




---

# Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2007

Hannover

21. - 23. November 2007

## Kurzfassungen



**MARITIM** Airport Hotel Hannover  
Flughafenstr. 5  
D- 30669 Hannover  
Telefon (0511) 97 37 0  
info.hfl@maritim.de  
www.maritim.de

Veranstalter

**Deutscher Kälte- und  
Klimatechnischer Verein e.V.**

Pfaffenwaldring 10, D-70569 Stuttgart  
Telefon 0711 / 6856 32 00  
Telefax 0711 / 6856 32 42

Email info@dkv.org  
Homepage <http://www.dkv.org>

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Arbeitsabteilung I</b>	<b>3</b>
<b>Arbeitsabteilung II.1</b>	<b>11</b>
<b>Arbeitsabteilung II.2</b>	<b>22</b>
<b>Arbeitsabteilung III</b>	<b>32</b>
<b>Arbeitsabteilung IV</b>	<b>42</b>

## I.1

### **Aspekte der Kryochirurgie und Kryokonservierung: Schädigung an Zellen und ihrer biologischen Umgebung**

Hubel, A.

Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, USA

Hubel001@umn.edu

<http://www.me.umn.edu/labs/lab3134/index.shtml>

Die Verbindung zwischen Intrazelluläreisbildung und Zellschädigung ist seit vielen Jahren bekannt. Die Beziehung zwischen Extrazelluläreis und Zellschädigung ist dagegen noch nicht ganz verstanden. Vorstudien haben die physikalische Verformung von Zellen gezeigt, die zwischen angrenzenden Eiskristallen eingelagert waren. In nachfolgenden Studien wurde eine spezialisierte Eiswuchstechnik benutzt, um den Einfluss der Wechselmorphologie zu demonstrieren. Diese Studien haben gezeigt, dass Änderungen in der Eiskristallmorphologie, unabhängig von der Abkühlungsgeschwindigkeit, die Zellentwicklungsfähigkeit beeinflussen. Die Zugabe spezifischer Mittel könnte genutzt werden, um den Zelltod zu erhöhen oder zu mindern. Beispielsweise ändert die Zugabe von Schutzmitteln wie Trehalose und Glycerin die Zell-Eis-Wechselwirkung und reduziert Schädigungen. Im Gegensatz dazu führt eine Erhöhung des Salzgehalts zur Bildung des Eutektikums auch zur Erhöhung der Zellschädigung und kann daher als ein Hilfsmittel der Kryochirurgie benutzt werden.

Neue Studien deuten mögliche Mechanismen der Zellschädigung durch Eis an. Zellen können in den dendritischen Zwischenräumen gefangen werden oder von der wachsenden Eisphase eingehüllt werden. Eingehüllte Zellen sehen aus, als ob sie weniger als die gefangenen Zellen entwässern. Das führt zur Hypothese, dass diese Kompartimentierung die Überlebensfähigkeit beeinflussen könnte. Numerische Simulationen der Eis/Partikel-Wechselwirkungen deuten an, dass Zusatzstoffe die freie Grenzflächenenergie des Eises beeinflussen. In Folge wird es die Fraktion der gefangenen oder eingehüllten Zellen beeinflussen. Eis/Zell-Wechselwirkungen werden darüber hinaus im Gewebe noch komplexer als in Zellsuspensionen. Hier wächst das Eis hauptsächlich abwärts in die Blutgefäße und andere natürliche Kanäle. Die Zusammenhänge der Eis/Zell-Wechselwirkungen im Gewebe werden bezüglich des Gewebefrierens aus der Literatur zur Kryochirurgie diskutiert.

## I.4

### **Temperaturprofile in einem automatischen Einfriergerät für die Medizin/Biologie**

Dr. Gabriele Spörl, DI Holger Reinsch, Isabel Martinez

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Angewandte Neue Technologien, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

Das Einfrieren biologischer Materialien gewinnt im Bereich der Medizin und Biologie zunehmend an Bedeutung. Bisher werden fast ausschließlich Zellsuspensionen kryokonserviert. Dies geschieht zumeist in Kryoröhrchen durch Eintauchen in flüssigen Stickstoff. Blut bzw. Plasma wird in Spezialbeuteln konserviert und gelagert. Insbesondere bei großen Mengen an Gefriergut und bei der Kryokonservierung von Blut wird ein automatisches Einfriergerät benötigt, in dem nach einem vorgegebenen Protokoll konserviert werden kann. Suspendierte Einzelzellen (und als Spezialfall Blut) tolerieren eine Kryokonservierung in marktüblichen Einfriergeräten recht gut. Die in diesen Freezern eingesetzten Temperatursensoren sind vergleichsweise groß und scheinen den Einfrierprozess von Suspensionen recht gut abzubilden. Mit Blick auf die Kryokonservierung

von Tissue Engineering Konstrukten für die Regenerative Medizin stellen sich jedoch verschärfte Anforderungen an Technik und Verfahren. Die Zellen liegen hier adhärent in einem Trägermaterial vor und sind in diesem Zustand weitaus sensibler bzgl. der Gefrierprozedur. Das ILK Dresden beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Kryokonservierung derartiger Konstrukte und hat aus diesem Grunde die Temperaturverteilung und verschiedene Kryoprotokolle eines kommerziellen Freezers mit verschiedenen Einbauten untersucht. Dabei zeigte sich, dass das Proben thermometer dieses Gerätes den Einfriervorgang nur ungenügend abzubilden vermag, so dass die Richtigkeit des durchgeführten Kryoprotokolls damit nicht kontrollierbar ist. Die Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

Die Arbeiten wurden gefördert im Rahmen der Technologieförderung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2000-2006 und mit Mitteln des Freistaates Sachsen.

Stichworte: Kryokonservierung, Tissue Engineering, Einfriergerät

## I.6

### **Neues kryochirurgisches Gerätesystem und seine Anwendungsmöglichkeiten**

A. Binneberg, J. Kupka  
ILK Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden  
MedingLab Freital, Saalhausener Str.29,D-01705 Freital

Das neuentwickelte kryochirurgische Gerätesystem besteht aus einem LN<sub>2</sub>-Versorgungsgerät, welches 2 l oder 5 l Fassungsvermögen und bis zu 4 bar Betriebsdruck hat, und 3 verschiedenen an das Versorgungsgerät wahlweise anschließbaren Sonden zur kryochirurgischen Behandlung von Schmerzen und gut- oder bösartigen Tumoren. Bei den Sonden handelt es sich um eine Kontakt- oder Anpreßsonde, deren gekühlte Kontaktfläche auf das zu behandelnde Gewebe gedrückt wird. Um die Kühlfläche dem zu behandelnden Areal anpassen zu können, ist das Verdampferstück mit der abschließenden Kühlfläche austauschbar und hat Durchmesser der Kühlfläche im Bereich von 4 mm bis 18 mm. Diese Sonde wird vorwiegend für die Behandlung von Hauterkrankungen eingesetzt. Die zweite Sonde ist eine etwa 150 mm lange und 2,7 mm dicke einsteckbare Sonde, bei der nur die äußere Spitze vom flüssigen Stickstoff gekühlt wird. Der lange Sondenschaft bleibt warm, deshalb kann diese Sonde ins Gewebe eingestochen werden. Sie wird vorwiegend zur Schmerzbehandlung am Trigemini eingesetzt und wurde zur Behandlung von Gehirntumoren und Erkrankungen der Prostata getestet. Die dritte Sonde ist eine Sprühsonde, mit deren Hilfe erkrankte Gewebeteile mit flüssigen Stickstoff besprüht und dadurch intensiv gekühlt werden können. Sie wird zur Behandlung von großflächigen Tumoren am Augenlid, an den Ohren, auf der Zunge usw. und vor allem in der Tierheilkunde eingesetzt.

Um Gewebe sicher durch Kühlung abtöten zu können, muß das Gewebe auf -40°C mit einer Gefriergeschwindigkeit von 80 K/min bis 100 K/min abgekühlt werden. In Laborversuchen muß deshalb getestet werden, bis in welche Gewebetiefen diese physikalischen Bedingungen erreicht werden können. Dies sind bei der Kontakt- und Einstecksonde bei intensiver Kühlung mit flüssigen Stickstoff mit einem Vorlaufdruck von 4 bar Gewebeschichten von maximal 5 mm Dicke, d.h. sicher können mit einem Behandlungsprozeß nur Tumore mit maximal 5 mm Tiefenausdehnung behandelt werden. In anschließenden klinischen Test wurden zunächst Tierversuche und erst danach Behandlungen an Patienten durchgeführt. Es werden die Ergebnisse der Laborversuche und erster klinischer Tests vorgestellt und zum Abschluß ein kurzer Videofilm von der Behandlung von Hauttumoren an einem Pferd gezeigt.

Stichworte: Tieftemperaturtechnik, Kryochirurgie, flüssig Stickstoff, Kontaktsonde, Einstechsonde

## I.7

### **Cryobehälter als Medizinprodukt**

H. Eickhoff, Dipl.-Ing. (FH) W. Flohr,  
CRYOTHERM GmbH & Co. KG, Kirchen

Werden Zellen oder Gewebe zur Anwendung für Menschen bei tiefen Temperaturen gelagert (z. B. Stammzellentherapie, In vitro-Fertilisation, ...), kann eine Rückwirkung auf den Patienten nicht ausgeschlossen werden (Veränderung eines physiologischen Vorgangs).

Für Cryobehälter, die mit der Zweckbestimmung „Lagerung von Proben zur Rückführung in den Menschen“ eingesetzt werden, greift somit die Richtlinie 93/42/EWG über Medizinprodukte gem. Artikel 1, Abs. 2.

Für Hersteller, Betreiber und Anwender (in Deutschland) gelten dann das Medizinproduktegesetz (MPG) und nachgeordnete Verordnungen wie z. B. die Medizinprodukteverordnung (MPV) und die Verordnung über das Errichten, Betreiben und Anwenden von Medizinprodukten (MPBetreibV).

Medizinprodukte werden gemäß Richtlinie Anhang IX in die Klassen I (niedrigste Anforderung), IIa, IIb und III (höchste Anforderung) eingestuft.

Die o. g. Cryobehälter fallen unter die Regel 2 „Aufbewahrung von Blut, anderen Körperflüssigkeiten oder- gewebe ... zum Zwecke der Verabreichung oder Einleitung in den Körper“ und unter die Regel 3 „dem Austausch von ... Wärme“.

Aufgrund der Zuordnung zur Regel 2 und 3 sind die o. g. Cryobehälter als Medizinprodukte der Klasse IIa einzustufen und mit dem CE- Kennzeichen und der Prüfstellenummer der benannten Stelle zu kennzeichnen.

Die Produktion und Prüfung der Cryobehälter als Medizinprodukt unterliegt der Überwachung durch eine benannte Stelle.

Stichworte: Cryobehälter, Medizinprodukt, Zweckbestimmung

## I.8

### **Absicherung kryogener Leitungen bei Zusammenbruch des Isolationsvakuums**

A. Kutzschbach, Ch. Haberstroh, H. Quack  
TU Dresden, Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, 01062 Dresden

Lange Helium Transferleitungen (TL) müssen in regelmäßigen Abständen mit Sicherheitsventilen (SV) versehen werden. Ein möglicher Havariefall ist hierbei der Zusammenbruch des Isolationsvakuums.

Nach dem Zusammenbruch des Vakuums wird durch den Wärmeeinfall die Temperatur und damit auch der Druck in den Rohrleitungen ansteigen. Diese Änderung erfolgt nahezu bei konstantem spezifischem Volumen (isochore Zustandsänderung) solange, bis der Ansprechdruck des SV erreicht wird. Nach dem Öffnen des SV steht nur die TL selbst als Strömungsquerschnitt für den Abtransport des Heliums zur Verfügung. Daher können Druckdifferenzen innerhalb des Heliumsystems in den TL nicht vernachlässigt werden.

Die Studie untersucht den Zusammenbruch des Isolationsvakuums in einem Iso-Vakuum-Abschnitt einer langen TL. Welche Sicherheitsventile sind in welchen Abständen vorzusehen, um den Druck an jeder Stelle der TL unter dem vorgeschriebenen Auslegungsdruckdruck zu halten.

Stichworte: Transferleitungen, Sicherheitsventile, Isolationsvakuum

## I.9

### **Dreissig Jahre Schraubenkompressoren für Helium**

Herbert Wahl

Kaeser Kompressoren , Postfach 2143 , D-96450 Coburg

Hohe Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, niedrige und dauerhaft kalkulierbare Betriebskosten, Kompaktheit , kurze Lieferzeiten , weltweiter Service und eine mehrjährige garantierte Ersatzteilerversorgung sind für Kompressoranlagen in Gasverflüssigern für die industrielle Anwendung oder in der Forschung die wichtigsten Auswahlkriterien.

In diesem Vortrag werden die konstruktiven Besonderheiten und die mit den Lieferanten von Verflüssigern und kryotechnischen Anlagen spezifizierten und standardisierten Auslegungskriterien von öleingespritzten, einstufigen Schraubenkompressoren erörtert.

Die Kompressoranlagen werden heutzutage für die weltweit geforderten Betriebsbedingungen, elektrischen und mechanischen Sicherheitsstandards, den Druckbehälterrichtlinien und gegebenenfalls zusätzlichen spezifischen Kundenanforderungen entsprechend konstruiert.

Der Vortragende versucht, die verschiedenen Entwicklungsstufen der Heliumkompressoren in den letzten Jahren darzustellen. Auf in der jüngsten Vergangenheit installierte Großanlagen wird Bezug genommen und Entwicklungstrends wie beispielsweise der Einsatz von frequenzgesteuerten Kompressoranlagen aufgezeigt.

Alternative Applikationen von Inertgas-Schraubenkompressoren für die Verdichtung von Helium-Luftgemischen, Stickstoff, Stickstoff-Luftgemischen im Bereich der Vakuum- und Prüftechnik werden angesprochen.

## I.10

### **Trockenlaufende Vakuumpumpeen im Heliumbetrieb**

R. Arztmann

Linde Kryotechnik AG, Dättlikonerstrasse 5, 8422 Pfungen, Schweiz

Ein Prozessvakuumpumpstand für Helium mit ausschliesslich ungeschmierten Vakuumpumpen wird nach verschiedenen Werkstests für die 2K Anlage eines kryogenen Speicherrings eingesetzt.

Das Referat beschreibt den Entwicklungsprozess von Busch AG und Linde Kryotechnik AG, für die Anwendung von ungeschmierten Schraubenvakuumpumpen mit Helium bei Umgebungstemperaturen. Eine Rootspumpe als Booster gefolgt von einer ungeschmierten Vakuumschraubenpumpe als Vorpumpe bringen gute Leistungswerte in einem Helium-Vakuumpumpsystem. Antriebe mit variabler Drehzahl an beiden Pumpen erlauben es die Betriebcharakteristik einem breiten Bereich anzupassen. Die reibungsfreie Konstruktion auch bei der Schraubenpumpe versprechen lange Wartungsintervalle und praktisch keinen

Verschleiss an den Rotoren. Der aktuelle Betrieb am Max Plank Institut in Heidelberg wird Erfahrungen für weitere Anwendungen liefern.

### I.13

#### **Die Temperaturmessung unter schwierigen Randbedingungen mittels Dampfdruckthermometern**

M. Süßer

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Physik

Eine anspruchsvolle Messaufgabe ist die Temperaturmessung am Strahlrohr der Windowless Gaseous Tritium Source (WGTS) des KATRIN - Experiments im Forschungszentrum Karlsruhe. Die WGTS besteht aus einem 10m langen Strahlrohr das sich innerhalb einer Reihe von supraleitenden Magneten befindet. Bei Betriebstemperaturen von 27K und 120K werden hohe Anforderungen an die Homogenität und die Stabilität pro Stunde von  $\pm 1\%$  gestellt. Das Strahlrohr wird deshalb mit siedendem Neon/Argon (27K/120K) gekühlt, das von einem quasi - stationären Flüssigkeitsspiegel abdampft. Die Temperaturen des Strahlrohres müssen deshalb mit der notwendigen Genauigkeit gemessen werden. Zwei Randbedingungen bestimmen die Auswahl der Messverfahren bzw. geeigneter Temperaturfühler. Das statische Magnetfeld im Bereich von 5T und das periodische Ausheizen des Strahlrohres auf 550K. Diese Bedingungen, zusammen mit den hohen Anforderungen an die Genauigkeit, führten zur Entscheidung für die präzise Temperaturmessung Dampfdruckthermometer mit Neon als Medium einzusetzen. Für die Abkühlung, zur Stabilisierung des Kühlkreislaufes und Ausheizens des Strahlrohres werden Pt500-Temperaturfühler verwendet. Der Einsatz von Dampfdruckthermometer im Temperaturbereich 120K wird zurzeit noch diskutiert. Vorgesehen sind 42 Stück Dampfdruckthermometer die durch eine geeignete Halterung am Strahlrohr montiert werden.

Dampfdruckthermometern werden üblicherweise ist als Primärstandard für die Temperaturmessung in Kalibrierlaboren eingesetzt. Höchste Genauigkeit an die Temperaturmessung ist dort das Einsatzkriterium. Im Vergleich dazu hat der Einsatz in der WGTS andere Anforderungen. Eine große Stückzahl mit geringeren Anforderungen an die Messgenauigkeit und dazu sehr lange Kapillaren, die in unzugänglich in einem aufwendigen Kryosystem integriert werden. Sehr wichtig ist die zudem die Forderung eines zuverlässigen Betriebs über Jahre mit unterschiedlichen Qualifikationen an Bedienern. Diese Randbedingungen führten zu einer Untersuchung über eine geeignete konstruktive Lösung von Bulb, Kapillaren, Gasverteilungs- und Druckmesssystem. Der Beitrag stellt die theoretischen Vorüberlegungen, den Testaufbau und Messungen vor.

### I.14

#### **Umgang mit Flüssighelium im Laborbereich – Erfahrungen aus der Praxis**

Ch. Haberstroh

Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik  
TU Dresden

Flüssighelium als Kälteträger erfreut sich deutlich zunehmender Verbreitung. Eine Vielzahl neuer Verflüssigungsanlagen wurde allein in den letzten Jahren installiert, bereits bestehende Anlage verzeichnen wachsende Auslastungen. Eine große Anzahl von Forschungsinstituten lässt sich zudem kommerziell mit Flüssighelium versorgen.

Gleichzeitig scheint durch „bedienfreundliche“ Kryostate und Laborausüstung sowie durch weitgehende Automatisierung der Verflüssigungsanlagen der Umgang mit Flüssighelium nun für jedermann machbar. Trotzdem haben natürlich thermodynamische Gesetzmäßigkeiten und die Eigenheiten kryogener Medien nach wie vor ihre Gültigkeit und verdienen Beachtung. Der Beitrag greift einige Komplikationen auf, die sich aus dem erweiterten Nutzerkreis und der vermeintlich einfachen Verwendung ergebenden.

