

Ausgewählte Fachbeiträge

Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2006

23.–24. November 2006 in Dresden



Bild 1 Die Vortragsveranstaltungen waren durchweg gut besucht und die hohe Teilnehmerzahl bei der Dresdner Tagung spiegelte sich darin wider

Die DKV-Jahrestagung bot am 23. und 24. November 2006 wie gewohnt ein umfangreiches Vortragsprogramm, und in vielen Beiträgen konnten die Teilnehmer Informationen über neueste Entwicklungen erfahren. Mit den gedruckten Unterlagen, die jeder Teilnehmer in diesen Tagen erhalten wird, bietet sich die Gelegenheit zum Nachlesen und Vertiefen, falls man genauere Informationen benötigt als sie beim Zuhören aufgenommen werden können. Hier sollen einige Themen referiert werden, bei denen der Berichterstatter für diejenigen Leser der KK dabei war, die an der Tagung nicht teilnehmen konnten. Vielleicht ist es Anlass, sich das Tagungsmaterial nachträglich zu beschaffen und die nächste Tagung persönlich zu besuchen.

Es gab wieder viele Beiträge zu CO₂ als Kältemittel, erste Informationen zu den angebotenen Kältemitteln Fluid H und DP1 als zukünftige Kältemittel für die Kraftfahrzeugklimatisierung im Wettbewerb zu CO₂ und es gab weit gefächert Entwicklungsergebnisse aus der Kälte- und Klimatechnik.

Bei den Themen zum Kältemittel CO₂ berichtete **Klaus Martin** vom **Kompetenzzentrum „Das virtuelle Fahrzeug“ Graz** gemeinsam mit **René Rieberer** von der **TU Graz** zu Fixdrosseln in CO₂-Kreisläufen. Diese sind im Vergleich zu den thermostatischen Expansionsventilen bei einigermaßen konstanten Betriebsbedingungen interessant, weil sie kostengünstiger sind, verlässlich arbeiten und einfach zu handhaben. Während für die konventionellen Kältemittel dafür Auslegungskriterien bekannt sind, ist für die wesentlich anderen Stoffeigenschaften von CO₂ wenig bekannt. In umfassenden Versuchen wurden wichtige Erkenntnisse erarbeitet. Dazu gehört, dass der Durchfluss bei Entspannung in das Zweiphasengebiet unabhängig vom Gegendruck konstant ist, dass die Drossellänge keine Rolle spielt, dage-

gen der Durchfluss mit dem Vordruck und dem Querschnitt wesentlich beeinflusst wird. Für die Auslegung solcher Fixdrosseln wurden dimensionslose Kennzahlen gebildet, die mit messgestützten Beiwerten zu guten Übereinstimmungen zwischen Modell und Versuch führten.

Mit der Anwendung von CO₂ in den Tieftemperaturstufen von Kaskadenanlagen in Kombination mit NH₃ in der Oberstufe beschäftigten sich **Frank Müller**, **Roger Bussenius** und **Peter Kolberg** von der **Grasso GmbH** und kommen zu äußerst interessanten Ergebnissen, die teilweise von den bisher sehr optimistisch präsentierten Prototypenabwendungen abweichen. Sie ziehen das Fazit, dass die zweistufige NH₃-Anlage mit direkter Verdampfung auch bei tiefen Verdampfungstemperaturen im Vergleich mit der CO₂-NH₃-Kaskade die wirtschaftlich günstigere Lösung ist. Kaskadenanlagen bzw. NH₃-Anlagen mit CO₂-Kälte-trägerkreislauf sind dann vorzuziehen, wenn Sicherheitsaspekte oder andere Randbedingungen gegen NH₃ im zu kühlenden Bereich sprechen. Bei den gegenwärtigen Wirtschaftlichkeitsbedingungen ist die Mehraufwendung bei den Investi-

tionskosten bei Kaskaden mit Verdampfungstemperaturen unter -45°C nach etwa drei Jahren amortisiert. Diese Zeit wird sich aber zukünftig verkürzen, da steigende Fertigungstückzahlen und weitere Kostensenkungen bei den CO₂-Hochdruckkomponenten zu erwarten sind.

