenzt verfügbar ist und keine besonderen Produktionsstätten erforderlich sind.

Transportkälte – Containerkühlung

Ebenfalls auf mobile Kälteanwendungen mit CO₂ bezog sich Dr.-Ing. Michael Kauffeld, DTI, Aarhus, Dänemark in seinem Vortrag, indem er das Anwendungspotential zur Containerkühlung abschätzte.

Dr. Kauffeld wies einleitend zu seinem Vortrag darauf hin, daß von mobilen Kälteanlagen ein hohes Risiko von Kältemittelleckage ausgeht und daher besonders in diesen Bereichen nach alternativen Technologien gesucht werden muß.



Dr.-Ing. Michael Kauffeld, DTI, Aarhus, Dänemark bezog sich in seinem Vortrag auf mobile Kälteanwendungen mit CO₂, indem er das Anwendungspotential zur Containerkühlung abschätzte

Um dies zu forcieren, plant der dänische Staat ab dem Jahre 2006 die Verwendung von fluorierten Kohlenwasserstoffen generell zu verbieten. Weiterhin soll eine CO₂-Steuer auf treibhausrelevanten

Stoffe erhoben werden, dessen Höhe sich nach dem GWP der Stoffe richtet. Für R 134a würde sich ein Betrag von ca. 40 DM/kg während für R 404A etwa 100 DM/kg zu zahlen wären.

Ausgehend von dieser Situation wurde vom DTI eine Analyse möglicher Kältemittel für die Verwendung zur Kühlung von Seecontainern durchgeführt und CO₂ als die aussichtsreichste Möglichkeit gefunden.

Nach der Studie, die vom DTI angefertigt wurde und über die Dr. Kauffeld berichtete, hat CO₂ das Potential, das heute als Lösung akzeptierte R 134a aus diesem Anwendungsbereich zu verdrängen. Als Voraussetzung zur Markteinführung dieser Technologie wurde die Verfügbarkeit geeigneter Anlagenkomponenten angegeben. Besonders im Bereich der Verdichter, die möglichst hermetisch sein sollten, besteht nach Dr. Kauffeld noch erheblicher Entwicklungsbedarf.

Wie Dr. Kauffeld weiter darstellte, arbeitet darüber hinaus das DTI intensiv an weiteren Möglichkeiten, CO₂ als Kältemittel einzusetzen. Gedacht wird dabei nicht nur an den Kompressionskälteprozeß, sondern beispielsweise auch an die Verwendung von CO₂ als Sekundärfluid.

Dorin und der CO₂-Verdichter

Ing. Fillippo Dorin, Officine Mario Dorin SPA, Firenze, Italien war vom Veranstalter des Workshops eingeladen worden, um über erste Erfahrungen zu berichten, die seit der Präsentation des ersten kommerziell verfügbaren Verdichters für CO₂ gemacht wurden.

Die Firma Dorin hatte auf der IKK 1998 einen CO₂-Verdichter der Öffentlichkeit vorgestellt und ist damit weltweit der erste Verdichterhersteller, der diesen Schritt seit dem Vorschlag der neuzeitlichen Verwendung von CO₂ als Kältemittel gemacht hatte.

Dorin erklärte, daß die Entwicklung des Verdichters vor etwa zweieinhalb Jahren auf Anfrage eines Kunden begonnen wurde. Begleitet von Sintef in Norwegen ist dann eine Reihe halbhermetischer Verdichter entstanden, die im Bereich mittlerer Verdampfungstemperaturen einstufig und bei tiefen Verdampfungstemperaturen zweistufig betrieben werden können. Als Bereich möglicher Hubvolumenströme der Verdichter gibt Dorin 1,74–5,4 m³/h an. Die Motoren der Verdichter werden nicht durch Sauggas, sondern durch Öl gekühlt.

Aufgrund des derzeit eingesetzten Produktionsverfahrens, das aufwendige Qualitäts- und Druckprüfungen umfaßt, ist von der potentiellen Kundschaft eine nicht näher angegebene Wartezeit zu akzeptie-



Ing. Fillippo Dorin, Officine Mario Dorin SPA, Firenze, Italien berichtete über erste Erfahrungen, die seit der Präsentation des ersten kommerziell verfügbaren Verdichters für CO₂ gemacht wurden

ren, da Dorin bereits zahlreiche Anfragen nach CO₂-Verdichtern vorliegen würden.

In jedem Fall, so erläuterte Dorin weiter, würden die Verdichter bis auf weiters nur für Testzwecke bzw. Prototypanlagen unentgeltlich ausgeliefert.

Konstruktionskriterien für CO₂-Verdichter

Ebenfalls mit CO₂-Verdichtern beschäftigte sich der Beitrag von Dr.-Ing. Jürgen Süß, Danfoss A/S, Nordborg, Dänemark. In dem Vortrag wurden Konstruktionskriterien für CO₂-Verdichter vorgestellt, die aus Untersuchungen abgeleitet wurden, die im Auftrag des FKW innerhalb des COHEPS-Projektes an der Universität Hannover durchgeführt wurden und an der Dr. Süß während der Projektlaufzeit beschäftigt war.

Zur Definition einer geeigneten Konstruktion von CO₂-Verdichtern wurden die relevanten Faktoren, die den indizierten Gütegrad des Verdichtungsprozesses beeinflussen, einzeln untersucht und beurteilt.