## I.15

### **„Kühlung von Detektoren und Experimenten der Hochenergiephysik - 10 years ILK at CERN“**

T. Eisel, M. Battistin, P. Guglielmini, M. Kuhn, R. Herzog, J. Schenk,  
Institut für Luft- und Kältetechnik, Gemeinnützige Gesellschaft mbH  
Hauptbereich Kälte- und Tieftemperaturtechnik, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
Phone: +41 22 76 77079, Fax: +41 22 76 68706  
Mail: thomas.walter.eisel@cern.ch  
T. Eisel, CERN Organisation, TS CV Bldg. 298 1-011, Postbox A26900,  
CH-1211 Genève 23, Switzerland

1. Überblick CERN und die Experimente am CERN mit ILK Beteiligung seit 1997
2. Schwerpunktarbeiten (kurz zusammengefasst, 4x5min)
  - (1) Tracker Cooling mit Fluor Kohlenwasserstoffen als Kältemittel  
z.B. in den Experimenten ATLAS, CMS  
Kompatibilitätsuntersuchungen ILK
  - (2) Detektorkühlung mit Wasserkreislauf  
z.B. in den Experimenten CMS [Muon Chamber], ATLAS, LHCb, ALICE  
leckagefreie Kühlsysteme unter Verwendung von Vakuum  
+Gegenüberstellung bisheriger und zukünftiger Systeme  
+Aufbau, Wirkungsweise
  - (3) Simulationsrechnung bzgl. Stoff- und Wärmetransport mit moderner Software  
z.B. CNGS at al

## I.16

### **Konzeption der kryogenen Pumpstrecke im Experiment KATRIN**

Dr. S. Putselyk, S. Grohmann, O. Kazachenko, H. Neumann, M. Suesser  
Institute for Technical Physics (ITP), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
Phone: +49 7247 822694, Fax: +49 7247 822849  
Email: sergiy.putselyk@itp.fzk.de

Die kryogene Pumpstrecke (CPS = Cryogenic Pumping Section) schließt den Tritium-führenden Teil im Experiment KATRIN ab. Der supraleitende Magnetkryostat besteht aus 7 Magnetmodulen, die bei 1,3 K / 4,5 bar im LHe-Bad gekühlt werden. Neben der adiabatischen Weiterleitung der  $\beta$ -Zerfallselektronen zur Spektrometergruppe besteht die Hauptaufgabe darin, den verbleibenden  $T_2$ -Fluss im Strahlrohr um einen Faktor  $10^{-7}$  auf einen Wert am Austritt von  $<10^{-14}$  mbar·l·s $^{-1}$  zu reduzieren. Dies geschieht durch Adsorption auf einer Ar-Frostschicht bei einer Temperatur von 3 K, wobei die Frostschicht bei ca. 7 K auf die innere Strahlrohroberfläche aufgefroren wird. Die Regeneration erfolgt in Zyklen von 1 bis 3 Monaten bei Temperaturen um 100 K. In dem Beitrag wird das kryogene Konzept für die Magnet- und Strahlrohrkühlung einschließlich Instrumentierung vorgestellt.



## I.17

### **Kryotechnischer Magnetteststand für FAIR**

Schroeder, Claus Dipl.Ing(FH), Kauschke, Marion Dr.Ing.  
GSI Darmstadt, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt  
[c.schroeder@gsi.de](mailto:c.schroeder@gsi.de)

Die GSI(Gesellschaft für Schwerionenforschung) plant einen komplexen Ausbau ihrer Beschleunigeranlagen bis 2015, das so genannte FAIR-Projekt (Facility for Antiproton and Ion Research). Dabei spielen supraleitende, schnell gepulste Magnete eine wichtige Rolle. Diese werden dafür mit Helium auf 4K heruntergekühlt. Für Tests an Modell- und Prototypmagneten wurde ein Teststand aufgebaut und in Betrieb genommen. Es lassen sich hier 2-Phasen unterkritisch-, 1-Phasen überkritisch- und bad-gekühlte Magnete testen. Kryogenen werden die Verlustleistungen bestimmt und das Verhalten im Quenchfall untersucht. Desweiteren werden die Felder vermessen und Quenchsicherungssysteme getestet. Aufbau, Funktionsweise und erste Ergebnisse des Teststandes werden hier dargestellt.

## I.20

### **Herausforderungen der Heliumversorgung bei einer sich wandelnden globalen Marktstruktur**

Matthias Bohn  
Market Development Manager – Global Helium  
Linde Gas  
Carl-v.-Linde-Str. 25  
85716 Unterschleißheim

Helium, das für unzählige Anwendungen in der Kryotechnik unentbehrliche Element, wird immer knapper.

Einerseits verändert sich die Situation auf der Produktionsseite schnell und nachhaltig. Die Kapazität der Quellen in den USA, dem größten Helium-Produzenten der Welt, nimmt weiter ab. Das Erschließen neuer Quellen ist kostspielig und auf Grund der geographischen und geopolitischen Lage oft risikoreich. Auf der anderen Seite erfordern immer neue Anwendungsgebiete einen Anteil an diesem knappen Produkt.

Als Lösungsansatz kommt nur eine konsequente Rückgewinnungsstrategie in Frage, doch dies erfordert nicht nur die Weiterentwicklung bestehender Technologien, sondern oft auch ein Umdenken bei Versorgungskonzepten und neue Ansätze bei den Produktionsprozessen der Heliumkonsumenten.

Stichworte: Heliumquellen, Heliummarkt, Heliumanwendungen, Supply-Demand-Balance, Heliumrückgewinnung

## I.21

### **16 T Split Coil Magnet-System für die Neutronenstreuung**

Johannes Bösel

Bruker BioSpin AG, Industriestrasse 26, CH - 8117 Fällanden / Schweiz

Gegenwärtig wird bei der Bruker BioSpin AG ein 16 T Split Coil Magnet-System entwickelt, welches ab 2009 für Neutronenstreuexperimente an der Spallation Neutron Source (SNS) in Oakridge, USA, zum Einsatz kommen soll. Neben den Herausforderungen beim Design des Magneten (z.B. Verwenden einer magnetischen Abschirmung, symmetrischer und asymmetrischer Betrieb des Magneten) werden auch an die Kühlung des Magneten und der Probe hohe Anforderungen gestellt. So wird zur Unterkühlung des Heliumbades eine „Lambda-Platte“ verwendet und die Probe lässt sich mittels eines „Variable Temperature Inserts“ (VTI) auf Temperaturen zwischen 2 K und 300 K temperieren. Im Vortrag wird allgemein auf den Aufbau des Magnetsystems und im Speziellen auf die Kühltechnik eingegangen.

## I.22

### **Funktionsweise einer Helium Verflüssigungsanlage und Erfahrungen aus der Inbetriebsetzung der Anlage in Skikda, Algerien**

P. Fröhlich, J. Clausen

Linde Kryotechnik AG, Dattlikonerstrasse 5, 8422 Pfungen, Switzerland

Der Vortrag beschreibt die Funktion und den Prozess einer grossen industriellen Verflüssigungsanlage des aus Erdgas gewonnenen Heliums.

Anhand eines Blockflussschemas wird das gesamte Verfahren von der Gewinnung des Erdgases bis zur Speicherung & Verladung des flüssigen Heliums erklärt. Es wird über die aktuellen Erfahrungen berichtet, die während der Montage und Inbetriebnahme der Grossanlage in Skikda, Algerien, gemacht wurden. Weitere Erfahrungen beziehen sich auf den unvorhergesehenen Teillastbetrieb aufgrund reduzierter Gaszufuhr nach Wegfall, bzw. Beschädigung zweier vorgelagerter LNG- Trains.

Ein Ausblick der algerischen Arbeitsbedingungen vor Ort, sowie den Herausforderungen und Schwierigkeiten in der Logistik (Versand und Verzollung der Gewerke), Qualifikation der lokalen Unterlieferanten, Einrichtungen und Werkzeuge auf der Baustelle runden den Vortrag ab.

Abschliessend werden die Unterschiede (mit Bezug auf Technik und Projekttermin- & Ressourcenplanung) im Gegensatz zu einer Inbetriebsetzung innerhalb von Europa diskutiert.

## II.1.1

### **Solares Heizen und Kühlen mit Absorptionskältemaschine und Latentwärmespeicher – Erfahrungen des ersten Betriebsjahres**

Christian Keil, Martin Helm, Saskia Demel, Holger Köbel, Stefan Hiebler, Harald Mehling,  
Christian Schweigler  
ZAE Bayern, 85748 Garching

Um den Einsatz kompakter Sorptionskältesysteme zu erleichtern, wird ein neuartiges Rückkühlsystem, bestehend aus einem trockenen Rückkühler in Verbindung mit einem Latentwärmespeicher, entwickelt. Auf diese Weise kann ein definiertes niedriges Temperaturniveau für die Rückkühlung der Kälteanlage – unabhängig von den während des Betriebs der Kälteanlage herrschenden Umgebungstemperaturen – angeboten werden. Das Temperaturniveau der Rückkühlung wird durch die Umwandlungstemperatur des Latentwärmespeichers festgelegt. Die vom Latentwärmespeicher während des Betriebs der Kälteanlage aufgenommene Wärme wird während der Nachtstunden über ein trockenes Rückkühlwerk an die Umgebung abgegeben, so dass die während der Nachtstunden herrschenden niedrigeren Umgebungstemperaturen für die Abgabe der Abwärme der Kälteerzeugung an die Umgebung genutzt werden können.

In Systemen, bei denen solarthermische Wärme im saisonalen Wechsel sowohl zum Antrieb einer Sorptionskälteanlage als auch zu Heizzwecken verwendet wird, kann der Latentwärmespeicher während der Heizperiode zusätzlich auch zur Pufferung der solarthermisch erzeugten Heizwärme eingesetzt werden.

Es wird über den Aufbau und den Betrieb eines Systems zum solaren Heizen und Kühlen mit einer 10 kW Absorptionskältemaschine und einem Latentwärmespeicher mit einem Wärmeinhalt von 120 kWh berichtet. Der Latentwärmespeicher wird auf der Grundlage von Zyklertests unter definierten Bedingungen charakterisiert. Erste Betriebserfahrungen im realen Betrieb zur Heizungsunterstützung und im Kühlbetrieb werden vorgestellt.

## II.1.2

### **Solare Kühlung und Klimatisierung – technische Möglichkeiten, Stand der Umsetzung und offene Fragen**

Dr. Hans-Martin Henning,  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Im Beitrag wird eine Übersicht über die unterschiedlichen Verfahren der Nutzung von Solarenergie zur Kühlung bzw. sommerlichen Raumklimatisierung (Kühlung, Entfeuchtung) gegeben, wobei der Schwerpunkt auf den thermisch angetriebenen Verfahren liegt. Es werden sowohl offene sorptive Verfahren als auch geschlossene thermodynamische Prozesse diskutiert, die durch thermische Solarkollektoren bereit gestellte Wärme für den thermischen Antrieb nutzen.

Generell können unterschiedliche Kollektortechniken zum Einsatz kommen, die Wärme auf unterschiedlichen Temperaturen bereit stellen und somit mit verschiedenen kältetechnischen Verfahren gekoppelt werden können.

Einer kurzen Darstellung des Standes der praktischen Umsetzung mit ausgewählten Beispielen folgt eine abschließende Diskussion von offenen Fragen, die die Benennung von wichtigen Themen für weitere F+E-Arbeiten einschließt.

### II.1.3

#### **Solare Kühlung mit einer 10 kW Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine**

M. Zetzsche (Dipl.-Ing.), T. Koller, T. Brendel, H. Müller-Steinhagen  
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart entwickelt eine solar angetriebene Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitspaar Ammoniak/Wasser. Zudem wird ein Konzept zur solaren Kühlung von Gebäuden umgesetzt und getestet. Dieses Konzept umfasst das Gebäude mit Kühldecken, einen Eisspeicher und die Absorptionskältemaschine mit einem Trockenkühlsystem.

Nach Messungen und Tests im Labor wird die Anlage erstmals unter realen Bedingungen betrieben. Dazu wurden fünf Räume des Institutsgebäudes mit Kühldecken ausgerüstet und mit der Kälteanlage verbunden.

Im Vortrag werden das Kühlkonzept im Detail sowie Leistungsdaten der Kältemaschine vorgestellt. Weiterhin wird die Kombination der Kältemaschine mit den Trockenkühlern, den Solarkollektoren und dem Eisspeicher erläutert. Be- und Entladung des Eisspeichers spielen eine entscheidende Rolle während des Kühlbetriebs. Alle Komponenten werden mit einer Speicherprogrammierbaren Steuerung geregelt. Kennwerte wie z.B. Kühllast, verfügbare Kälteleistung, thermische Behaglichkeit in den Räumen, COP der Absorptionskältemaschine und die Randbedingungen (Solarstrahlung, Umgebungstemperatur) werden dargelegt und erläutert. Neben Betriebserfahrungen mit der solaren Kühlung wird ein Ausblick über die Nutzung der Anlage als Wärmepumpe gegeben.

### II.1.4

#### **Konstruktion und Betrieb eines kleinen Eisspeichers**

T.Koller (Dipl.-Ing.), M. Zetzsche, T. Brendel, H. Müller-Steinhagen  
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik,  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Seit einigen Jahren wird am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart eine solarbetriebene 10 kW-Absorptionskälteanlage entwickelt und erprobt. Durch Kombination mit einem Eisspeicher kann die Effizienz dieser Kälteanlage bei der Gebäudeklimatisierung wesentlich verbessert werden. Aus diesem Grund ist in den vergangenen Monaten ein kleiner Eisspeicher (0,5m<sup>3</sup>) gebaut und vermessen worden. In diesem Vortrag sollen die Funktionsweise des Eisspeichers, Erfahrungen aus dessen Betrieb und die dabei erhaltenen Messergebnissen dargestellt werden. Weiterhin wird ein eigens entwickeltes Simulationsprogramm vorgestellt und näher erläutert. Weitere wesentliche Schritte in diesem Projekt sind die Nutzung des Eisspeichers zur Klimatisierung des Institutsgebäudes und die Vermessung und Beurteilung des Betriebsverhaltens im realen Einsatz. Über erste Erfahrungen und Erkenntnisse aus dieser Projektphase, die im Sommer 2007 beginnt, wird ebenfalls berichtet.

### II.1.5

#### **Optimierung von H<sub>2</sub>O/LiBr-Absorptionskältemaschinen zur dezentralen Gebäudeklimatisierung**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tillmann Groth,

Institut für Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. Andrea Luke, Callinstraße 36, 30167 Hannover  
Tel: 0511-762-5659  
Fax: 0511-762-3857  
email: groth@ift.uni-hannover.de

Um H<sub>2</sub>O/LiBr-Absorptionskältemaschinen verstärkt zur dezentralen Gebäudeklimatisierung einsetzen zu können, werden Möglichkeiten zur Optimierung untersucht. Geeignete Anlagen im Kälteleistungsbereich bis 50 kW sind bisher vor allem aufgrund hoher Investitionskosten, großen Volumens und kleiner Leistungsdichte bzw. Wärmeverhältnisse kaum kommerziell verfügbar. Ungünstig ist auch die geringe Ausnutzung der Antriebswärme insbesondere bei niedrigen Antriebstemperaturen. Der Einsatz von Absorptionskältemaschinen ist aber erstrebenswert, weil er ökologische und auf lange Sicht auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen kann. Klimatisierungskälte kann von Absorptionskältemaschinen mit geringem Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß bereitgestellt werden, während gleichzeitig von elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen verursachte Lastspitzen im Stromnetz der Energieversorgungsunternehmen verringert werden. Zusätzlich kann durch die Nutzung von Niedertemperaturwärme als Antriebsenergie die Auslastung und Wirtschaftlichkeit thermischer Systeme zur Bereitstellung der Antriebswärme gesteigert werden. Vor dem Hintergrund allgemein steigender Energiepreise ermöglichen der Wärmeantrieb und die Arbeitsweise mit wenig reibungsbehafteten Bauteilen vergleichsweise niedrige Betriebskosten.

Aufbauend auf einer grundlegenden Prozessbeschreibung wird das Betriebsverhalten von Absorptionskältemaschinen und seine Erfassung durch geeignete Größen erläutert. Anschließend werden im ersten Schritt Optimierungsansätze der Hauptkomponenten anhand ihres Aufbaus, der inneren Vorgänge und der Einflüsse ihrer Leistungsfähigkeit auf das Betriebsverhalten der gesamten Anlage aufgezeigt. Dazu werden Berechnungsmethoden dargestellt und deren Ergebnisse mit Messwerten aus der Literatur verglichen. Im zweiten Schritt folgt eine Betrachtung der Prozessanpassung an die Niedertemperatur-Antriebswärmequellen Fernwärme aus Heizkraftwerken, Blockheizkraftwerke und thermische Solaranlagen. Hierzu werden die charakteristischen Eigenschaften der Systeme analysiert und Schaltungen vorgestellt, die verfügbare Wärmeströme besser ausnutzen und somit den Eigenschaften besser gerecht werden als der vorher definierte Standard-Prozess. Die Effektivität der optimierten Schaltungen wird anhand von Berechnungsergebnissen und Messwerten aus der Literatur überprüft. Abschließend können Aussagen zum zukünftigen Forschungsbedarf bzw. zu den Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Absorptionskältemaschinen zur dezentralen Gebäudeklimatisierung getroffen werden. Dem Institut für Thermodynamik der Leibniz Universität Hannover und dem Klimaschutzfonds proKlima können damit Handlungsempfehlungen gegeben werden.

## II.1.6

### **Wärme- und Stofftransport in einem Absorber einer Absorptionskälteanlage**

Arnold Wohlfeil, Felix Ziegler  
Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik

In dem Vortrag werden die Wärme- und Stoffübertragungseigenschaften eines Absorbers in einer nach industriellem Standard hergestellten Absorptionskälteanlage mit dem Stoffpaar Wasser / Lithiumbromid ohne Additive vorgestellt. Der Absorber ist als Rohrbündelwärmeübertrager mit horizontalen Rohren aufgebaut. Die Kälteleistung der Anlage beträgt etwa 80-100 kW.

Der Wärmetransportkoeffizient ist nicht von dem Massenanteil des Lithiumbromids in der Lösung oder vom Druckniveau abhängig. Es konnte eine leichte Zunahme des Wärmeüber-

tragungskoeffizienten mit der Reynoldszahl des Filmes nachgewiesen werden. Der Stoffübertragungskoeffizient ist nicht von der Reynoldszahl abhängig. Er nimmt jedoch mit dem Massenanteil des Sorptionsmittels Lithiumbromid in der Lösung zu und nimmt mit zunehmendem Druck im Absorber ab.

Eine Korrelation von dimensionslosen Kennzahlen ist bei den Versuchen aufgrund der geringen Variation der einzelnen Kennzahlen wegen der geringen Veränderung der Stoffwerte nicht sinnvoll und führt zu physikalisch nicht interpretierbaren Ergebnissen.

### II.1.7

#### **Modellierung und experimentelle Untersuchung eines kompakten abgas-beheizten Austreibers zum Einsatz in zweistufigen Absorptionskälteanlagen**

Marco Bauer, Stefan Plura, Matthias Schicktanz, Christian Schweigler  
ZAE Bayern, 85748 Garching

Für die Entwicklung von hocheffizienten Absorptionskältemaschinen, die in Verbindung mit einem Motor-BHKW Niedertemperaturwärme und Hochtemperaturwärme gleichzeitig nutzen, stellen rauchgasbeheizte Austreiber eine Schlüsselkomponente dar. Heute realisierte Anlagen nutzen als Wärmeübertrager für die Hochtemperaturwärme meist einfache Rauchrohrkessel, die aufgrund ihrer großen Bauformen jedoch fast nur für Anlagen großer Leistungen eingesetzt werden. Um die Akzeptanz für Absorptionskältemaschinen in Verbindung mit BHKWs kleiner Leistungen zu erhöhen, müssen gerade für diesen Sektor neue kompakte Austreiber entwickelt werden.