Der Expander für CO₂-Anlagen zur Nutzung der Arbeit leistenden Entspannung steht seit einigen Jahren auf der Liste der Neuerungen, die der Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik der **TU Dresden** bearbeitet. Auf der Tagung berichteten **Jörg Nickl**, **Josef Riha** und **Hans Quack** über den gegenwärtigen Stand der Entwicklung mit der Aussage, dass die dreistufige Entspannung in der vorgestellten Kolben-Expansionsmaschine mit direktem Antrieb der zweiten Verdichterstufe einer zweistufigen Verdichtung eine gut funktionierende Lösung ist und bis zu 50% Steigerung des COP ergibt. Diese große Verbesserung resultiert zu fast gleichen Teilen aus der zusätzlichen Arbeitsleistung des Expanders und der Einsparung von Verdichtungsarbeit durch die vom Expander angetriebene zweite Verdichterstufe. Damit kann CO₂ auch bei Temperaturen oberhalb 25°C auf

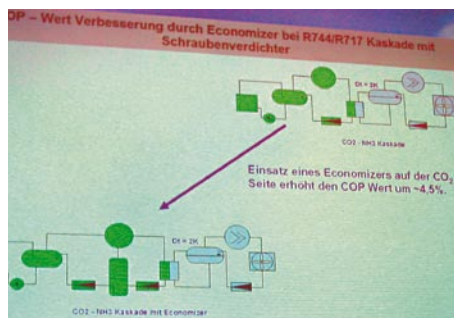


Bild 2 Ein Beispiel aus den untersuchten Kaskadensystemen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

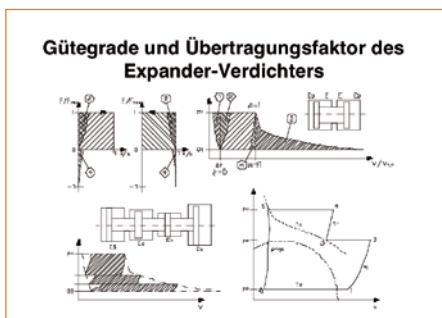


Bild 3 Die energetische Verbesserung des CO₂-Prozesses durch Einbindung des Expanders

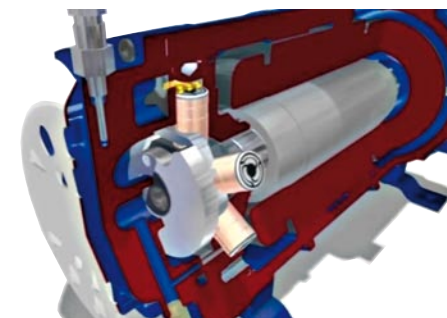


Bild 4 Innenansicht des CO₂-Radialkolbenverdichters von Bock

der Verflüssigungs- bzw. Gaskühlerseite thermodynamisch wirtschaftlich werden.

Eine CO₂-Maschine war auch Gegenstand des Vortrags von **Harald Kaiser** von der **Bock Kältemaschinen GmbH**. Nachdem das Unternehmen von Anfang an auf Verdichter für dieses Kältemittel gesetzt hat, wartete es nun mit einer neuen konstruktiven Lösung auf. Beim Vergleich mit den bisherigen Zweizylinderverdichtern in offener und halbhermetischer Bauweise entstand nun eine sehr kompakte Maschine durch Verwendung des Radialkolbenprinzips. Dabei werden die Kolben über Gleitsteine von einem orbitierenden Zwischenglied zwischen Exzenter und Kolben angetrieben. Damit wird die gesamte Baugröße des Verdichters wesentlich von Halbhermetikmotor bestimmt. Der Leistungsbereich bis ca. 10kW erlaubt die Anwendung in Bahnklimageräten, die durch ihre meist flache Bauweise auf derartige Verdichter angewiesen sind. Die Erstanwendung ist auch in einem solchen Gerät vorgesehen. Die Schmierung erfolgt durch das im Kreislauf mit dem Kältemittel zirkulierende Öl, ein gesonderter Ölsumpf ist nicht vorhanden. Dadurch soll es auch möglich sein, den Verdichter in senkrechter Anordnung zu betreiben.