Als ein wesentliches Ergebnis wurde festgehalten, daß die Leckage am Spalt zwischen Kolben und Zylinder den Verdichtungsprozeß nennenswert beeinträch-

tigen kann. Dagegen sind die Auswirkungen von Drosselverlusten im Verdichter sowie von Wärmeübertragungsvorgängen im Zylinder von eher untergeordneter Bedeutung.

Die Minimierung der Leckage bedingt den Einsatz ölgeschmierter Dichtleisten, da diese zu einer optimalen Abdichtung eines Spaltes führen. Weiterhin ist die Dichtleiste möglichst kurz auszuführen. Diese Anforderungen lassen sich am ehesten mit Hubkolbenverdichtern beim Einsatz von Kolbenringen erfüllen, während sich Rotationskolbenverdichter nicht für den Einsatz als CO₂-Verdichter eignen. Nach den Untersuchungen ist die höchste Prozeßgüte eines Hubkolbenverdichters für CO₂ bei einer geringen Zylinderanzahl und einem recht hohen Hub-zu-Bohrungsverhältnis von 1,2 bis 1,6 zu erwarten.

Dr.-Ing. Jürgen Süß, Danfoss A/S, Nordborg, Dänemark stellte in dem Vortrag Konstruktionskriterien für CO₂-Verdichter vor



Im Bereich des Triebwerks ist eine eingehende Betrachtung der Lagerstelle zwischen Kolben und Kolbenstange bzw. Pleuel erforderlich, da die Abmessung dieses Lagers durch den Kolbendurchmesser begrenzt ist und aufgrund der auftretenden Drücke hohe Flächenbelastungen vorliegen.

In der anschließenden Diskussion des Vortrags erläuterte Dr. Süß den Standpunkt von Danfoss und merkte dabei an, daß es dort derzeit keine Aktivitäten im Bereich der Konstruktion von hermetischen CO₂-Verdichtern gibt, man aber derzeit aktiv an der Entwicklung eines Expansionsorgans arbeitet.

Fazit

Prof. Horst Kruse faßte in seiner Funktion als Vorsitzender des IZW e. V., dem Veranstalter des Workshops, die Ergebnisse zusammen, indem er die Umweltverträglichkeit der CO₂-Technologie aufgrund der Stoffeigenschaften von CO₂ betonte. Besonders für Anwendungen mit hohen Leckageraten, wie beispielsweise im Bereich der mobilen Kälteerzeugung aber auch der gewerblichen Kältetechnik spielt die Umweltverträglichkeit des eingesetzten Kältemittels eine zentrale Rolle.

Darüber hinaus haben diverse Untersuchungen zweifelsfrei belegt, daß die Verwendung von CO₂ als Kältemittel für passende Anwendungen auch energetische Vorteile gegenüber den traditionell eingesetzten Verfahren bietet. Damit besteht in



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Horst Kruse faßte in seiner Funktion als Vorsitzender des IZW e. V., dem Veranstalter des Workshops, die Ergebnisse zusammen, indem er die Umweltverträglichkeit der CO₂-Technologie aufgrund der Stoffeigenschaften von CO₂ betonte

dungen im Bereich der Wärmepumpentechnik konzentrierte.

Mit dem COHEPS-Projekt sind zahlreiche Grundlagen untersucht worden, die den Sockel möglicher CO₂-Anwendungen der Zukunft darstellen. Die Projektpartner, die sich mit dem Verlauf und den Ergebnissen des Projektes überaus zufrieden zeigten, sehen einvernehmlich die Durchführung von Feldversuchen als den nächsten Schritt zur endgültigen Markteinführung von CO₂ als Kältemittel für bestimmte Anwendungen.

Für die Industrie und besonders die Verdichterhersteller, die im Verlauf des Workshops immer wieder zum Handeln aufgefordert wurden, bleibt hingegen noch abzuwarten, ob die Argumente für die Anwendung von CO₂ als Kältemittel so stark werden, um eine aufwendige Entwicklung durchzuführen und um sich dazu auch zu bekennen.

Die ausführliche Tagungsmappe mit den Beiträgen zu dem Workshop kann über den Veranstalter bezogen werden. □

der Anwendung der CO₂-Technologie die Möglichkeit einer nennenswerten Reduzierung der globalen Umweltbelastung. Eine kurzfristige Markteinführung von CO₂ läßt sich nach Prof. Kruse nur erreichen, wenn es gelingt, die KomponentenhHersteller stärker in die Entwicklung einzubinden. Dabei erachtet Prof. Kruse den Bereich der Verdichter als besonders kritisch, da die übrigen Anlagenkomponenten beispielsweise in der Verfahrenstechnik gefunden werden können. Daher wurde bei dem Workshop dem Themengebiet der Verdichter auch besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Für die in COHEPS-Projekt betrachteten Anwendungen kommen, so fährt Prof. Kruse fort, in erster Linie hermetische Verdichter in Betracht, wobei mit dem Verdichter von Dorin ein Schritt in die richtige Richtung gemacht wurde.

Viele der Besucher des Workshops waren sich einig darüber, daß ein Durchbruch der CO₂-Technologie wohl am ehesten bei der Pkw-Klimatisierung zu erwarten ist. Dennoch bestand großes Interesse an den Ergebnissen des COHEPS-Projektes, das sich, wie erwähnt, auf stationäre Anwen-