Es wird die Entwicklung eines Hochtemperaturaustreibers für das Stoffpaar H<sub>2</sub>O/LiBr, basierend auf dem Funktionsprinzip eines Naturumlauf-Verdampfers, beschrieben. Als Ausgangspunkt für die Auslegung und Konstruktion des Apparates wurde eine thermodynamische Modellierung erstellt, mit deren Hilfe sowohl die zweiphasige Strömung der LiBr-Lösung in den Rohren als auch die Auskühlung der im Kreuzstrom über das Rohrbündel geführten Rauchgasströmung dargestellt werden kann. Ein Versuchswärmetauscher wird momentan in einer Double-Effect/Single-Effect-Absorptionskältemaschine im Verbund mit einem Motor-BHKW getestet. Basierend auf den Versuchsergebnissen soll die numerische Modellierung verifiziert bzw. angepasst werden.

Der Beitrag befasst sich mit grundlegenden Bestandteilen der thermo-hydraulischen Modellierung und liefert Vorhersagen für das Betriebsverhalten des Hochtemperaturaustreibers. Im letzten Teil werden erste Versuchsergebnisse den Simulationsergebnissen gegenübergestellt und mit diesen verglichen.

### II.1.8

#### **Betriebserfahrungen mit der Kleinabsorptionskältemaschine Wegracal SE 15 unter verschiedenen Randbedingungen**

Mathias Safarik  
Hauptbereich Kälte- und Tieftemperaturtechnik  
Telefon (0351) 40 81 684  
Telefax (0351) 40 81 635

E-Mail [mathias.safarik@ilkdresden.de](mailto:mathias.safarik@ilkdresden.de)

L. Richter, M. Kuhn

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH Bertolt-Brecht-Allee 20,  
01309 Dresden

Die Wasser/Lithiumbromid-Kleinabsorptionskältemaschine Wegracal SE 15 wurde im Rahmen eines Demonstrationsprojektes mit unterschiedlichen Wärmequellen, Rückkühlvarianten und raumseitigen Kühlsystemen vermessen. Im Beitrag werden ausgewählte Betriebsergebnisse und -erfahrungen vorgestellt.

### II.1.9

#### **Konzept eines indirekten Bordkühlsystems mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel und zweiphasiger Kälte­träger**

Dipl.-Ing. S. Adeyefa, Prof. Dr.-Ing. U. Carl, Prof. Dr.-Ing. F. Thielecke  
Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Institut für Flugzeug-Systemtechnik (M-7)  
s.adeyefa@tuhh.de

Der Einsatz von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in mobilen Kälteanlagen beschäftigt derzeit insbesondere Systementwickler in der Automobilindustrie. Auch in der Luftfahrt werden aktuell Klimaanlage kleinerer Flugzeuge, aber auch Bordkühlsysteme von Großraumflugzeugen als mögliche Anwendungsgebiete untersucht. Dies ist zum einen durch ein wachsendes Umweltbewusstsein der Luftfahrtindustrie motiviert, zum anderen durch Potenziale zur Einsparung von Bauraum und Systemgewicht im Zusammenhang mit CO<sub>2</sub>-Kühlsystemen. Hierbei spielen die hohe volumetrische Kälteleistung und die vergleichsweise geringe Dichte von CO<sub>2</sub> gegenüber bisher eingesetzten Kälte­trägern eine entscheidende Rolle.

In Erweiterung zur bisher betrachteten Systemarchitektur eines direktverdampfenden Kühlsystems mit dezentralen Verbrauchern wird ein System mit zwischengeschaltetem Kälte­trägerkreislauf untersucht. Hierbei kommt CO<sub>2</sub> als verdampfender, zweiphasiger Kälte­träger zur Leistungsverteilung an die parallel angeordneten Kühlstellen zum Einsatz. Charakteristisch ist hierbei die geringe Förderleistung, die lediglich ein Umwälzen des Fluids im Zwischenkreislauf notwendig macht. Die Erzeugung der Kälteleistung innerhalb des Bordkühlsystems erfolgt im Rahmen dieses Konzepts am Boden über einen Primärkreislauf nach dem LORENTZEN Prozess. Für den Flugfall ist durch Implementierung des Sekundärkreislaufs eine Nutzung der geringen Umgebungstemperaturen und somit ein fast arbeitsfreier Kälte­kreislauf möglich.

Am Institut für Flugzeug-Systemtechnik werden unterschiedliche Systemarchitekturen für CO<sub>2</sub> Bordkühlsysteme anhand von theoretischen und experimentellen Untersuchungen bewertet. Dabei steht die Versorgung von Küchen und elektrischen Verbrauchern, mit jeweils unterschiedlichen Temperaturniveaus im Vordergrund. In diesem Beitrag soll auf die speziellen Gegebenheiten bei der Nutzung von zweiphasigen Kälte­trägern, die aus der Kopplung von Temperatur und Druck im Zweiphasengebiet resultieren eingegangen werden. Hierzu werden Messergebnisse vorgestellt und auf die Effizienz der Teil- und Gesamtsysteme eingegangen. Die Betrachtung der Wärmeübergänge und Güte der Wärmeübertrager wird in diesem Zusammenhang ebenfalls beleuchtet.

### II.1.10

#### **CO<sub>2</sub>-Prozesse mit mehrstufiger Entspannung für Klimakälte­anwendungen**

Uwe Sievers

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Technik und Informatik  
Forschungsschwerpunkt Brennstoffzellen und rationelle Energieverwendung  
Fachgebiet Technische Thermodynamik, Anlagenbau und Kältetechnik  
Berliner Tor 21, 20099 Hamburg

Zur Kälteerzeugung in Fahrzeugklimaanlagen können CO<sub>2</sub>-Kältemaschinen eingesetzt werden, in denen der Kältemaschinenprozess je nach Umgebungstemperatur transkritisch oder unterkritisch verläuft. Im Rahmen der Projektierung einer Fahrzeugklimaanlage werden für CO<sub>2</sub>-Prozesse mit Verdampfungstemperaturen von 0 °C und 5 °C sowie Umgebungstemperaturen zwischen 15 °C und 55 °C systematische thermodynamische Prozessberechnungen durchgeführt. Dabei werden verschiedene Schaltungsvarianten hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihrer Auswirkungen auf die erforderlichen Wärmeübertrager untersucht und miteinander verglichen.

Durch eine mehrstufige Verdichtung mit Zwischenkühlung und eine mehrstufige Entspannung läßt sich die Energieeffizienz des CO<sub>2</sub>-Prozesses zwar erhöhen, gleichzeitig wird der Aufbau der Kältemaschine jedoch komplizierter. Dies widerspricht der Forderung nach einer einfach aufgebauten Fahrzeugklimaanlage.

Die Ergebnisse verschiedener Prozessberechnungen werden vorgestellt und der Einfluss der Variation der Prozessparameter auf die Auslegung und das Betriebsverhalten der Kältemaschine aufgezeigt. Die Berechnungsergebnisse können als Grundlage für die Auslegung und den Betrieb von CO<sub>2</sub>-Kältemaschinen dienen, nicht nur in Fahrzeugklimaanlagen, sondern auch für andere Anwendungsfälle mit entsprechenden Verdampfungs- und Umgebungstemperaturen.

## II.1.11

### **Untersuchungen zur Schaumbildung und Schaumstabilität im System CO<sub>2</sub> - Kältemaschinenöl unter Prozessbedingungen**

Dipl.-Ing. Michael Müller, Prof. Dr.-Ing. Rudolf Eggers  
TU Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Eißendorfer Straße 38,  
21073 Hamburg

In CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen finden semi-hermetische Verdichter weitverbreiteten Einsatz. Bei diesem Verdichtertyp ist es unvermeidlich, dass kleine Mengen an Schmieröl aus dem Verdichter in den Kältekreislauf eingetragen werden. Während ein Schmierölmangel im Verdichter heutzutage durch eine geeignete Schmierölrückführung in der Regel unproblematisch ist, kann hingegen eine Schaumbildung im CO<sub>2</sub>-Öl-Gemisch im Verdichtersumpf die Schmierfähigkeit im Kompressor negativ beeinflussen. Außerdem kann eine Schaumschicht negative Auswirkungen auf den Wärmeübergang in den Wärmeübertragern haben.

An der TU Hamburg-Harburg wurden daher Untersuchungen mit verschiedenen Kältemaschinenölen (POE, PAO, PAG) durchgeführt, um herauszufinden, unter welchen Prozessbedingungen Schaumbildung auftreten kann und wie stabil dieser Schaum ist. Dazu wurden zum einen Sichtzellen in eine CO<sub>2</sub>-Kälteanlage integriert, um die Strömung zu visualisieren, und zum anderen die Schaumbildung und Schaumstabilität in Durchströmversuchen von Öl mit CO<sub>2</sub> in einer separaten Versuchsanlage unter Prozessbedingungen untersucht. Anhand der Ergebnisse lässt sich eine Aussage treffen, welches Öl hinsichtlich der Schaumbildungseigenschaft am besten für den Einsatz in CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen geeignet ist. Die physikalischen Hintergründe der Versuchsergebnisse werden erörtert.



Stichwörter. CO<sub>2</sub>-Kältekreislauf, Schaum, Kältemaschinenöl, Schaumbildung, Schaumstabilität

### II.1.12

#### **Schmierstoffe für das Kältemittel CO<sub>2</sub>**

Puhl, Christian, F&E Kältemaschinenöle  
Bock, Wolfgang, Produktmanager Industrieöle  
FUCHS EUROPE Schmierstoffe GmbH, Friesenheimer str. 15, 68169 Mannheim  
christian.puhl@fuchs-europe.de

Unabhängig von der Diskussion, ob CO<sub>2</sub> sich als Kältemittel für die PKW-Klimatisierung durchsetzen wird, hat sich das natürliche Kältemittel Kohlendioxid in der Industrie- und Gewerbekälte während der letzten 10 Jahre als Betriebsstoff etabliert. In den zahlreichen Anwendungen von der Supermarktkühlung bis zur Wärmepumpe finden sich unterschiedliche Öltypen wie z.B. nicht mischbare Polyalphaolefine oder sehr gut mischbare Polyolester in Kombination mit geeigneten Verschleißschutzadditiven.

Die Präsentation beschreibt die verschiedenen Schmierstofftypen anhand wichtiger Eigenschaften wie Phasenverhalten, thermische Stabilität, Hygroskopie und Verschleißschutz und stellt die zur Bestimmung dieser Kennwerte geeigneten Methoden vor. Außerdem werden für die Schmierstoffe kritische Einsatzbedingungen sowie Grenzwerte für die Beurteilung von gebrauchten Kältemaschinenölen erläutert.

### II.1.13

#### **CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden mit verbessertem Wärmeschutz**

Kai Kosowski, Wilhelm Tegethoff, Jürgen Köhler,  
TU Braunschweig, Inst. für Thermodynamik, Hans-Sommer-Straße 5, D-38106  
Braunschweig  
Lars Kühl, TU Braunschweig, Inst. für Gebäude- und Solartechnik, Mühlenpfordtstr. 23,  
D-38106 Braunschweig

Der Anteil am Gesamtenergiebedarf in Deutschland beträgt allein für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitstellung etwa 40%. Neben der Verbesserung des Wärmeschutzes bietet die Effizienzsteigerung zur Bereitstellung der Wärme für Heizung und Warmwasser ein Potential der Energieeinsparung. Ein effizientes System kann eine Wärmepumpe durch Nutzung der Umweltwärme sein.

Das Funktionsprinzip der CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen mit hohen Austrittstemperaturen bei geringen Massenströmen entspricht dem einer Low-Flow-Solaranlage. Die CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe ist somit eine ideale Ergänzung zu einer thermischen Solaranlage mit Schichtenladespeicher. Durch diese Anlagenkombination wird eine effiziente Nutzung von thermischer Solarenergie und Erdwärme in einem System möglich. Die auch bei Austrittstemperaturen von 60°C erreichbaren hohen COP-Werte stellen die CO<sub>2</sub>-Technologie insbesondere für Passivhäuser mit Luftheizungen und einem hohen anteiligen Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung als energetisch und ökologisch zukunftsfähige Technologie dar. Ebenso für die Verwendung in einem Niedrigstenergiehaus mit einem Jahres-Heizwärmebedarf von 30 kWh/(m<sup>2</sup>·a) sind CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen energetisch und ökologisch eine echte Alternative zu Feuerungsheizungen und zu Wärmepumpen mit konventionellen Arbeitsmitteln.

Im Vortrag werden Ergebnisse aus Systemsimulationen und Versuchsreihen mit Prototypen einer mit einem Schichtenladespeicher gekoppelten CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe dargestellt. Das Wärmeversorgungssystem ermöglicht eine deutliche Primärenergieeinsparung sowie eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sogar gegenüber der Gas-Brennwerttechnik.

Stichworte: Wärmeversorgungssystem, Wärmepumpe, CO<sub>2</sub>, Niedrigstenergiehaus, Passivhaus

#### II.1.14

### **Thermodynamische Analyse des Kalina-Prozesses mit NH<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>O zur Stromerzeugung**

Mikael Philippe und Klaus Spindler  
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

Der russische Wissenschaftler Alexander I. Kalina und seine Mitarbeiter haben verschiedene Kreisläufe mit NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O zur Stromerzeugung mit Niedertemperatur-Wärmequellen vorgeschlagen. In diesen Kreisläufen spielt die innere Wärmerückgewinnung zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades eine große Rolle. Kalina- Kreisprozesse können als Nachschaltprozesse für Gasturbinen, für geothermische und Biomasse befeuerte Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eingesetzt werden. Die Verwendung von NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O als nicht-azeotropes Gemisch hat einige thermodynamische Vorteile gegenüber einem Einkomponenten- Arbeitsmittel. Beim Sieden steigt die Temperatur des Gemisches, beim Kondensieren fällt die Temperatur. Der Temperaturverlauf des Gemisches passt sich damit besser an den Temperaturverlauf der Wärmequelle bzw. Wärmesenke an. Durch Veränderung des Ammoniakanteils kann eine weitere Verbesserung der Anpassung der Temperaturverläufe erzielt werden. Die Entropieerzeugung in den Wärmeübertragern wird verringert. Der Wirkungsgrad der Kalina-Prozesse ist besser als die der ORC-Prozesse, wenn gleich er niedrig ist.

Die numerische Modellierung und Simulation helfen die Kalina-Prozesse weiter zu entwickeln. Es wird das Programm EES und die Stoffdatenprozedur AWMIX verwendet, um den thermodynamischen Kreislauf abzubilden und zu simulieren. Es werden Parametervariationen zur Optimierung des Kreisprozesses durchgeführt. Neben einem kurzen Überblick über die Kalina-Kreisläufe und deren Anwendungen werden die Ergebnisse der thermodynamischen Analyse vorgestellt und diskutiert.

#### II.1.15

### **Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit abgas-beheizter zweistufiger Absorptionskältemaschine – Betriebserfahrungen einer Pilotinstallation mit 300 kW Kälteleistung**

Stefan Plura, Dirk Baumeister, Christian Schweigler  
ZAE Bayern, 85748 Garching

Zur Steigerung der Effizienz von KWKK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) wird ein neuartiges Systemkonzept entwickelt, bei dem ein BHKW mit einer zweistufigen Absorptionskälteanlage gekoppelt wird. Auf diese Weise kann die im BHKW-Abgas enthaltene Wärme direkt in den Austreiber der Absorptionskälteanlage eingekoppelt werden. Bei der direkten Nutzung des Rauchgases kann - entsprechend dem höheren

Temperaturniveau der Antriebswärme - ein zweistufiger Absorptionskreislauf eingesetzt werden. Dadurch ergibt sich eine deutlich höhere Energieausnutzung.

Zur gleichzeitigen Nutzung von Niedertemperaturwärme erhält der zweistufige Kreislauf durch Kombination mit einem einstufigen Kreislauf eine zusätzliche Wärmezufuhr auf niedrigem Temperaturniveau, so dass das Abgas – der typischen BHKW-Auslegung entsprechend - auf etwa 120°C abgekühlt werden kann. Gleichzeitig werden die weiteren Abwärmeströme des BHKW aus dem Ölkühler, Motorkühlwasser und der Ladeluftkühlung wie bei herkömmlichen KWKK-Systemen über einen Heißwasserkreislauf zum Antrieb der Wärmepumpe genutzt. Dieses Anlagenkonzept mit Kombination von einstufigem und zweistufigem Absorptionskreislauf wird als Double-Effect/Single-Effect-Kreislauf bezeichnet.

Das neuartige Systemkonzept kommt bei der Energieversorgung eines Thermalbades zum Einsatz. Die zweistufige Absorptionskältemaschine dient dabei zur Kühlung von Abschlämmwasser aus der Beckenwasserreinigung mit einer Kälteleistung von 350 kW sowie zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme – vornehmlich für die Beckenheizung – mit 700 kW.

Das Systemkonzept und die Anlagenauslegung sowie erste Betriebsergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

#### II.1.16

##### **Systemvergleich von Absorptionskälteanlagen mit den Arbeitsstoffen Wasser/LiBr und Ammoniak/Wasser**

T. Brendel, H. Müller-Steinhagen  
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
Tel.: 0049-711-685-63552, Fax: 0049-711-685-63503  
E-mail: [brendel@itw.uni-stuttgart.de](mailto:brendel@itw.uni-stuttgart.de)

Bisher wurde das Arbeitsstoffpaar für Absorptionskälteanlagen in Abhängigkeit vom Temperaturbereich ausgewählt. Während Wasser/LiBr fast ausschließlich für die Kaltwassererzeugung zur Klimatisierung bei +15°C bis +5°C eingesetzt wird, wurde Ammoniak/Wasser überwiegend zur Kälteerzeugung in der Lebensmittelindustrie bei +5°C bis -30°C angewendet. Derzeit gibt es eine starke Nachfrage nach Absorptionskälteanlagen kleiner Leistung (3-30 kW), für die Kühlung von Räumen, die mit Wärme aus Solarkollektoren betrieben werden können. Für die Entwicklung dieser Anlagen ist die Wahl der Arbeitsstoffe wieder offen. Es gibt sowohl mit dem Stoffpaar Wasser/LiBr als auch mit Ammoniak/Wasser viel versprechende Entwicklungen.

Unter diesem Aspekt soll ein Systemvergleich erfolgen. Zunächst sollen die allein auf die Eigenschaften der Arbeitsstoffe zurückzuführenden Unterschiede in den erreichbaren Leistungszahlen dargestellt werden. Hierzu werden beide Prozesse mit einer „idealen Anlage“ abgebildet und berechnet. Weiterhin werden reale Schaltungen und Anlagen abgebildet und nicht ideal arbeitende Komponenten eingefügt. Auch für diese Varianten werden die erreichbaren Leistungszahlen bestimmt. Abschließend soll ein Vergleich der Berechnungen bezüglich der erzielbaren Leistungszahlen erfolgen.

#### II.1.17

##### **Betriebserfahrungen mit Klein-Absorptionskälteverfahren für das Arbeitsstoffpaar Ammoniak – Wasser**

Dr.-Ing. H. Förster  
Ing.-Büro IFM Dr.-Ing. Förster, Bahrendorfer Str. 4, 39112 Magdeburg  
Tel.: +49 (391) 7314360, dr.foerster-kaelte@web.de

Die Entwicklung kleiner kompakter AKA bis 40 kW Kälteleistung im Verdampfungsbereich von 0 bis – 30 °C steht mit der dezentralen Energieversorgung auf der Tagesordnung. Die Kälte ist verwendbar für Milchkühlung, Kältetrocknung von Biogas, Kaltlagerung von Nahrungs- und Futtermitteln usw. Es wird über Erfahrungen im Betrieb des 2. Prototyps der Anlage berichtet.