In einem weiteren Vortrag zu CO₂ beschäftigte sich **Armin Hafner** vom **SINTEF-Institut** in Trondheim mit den globalen Konsequenzen der Einführung von CO₂-Fahrzeugklimaanlagen. In früheren Darstellungen wurde schon ausgewertet, wie die Verringerung des Treibhauseffektes abgeschätzt werden kann, wenn bei den aktuellen Fahrzeuganwendungen auf Kältemittel mit GWP-Wirkung verzichtet wird. Nun stellt Hafner dar, welch großes Potenzial zu erwarten ist, wenn Asien bei der Einführung von CO₂-Fahrzeugklimaanlagen den Europäern folgen würde (wobei in Europa die Umstellung auch noch auf unsicheren Füßen steht, U.A.). Für Indien pro-

gnostiziert er Werte zwischen 30 Mio.t und 8 Mio.t, je nach Umstellungsjahr und Anteil der Neuzulassungen. Mit ähnlichen Größenordnungen ist in China und den anderen asiatischen Ländern mit hoher Motorisierung zu rechnen.

Diese Vorstellungen gehen jedoch nur auf, wenn tatsächlich CO₂ das Kältemittel der Zukunft für Kraftfahrzeuge ist. Seit der DKV-Tagung darf man daran leichte Zweifel haben. Nach Hafner berichtete **Walter Sorg, DuPont**, über das neue Kältemittel DP1, das dem CO₂ den Rang ablaufen könnte. Die Leistungen und Eigenschaften dieses Zweistoffkältemittels entsprechen denen von R134a, der GWP-Wert ist aber sehr gering und unterhalb des EU-Grenzwertes von 150kg CO₂/kg KM. Die Mischung ist nicht brennbar, die Hauptkomponente ist ein neues F-Produkt, während die Nebenkomponeente ein kommerziell verfügbarer Stoff ist. Wichtig ist die Aussage, dass das neue Kältemittel kompatibel in existierenden Kraftfahrzeugklimaanlagen eingesetzt werden könne, was einen entscheidenden Wirtschaftlichkeitsfaktor darstellt. Die Feldtests bei OEM-Anwendern sollen erfolgreich sein. Ein Manko aus der Sicht der Verwendung in „offenen“ Kreisläufen ist der Temperaturgleit von 4K, der aber vom Vortragenden als unkritisch eingeschätzt wird. Andere Eigenschaften wie Permeabilität in den Kältemittelschläuchen, thermische Stabilität, Öl- und Kunststoffverhalten sind mit R134a vergleichbar. Für DuPont ist das neue Kältemittel DP1 schon zweifelsfrei der Ersatzstoff für R134a, der in zwei Jahren serienreif sein soll.

Anschließend berichtete **Bernd Zeitvogel** von **Sanden**, Bad Nauheim, über das von Honeywell entwickelte und mit DP1 vergleichbare Kältemittel Fluid H. Dieses Kältemittel ist bei Sanden in der Erprobung, so dass nun die Sicht eines Anwenders zu hören war. Zeitvogel konnte ebenfalls weit-

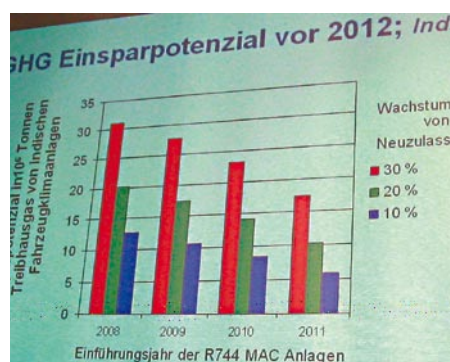


Bild 5 Das Treibhaus-Einsparpotenzial bei Kraftfahrzeugklimaanlagen in Indien bei Umstellung auf das Kältemittel CO₂

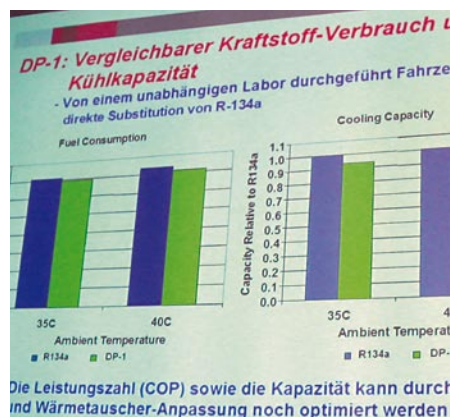


Bild 6 Kraftstoffverbrauch und Kälteleistung von DP1 im Vergleich zu R134a

• Fluid-H Systeme scheinen bezüglich Unterkühlung und Überhitzung sensibel zu sein wenn man versucht die Kältemittelfüllmenge in Bezug Leistung und Effizienz zu optimieren
 • Der Druckabfall und die thermografischen Bilder belegen, dass der Verflüssiger in Bezug auf Leistung und Effizienz ein großes Verbesserungspotenzial aufweist
 • Für zukünftige Komponentenests am Systemkalorimeter wird ein Sys mit geringerem, kältemittelseitigen Druckabfall zum Einsatz kommen. Desweiteren sollte ein Expansionsventil mit verbesserter beritzungseinstellung eingesetzt werden.

Bild 7 Schlussfolgerungen für die Anwendung von Fluid H in Kraftfahrzeugklimaanlagen von Sanden

gehend vergleichbare Bedingungen zu R134a nennen und daraus die „drop in“-Technologie bestätigen, aber es gibt in den ersten Tests auch Unterschiede. Der COP-Wert ist bis 6% geringer, es gibt aber auch abhängig von der Betriebsweise der Anlage Betriebspunkte mit Gleichwertigkeit. Der Druckabfall im Verflüssiger war höher als bei R134a, besonders bei höheren Verdichterdrehzahlen mit höherem Kältemittelmassestrom, der auch größer ist als bei R134a. Am getesteten System waren die Verdichtungsdrücke und -temperaturen höher als bei R134a, verursacht durch höhere Hubraumleistung des Verdichters im Regelbetrieb. Die Schlussfolgerung lautet bei Sanden, dass eine Optimierung der einzelnen Komponenten des Kältekreislaufes zur Verbesserung der Systemleistung und zur Steigerung der Effizienz beitragen wird.

Die Kältemittelproblematik aus der Sicht der Entsorgung wurde in einem Vortrag von **Felix Flohr** und **Christoph Meurer** von **Solvey** behandelt. Quelle für zu entsorgende Kältemittel sind in geringem Maße die Kraftfahrzeugklimaanlagen, die eine geringe Füllmenge je Anlage haben, bei denen aber durch die große Anzahl von Anlagen viel im Umlauf ist, aber leider viel durch Lecks in die Atmosphäre geht. Altautos z.B. mit alten R12-Anlagen sind in der Regel bei der Verschrottung schon länger ohne Kältemittel. Ein größerer Teil kommt aus der Gewerbekälte durch Wartung und Stilllegung von Anlagen. Dabei wird das Kältemittel durch das Kältehandwerk entnommen und über den Großhandel entsorgt. Ähnlich geht es in Anlagen der Industrie- und Großkälte vor sich. Die Rücknahme und Entsorgung von aufbereitem Kältemittel ist kostenfrei, die Finanzierung erfolgt durch Verkauf von aufbereitetem Kältemittel. In der EU wird

ein einheitliches Recyclingsystem angestrebt, wobei die Beibehaltung bzw. Integration von bestehenden Strukturen für Verwertung und Entsorgung das Ziel ist.