Die neue Regelung der Kältemittelexpansion mit überflutetem Verdampfer und die hochinnovative Dampfkonzentrierung haben sich bewährt und werden behandelt.

### II.1.18

#### **Experimentelle Untersuchung gekühlter Membranabsorber in einer Absorptionskälteanlage**

Frank Schaal, Hans Hasse  
Institut für Technische Thermodynamik und Thermische Verfahrenstechnik (ITT),  
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart  
Thomas Weimer  
Makatec GmbH, Sindelfingen  
Helmut Mattes  
mattes engineering GmbH, Berlin

Gekühlte Membranabsorber haben durch ihre kleine und robuste Bauweise das Potenzial, neue Anwendungsfelder für die energetisch günstige Absorptionskältetechnik zu erschließen. Beim Einsatz der Membranabsorber in kleinen stationären Anlagen machen sich insbesondere die geringen Kosten durch Platz- und Materialeinsparung bemerkbar, die robuste Bauweise lässt aber auch einen Einsatz in mobilen Anwendungen zu.

Am ITT wurden verschiedene Prototypen der Membranabsorber mit porösen Polypropylen-Hohlfasern unterschiedlicher Dimensionen entwickelt. Die Absorptionseigenschaften wurden in einem Absorberprüfstand im Labor mit der Stoffpaarung Ammoniak/Wasser untersucht. Basierend auf den Messergebnissen wurde ein Simulationsmodell entwickelt.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus den Laborversuchen und den Simulationsergebnissen wurde ein gekühlter Membranabsorber im Bypass zu einem Plattenabsorber in eine 7,5 kW-Absorptionskälteanlage eingebaut und stationär betrieben. Vorgestellt werden Messergebnisse zum Betrieb mit dem Membranabsorber im Vergleich zum konventionellen Absorber.

### II.1.19

#### **Kälteerzeugung unter 0°C mit einer Wasser/Lithiumbromid-Resorptionskältemaschine**

L. Richter, M. Kuhn, M. Safarik  
ILK Dresden

Ziel einer Entwicklung im ILK war es, durch Realisierung eines Wasser-Lithiumbromid-Resorptionskälteprozesses nieder temperierte Abwärme zur Kälteerzeugung auf einem Nutzniveau knapp unter 0°C auch mit dem für H<sub>2</sub>O/LiBr- Sorptionsprozesse typischen hohen Wärmeverhältnis zu nutzen. Dazu wurde eine Versuchsanlage errichtet, die

im ILK untersucht, erprobt und vermessen wurde. Kälteanlagen dieses Typs sind bisher nicht bekannt. Durch die Verwendung eines weiteren Lösungsmittelkreislaufes im Kälteteil einer Sorptionskälteanlage können Kältetemperaturen knapp unter  $0^{\circ}\text{C}$  in  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ -Sorptionskälteanlagen realisiert werden.

Die erreichbare Kältenutztemperatur ist abhängig von der Heiz- und Rückkühltemperatur wie in Absorptionskälteanlagen, aber auch von der Kristallisationsgefahr des Lithium-Bromid-Salzes und der Auslegung des Lösungswärmeübertragers im Absorptionsteil. Solche Anlagen können den häufig angefragten Einsatzfall in der Gemüse-, der Milch- oder Getränke Kühlung für Sorptionskälteanlagen erschließen.

Die Versuchsanlage besitzt eine Kälteleistung von 15 kW. Bei Kühlwassertemperaturen von  $26^{\circ}\text{C}$  im Eintritt und  $31^{\circ}\text{C}$  im Austritt sowie Heizmedientemperaturen von  $95^{\circ}\text{C}$  im Eintritt und  $85^{\circ}\text{C}$  im Austritt wird der Kälteträger von  $4^{\circ}\text{C}$  auf  $0^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Mit der Versuchsanlage wurde die prinzipielle Funktionstüchtigkeit der Resorptionskälteanlage nachgewiesen. Es wurden Kältenutztemperaturen von bis zu  $-4^{\circ}\text{C}$  erzeugt. Jedoch konnten bei höheren Heizmedientemperaturen und Kältetemperaturen unter  $-1^{\circ}\text{C}$  noch keine stabilen Betriebsbedingungen infolge beginnender Kristallisationserscheinungen gesichert werden. Die erreichten Wärmeverhältnisse lagen in Abhängigkeit der Kältetemperatur zwischen 0,6 und 0,7. Weitere Verbesserungen und Optimierungen werden gegenwärtig erarbeitet und in der Versuchsanlage erprobt.

## II.2.1

### **CO<sub>2</sub> Scroll Verdichter größerer Leistung in der Kälte- und Wärmepumpenanwendung**

Dr.-Ing. Norbert Kämmer, Olivier Liegeois, Anne-France Fontaine  
Copeland GmbH, Pascalstr. 65, 52076 Aachen-Oberforstbach

Der wachsende Bedarf an Verdichtern für CO<sub>2</sub> Anwendungen führt zur Entwicklung von CO<sub>2</sub>-Scrollverdichtern für unterschiedliche Einsatzfälle. Die entsprechenden Anforderungen sowie die daraus resultierenden konstruktiven Lösungen für diese Verdichtergattung im Bereich der Tiefkühlung, der Normalkühlung sowie bei der Wärmepumpentechnik werden erläutert. Ebenso werden die Leistungsmerkmale der Verdichter in den unterschiedlichen Einsatzgebieten dargestellt. Darüber hinaus wird eine Einschätzung gegeben, welche Möglichkeiten sich daraus ergeben, dass Scrollverdichter spezifische konstruktive Optionen wie z. B. die Dampfeinspritzung bieten.

## II.2.2

### **Leistungsregelung von Kälteanlagen mit Schraubenverdichtern und Economiser**

Dr.-Ing. Dieter Mosemann, Dr.-Ing. Ole Fredrich, Dr.-Ing. Dmytro Zaytsev  
Grasso GmbH Refrigeration Technology, 13509 Berlin

Durch mehrstufige Verdichtung und Entspannung können in Kälteanlagen besonders bei hohen Druckverhältnissen erhebliche Kälteleistungssteigerungen und eine Erhöhung der Leistungszahl (COP) erreicht werden. Eine vorteilhafte Anlagenschaltung wird anhand eines zweistufigen Grasso-Schraubenverdichteraggregates vorgestellt.

Öleingespritzte Schraubenverdichter für die industrielle Kältetechnik besitzen darüber hinaus die Möglichkeit der Zwischendruckeinspeisung (Aufladung bzw. Economiser-Schaltung), so dass bereits mit einem Verdichter bemerkenswerte Leistungs- und COP-Verbesserungen möglich sind. Verschiedene Anlagenschaltungen und unterschiedliche Möglichkeiten der Leistungsregelung von Schraubenverdichtern mit Economiser wie Drehzahl-, Zwischendruck- oder Schieberregelung werden diskutiert.

Stichworte: Schraubenverdichter, Economiser, Leistungsregelung, Kältetechnik, zweistufig

## II.2.3

### **Optimierung des Schutzkonzeptes von Kältemittelverdichtern zur Erhöhung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit**

Marc Woerner  
KRIWAN Industrie-Elektronik GmbH, Allmand 11, D - 74670 Forchtenberg  
phone +49 79 47 / 8 22-72  
e-mail: Marc.Woerner@kriwan.com

Kältemittelverdichter sind hochausgelastete Maschinen, die in unterschiedlichen Ausführungen im Markt vorkommen. Der Verdichter, die teuerste Komponente in der Anlage, ist im Kältekreislauf das treibende Element für den Kältemittel-Massestrom.

Eine besondere Herausforderung stellen die gasgekühlten semi-hermetischen und hermetischen Verdichter dar, da sich hier der Elektromotor im Kältemittelkreislauf befindet. Insgesamt handelt es sich um ein komplexes System von gegenseitigen Abhängigkeiten, welches auf die Anwendung hin ausgelegt werden muss.

Die Herausforderung für die Zukunft liegt in einer Optimierung der Schutz- und Überwachungseinrichtung mit dem Ziel, die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu optimieren ohne die langfristigen Auswirkungen zu vernachlässigen.

Die technischen Möglichkeiten sind gegeben. Wichtigster Ansatz für neue, wirkungsvollere Schutzsysteme ist die Verknüpfung der Sensorik mit geeigneter Software unter Einbezug von kältetechnischem Know-how. Zudem stellen die Umwelteinflüsse (Elektrosmog) eine wichtige Größe dar.

Durch die Realisierung dieser und Integration in das Gesamtsystem wird ein entscheidender Beitrag zur Gesamtoptimierung geleistet.

## II.2.4

### **Vergleichende Betriebsuntersuchung ähnlicher Rohrsysteme**

Dipl.-Ing. Ceslovas Kizlauskas und Dipl.-Ing. Andreas R. Meier  
Küba Kältetechnik GmbH, Oberdillerstr. 23, 82065 Baierbrunn  
c.kizlauskas@kueba.com  
a.meier@kueba.com

Geringe Entfeuchtung und niedriger Energieverbrauch bei gleichzeitig hoher Effizienz, kompakten Außenabmessungen und niedrigen Anschaffungskosten werden bei Luftkühlern der Zukunft immer wichtiger. Der Betrieb bei kleinen Temperaturdifferenzen ermöglicht eine Anhebung der Verdampfungstemperatur, die den Energieverbrauch einer Kälteanlage und eine geringe Warenentfeuchtung günstig beeinflusst. Ein Nachteil kleiner Temperaturdifferenzen ist, dass unter Umständen ein größerer Luftkühler verwendet werden muss, der der geforderten hohen Effizienz, kompakten Außenabmessungen und niedrigen Anschaffungskosten zuwiderläuft. Um diese Ziele zu erreichen, spielen verwendete Komponenten wie Rohr, Lamelle und Lüfter eine wichtige Rolle.

Anhand von zwei Luftkühlern verschiedener Hersteller, jedoch ähnlicher Rohrsysteme wird eine vergleichende Untersuchung des Betriebsverhaltens in der Abkühl- und Abtauphase vorgestellt.

## II.2.5

### **High efficient heat exchangers for heat pumps**

Johan Braun  
Alfa Laval Lund AB, PO Box 38, SE-372 21 Ronneby, Sweden  
Visiting address: Metallgatan 2, Ronneby  
Camilla Arvidsson  
Alfa Laval Lund AB, PO Box 74, SE-221 00 Lund, Sweden  
Visiting address: Rudeboksvägen 1, Lund

CB60 will be a drop-in replacement for CB52 in heat pumps and must therefore have the same overall dimensions. The distance between the ports is the same, the connections are the same and the outer dimensions are just about the same. But, the product is definitely not the same! There are quite a lot of new features to make it more efficient to produce, use less material and yet have a higher performance.

## II.2.6

### **Sicherheitswärmeaustauscher in der Kältetechnik**

Alexander Wirsching, TEKO Gesellschaft für Kältetechnik mbH, Altenstadt  
Jürgen Lessing, PEP Kälteplanungsgesellschaft mbH, Nürnberg

Bei der Wärmeübertragung von einem Medium zu einem anderen besteht die Herausforderung meist dann, wenn beide Medien in einem kritischen Verhältnis zu einander stehen, z.B. überhitztes Druckgas zu Trinkwasser (Wärmerückgewinnung).

Eine Zerstörung des Wärmeaustauschers, z.B. durch Rohrermüdung führt dann, je nach Anwendung, zu kostspieligen Reparaturmaßnahmen.

Um dem entgegen zu wirken, werden entsprechende Sicherheitswärmeaustauscher (doppelwandige Plattenwärmeaustauscher, u.a.) angewandt. Solche Geräte sind aufgrund ihrer aufwändigen Konstruktion teuer.

Ein Lamellenwärmeaustauscherpaket, das hauptsächlich in Luftkonditionierern verwendet wird, stellt hierzu eine sinnvolle und günstige Alternative dar. In diesem Fall dienen die Lamellen nicht zur Wärmeübertragung zur bzw. von der Luft, sondern von Rohrkreis zur Rohrkreis.

Testanwendungen dieser Lamellenpakete zeigen, dass nicht nur bei der „kritischen“ Anwendung diese Wärmeaustauscher aufgrund Ihrer vielfältigen Materialkombinierbarkeit und der flexiblen Konstruktion nicht nur technisch, sondern auch unter Berücksichtigung der Investitionskosten seine Berechtigung findet.

Die für die Kältetechnik möglichen Anwendungen sind vielfältig und werden bei diesem Vortrag unter Einbezugnahme von Messergebnissen vorgestellt.

## II.2.7

### Humid Cooler – feuchte Kühlung

Peter Ott  
Ingenieurtechnik-Vritex GmbH

In der Vergangenheit sind zahlreiche Versuche unternommen worden, Wärmeaustauscher oder Wärmeaustauschsysteme zu entwickeln für die Aufbewahrung von Produkten bei nahezu 0° C und 100 % relativer Feuchte.

Keines der vorhandenen Systeme oder Wärmeaustauscher hat 100%-ig zufriedene Resultate erbracht. Mit dem Humid-Cooler wird ein System vorgestellt, mit dem nahezu alle technischen Probleme gelöst werden.

Herausragend sind die schnelle Abkühlung und das Vorhandensein einer sehr großen Austauschfläche bei einer kompakten Bauweise.

Die Anwendung des Humid-Coolers ermöglicht neben der schnellen Abkühlung der zu kühlenden Ware eine Konstanthaltung der relativen Feuchte von 100 % und eine Raumtemperatur von 0° C. Das Kuriose an dem Humid-Cooler ist das Wärmeaustauschpaket, welches aus so genannten volumenabhängig gefertigten Wärmeaustauschplatten besteht. Folgende technische Vorteile werden behandelt:

1. sehr geringer Inhalt des Wärmeaustauschpakets (z. B. Kältemittel),
2. geringster Druckabfall,
3. effektiv höchstmöglicher Wärmeaustauschfläche,
4. höchstmöglicher Wärmeübergang
5. flexibler Einsatz durch Modulbauweise



Der Humid-Cooler ist die wichtigste technische Erneuerung zwecks Qualitätsverbesserung von schnellverderblichen Produkten.

Es werden Grundlagen, wo die Verbesserung des Wärmeübergangs nachzuvollziehen ist. Diagramme zeigen, dass die Frischhaltung und Qualitätsverbesserung nachhaltig erreicht werden.

Anwendungsbeispiele werden dem Zuhörer vorgeführt, wobei auch die Vorzüge des Humid-Coolers gegenüber andere Systeme tabellarisch aufgezeichnet werden.

## II.2.8

### Trends und Perspektiven in der Kältetechnik

Prof. Dr.-Ing. Michael Kauffeld  
Hochschule Karlsruhe, Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik  
Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

Die Kältetechnik trägt sowohl in Deutschland als auch weltweit zu einem nicht unerheblichen Teil zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Der Beitrag ergibt sich direkt durch die Emissionen von treibhauswirksamen Kältemitteln sowie indirekt über die bei der Energiewandlung entstehenden Kohlendioxidemissionen. Ansätze, den Beitrag der Kältetechnik zum anthropogenen Treibhauseffekt zu senken, sind:

- Energieverbrauch der Kälteanlage senken
- Emissionen von Treibhausgasen reduzieren/eliminieren durch
  - Hermetisch dichte Anlagen mit entsprechender Kontrolle  
→ EU F-Gas Verordnung
  - Verringerung der Füllmengen durch Einsatz von
    - Wärmeaustauschern und andere Komponenten mit minimierter Füllmenge oder
    - indirekten Kälteanlagen
  - Verwendung von Kältemittel ohne bzw. mit geringem Treibhauspotential
- Antrieb umstellen auf regenerative Energie

Der Vortrag stellt ausgewählte Lösungsmöglichkeiten aus Forschung und Entwicklung sowie praktisch ausgeführte Anlagen, die einen oder mehrere der oben angesprochenen Ansätze realisieren, vor.

Stichworte: Treibhauseffekt, Energieeffizienz, Energieeinsparungen, natürliche Kältemittel, Kältemittelfüllmenge

## II.2.9

### Energiesparende Ventilatoren in der Kältetechnik – Innovationen optimieren das Gesamtsystem

Tobias Stein  
Produktmanagement System- und Regeltechnik

Ziehl-Abegg AG, Heinz-Ziehl-Straße, 74653 Künzelsau

Die Drehzahlveränderung von Ventilatoren in kältetechnischen Anlagen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Systeme, welche die Drehzahl der Ventilatoren durch zentrale Frequenzumrichter oder Spannungsregler realisieren, sind daher weit verbreitet. Aktuell werden vermehrt „intelligente“ Ventilatoren mit integrierter Leistungselektronik eingesetzt.

Vorteile solcher Systeme liegen auf der Hand:

- Ventilatoren und Regelelektronik bilden eine kompakte Einheit
- Vereinfachung der Installation von Kälteanlagen
- optimal aufeinander abgestimmt
- zuverlässiges und effizientes Arbeiten

Die Konzeption ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich. Somit unterscheiden sich die Ventilatoren in einigen Punkten erheblich.

Anhand eines Vergleichs werden verschiedene Systeme vorgestellt, die das gleiche Ziel auf unterschiedliche Art und Weise erreichen.

## II.2.10

### **Ein Vorauswahlverfahren für Komponenten zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung**

Stockinger, Volker [Dipl.-Ing.(FH)], Hilligweg, Arnd [Prof. Dr.-Ing.]  
Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg  
Fachbereich Maschinenbau und Versorgungstechnik  
Keßlerplatz 12, D-90489 Nürnberg  
Arnd.Hilligweg@fh-nuernberg.de  
und Kuschka, Matthias [Dipl.-Ing.(FH)]  
Johnson Controls Systems & Controls GmbH  
Südwestpark 48, D-90449 Nürnberg

Anlagen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung können aus einem großen Komponentenangebot in vielfältigen Varianten zusammengestellt werden. Die Auswahl der Komponenten erfolgt dabei auf der Grundlage vorgegebener Verteilungen zwischen den drei benötigten Nutzenergien. Sie prägt sowohl die Investitions- und Betriebskosten als auch die über eine bestimmte Betriebsdauer bereitgestellten Energieströme und ist somit entscheidend für den Gesamterfolg eines Verbundsystems.

In diesem Beitrag werden die von aktuell verfügbaren Blockheizkraftwerken im Verbund mit Absorptionskälteanlagen darstellbaren Nutzenergieströme aufgezeigt. Ihre unter Berücksichtigung realer Wirkungsgrade und Leistungszahlen ermittelten Verhältnisse zueinander werden anwendungsbezogen diskutiert. In einem Kennfeld wird dargestellt, unter welchen Randbedingungen technisch umsetzbare Einsatzmöglichkeiten vorliegen bzw. in welchen Fällen ein Verbundsystem durch externe Nutzenergiebereitstellung ergänzt werden muss.