Wie viel Kältemittel benötigen unsere Anlagen eigentlich? Mit dieser Frage beschäftigte sich **Michael Stalter**, **TWK Karlsruhe**, aus der Sicht von Verdampfer und Verflüssiger. Seine Aussagen vom Vortrag zur selben Problematik auf der Tagung 2005 wurden vertieft und auf weitere Komponenten übertragen. Kernpunkt ist die Erkenntnis, dass die Wärmeübertrager geringe Füllungsgrade haben, um richtig zu funktionieren, bis 6%, manchmal auch etwas mehr. Plattenverdampfer sind bis 25% gefüllt und bei Sammlern kann man die Füllung gering halten, wenn man sie stehend ausführt. Dabei ist jedoch der minimal mögliche Sammlerdurchmesser an die Massestromdichte des durchströmenden Kältemittels gebunden. Es ergibt sich als Schlussfolgerung, dass Sammler günstig im Bypass angeordnet werden.¹

Die Wärmepumpenanwendung beginnt in Deutschland aufzublühen. Trotz umfangreicher verfügbarer Informationen dazu gibt es noch viel Halbwissen und die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit sind oft vom Interesse des Anbieters oder von den an die Wärmepumpenanwendung gekoppelten Umweltgesichtspunkten überschattet. Zu dieser Problematik konnte **Peter Göricke** vom **IZW Hannover** reiche Erfahrungen beisteuern. Er ging davon aus, dass als übergeordneter Beurteilungsgesichtspunkt der Primärenergieverbrauch dienen sollte, während für den Nutzer die Kostenfrage entscheidend ist. Zwischen Befürwortern und Kritikern gibt es viele emotionsgetragene Diskussionen. Alle gründlichen Untersuchungen laufen darauf hinaus, dass die Wärmepumpe knapp auszulegen ist, damit sie den Grundbedarf deckt und den Rest kann eine elektrische Zusatzheizung erledigen. Bei Erdreichwärmepumpen erreicht man den geringsten Energieverbrauch bei 80% WP-Anteil und dem Rest mit Elektroheizung. In den meisten Regionen Deutschlands ist unter diesen Gesichtspunkten auch die Außenluft als Wärmequelle vor-

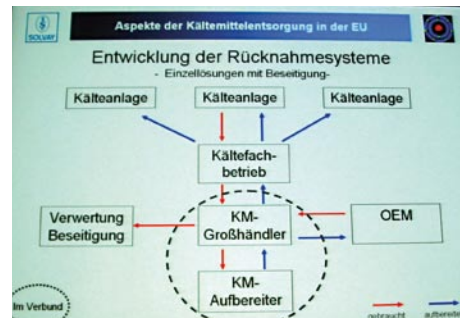


Bild 8 Entwicklung der Kältemittel-Rücknahmesysteme



Bild 9 Sammlergrundfüllungen im Vergleich von liegendem und stehendem Sammler

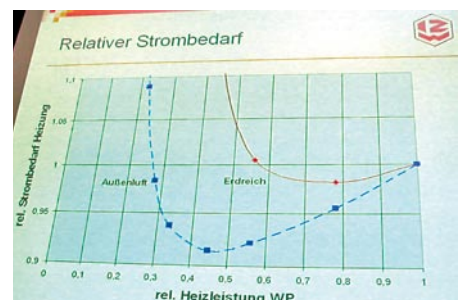


Bild 10 Vergleich der relativen Energiekosten bei Luft- und Erdreichwärmepumpen

teilhaft. Die Zusatzheizung sollte von Hand abschaltbar sein, so dass man diese wirklich nur im realen Bedarfsfalle benutzt. Kostenmäßig ist diese monoenergetische Wärmepumpe günstiger als die monovalente. An die Energieversorger richtete sich der Appell, eine Wärmepumpen freundlichere Lastspitzenregelung einzuführen, z.B. erst die Direktheizung abzuschalten und dann die Wärmepumpe. Aber bis zu dieser vernünftigen Lösung ist wohl noch ein weiter Weg!

Eine interessante Frage der Kältetechnik behandelten **Alexander Tambovtsev** und **Hans Quack**, **TU Dresden**, mit den Ausführungen zur Auslagerung der Überhitzung aus dem Verdampfer mittels eines

¹ Dieser Beitrag ist bereits in der KK 1/07 ab Seite 28 erschienen.

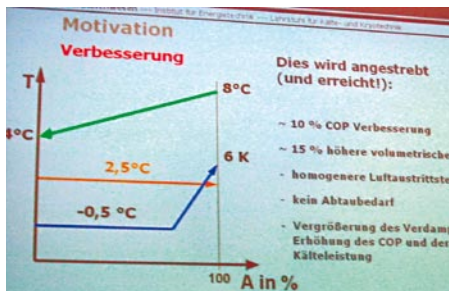


Bild 11 Durch Auslagerung der Überhitzung aus dem Verdampfer kann die Verdampfungstemperatur deutlich angehoben werden

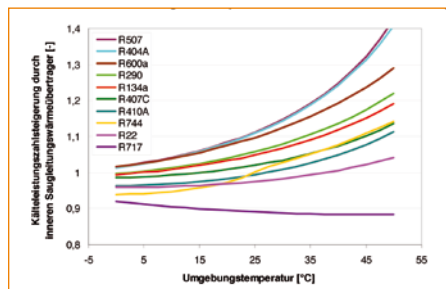


Bild 12 Einfluss des inneren Wärmeübertragers bei einer Verdampfungstemperatur von -35°C für verschiedene Kältemittel

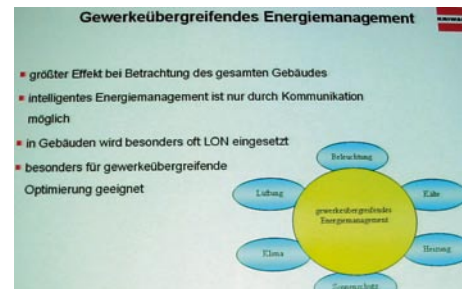


Bild 13 Gesichtspunkte für das gewerkeübergreifende Energiemanagement

separaten inneren Wärmeübertragers als Überhitzer und Anordnung des Fühlers für das Expansionsventil nach dem inneren Wärmeübertrager. Bei voller Ausnutzung des Verdampfers ohne Überhitzungsstrecke kann bekanntermaßen der COP-Wert deutlich verbessert werden, nach den Angaben der Referenten bis zu 10%. Die stabile Arbeitsweise wird gewährleistet, wenn der Überhitzer im Gleichstrom angeordnet wird. Insgesamt ergibt sich mit dieser Lösung eine sinnvolle Alternative zu elektronischen Einspritzventilen.

Eine weitere kältetechnische Thematik behandelten **Klaus Lambers**, und **Jürgen Süß, Danfoss**, gemeinsam mit **Jürgen Köhler, TU Braunschweig**. Sie beschäftigten sich mit dem Verbesserungspotenzial bei den heute verwendeten Kältemitteln. Bekannt sind Kaskaden und Economiserschaltungen, zweistufige Anlagen mit Zwischenkühlung und in neuerer Zeit auch Anlagen mit Entspannungsmaschine sowie mit Ejektorschaltungen. Zur sinnvollen Auswahl der zweckmäßigen Schaltung zur Erreichung des höchsten energetischen Potenzials sind umfassende theoretische Analysen erforderlich. Die Ergebnisse sind deutlich abhängig vom verwendeten Kältemittel und zeigen auch die Grenzen der einzelnen Systeme auf. Bei Ammoniak, Propan und Kohlendioxid bieten sich mehrstufige Verdichtung mit Zwischenkühlung oder Kaskadenschaltung an, bei Kohlendioxid zusätzlich mit Expander oder Ejektor. Für R404A bzw. R507 und R407C erscheint die Economiserschaltung oder Expander oder Ejektor sinnvoll. Innere Wärmeübertrager sind für R404A bzw. R507 und für R600a (Isobutan) vorteilhaft.

Erwähnenswert ist bei den kältetechnischen Vorträgen noch die Vorstellung eines Modells zur qualitativen Simulation einstufiger Kreisläufe, mit dem der Einfluss der Änderung der Arbeitsbedingungen, der Komponentenleistung usw. am Personalcomputer verfolgt werden kann.

Dieser viel beachtete Vortrag von **Hans Jochen Riedel** und **Lutz Boeck, Faiveley Transport**, zu der für die praktische Nutzung zu empfehlenden Software konnte bereits in der KK 8/2006 nachgelesen werden.