Stichwörter: KWKK, BHKW, Absorptionskälte, Kennfeld, Auswahlverfahren

## II.2.11

### **Abschätzung der Leistungssteigerung eines Kältesystems durch Dampfreduktion (Economizer)**

Dipl.-Ing. Klaus Lambers<sup>1)</sup>, Dr.-Ing. Jürgen Süß  
Danfoss A/S, 6430 Nordborg, Dänemark,  
lambers@danfoss.com  
suess@danfoss.com  
Prof. Dr. Jürgen Köhler  
Technische Universität Braunschweig, Hans-Sommer-Straße 5, 38106 Braunschweig,  
juergen.koehler@tu-braunschweig.de

Die Kälteleistung, wie auch die Kälteleistungszahl eines Kältesystems lassen sich mittels innerer Dampfreduktion durch Admission oder äußerer Dampfreduktion durch Flüssigkeitsunterkühlung auf eine Temperatur zwischen Wärmesenken- und Wärmequellentemperatur steigern. Diese Verfahren werden auch unter dem Begriff „Economizer Prinzip“ zusammengefasst. Hierbei hängt die Systemverbesserung vom eingesetzten Kältemittel und von den Betriebstemperaturen ab. Der Beitrag liefert eine Methode, mit der das Verbesserungspotential einer Anlage mit Hilfe des p,h-Diagramms ohne aufwendige Berechnungen abgeschätzt werden kann.

## II.2.12

### **Neue drehzahlgeregelte Verflüssigungssätze mit integrierter Mikroprozessorregelung – Aufbau und Funktion**

Dipl.-Ing. (FH) Richard Bork, Produktmanager  
Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH & Co. KG, Eschenbrunnlestr. 15, 71065 Sindelfingen

Die neuentwickelten energieeffizienten Verflüssigungssätze zeichnen sich durch die Verwendung von am Verdichter angebauten sauggasgekühlten Frequenzumrichtern in Kombination mit einer intelligenten Steuerungs- Regelungs- und Überwachungselektronik aus. Damit ist eine stufenlose Leistungsreglung mit optimiertem Saugdruck bzw. optimierter Kühlstellentemperatur über den ganzen Lastbereich möglich. Unzulässige Betriebspunkte werden bereits im Vorfeld durch die Überwachung der wesentlichen Betriebsparameter und gegebenenfalls durch das automatische Einleiten von geeigneten Gegenmaßnahmen vermieden. Durch den vorprogrammierten Regler und die komplette interne Verdrahtung aller elektrischen Bauteile wird eine einfache Inbetriebnahme ermöglicht.

## II.2.13

### **Optimierung der Betriebsweise von Hybridkühlern durch effiziente Steuerungstechnik**

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Odrich, Dipl.-Ing. Holger König  
Jäggi/Güntner (Schweiz) AG, Trimbach

Der Hybride Trockenkühler beinhaltet durch sein Funktionsprinzip und seine Konstruktion hohes Potential Wasser und Energie einzusparen. Er verbindet die Vorteile von Trockenkühlern mit denen von Kühltürmen ohne deren Nachteile zu übernehmen. Durch die rein konvektive Abfuhr von Wärme im Trockenbetrieb bei einer hohen Jahresstundenanzahl, die Verdunstungskühlung im benetzten Betrieb bei Spitzenlast der Anlage oder hohen Außentemperaturen und die stufenlose Drehzahlregelung der Ventilatoren in beiden Betriebsarten lassen sich sehr große Rückkühlleistungen bei geringem Platzbedarf und niedrigen Betriebskosten realisieren.

Der effektive Betrieb von hybriden Trockenkühlern hängt aber im hohen Maß von der Intelligenz der Regelung der Kühlerfunktionen ab. Durch die kühlereigene Regelung werden

alle wichtigen Parameter ständig überwacht und die Betriebsweise dem Betriebszustand der Anlage selbsttätig angepasst.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird gezeigt, dass die Regelstrategie und das Regelkonzept entscheidend zur Minimierung der Wasser- und Energieverbräuche und der Kosten beiträgt. Neben den eigentlichen Funktionen zur Hybridkühlersteuerung wird eine selbsttätige Regelungsstrategie zur automatischen Sollwertabsenkung und damit die Optimierung des kältetechnischen Prozesses vorgestellt. Weiterhin wird die hydraulische Vernetzung von Hybridkühlern betrachtet und hierfür eine optimiertes Steuerungskonzept gezeigt.

Im Ergebnis dieser Untersuchung wird nachgewiesen, dass die maximalen Einsparungen an Energie und Wasser nur mit einer optimierten hybridkühlereigenen Steuerung realisiert werden können.

#### **II.2.14**

##### **Potenziale zur Energieoptimierung aus Sicht eines Verdampferherstellers**

Dipl.-Ing. Andreas Meier, Dipl.-Ing. Ceslovas Kizlauskas, Dipl.-Ing. Christoph Korinth  
Küba Kältetechnik GmbH, Oberdillerstr. 23, 82065 Baierbrunn  
a.meier@kueba.com  
c.kizlauskas@kueba.com  
c.korinth@kueba.com

Obwohl es technisch seit längerer Zeit möglich ist Kälteanlagen energiesparend zu betreiben, führen das aktuelle Klima und die Politik erst jetzt dazu, sich mit dieser Thematik genauer zu beschäftigen. Die vorhandenen Potenziale zur Energieeinsparung, die in den meisten gewerblichen Kälteanlagen stecken, sollen aufgezeigt werden. In der Energiebetrachtung einer Kälteanlage hat der Luftkühler eine entscheidende Rolle. Sein Einfluss auf die Energiebilanz des Gesamtsystems, in Wechselwirkung mit anderen Parametern (Expansionsventil, Regelung, usw.), wird anhand von Messreihen erläutert.

#### **II.2.15**

##### **Nanobeschichtete Schaltschrank-Kühlgeräte – erste Praxiserfahrungen**

Dr.-Ing. Joachim Maul  
Rittal RSC, Rudolf Loh Str. 2; 56477 Rennerod  
maul.j@rittal.de

Als Hersteller von Kühlgeräten für die Schaltschrank-Klimatisierung liefert Rittal in viele Applikationen weltweit, z.B. an Lieferanten von Bearbeitungszentren. Viele dieser Anwendungen haben eine verschmutzte Arbeitsumgebung gemeinsam, die die Wirksamkeit und die Einsatzfähigkeit der Kühlgeräte auf Dauer durch verschmutzte Verflüssigerlamellen reduziert. Durch den reduzierten Wärmeübergang sinkt zum einen die Kühlleistung und zum anderen kann das Gerät durch schnelleres Erreichen der Grenzwerte seine Funktion nicht mehr wahrnehmen

Auf der letzten DKV-Tagung wurde die neuartige Beschichtung der Verflüssigerlamellen mit einem auf Nanopartikeln basierendem Lack vorgestellt. Zwischenzeitlich liegen aus verschiedenen Industriebereichen erste Erfahrungswerte vor, da seit mehr als einem Jahr alle Schaltschrank-Kühlgeräte mit dieser Beschichtung versehen sind. Anhand einzelner Beispiele werden die Ergebnisse detaillierter vorgestellt und erläutert. Dabei wird insbesondere auch auf die

Energiebilanz eines verschmutzten und eines mit Nanolack beschichtetem Verflüssigers eingegangen.

### **II.2.16**

#### **Weiterentwicklung der CCC-Kühler in Verbindung mit Laminar-Flow-Deckenauslässen aus der Reinraumtechnik**

Josef Ortner, Ortner Reinraumtechnik GmbH, Villach  
Jürgen Lessing, PEP Kälteplanungsgesellschaft mbH, Nürnberg

Anlässlich der DKV-Tagung 2006 in Dresden wurde bereits die Funktionsweise des CCC-Kühlers und der Einsatz in hochreinen Lebensmittelbereichen vorgestellt. Im Rahmen der Produktweiterentwicklung wurde der Kühler mit weiteren Features, wie z.B. zusätzlicher Notabtauung, Frischluftanschlüssen, Steuerungsoptimierung etc., ausgestattet.

Um nun den Forderungen aus der Industrie nach absoluter Keimfreiheit am Produkt gerecht zu werden, wurde der CCC-Kühler mit Laminar-Flow-Auslässen aus der Reinraumtechnik kombiniert. Somit kann absolut sicher gestellt werden, dass keine Keime aus der Luft auf das geschnittene Produkt gelangen.

Zusätzlich wird die Luft im Bypass zum CCC-Kühler über ein Sorptionsrad entfeuchtet, so dass die Luftfeuchtigkeit im Bereich von 30 – 70 % gefahren werden kann.

Nach wie vor gilt natürlich die Prämisse eines permanenten Betriebs, der keine Abtaupausen enthält.

Diese Entwicklung wird anhand eines aktuellen Projekts vorgestellt. Der kälteseitige, luftseitige und betriebsseitige Ablauf wird mittels schematischer Darstellungen und der Auswertung bereits erfolgter Messungen erläutert.

Abschließend erfolgt eine Wertung der möglichen Betriebsweisen, einschließlich der Vorstellung eines Hygienekonzepts, mit dem die Räume in den Verpackungsbereichen wieder mit höheren Temperaturen betrieben werden können.

### **II.2.17**

#### **Einsatz von Kunststoffrohrsystemen in der Kältetechnik**

Dipl. Ing. (FH) Friedhelm Stöter  
Georg Fischer Rohrleitungssysteme GmbH  
73095 Albershausen

Es werden Kunststoffrohrsysteme vorgestellt, die im Klebe- oder Schweissverfahren ihren Einsatz in der Kältetechnik finden.

Schwerpunkt wird der Kälte-trägertransport mit Temperaturen von bis zu - 50° C sein, bei dem vorisolierte Kunststoffrohre aus ABS verwendet werden.

An Hand von Beispielanlagen wird der korrosionsfreie Betrieb und die energetischen Eigenschaften von Kunststoffrohrsystemen aufgezeigt.

### **II.2.18**

#### **Klimatisierung mit gasmotorbetriebenen Systemen**

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Carmen Stadtländer, IZW e.V, Hannover

Durch steigende Komfortansprüche, zunehmend besser isolierte Gebäude und zunehmende Verwendung von Glas in der Architektur steigt der Bedarf an Klimatisierung und Kühlung. Energiespareffekte – etwa bei der Beheizung von Gebäuden durch Beheizungstechniken mit hohen Nutzungsgraden oder durch effizientere Kühltechniken – sind erforderlich, um den Energieverbrauch und die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre äußerst gering zu halten.

Hierzu eignet sich beispielsweise der Einsatz der Primärenergie Gas, sie vermeidet Umwandlungsverluste, wie sie etwa in Kraftwerken entstehen. Es stehen Geräte unterschiedlicher Hersteller am Markt zur Verfügung.

Es wird ein Überblick über den Stand der Technik, die bisherige Entwicklung, die Einsatzgebiete und die Produkte von ausschließlich gasmotorbetriebenen Systemen in Deutschland und Europa gegeben.

## II.2.19

### **Die EG-Verordnung zu fluorierten Treibhausgasen -Mindestanforderungen zur Implementierung in den EU-Mitgliedstaaten**

Dipl.-Ing. Ewald Preisegger  
Solvay Fluor GmbH, Hans-Böckler-Allee 20, D-30173 Hannover

Am 04. Juli 2006 trat die „Verordnung EG Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase“ (F-Gase-Verordnung) in Kraft. Sie gilt seit 04. Juli 2007 mit Ausnahme des Art. 9 (Inverkehrbringen) und des Anhangs II (Verbote des Inverkehrbringens gemäß Art. 9), die mit dem Datum des Inkrafttretens, also seit 04. Juli 2006, wirksam wurden.

Diese Verordnung ist unmittelbar geltendes Recht in allen EU-Mitgliedstaaten. Für folgende Anforderungen der Verordnung ist jedoch die nationale Ausgestaltung durch entsprechende Regelungen in den einzelnen Mitgliedstaaten bis 04.07.2008 vorgesehen:

Kontrolle auf Dichtheit (Art. 3)  
Ausbildung und Zertifizierung (Art. 5)

Hierfür waren bis zum 04.07.2007 durch die EU-Kommission Mindestanforderungen festzulegen.

Zusätzlich hatte die Kommission die Form und den Inhalt der in Art 7 geforderten Kennzeichnung, sowie ebenfalls bis 04.07.2007 die Form der in Art 6(1) geforderten Berichte festzulegen.

Parallel zur Verordnung EG Nr. 842/2006 ist am 04.07.2006 auch die „Richtlinie 2006/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates“ in Kraft getreten.

Art. 7 dieser Richtlinie verpflichtet die EU-Kommission, bis 04.07.2007 Maßnahmen zur Durchführung der festgelegten Pflichten der Mitgliedstaaten (Art.4) und der EG-Typgenehmigung (Art. 5) zu erlassen, während gemäß Art. 10 (Umsetzung) die EU-Mitgliedstaaten die zur Umsetzung dieser Richtlinie erforderlichen Rechts- und

Verwaltungsvorschriften bis 04. Januar 2008 zu erlassen, zu veröffentlichen und ab 05. Januar 2008 anzuwenden haben.

Der Vortrag beschreibt die wesentlichen Inhalte dieser Implementierungsmaßnahmen (mit Schwerpunkt bei der Verordnung EG 842/2006) und geht auf die Anforderungen für die Unternehmen ein, die sich in der Praxis hieraus ergeben werden.

Stichwörter: Verordnung EG 842/2006, fluorierte Treibhausgase, Dichtheitskontrolle, Ausbildung und Zertifizierung, Mindestanforderungen

## **II.2.20**

### **Umsetzung der F-Gase-Verordnung in Deutschland - Erste Erfahrungen**

Karsten Beermann

IKKE – Informationszentrum für Kälte-, Klima- und Energietechnik gGmbH  
Kruppstraße 184, 47229 Duisburg-Rheinhausen

Seit 4. Juli 2007 gilt die Verordnung der EG Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates über bestimmte fluorierte Treibhausgase (F-Gase-Verordnung).

Für die Praxis sind insbesondere der Art. 3 – Reduzierung der Emissionen (Regelmäßige Leckdichtigkeitskontrollen) und der Art. 5 – Ausbildung und Zertifizierung von entscheidender Bedeutung.

Die Betreiber (Eigentümer) von Kälte- und Klimaanlageanlagen sowie Wärmepumpen müssen fortan alle technisch ausführbaren und wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen treffen, um diese Anlagen leckdicht zu erhalten und etwaige Undichtheiten innerhalb kürzester Zeit zu beseitigen.

Der Vortrag gibt erste Erfahrungen der Betreiber und der beauftragten Kälte-Klima-Fachbetriebe bei der Umsetzung dieser F-Gase-Verordnung wieder.

Die ordnungsgemäße Dokumentation der Dichtheitsprüfung mit allen relevanten Daten und der Einsatz von zertifiziertem Personal werden diskutiert.

Wichtige Hintergründe und Einschätzungen für die zukünftigen Entwicklungen ergänzen das Gesamtbild.

### III.1

#### **Derzeitige technische Entwicklungen im Bereich Supermarkt und Bewertungen der Technologien**

Dr. Rainer Jakobs  
IZW e.V., Weidendamm 14, 30167 Hannover  
dr.rainer.jakobs@t-online.de

- Trends in der Marktgröße und Ausstattung
- Plug-in cabinets (R290 - R404A)
- Verbundanlagen (Entwicklung R22-R404A-R134a/R404A-R134a/R744..)
- Kühlmöbelentwicklung
- Einsparpotentiale und Maßnahmen

### III.2

#### **Technologieauswahl aus Sicht der Rewe Group**

Rolf Schmidt  
REWE GROUP  
Immobilien  
Technisches Immobilienmanagement  
REWE-Zentral AG  
Humboldtstraße 140-144 - 51149 Köln  
Telefon: +49 221 149 - 2425  
Telefax: +49 221 149 - 97 2421  
E-Mail: rolf.schmidt@rewe-group.com  
www.rewe-group.com

Die Rewe Group, als einer der größten Deutschen Lebensmittelhändler setzt seit Jahren in seinen Lebensmittelmärkten Rewe und Penny das Kältemittel R134a ein.

Die größten Energieverbraucher im LEH sind Kühl- und Beleuchtungsanlagen.

Hier schlagen insbesondere die Kühlanlagen mit 60% zu Buche. Bei einer Kälteanlagenlaufzeit von 14 Jahren, verursachen die Energiekosten den größten Anteil an den Betriebskosten einer Kälteanlage. Energetisch schlechte Kälteanlagen verursachen daher über die Lebensdauer deutlich höhere Kosten.

Bei der Einführung von neuen Kältetechniken ist daher insbesondere auf niedrigen Energieverbrauch zu achten. Nicht nur der GWP sondern auch der Stromverbrauch einer Kälteanlage führen in Summe zu dem TEWI-Wert einer Kälteanlage. Die Rewe hat bereits weit über 700 Kälteanlagen mit R134a im Einsatz. Weiterhin führt der Einsatz von steckerfertigen Tiefkühlinseln zu einer deutlichen Senkung des TEWI. Bei TK-Schränken, die im neuen Rewe-Konzept zum Einsatz kommen, hat die Rewe zurzeit 2 Muster-TK-Kaskadenanlagen mit CO<sub>2</sub> in Betrieb und arbeitet an der grundsätzlichen Einführung dieser Technik für das Jahr 2008. Um den aktuellen Einsatz von R404A zu minimieren, erfolgt die Installation der TK-Anlagen häufig als Kaskade R404A / R134a. Der Einsatz von CO<sub>2</sub> in der Pluskühlung steht sicherlich noch an seinen Anfängen. Die Verfügbarkeit der erforderlichen Komponenten lässt keinen kurzfristigen Einsatz der Technik zu. Die Rewe-Group wird in den nächsten Monaten sicherlich auch eine entsprechende Anlage installieren lassen.

### III.4

#### **Synergie Resultate bei Eisspeichersystemen**



Hubert de Vries  
Vritherm GmbH

Im Jahre 1844 veröffentlichte der US Amerikaner John-Corrie einen Bericht über seine Eisherstellungsmaschine! Dieser Bericht, erschien in der Zeitschrift „Apalachicola Commercial advertiser“ und blieb nicht ohne Folgen. Diese Folgen werden im Vortrag über Synergie bei Eisspeichersystemen vorgeführt. Es wird ausführlich eingegangen auf die vielen Erneuerungen bei Eisspeichersystemen.

Deswegen werden die diverse Eisspeichersysteme und die unterschiedlichen Anforderungen erläutert sowie die dazugehörenden Betriebsresultate vorgeführt. Die Wirkungsgrade der Wärmeaustauschsysteme, die für Eisspeichersysteme eingesetzt werden, werden ausführlich behandelt.

Die Energiesituation hat die Eisspeichertechnologie maßgebend beeinflusst. Heute ist es möglich in z. B. kalten Jahreszeiten ein Teil eines Eisspeichersystems mittels der so genannten „kalten Energie“, die in unserer Umwelt vorhanden ist, zu nutzen. Insbesondere wird gezeigt, dass durch die Auswahl verschiedener Wärmeaustauscher nur der Wirkungsgrad optimiert werden kann. Hierdurch wird auch die Kältemittelmenge und vor allem der Wärmedurchgang dieser Wärmeaustauscher erhöht.

Die Anwendung von Eisspeichersystemen ist in erster Instanz durch Einsparung von Primärenergie gegeben. Beispiele zeigen dass auch dort Eisspeichersysteme eingesetzt werden, wodurch Produktionskosten verringert werden. Insbesondere wird gezeigt dass Klimasysteme durch die Integrierung von Eisspeichern einen wesentlich höheren Wirkungsgrad erreichen.

### III.5

#### **Einsatzmöglichkeiten von Eisspeichern in Kälte- und Klimatechnik**

Dipl.-Ing.agr. Klaus Grandegger  
FAFCO Verkaufsbüro Deutschland,  
Gutenbergstr. 19, D-70771 Leinfelden-Echterdingen

Eisspeicheranlagen können in der modernen Kälte- und Klimatechnik die Lösung für allfällige Probleme sein. Dabei stellen sie in vielen Fällen sogar die günstigere Investition dar. Neuere Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, dass bestimmte Kältesysteme mit Eisspeichern sogar weniger elektrische Arbeit benötigen, als konventionelle Systeme. Eisspeicher stellen heute eine gängige Methode zur Bereitstellung von Kälte dar.