Das Energiemanagement für Kälte- und Klimaanlage gewinnt mit den Bestrebungen zur Energieeinsparung besonders unter dem Gesichtspunkt des großen Anteils von 14% am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland eine zunehmende Bedeutung. Darauf ging **Christoph Leja, KRIWAN**, ein. Die Aufgaben beginnen beim Abbau von Lastspitzen durch Maximumwächter, indem das gesamte mit LON vernetzte Gebäude betrachtet wird. Es werden Abschaltprioritäten in 255 Dringlichkeitsstufen gesetzt und natürlich werden die Kühlstellenregler in das Energiemanagement durch Optimierung der Verdichterdauerzeiten einbezogen. Dabei werden die Kenntnisse vom Einfluss unterbrochener Kühlung auf die Kühlguttemperatur bzw. die Raumtemperatur genutzt. Durch die Kommunikation der Regler untereinander wird dabei gewährleistet, dass die Anlagen im gewünschten Sollwertbereich bleiben. In einer Metzgerei konnten mit diesem Energiemanagement bei Verdoppelung der Kühlfläche die Energiekosten sogar um 200€/Monat gesenkt werden.

So weit zur ausgewählten Fachberichterstattung von der DKV-Tagung 2006 in Dresden. Die Auswahl soll Anregung sein, sich auch mit weiteren Themen der Tagung, die das eigene Arbeitsgebiet betreffen zu befassen. Der DKV dokumentiert die Vorträge bekanntermaßen sehr gut in den gedruckten Tagungsbänden je Arbeitsabteilung sowie das gesamte Programm auf einer CD.

Der Bericht soll aber nicht abgeschlossen werden, ohne auf eine Veranstaltung in der Mittagspause hinzuweisen, zu der der DKV-Vorstand eingeladen hatte, nämlich die Vorbereitung des 100. Jubiläums des DKV in drei Jahren. Unter der Moderation von **Eck-**

hart Prandner hatten sich u. a. einige DKV-Mitglieder zusammengefunden, die schon am DKV-Geschichtsbuch mitgearbeitet hatten. Es ging um eine Ideensammlung dazu, wie das Jubiläum an welchem Ort zu begehen wäre. Soll es im Zusammenhang mit der Jahrestagung durch einen Festvortrag gewürdigt werden oder sollte besser eine gesonderte Veranstaltung, ggf. im Rahmen des Historischen Vereins HKK stattfinden? Sollten in ersterem Falle vielleicht in den Arbeitsabteilungen ergebnisspezifische Vorträge zur Entwicklung des Fachgebiets gehalten werden und könnte in den Bezirksvereinen, in denen man viel mehr Mitglieder erreicht, ähnlich verfahren werden? Sollte eine Festschrift entstehen oder ein weit verbreiteter Flyer, der gleichzeitig der Mitgliederwerbung dienen könnte? Wäre eine Zeitleiste ein gutes Dokument, die die DKV-Entwicklung in die gesellschaftliche und technische Entwicklung der letzten 100 Jahre integriert und wäre die Zusammenstellung der im Laufe der Jahre geehrten DKV-Mitglieder mit ihren Biografien vielleicht ein würdiges Dokument? Können die von den DKV-Senioren aufbereiteten Firmengeschichten einen Beitrag darstellen? Und da die Tagung 2009 voraussichtlich am Gründungsort Berlin stattfinden wird, ergibt sich vielleicht auch ein Kontakt zu einem technikgeschichtlichen Museum. Oder kann man eine eigene Ausstellung aus dem Fundus des DKV-Archivs und aus dem Bestand des HKK einschließlich historischer Maschinen und Anlagen organisieren? Die Ideen waren in dem kleinen Kreis der Teilnehmer kaum zu bremsen. Sie sind nun gesammelt, werden im Laufe der nächsten Monate ergänzt und sortiert und Mitte des Jahres in einer weiteren Zusammenkunft präzisiert. Dazu sind nicht nur die Teilnehmer aufgerufen, sondern über diese Zeilen geht der Ruf auch an alle Mitglieder, sich nach ihren Möglichkeiten entsprechend zu beteiligen. Dass dieser Ruf nicht ungelesen verpufft, wünscht sich auch

U. A.