Es wird eine Übersicht über die auf dem Markt gebräuchlichen Eisspeichersysteme gezeigt. Eine Zuordnung dieser Systeme zu beispielhaften Anlagenausführungen verdeutlicht das Einsatzpotential von Eisspeichern.

Es werden für eine Auswahl von verschiedenen Eisspeichersystemen die technischen Kennzahlen dargestellt und die Systeme entsprechend ihrer Eignung verschiedenen Anwendungen zugeordnet.

Anhand von Praxisbeispielen werden die vielfältigen Möglichkeiten des Einsatzes von Eisspeichern aufgezeigt. Die baulichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen werden ausführlich erläutert. Die Kriterien, welche für die Wirtschaftlichkeit von Speichersystemen relevant sind, werden herausgearbeitet. In einem Ausblick werden zukünftige Einsatzpotentiale, insbesondere im größeren Leistungsbereich im Zusammenhang mit modernen Großkältekonzepten, dargestellt.

Die Einfachheit des Systemaufbaus, das einfache Betriebskonzept und der geringe Wartungsaufwand machen den Einsatz von Eisspeichern im Komfortklima - wie auch im industriellen Kältebereich in sämtlichen Leistungsbereichen zu einer wirtschaftlichen Alternative zu konventionellen Kältebereitstellungsmethoden.

### III.6

#### **Hinweise für die Wartung und Instandhaltung von Industriekälteanlagen mit Schraubenverdichtern**

Dipl.- Ing. Rainer Brinkmann  
Johnson Controls Systems & Service GmbH  
G. Daimler Str. 8, 68165 Mannheim

Wichtige Kriterien für Wartung und Instandhaltung von Industriekälteanlagen mit Schraubenverdichtern sind die Qualität des Schmieröles und die rechtzeitige Erkennung von Verschleiß bei den Lagern und der Wellenabdichtung. Neben der Verwendung des für die jeweilige Anwendung freigegebenen Kältemaschinenöles, hat der Ölwechsel wegen der erheblichen Ölmengen eine große wirtschaftliche Bedeutung. Soll der Ölwechsel in Abhängigkeit vom Verschleißzustand des Öles vorgenommen werden, müssen Ölanalysen Auskunft hierüber geben. Während des Anlagenbetriebes wird das Verdichteröl mit diversen Schmutzpartikeln belastet, die ihrerseits unter anderem den Verschleiß der Verdichterlager und der Wellenabdichtung erheblich erhöhen können. Daher hat die Qualität der Ölfilterung eine große Bedeutung. Der Einfluss einer optimalen Ölfilterung auf die Verringerung des Lagerverschleißes wird gezeigt. Der Verschleiß bei Verdichterlagern und Wellenabdichtungen ist in den meisten Fällen bereits zu einem frühen Zeitpunkt erkennbar. Verschlissene Wellenabdichtungen können zu erheblichen Kältemittelverlusten und damit verbundene Kosten und Umweltbelastungen führen. Schwingungsanalysen helfen den Fortgang des Verschleißzustandes der Verdichterlager zu überwachen, eine rechtzeitige Verdichterüberholung zu planen und das Ausfallrisiko zu reduzieren.

Stichworte: (Schraubenverdichter, Kältemaschinenöl, Ölfilter, Wellenabdichtung, Schwingungsanalysen)

### III.7

#### **Luftgekühlte Verflüssiger in NH<sub>3</sub> Kälteanlagen als Alternative zu Verdunstungsverflüssigern**

Heinz Jackmann  
Güntner AG & Co. KG, Hans-Güntner-Straße 2 – 6, 82256 Fürstenfeldbruck  
Tel: +49 8141 242-350, Fax: +49 8141 242-477  
h.jackmann@guentner.de

Wasser ist eine wertvolle Recource.

Luftgekühlte Verflüssiger in NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen benötigen wenig Wartung und verbrauchen kein Wasser für die Kühlung .

Welches sind die Einsatzgrenzen für die Umgebungstemperatur und wie ist die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Verdunstungsverflüssiger?

Inn welchen Klimazonen, speziell in Europa ist der Einsatz von luftgekühlten Verflüssigern für NH<sub>3</sub> Kälteanlagen technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll?

Beispiele von ausgeführten Anlagen.

### Auszug

In den letzten Jahren werden immer häufiger luftgekühlte Verflüssiger für NH<sub>3</sub>- Kälteanlagen eingesetzt. Die Vorteile im Vergleich zu Verdunstungsverflüssigern sind:

- keine Kosten für Frischwasser
- keine Kosten für Abwasser
- keine Legionellengefahr
- wenig Wartungsaufwand
- einfaches System

NH<sub>3</sub>-Schraubenkompressoren können mit Kondensationstemperaturen von 50-55°C arbeiten. Damit ist es möglich luftgekühlte Verflüssiger in Regionen mit einer Außentemperatur bis zu 35°C einzusetzen. Mit Einschränkungen ist der Betrieb einer Anlage auch bei höheren Außentemperaturen möglich.

Um die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Systeme zu beurteilen muß der gesamte Energieverbrauch einer Kälteanlage über das Jahr verglichen werden. Beim Betrieb der Anlage im Auslegungspunkt, bei max. Umgebungstemperatur sind Verdunstungsverflüssiger wirtschaftlicher, weil sie eine wesentlich niedrigere Verflüssigungstemperatur haben.

Bei niedrigeren Umgebungstemperaturen verändern sich die Werte jedoch zu Gunsten des luftgekühlten Verflüssigers. Während die Verflüssigungstemperatur des Verdunstungsverflüssigers dem Verlauf der Feuchtkugeltemperatur folgt, fällt die Verflüssigungstemperatur des luftgekühlten Verflüssigers wesentlich schneller, nämlich proportional zur Umgebungstemperatur.

Anhand von Klimadaten haben wir ermittelt in welchen Klimazonen der Einsatz von luftgekühlten Verflüssigern technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Mit einer speziellen Software kann für jeden Standort die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Systeme verglichen werden

## III.8

### Einsatz von Absorptionskälteanlagen für die Klimatisierung von Seeschiffen

Dr.-Ing. Yves Wild

Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbüro GmbH

Alle Schiffe für weltweite Fahrt sind heutzutage mit Klimaanlage zur Klimatisierung der Aufbauten ausgerüstet. In der Regel ist dabei eine 100%-ige Frischluftklimatisierung vorgesehen, d. h. daß die gesamte Zuluft Außenluft ist. Die Konditionierung der Zuluft erfolgt üblicherweise in einem zentralen Klimagerät, in welchem die Grundkomponenten, Luftfilter, Lufterhitzer, Luftkühler, Luftbefeuchter und Lüfter untergebracht sind. Die Kälteerzeugung für den Luftkühler erfolgt heute auf Handelsschiffen zumeist durch direktverdampfende Kompressionskälteanlagen. Die installierten Klimakälteleistungen variieren dabei von ca. 150 kW bis ca. 500 kW. Die installierte E-Leistung der Klimakälteanlage (ohne die zugehörige Lüftungsanlage) macht ca. 5 – 10 % der E-Bilanz im Seebetrieb (beim „Leerlaufbetrieb“ ohne Kühlcontainer, LNG-Rückverflüssigung o. ä. aus).

Da auf Schiffen vergleichsweise viel Abwärme in Form von Abgaswärme und Kühlwasserwärme zur Verfügung steht, bietet sich die Erzeugung der Klimakälte aus Abwärme mit Hilfe von Absorptionskälteanlagen an. Dies gilt vor allem bei Schiffen mit

- hohen Brennstoffkosten (MDO/MGO-Betrieb)
- häufigem Klimakältebedarf
- geringem Zuheizbedarf bzw. bei einer Kombination mit einer Kompressionskälteanlage
-

Hierbei müssen die schiffsspezifischen Rahmenbedingungen

- Seegang
- Vergleichsweise hohe Rückkühlwassertemperaturen berücksichtigt werden.

Das Einsparpotential bei Einsatz einer 140 kW Absorptionsanlage für den Grundlastbetrieb eines typischen Handelsschiffes beträgt bei den heutigen Brennstoffpreisen ca. \$12.000 bis zu ca. \$38.000 p.a. je nach den Rahmenbedingungen.

### III.9

#### **Reduktion der durch Autoklimatisierung verursachten Treibhausgasemission**

Dipl.-Ing. Frank Wolf  
OBRIST Engineering GmbH  
Rheinstraße 26-27, 6890 Lustenau, Österreich

Bei Verwendung einer Fahrzeugklimatisierungsanlage (MAC) werden klimaschädliche Gase abgegeben. Die Gesamtemissionen beinhalten sowohl direkte Emissionen, die durch das Entlassen von Kältemittel in die Atmosphäre entstehen, als auch indirekte Emissionen als Folge des zusätzlichen Treibstoffverbrauches. Die beiden Emissionsformen und deren Einfluss auf das Klima können durch relativ einfache Maßnahmen reduziert werden.

Wie kann man die Gesamtemissionen reduzieren?

1. Direkte Emissionen durch die Einführung eines neuen, klimafreundlichen Kältemittels. Hier stellt sich die Frage, was für ein Kältemittel man wählen soll.
2. Indirekte Emissionen durch das Verwenden von effizienteren Klimaanlage mit verbesserten Verdichtern und neuer Technologie wie zum Beispiel dem Kompressor Expander System oder Wärmepumpe, die jetzt in Entwicklung sind.

Testresultate zeigen dass eine Reduktion von bis zu 10% der Gesamtemissionen der Klima- und Heizanlage durch die erwähnten Maßnahmen realisiert werden können.

Obrist Engineering war in den letzten zehn Jahren maßgeblich an der Entwicklung von MAC Systemen und an Verbesserungen bezüglich Gewicht, Volumen, Leistung, Emissionen und Effektivität beteiligt. Ein wichtiger Teil der Entwicklung besteht im Aufbau von Testfahrzeugen mit R744-befüllten Klimaanlage. Aktuell sind über 40 Fahrzeuge mit solchen Klimasystemen in Betrieb.

### III.10

#### **Prüfstandsuntersuchungen zum Dichtheitsverhalten von PKW-Klimaanlagen**

Jörg Braumöller (ILK Dresden),  
Tel.: 0351-4081-750, FAX -755  
E-Mail: joerg.braumoeller@ilkdresden.de  
Uwe Meier (Dürr Somac GmbH, Stollberg)

Pkw-Klimaanlagen unterliegen sehr hohen Beanspruchungen. Gründe dafür sind die dynamische Kopplung des Antriebs an den Fahrmotor, der Einbau in den Motorraum und die mechanischen Belastungen aus der Bewegung des Fahrzeugs. Gleichzeitig werden diese

Systeme unter hohem Kostendruck montiert, wobei der Aspekt hoher, langzeitstabiler Dichtheit der Montagestellen oft nicht genügend berücksichtigt wird. Das führt verglichen mit stationären Kälteanlagen zu einer erhöhten Quote von Lecks und leckagebedingten Kältemittelverlusten. Entsprechend wichtig sind deshalb sorgfältige Fertigung und Qualitätskontrolle.

Qualitätskontrolle heißt, gegebenenfalls vorhandene Undichtheiten zu erkennen und zu lokalisieren. Dabei steht man der Besonderheit gegenüber, dass sich die austretende Kältemittelmenge einer Leckstelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Kreislaufs ändert.

Unter Herstellern und Zulieferern existiert teilweise die Meinung, dass Leckstellen geringeren Ausmaßes durch das im Kreislauf zirkulierende Öl dauerhaft verschlossen werden und deshalb bei einer Lecksuche vernachlässigbar sind. Dem widersprechen Dichtheitsfachleute, gestützt auf die Theorie der Strömungsverhältnisse in Lecks.

Um die tatsächlichen Verhältnissen zu erfassen war es erforderlich, überprüfende Messungen durchzuführen. Dazu wurden reale Pkw-Klimaanlagen an mehreren Stellen mit bekannten Lecks versehen und unter den Betriebszuständen Neumontage, Wechselbetrieb, Stillstand sowie Stillstand bei erhöhter Außentemperatur mittels Leckdetektor vermessen.

### III.11

#### **Anlagenoptimierungen für PKW-Klimaanlagen mit dem Kältemittel Auto Ac-1**

Dr. Robert E. Low, Dr. Karsten Schwennesen  
INEOS Fluor Ltd., Runcorn, GB

Gemäß der am 17.05.2006 veröffentlichten EU-Richtlinie 2006/40/EG werden in den EU-Mitgliedsstaaten ab dem 01.01.2011 keine Typpenehmigungen mehr für Fahrzeugtypen erteilt, deren Klimaanlagen auf die Verwendung von fluorierten Kältemitteln mit einem Erderwärmungspotenzial (GWP, 100a Zeithorizont) von über 150 ausgelegt sind. Kältemittelhersteller und Fahrzeugindustrie verfolgen daher ein intensives Programm zur Entwicklung und Prüfung von Kältemitteln mit entsprechend niedrigem GWP und dafür angepassten PKW-Klimaanlagen.

Auto AC-1 wurde von INEOS Fluor als Kältemittel zur Substitution von R-134a in PKW-Klimaanlagen entwickelt und bisher mit guten Ergebnissen sowohl in Labortests als auch in Fahrzeugtests geprüft.

Der Vortrag stellt das Kältemittel Auto AC-1 vor und zeigt Optionen für Anlagenoptimierungen auf.

### III.13

#### **Verbesserte Kraftstoffeffizienz bei Kleinwagen durch R744 Klimasysteme**

Dr.-Ing. Michael Fietz, Dipl.-Ing. Marc Graaf,  
Climate Control Systems  
Visteon Deutschland GmbH  
Visteonstr. 4-10, D-50170 Kerpen

Kleinwagen des A- und B-Klasse stellen weltweit das am häufigsten verbreitete Fahrzeugsegment. Bei einem Einsatz neuer Kältemittel für die Fahrzeugklimatisierung gilt es besonders für dieses Segment den Nachweis zu erbringen, dass effiziente Lösungen

möglich sind. In dieser Veröffentlichung soll der Aufbau und Betrieb eines R744 Klimasystems in einem Kleinwagen vorgestellt werden, dass die Anforderung an Effizienz und Fahrbarkeit erfüllt.

Für die Untersuchungen im Fahrzeug wurden R744 Standardkomponenten eingesetzt deren Dimensionen an die R134a Komponenten der Serie angepasst wurden. Aufgrund der Kälteleistungsanforderungen kam auch ein den Massenströmen angepasster kleinvolumiger R744 Klimakompressor zum Einsatz.

Zur Verifizierung des Klimasystems wurden Fahrzeugabkühltests im Klimawindkanal durchgeführt. Die Effizienz des Systems wurde anhand der für Kraftstoffverbrauchsmessungen üblichen NEDC Prozedur untersucht, die für verschiedene klimatische Bedingungen erweitert wurde, um den Zusatzverbrauch des Klimasystems herauszuarbeiten.

Die Analyse der Ergebnisse könnte deutliche Effizienzsteigerungen des R744 Klimasystems im Vergleich zum heutigen Seriensystem bei gleicher Abkühlleistung aufzeigen. Weitere Untersuchungen zeigten auch eine hohe Gewährleistung der Fahrbarkeit bei Einsatz eines R744 Klimasystems.

Stichwörter: Fahrzeugklimasystem, Kleinwagen, Effizienz, Fahrbarkeit

### III.14

#### **Unique Double - pipe Internal Heat Exchanger for MAC**

Hirotsugu Takeuchi, Dr. Ing,  
Co-Autor: Tibor Györög, Dr. Ing  
DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH

DENSO Corporation has developed a unique double-pipe internal heat exchanger for MAC (a mobile air conditioning system), increasing cooling performance by up to 12 percent. DENSO is the first to develop the double-pipe internal heat exchanger for a front air conditioning system that needs to be installed in a limited space. The system was introduced into the market in 2006.

The double-pipe internal heat exchanger integrates two pipes. In the refrigeration cycle, the low-temperature gaseous refrigerant flows in the inner tube, and exchanges heat with the high-temperature liquid refrigerant flowing in the gap between the inner and outer tubes.

Stichworte: (internal heat exchanger, double pipe, Vehicle A/C, Efficiency)

### III.15

#### **Herausforderungen der Klimatisierung in Hybridfahrzeugen - Kältemittelverdichter im Vergleich**

Dr.-Ing. Arthur Heberle  
Behr GmbH & Co. KG

In Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor sind riemengetriebene Verdichter seit Jahrzehnten ein wichtiger Bestandteil in Kältekreislaufen. Meist handelt es sich um Hubkolbenverdichter. Riemengetriebene Verdichter sind Stand der Technik und ein in Millionen Stückzahlen hergestelltes und bewährtes Serienprodukt.

Elektrische Verdichter werden bisher vornehmlich in stationären Kälteanlagen aller Art und zur Klimatisierung von Sonderfahrzeugen wie Schienenfahrzeugen und in der

Standklimatisierung eingesetzt. Dort werden jedoch in aller Regel andere Anforderungen an die elektrischen Verdichter als im klassischen Automobilbereich gestellt. Durch die Einführung von Hybridfahrzeugen, deren Antriebsstrang aus einer Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor besteht, eröffnen sich für rein elektrische Verdichter neue Einsatzpotenziale. Neben der Basisklimatisierung im Fahrbetrieb sind Vorklimatisierung und Klimaerhaltung im Stand- bzw. Stoppbetrieb als zusätzliche, neue thermische Komfortmerkmale denkbar. Elektrische Verdichter lassen sich unabhängig von der Drehzahl des Verbrennungsmotors betreiben. Im Automobilbereich setzen sich elektrische Scrollverdichter durch.

Im Gegensatz zu riemengetriebenen Verdichtern bedürfen elektrische Verdichter einer speziellen elektrischen Infrastruktur im Fahrzeug verbunden mit der Bereitstellung ausreichend elektrischer Energie. Nicht in allen Hybridfahrzeugtypen ist daher ein Einsatz elektrischer Verdichter gleichermaßen sinnvoll. Sowohl die Kosten als auch die Wirkungsgradskette von der Energieerzeugung bis zum Energieverbraucher bei Kältekreisläufen mit und ohne elektrischen Verdichter müssen im Auge behalten werden. Der Gesamtwirkungsgrad beeinflusst den Kraftstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Regionale Randbedingungen wie Temperatur- und Fahrprofile und der Verdichtertyp müssen bei der Abschätzung des Kraftstoffverbrauchs berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Vortrags wird ein elektrischer Verdichter mit einem riemengetriebenen Verdichter verglichen.

### III.16

#### **Numerische Befüllungsuntersuchungen an einer Pkw-Kälteanlage zur Detektierung von Leckageverlusten**

Katrin Pröbß

Institut für Thermofluidodynamik, TU Hamburg-Harburg, 21071 Hamburg

E-mail: k.proelss@tu-harburg.de

Tel.: 040 42878 3267

Dirk Limperich

DaimlerChrysler AG, EP/AIT, HPC X705, 71059 Sindelfingen

Gerhard Schmitz

Institut für Thermofluidodynamik, TU Hamburg-Harburg, 21071 Hamburg

Die frühzeitige Detektierung von Kältemittelverlusten einer Pkw-Kälteanlage verhindert einen unökonomischen Betrieb bzw. die Beeinträchtigung von Kältekreis Komponenten, wie z.B. des Verdichters. Um das Verhalten einer Kälteanlage bei variierender Kältemittelbefüllung und unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zu untersuchen, wurde ein Simulationsmodell in MODELICA erstellt.

Da bei einer starken Unterfüllung gängige Annahmen eines Kältekreisbetriebes nicht mehr zutreffen, wie z.B. eine konstante Überhitzung bei einem TXV-geregelten Verdampfer oder eine Unterkühlung am Kondensatoraustritt, ist eine genaue Abbildung der Masseverteilung in einem dynamischen Modell notwendig. Verschiedene Aspekte der Masseeinlagerung bei der Befüllung einer Anlage werden betrachtet, dabei wird besonders das Verhalten des Sammlergefäßes auf der Hochdruckseite untersucht. Für die Validierung des Modells werden Messungen an einem Kältekreis-Prüfstand mit einem gläsernen Sammler herangezogen.

In dem Beitrag wird anhand von Simulationsergebnissen deutlich gemacht, welchen Einfluss Umgebungsbedingungen und Systemkonfiguration auf eine optimale Befüllung haben und welche Größen sich für eine Überwachung der Kältemittelfüllmenge eignen würden.

### III.17

#### **Experimentelle und theoretische Untersuchung eines CO<sub>2</sub>-Ejektorkältekreislaufes**

Christian Tischendorf\*, Christoph Richter\*, Wilhelm Tegethoff<sup>+</sup>, Jürgen Köhler\*

\* TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik,  
Hans-Sommer-Straße 5, 38106 Braunschweig

<sup>+</sup> TLK-Thermo GmbH, Hans-Sommer-Straße 5, 38106 Braunschweig

Dieser Vortrag präsentiert die experimentellen und theoretischen Ergebnisse der Untersuchung eines CO<sub>2</sub>-Ejektorkältekreislaufes. Hauptziel der Untersuchungen war es, die mögliche COP Verbesserung eines CO<sub>2</sub>-Kältekreislaufes beim Einsatz eines Ejektors anstelle der Drossel aufzuzeigen. Dazu sind ein Ejektor und ein entsprechender Prüfstand ausgelegt und aufgebaut worden. Der Prüfstand ermöglicht sowohl eine Komponentenuntersuchung als auch die Untersuchung des Gesamtkreislaufes. Mit Hilfe der experimentellen Untersuchungen konnte ein einfacher Zusammenhang zwischen dem Massenstromverhältnis und der Ejektoreffizienz gefunden werden. Für die Ejektoreffizienz wurde eine einfache Definition entwickelt, die den tatsächlich genutzten Anteil der Energie des Expansionsprozesses beschreibt.

Neben den Messungen wurde in Zusammenarbeit mit der TLK-Thermo GmbH eine Komponentenbibliothek in der Simulationssprache Modelica entwickelt, die die Simulation von Ejektorkältekreisläufen ermöglicht. Die Ergebnisse der Messungen sind in die Modellbildung eingeflossen. Die entwickelten Modelle wurden genutzt, um weitere Verschaltungsvarianten eines Ejektorkreislaufes mit und ohne internem Wärmeübertrager zu untersuchen.

### III.18

#### **Ein neuartiges hochdruckregelndes thermostatisches Expansionsventil für R744 mit MOP als Sicherheitsfunktion**

Dipl.-Ing. Joan Aguilar, Dipl.-Ing. Rainer Maurer, Jean-Jeaques Robin  
Otto Egelhof GmbH, Fellbach

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklung eines neuen thermostatisch arbeitenden Expansionsventils, das den Hochdruck eines vorzugsweise automobilen R744-Kältekreislaufs in Abhängigkeit der hochdruckseitigen Austrittstemperatur nach dem inneren Wärmetauscher (IWT) regelt und gleichzeitig ohne zusätzlichen Bypass oder externe Regelkomponenten eine absichernde Überdruckfunktion anbietet.

Stichworte: TXV, TEV, R744, IWT, COP, CO<sub>2</sub>

### III.19

#### **Standardisierte Regelventile hoher Effizienz für mobile Klimasysteme Vorschläge zur effizienten Erprobung der Komponenten**

Dr.-Ing. Axel Müller, Dipl.-Ing. Horst Kappler, Dipl.-Ing. (FH) Timo Greeb  
Thomas Magnete GmbH, 57562 Herdorf, Germany  
Dipl.-Ing. Norbert Stulgies, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler  
TU Braunschweig, 38106 Braunschweig, Germany



Dr.-Ing. Sven Försterling, Dr.-Ing. Wilhelm Tegethoff  
TLK Thermo GmbH, 38106 Braunschweig, Germany

Der Mehrverbrauch von Fahrzeugen durch Klimasysteme und die Forderung nach umweltfreundlichen Kältemitteln bei steigenden Komfortansprüchen stehen im Zentrum der aktuellen Entwicklung mobiler Klimasysteme. Ausgehend von der Forderung nach einer Reduktion von Leckagen gilt es, solche Kältemittel einzusetzen, die eine nachhaltige und langfristige Lösung darstellen, damit nicht jede Dekade ein entsprechender Systemwechsel erforderlich wird. Dies betrifft zunächst die Automobilindustrie, die innerhalb der Europäischen Union ab 2011 auf umweltfreundlichere Kältemittel umstellen muss, aber sicher wenig später auch die übrigen mobilen Klimasysteme, die in Schienenfahrzeugen, Lastkraftwagen, Bussen und mobilen Arbeitsmaschinen eingesetzt werden.

Um die Anforderungen an solche modernen Klimasysteme für den mobilen Einsatz zu erfüllen, aber Mehrkosten gering zu halten, wird eine weitgehende Standardisierung und Modularisierung von Komponenten vorgeschlagen. Als Beitrag von Thomas Magnete zu dieser Themenstellung wird vorgestellt, dass durch einen intelligenten Baukasten von proportionalen elektromagnetischen Ventilen als Stellglieder im Kältekreis kostengünstige und gleichzeitig effiziente Stellorgane für die Regelung moderner mobiler Klimasysteme zur Verfügung stehen.

Beginnend mit der Entwicklung solcher elektromagnetisch angetriebenen Proportionalventile – insbesondere für das Kältemittel R744 – wird ein weiterer Schwerpunkt des Vortrags sein, Möglichkeiten zur kostengünstigen Erprobung der Komponenten des Kältekreises – insbesondere der Ventile aufzuzeigen. Hierzu zählt die Evaluierung von Alternativen zu den eingesetzten Kältemitteln und die entsprechende Methodik der Versuche. Charakteristisches Verhalten der Ventile wird auf diese Weise rasch und kostengünstig bestimmbar ohne vollständige Kältekreise erforderlich zu machen. So wird deutlich, dass die TM-Ventile eine sehr exakte Regelung der Klimasysteme ermöglichen und dennoch kostengünstig sind. Dies ist auf ihre Genauigkeit und die verschwindend geringe Hysterese zurückzuführen.

## IV 1

### **Phasenwechselflüssigkeiten zur Wärmespeicherung auf niedrigem Temperaturniveau**

Stefan Gschwander, Peter Schossig,  
Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg  
Li Huang, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik, Osterfelder Straße 3,  
46047 Oberhausen

Zur Kühlung von Gebäuden werden Wärmesenken auf einem Temperaturniveau zwischen 0°C und etwa 20 °C benötigt. Werden in Kälteanlagen zu Gebäudeklimatisierung Pufferspeicher eingesetzt, wird meist auf Wasser oder Wasserglykolgemische zur Kältespeicherung zurückgegriffen. Diese Speichermaterialien erreichen bei den zur Verfügung stehenden geringen Temperaturdifferenzen nur kleine Wärmekapazitäten, sodass oft große Speicher installiert werden müssen. In einigen Anlagen werden auch Eisspeicher eingesetzt, die auf der einen Seite zwar eine sehr hohe Speicherdichte aufweisen, auf der anderen Seite aber unnötig tiefe Temperaturen benötigen, die zu schlechteren Wirkungsgraden führen und zusätzlich unnötig hohe Speicherverluste aufweisen.

Phasenwechselmaterialien oder auch kurz PCM (engl. Phase Change Material) weisen im Vergleich zu Wasser und Wasserglykolgemischen, die nicht den Phasenwechsel fest-flüssig nutzen, hohe Speicherdichten auf. PCM besitzen Schmelztemperaturen die über 0 °C liegen, bei manchen Materialien liegt die Schmelztemperatur im Bereich zwischen 0 und 20 °C. Einige n-Alkane bzw. Paraffine, wie z.B. C14 und C16 schmelzen zwischen etwa 3 und 9 C bzw. zwischen etwa 14 und 18 °C. Die Schmelzwärmen liegen bei etwa 200 bis 230 kJ/kgK. Da technisch einsetzbare Paraffine immer aus einer Mischung vieler verschiedener n-Alkane bestehen, variiert der Schmelzbereich der ökonomisch einsetzbaren PCM in einem Bereich um den Schmelzbereich der reinen Paraffine.

Aufgrund ihrer Hydrophobizität lassen Paraffine sich in Wasser emulgieren. Die durch die Emulgierung der Paraffine entstehende Phasenwechselflüssigkeit oder kurz PCS (engl. Phase Change Slurry) ermöglicht es dem Anwender PCM nicht nur lokal in einem Speicher zu nutzen, sondern diese auch durch Kältenetze zu pumpen, sodass die Kapazität des gesamten Netzes erhöht wird. Die Möglichkeit Wärme in oder aus diesen Materialien über erzwungene Konvektion (z.B. in Wärmetauscher) zu übertragen führt im Vergleich zu anderen PCM-Speichertechnologien zu hohe Wärmeübertragungsleistungen.

Dieser Beitrag stellt einige in einem vom BMW geförderten Projekt gewonnene Erkenntnisse und Ergebnisse vor. Hierzu werden hydraulische und thermische Kennwerte sowie Ergebnisse aus Pumpversuchen in einem Testkreis mit Kreiselpumpe und Plattenwärmetauscher präsentiert.

Stichwörter: Kältespeicher, Wärmespeicher, Phasenwechselmaterial, PCM, Wärmeträgermaterialien, Wärmeträgerflüssigkeiten, Phasenwechselflüssigkeit, Phase Change Slurry, PCS

## IV.2

### **Lüftungsgeräte mit Latentwärmespeicher**

Dr.- Ing. Bruno Lüdemann  
Imtech Deutschland GmbH & Co. KG

Die steigenden Anforderungen an den Energiebedarf von Gebäuden führen in zunehmend zur Entwicklung und zum Einsatz innovativer Systeme zur Beheizung und Kühlung, die in der Lage sind auch die Energiepotentiale der Umwelt mit geringen Temperaturunterschieden zur Gebäudeinnentemperatur zu nutzen. Dies ist besonders für die Raumkühlung interessant, da aus Behaglichkeitsgründen grundsätzlich nur geringe Unterschiede zwischen Raumlufttemperatur und Kühlmedium bzw. Kühlfläche von maximal 10 bis 12 Kelvin nutzbar sind. Hinzu kommt, dass in den letzten Jahren, trotz der erfolgreichen Anstrengungen zur Einsparung von Heizenergie, durch den hohen Dämmstandard moderner Gebäude in Verbindung mit wachsenden Ansprüchen der Nutzer an die thermische Behaglichkeit insgesamt ein steigender Kühlbedarf in privaten Wohnungen sowie in der Wirtschaft und in öffentlichen Gebäuden registriert wird.

Imtech Deutschland hat ein dezentrales Lüftungsgerät zur Serienreife entwickelt, das auf Basis eines Latentspeichers aus PCM (Phase-Change-Material) tagsüber die notwendige Kühlung für klimatisierte Räume durch Ausnutzung der in der Nacht vorhandenen kälteren Außenlufttemperaturen umweltschonend und kostengünstig bereitstellt. Der gezielte Einsatz der gespeicherten Kälte am Tage und die nächtliche Regeneration des PCM-Moduls bei gleichzeitiger Aktivierung der Gebäudemassen wird in jedem Gerät automatisch mit modernster Regelungstechnik realisiert.

Die Forschung und Verfahrensentwicklung für das Gerät wurden bei Imtech FuE in Hamburg durchgeführt und seit Oktober 2004 im Rahmen des Verbundforschungsprojektes Low-Ex vom Projektträger Jülich (PtJ) gefördert.

Der Vortrag stellt das Gerätekonzept und die Einbindung in das Gebäude vor, schildert die Erfahrungen aus der Praxis mit einer Referenzanlage im Imtech-Haus in Hamburg und beleuchtet das Energieeinsparpotential dieser neuen Technik.

### IV.3

#### **Aktiv durchströmte Bauteile mit Latentwärmespeicher**

Dr.-Ing. Peter Schossig, Dipl.Ing. (Fh) Thomas Haussmann\*  
Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg  
Tel.: 0761 / 4588 5130, Fax: 0761 / 4588 9130  
Email: peter.schossig@ise.fraunhofer.de

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

Der Energiebedarf für Raumkühlung nimmt in Europa immer mehr zu. Bedingt wird dies unter anderem durch die moderne Leichtbauweise mit hohem Glasanteil in der Fassade bei gleichzeitig reduzierter Gebäudemasse durch die Verwendung leichter Baumaterialien (Stahlskelett, Trockenbauwände...). Auch veränderte Nutzeranforderungen durch Gewöhnungseffekte an klimatisierte Umgebungen (PKW, öffentliche Bereiche...) führt zu einem Anstieg des Kältebedarfs.

Latentwärmespeichermaterialien (engl. phase change materials, kurz PCM) bieten eine Möglichkeit diesem steigenden Energiebedarf zu begegnen, ohne gleichzeitig auf den Komfortgewinn durch eine Klimaanlage und weitere Vorteile moderner Bauweisen (z.B. Flexibilität, Kosten) zu verzichten. Die im Tagesverlauf anfallende Überschusswärme wird im Phasenwechsel des PCMs von fest nach flüssig latent gespeichert. Fällt in der Nacht die Raumtemperatur wieder unter die Schmelztemperatur des PCMs beginnt dieses zu erstarren und gibt die gespeicherte Wärmemenge wieder an den Raum ab. Nach der erfolgreichen Entwicklung passiver Baustoffe (Gipsputz, Gipskarton, Porenbeton mit integriertem PCM), werden derzeit in einem Verbundprojekt PCM-Aktiv wasserdurchströmte Bauteile mit

integrierten PCMs entwickelt. Als erstes System werden Kühldecken basierend auf PCM-Gipsputz mit Kapillarrohrmatten für die Bauteilaktivierung untersucht. Solche aktiven Kühlsysteme ermöglichen das Temperaturgrenzen besser eingehalten, alternative teilweise bisher kaum in Kombination mit Kühldecken realisierbare Wärmesenken (Erdsonden, Brunnenwasser, Kühltürme...) eingesetzt und diese Technik auch im Bestand einfach nachgerüstet werden kann. Durch das PCM in der Kühldecke kann insgesamt der Rückkühlbedarf verglichen mit einer konventionellen Kühldecke reduziert und teilweise in die Nacht verschoben werden. Während den Übergangszeiten Frühling und Herbst können die Räume teilweise sogar ganz ohne aktive Durchströmung und Kühlung betrieben werden. PCM kann je nach Regelungskonzept auch als Kältespeicher verwendet werden, der direkt in die Kühldecke integriert ist. Die Kälte wird während der Nacht im PCM akkumuliert, wodurch die Kälteanlage nicht mehr auf die Spitzenlast ausgelegt werden muss, was die Investkosten senkt.

Der Beitrag stellt die Systeme und erste Ergebnisse aus Demonstrationsvorhaben vor.

#### IV.4

##### **Erste experimentelle Daten von regelbaren Latentwärmespeichern im Kühlwasserkreislauf**

C. Kandzia<sup>1</sup>, A. Hoh<sup>2</sup>, D. Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen

<sup>2</sup> Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin  
claudia.kandzia@eonerc.rwth-aachen.de

Latentwärmespeicher sind in Form von Eisspeichern Stand der Technik und dienen zur Kompensation von Schwankungen der Kühllast. Neu entwickelte Latentmaterialien auf Paraffin- und Salzhydratbasis, so genannte PCMs (Phase Change Materials), haben Eigenschaften, die das Einsatzgebiet von Latentwärmespeichern erweitern können. Unter dem Gesichtspunkt der Minimierung des Energie- und Exergieverbrauchs für die Raumheizung und -kühlung werden derzeit Experimente mit regelbaren Speichersystemen durchgeführt.

In einem aktuellen Projekt (BMW) werden in speziellen Versuchsräumen die Kombination aus Latentwärmespeichern, Kapillarrohrmatten und Außenwärmeübertragern experimentell untersucht. Erste Ergebnisse aus den Messungen und den begleitenden Berechnungen zeigen die Einsatzmöglichkeiten von aktiven Latentwärmespeichern in der Gebäudetechnik.

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW, 0327370A)

Stichworte: Exergie, Latentwärmespeicher, PCM, Kapillarrohrmatte

#### IV.5

##### **Energiekennwerte und Behaglichkeitsparameter**

Professor Dr.-Ing. Bjarne W. Olesen

Internationale Center für Raumklima und Energie.

Institute for Mechanical Engineering, Technische Universität Dänemark.

Nils Koppels Alle, 402, DK-2800 Lyngby, Dänemark

Die European „Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) wurde 2003 veröffentlicht und musste bis zum 1. Januar 2006 in allen EU-Mitgliedstaaten eingeführt werden. Der Fokus

dieser Direktive liegt auf dem Energieaufwand von Gebäuden. Mit berücksichtigt werden die Energieverluste in Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage. Gleichzeitig hat die Europäische Normung, CEN, eine Reihe von Normen für die Implementierung der Gebäudeenergie-Direktive entwickelt.

Da der Energieaufwand stark von den Anforderungen an die Behaglichkeit und das Raumklima abhängt, wurde auch eine neue Norm zur Behaglichkeit und zum Raumklima entwickelt.

Die Anforderungen betreffen die thermische Behaglichkeit, die Luftqualität, die Beleuchtung und die Akustik.

Diese Norm ist als EN 15251 angenommen und enthält einige Verfahren für eine Jahresbewertung des Raumklimas.

Dieser Bericht beschreibt die Methoden und gibt Beispiele wie man den Energiepass mit eine "Behaglichkeitspass" kombinieren könnte.

Stichwörter: Energiepass, Behaglichkeit, Normen,

## IV.6

### **Energetische Bewertung von raumlufotechnischen Anlagen (ENERGO)**

Dipl.-Ing. Th. Schlosser, Prof. Dr.-Ing. M. Schmidt, Dr.-Ing. J. Ni  
Universität Stuttgart, Institut für GebäudeEnergetik, Pfaffenwaldring 35, 70569 Stuttgart  
e-mail: thomas.schlosser@ige.uni-stuttgart.de

Die Umsetzung der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) erfordert eine Limitierung des Energieeinsatzes für den Betrieb von RLT-Anlagen bzw. einen Energieeffizienznachweis für zu bauende Anlagen. Hierfür sind unterschiedliche Ansätze bekannt.

Zum einen werden energetische Kennwerte für einzelne Anlagenkomponenten gefordert. Dieses hat den Nachteil, dass keine Wertung des eigentlichen Systems erfolgt. Zum anderen werden berechnete Energiebedarfswerte mit Ziel- oder Deckelwerten verglichen. Für die Berechnung des Energiebedarfs geplanter Anlagen sind in der Literatur Verfahren veröffentlicht. Für die Ziel- oder Deckelwerte sind Verfahren des Benchmarking bekannt, bei denen die Bedarfswerte mit denen einer vermeintlich effizienten Anlage verglichen werden. Diese Verfahren gehen davon aus, dass für den geplanten Raumnutzen die Anlage grundsätzlich erforderlich ist. Des Weiteren vernachlässigen sie die starke Abhängigkeit von speziellen Nutzungsbedingungen beim Einsatz von RLT-Anlagen.

Mit dem hier vorgestellten Verfahren werden die Ziel- bzw. Deckelwerte für den Jahresprimärenergieaufwand nutzungsbezogen ermittelt. Dazu wird für den Nutzungsfall der raumlufotechnische Idealprozess definiert und dessen Jahresprimärenergieaufwand berechnet. Dieser Aufwand wird dann mit dem realer Prozesse verglichen. Ergebnisse dieses Vergleiches sind Gütegrade, deren Bandbreite sich vom ‚derzeit besten bekannten Prozess‘ über den ‚Stand der Technik Prozess‘ bis hin zum ‚ineffizienten Prozess‘ erstreckt. Aus dieser Bandbreite kann dann der Deckelwert gewählt werden. Bei zukünftigen Verbesserungen des Standes der Technik oder bei Erfindungen neuer Komponenten und Prozesse verändert sich nur die „Lage“ des derzeit besten bekannten Prozesses zum Idealprozess. Die Aktualisierung der Deckelwerte wird damit einfach und nachvollziehbar. Das Verfahren wird am Beispiel eines typischen Nutzungsfalles für raumlufotechnische Anlagen erläutert.

## IV.8

## **Exergiebewertung für Gebäude**

Tekn. Dr. Dietrich Schmidt, Dipl.-Ing. Christina Sager und M.Sc. Herena Torio  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Projektgruppe Kassel,  
Gottschalkstrasse 28a, D-34127 Kassel.

Die Beheizung und auch Kühlung von Gebäuden verursacht in Deutschland ca. 40 % des Primärenergieverbrauchs. Im Wesentlichen werden für diesen Zweck wertvolle, meist fossile, Energieträger, wie Erdöl, Gas oder auch Strom, eingesetzt. Die Notwendigkeit, verstärkt sparsam und effizient mit der eingesetzten Energie umzugehen, ist aus ökonomischen wie ökologischen Gründen unumstritten.

Neuere Entwicklungen zeigen, dass sich eine Temperierung von Räumen auf ein komfortables Niveau nicht allein durch herkömmliche Systeme und die Verbrennung von fossilen Energieträgern erreichen lässt. Vielmehr arbeiten innovative Systeme mit sehr kleinen Temperaturdifferenzen zwischen dem Heiz-/Kühlmedium und der zu erzielenden Raumtemperatur. Das Potenzial der Energie und passive Effekte werden effektiver eingesetzt. Auf diese Weise können auch regenerative Energiequellen, wie thermische Solartechnik zum Heizen oder die natürliche Kühle des Erdbodens zum Kühlen von Büros, besser genutzt werden.

Eine Betrachtung und Optimierung von Exgieströmen in Gebäuden kann uns helfen, das Potenzial für eine weitere Effizienzsteigerung zu identifizieren, vergleichbar mit den Verfahren, die zur Optimierung anderer thermodynamischer Systeme Anwendung finden.

Eine Reduktion der Lasten ist der Schlüssel zu einer guten exergetischen Auslegung. Das gilt natürlich für die Gebäudehülle, jedoch auch für die einzelnen Anlagenkomponenten. Benötigt das wärmeabgebende System nur einen geringen Exergieanteil (sogenanntes LowEx-System), kann diese auch mit einem Niedrigexergie-Wärmeerzeuger und eventuell mit einer regenerativen Energiequelle versorgt werden.

Viele Anwendungen, wie die Heizung von Räumen auf ca. 20°C, sind in ihrer Natur niederexergetisch. Wie gezeigt werden kann, ist das Energiekonzept allein nicht für ein erweitertes und vollständiges Verständnis aller Vorgänge der Energieanwendung ausreichend. Ausgehend von dieser Sichtweise ist das Exergiekonzept geeignet diese Lücke zu füllen und ein solches Verständnis zu ermöglichen.

In dem Beitrag wird ausgehend von einer kurzen Einführung zur Anwendung des Exergiekonzeptes für Energiesysteme in Gebäuden, die Vor- und Nachteile dieses Konzeptes anhand von Analysen und Beispielen diskutiert und ein erster Ausblick auf mögliche Benchmarks gegeben. Die vorgestellte Arbeit wird innerhalb des Verbundvorhabens „LowEx“ des BMWi durchgeführt ([www.lowex.info](http://www.lowex.info)).

### **IV.9**

#### **Möglichkeiten und Grenzen der Fußbodenkühlung von Wohnungen in Süd-Europa.**

Stud.-Ing. Benjamin Behrendt, Professor Dr.-Ing. Bjarne W. Olesen  
Internationale Center für Raumklima und Energie. Institute for Mechanical Engineering,  
Technische Universität Dänemark.  
Nils Koppels Alle, 402, DK-2800 Lyngby, Dänemark

In Ländern wie Spanien, Portugal und Italien ist die Nachfrage nach Wohnraumkühlung in den letzten Jahren enorm gestiegen. In den meisten Fällen werden die Wohnungen ausschließlich mit luftgestützten Systemen gekühlt. Aufgrund der geringen Wärmekapazität von Luft sind für eine ausreichende Kühlung teils erheblich Luftmassenströme nötig. In der Konsequenz kann dies zu Zugerscheinungen führen, einen hohen Energieaufwand bedeuten und überdies erfordert diese Art der Belüftung große Installationen.

Eine Alternative ist die Raumkühlung über ein wassergestütztes System. Da es in Südeuropa auch oft ein Heizbedarf während der Wintermonate gibt und zu diesem Zweck oft eine Fußbodenheizung zum Einsatz kommt, wurden die Möglichkeiten und Grenzen einer Fußbodenkühlung in Italien, Spanien und Portugal untersucht.

Zuerst wurde dabei eine Parameterstudie für Rom (Italien) durchgeführt, bei der verschiedene Einflussfaktoren, wie u.a. die Gebäudeausrichtung, die Verschattung und die Belegung untersucht wurden.

In einer darauffolgenden „Location Study“ wurde untersucht, wie sich unterschiedliche geografische und klimatische Gegebenheiten auf die Performance und damit die möglichen Einsatzgebiete des Systems auswirken.

Stichwörter: Raumkühlung, Fußbodenkühlung, Behaglichkeit, Computersimulation.

## IV.10

### **IEA-HPP Annex 30 Retrofit Heat Pumps for buildings**

H.J. Laue  
Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik  
IZW e.V.

There are more than 150 Mill. dwellings in Europe. Around 30 % are built before 1940, around 45 % between 1950 and 1980 and only 25 % after 1980. Around 70 % of the dwellings use energy inferior to new heating systems and have to renew their fossil fuel based heating equipments in the next years.

Energy efficiency, reduction of CO<sub>2</sub>-emissions and the use of renewable energy in the built environment are most important aspects that have to be addressed in the near future. The directive for Energy performance for buildings is therefore an additional driver for heat pumps, which are still concentrated to new one- and two-family houses.

From the beginning, the IEA Heat Pump Program (HPP) has been mainly concerned with the development and application of heat pumps for new buildings. Recognising the potential of the retrofit market, the IEA-HPP added Annex 30 an international collaboration on Retrofit Heat Pumps for Buildings. The annex started in spring 2005 and will be finished end of 2007.

A main challenge for Annex 30 is the limited availability of heat pump technology fit for retrofitting the different situations in existing buildings.

The main technological and economic barriers for retrofitting with heat pumps are therefore:

- Finding solutions for coping with the high design temperature of conventional heating systems in existing residential buildings with distribution temperatures up to 70 – 90°C.
- Creating heat sources at acceptable costs, preferably ground coupled and capable of seasonal storage.

These heat pump solutions for renovation are not yet readily available or so expensive that these are only applied in a niche top segment of the market.

The primary focus in this annex is on domestic buildings. In order to reach the goals of the annex solutions should be found and experience must be gained on:

- The application of available heat pumps in standard buildings that have been improved, resulting in a reduced heat demand

- The development and market introduction of new high temperature heat pumps that use a compact source for application in existing buildings
- The use of reversible (heating-cooling) heat pumps (air-to-air or air-to-water), in buildings without centralized heat distribution systems.

Keywords: heat pumps, energy efficiency, CO<sub>2</sub>-emissions, building stock, retrofit, space heating and cooling, technological and economic barriers, technological solutions

#### IV.14

##### **Wärmepumpe für den Sanierungsmarkt mit hoher energetischer Effizienz auf der Basis natürlicher Kältemittel**

Immel M., Bühring A., Herman A.  
Viessmann Werke, 35107 Allendorf (Eder)  
DrBn@viessman.com, ImeM@viessmann.com, HraA@viessmann.com

Ziel des Forschungsvorhabens ist eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> für den Sanierungsmarkt zu entwickeln, die den Anforderungen an die bestehenden Ein- und Zweifamilienhäuser gerecht wird. Im Sanierungsmarkt hält die Wärmepumpe zur Zeit noch sehr sporadisch Einzug. Das Problem beim Ersatz alter Kesselheizungen durch Wärmepumpen, sind die gegenüber Neubauten hohen Vorlauftemperaturen von 70 °C bis 90 °C.

Eine zusätzliche Motivation für das Forschungsprojekt ist die angestrebte Möglichkeit zum Umstieg auf ein klimafreundlicheres Kältemittel.

Die WP ist so konzipiert, dass die im Auslegungsfall benötigte Heizleistung von ca. 20 kW auch monoenergetisch bereitgestellt werden kann. Eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,3 ist angestrebt. Die Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpe (90% Heizung, 10% Trinkwassererwärmung) wird durch einen Kältemittelkreislauf mit Economizer und Zwischeneinspritzung realisiert. Der Bivalenzpunkt liegt bei -7 °C (13 kW), die Heizarbeit der elektrischen Zusatzheizung beträgt 5% (Rechenergebnis).

Inerhalb des Projektes wird ein CO<sub>2</sub> Scroll-Verdichter für die entsprechenden Leistungen, hohe Kondensationstemperaturen, hohe Verdichterwirkungsgrade, Leistungsregelung, geringe Herstellkosten und lange Lebensdauer entwickelt.

Das Projekt ist eingebunden in die Arbeitsgruppe des Annex 30 der Internationalen Energieagentur IEA – Heat Pump Programme und die Auslegungsparameter wurden entsprechend den Ergebnissen des Task 1 festgelegt.

#### IV.15

##### **Bedarfsgesteuerte Entfeuchtung mit einer Kühltürme**

Dr.-Ing. Thomas Sefker, Dipl.-Ing. Rafał Zieliński  
TROX GmbH Heinrich-Trox-Platz 47504 Neukirchen-Vluyn

Viele energieeffiziente Gebäudekonzepte realisieren die Kühlung der Nutzflächen über Betonkernaktivierung oder Kühldecken. In beiden Fällen kann mit hohen Vorlauftemperaturen (16 – 18 °C) eine oft ausreichende Leistung für durchschnittliche Wärmelasten erreicht werden. Vorteil der hohen Vorlauftemperatur ist, dass die



Kälteerzeugung energetisch und exergetisch günstig über einen Nasskühlturm oder Erdsonden realisiert werden kann.

Bisher können die genannten Systeme weder eine Spitzlastabfuhr noch eine dezentrale Entfeuchtung gewährleisten, da die hohen Vorlauftemperaturen die Leistungsabgabe der wärmeübertragenen Flächen beschränken und die zur Entfeuchtung erforderliche Taupunktunterschreitung nicht sichergestellt werden kann.

Im Rahmen des vom BMWI geförderten Verbundvorhabens „LowEx“ wurde daher eine Kühlsäule entwickelt, die insbesondere für Systeme mit hohen Vorlauftemperaturen konzipiert ist. Ziel ist eine Erhöhung des Nutzerkomforts in hoch belasteten Räumen bei minimalem Energieeinsatz.

Die Kühlsäule ist mit einem eigenen Kältekreislauf ausgestattet und bietet folgende Betriebsarten:

1. Luftkühlfunktion über Luft-Wasser-Wärmeaustauscher durch freie Konvektion.
2. Luftkühlfunktion wie unter 1 beschrieben, jedoch mit Ventilatorunterstützung bei erhöhten Leistungsanforderungen.
3. Wie 1 oder 2, jedoch mit zugeschaltetem Kältekreislauf zur bedarfsgesteuerten Luftentfeuchtung.

In der Betriebsart 3 wird die Luft im Luft-Wasser-Wärmeaustauscher gekühlt und danach über den Verdampfer der integrierten Kälteanlage geführt. Dort wird sie unter den Taupunkt abgekühlt und kontrolliert entfeuchtet.

Vor dem Verlassen der Einheit strömt sie zur Nacherwärmung auf den für Quellluftsysteme üblichen Temperaturbereich über einen weiteren Wärmeaustauscher, dessen Beheizung durch einen Teil der ohnehin abzuführenden Kondensationsenthalpie des Kältemittels erfolgt.

Stichworte: Quellluftsäule, Spitzenlastabfuhr, bedarfsgesteuerte Entfeuchtung

## IV.16

### Kühlfallsicherheit von Luftdurchlässen

Harms, T; Wildeboer, J.;  
Wildeboer Bauteile GmbH, Weener

Dralldurchlässe werden in Räumen mit Mischlüftung eingesetzt. Im Kühlfall ist es für den Abbau der Untertemperatur und des Impulses erforderlich, dass sich der in den Raum eintretende Luftstrahl an die Decke anlegt, radial verteilt und nicht vorzeitig in den Aufenthaltsbereich eindringt. Ansonsten sind Zugerscheinungen die Folge. Dieses mit dem Begriff "Kühlfallsicherheit" bezeichnete Verhalten ist abhängig von der Konstruktion des Durchlasses. Es wird in der Regel durch eher flache Anstellwinkel der Strahlenklammern und damit reduzierten Öffnungsquerschnitten erreicht, was im Widerspruch zu den akustischen Eigenschaften steht.

Jede Konstruktion eines Durchlasses stellt daher einen Kompromiss zwischen "Kühlfallsicherheit" und Strömungsgeräuschen dar. Für eine sichere Luftstrahlführung in Abhängigkeit der Untertemperatur wird damit die Berücksichtigung eines Mindest-Volumenstromes erforderlich.

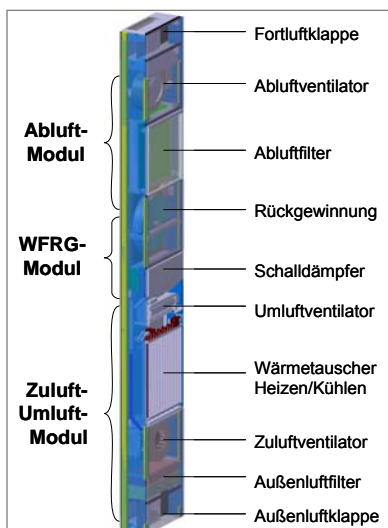
Es wurden verschiedene Dralldurchlässe im Hinblick auf ihre „Kühlfallsicherheit“ untersucht. Die Ergebnisse zeigen die qualitativen Unterschiede der Anwendungsgrenzen im Kühlfall; entsprechend unterschiedlich sind die Anwendungsmöglichkeiten dieser Durchlässe.

#### IV.17

### Einsatz von dezentralen Lüftungsgeräten in und an Fassaden

Dr.-Ing. Hans Werner Roth  
 LTG Aktiengesellschaft  
 Grenzstr. 7  
 70435 Stuttgart  
 roth@ltg-ag.de

In den letzten Jahren wurden in mehr als 40 größeren Bürogebäuden ca. 10.000 dezentrale Lüftungsgeräte eingebaut. Um den Einsatz dieser technisch ausgereiften dezentralen maschinellen Lüftung besser beurteilen zu können, werden in einer Übersicht bewährte Bauarten und deren Leistungsspektren vorgestellt. Bei elementierten Fassaden ist es vorteilhaft, die Lüftungsgeräte flächenbündig zu integrieren. Damit entfällt die nachträgliche bauseitige Anpassung an Fassade, Boden, Säulen, die häufig die Gerätevielfalt und den bauseitigen Aufwand für Montage und Inbetriebnahme erhöhen.



Die größten Vorteile sind der im Vergleich zu zentralen RLT-Anlagen geringere Energiebedarf und die gute Akzeptanz von Bauherren und Nutzern. Bauherren schätzen die hohe Flächenwirtschaftlichkeit und Flexibilität. Die Raumnutzer bedienen ihre eigene „Klimaanlage“ und kombinieren sie nach Belieben mit der freien Lüftung. Eine dezentrale MSR-Technik minimiert den Energiebedarf vor allem in der Zeit, in der das Büro nicht besetzt ist (bis zu 80% der Stunden im Jahr).

Ein Vergleich der Betriebs- und Investitionskosten zeigt, unter welchen Bedingungen dezentrale, flächenbündig integrierte Lüftungsgeräte wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Bild 1. Dezentrales Lüftungsgerät FVM zur flächenbündigen, vertikalen Integration in Elementfassaden

#### IV.18

### Dezentrale Klimatechnik mit Wasser und Kältemittel

Werner Geßler  
 GEA Happel Klimatechnik GmbH, Südstrasse 48, 44625 Herne, Tel.: +49 (0) 2325 / 468-207,  
 Fax +49 (0) 2325 / 468-438, Mobil: +49 (0) 172 / 5820844,  
 e-mail: gessler.werner@gea-happel.de

Immer häufiger wird in Projekten kleinerer und mittlerer Größe eine Klimatisierung mit dezentralen Geräten realisiert. Dies sowohl bei der Errichtung von Neuanlagen als auch beim späteren Ausbau oder bei der Sanierung von bestehenden Anlagen. Der Vortrag stellt eine Entscheidungshilfe dar, um projektbezogen die richtigere Auswahl für wasser- oder kältemittelbasierende Systeme zu treffen.

Die Themenschwerpunkte sind:

- Gegenüberstellung der Klimasysteme in Bezug auf Aufbau und Wirkungsweise
- Energetische Bewertung der Systeme im Vergleich
- Klimakomfort und Anlagensicherheit
- Vor- und Nachteile für den Anlagenerrichter bzw. –betreiber

#### **IV.19**

### **Thermische Behaglichkeit im Heiz- und Kühlfall**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Richter,  
TU Dresden, Institut für Thermodynamik und TGA, 01062 Dresden  
wrichter@tga.tu-dresden.de

In zunehmendem Maße bildet die thermische Behaglichkeit ein wichtiges Element zur Bewertung bau- und anlagentechnischer Lösungen.

Dies trifft beispielsweise auch auf die Einschätzung von Kühlflächen in Form von Heizkörpern zu, für die im Rahmen des Wohnungsbaus eine Einsatzchance zur „Temperierung“ gesehen wird.

Im Beitrag werden die Möglichkeiten und Grenzen der detaillierten Kühlkörpermodellierung, Beispiellösungen und ausführliche Ergebnisse zur thermischen Behaglichkeit angeführt, wobei Heiz- und Kühlfall gegenüber gestellt werden.

Stichwörter: Thermische Behaglichkeit, Modellierung, Heizkörper, Kühlkörper

#### **IV.20**

### **Raumklimatische Untersuchungen im Feld**

Dr.-Ing. Runa Tabea Hellwig

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Raumklima, Holzkirchen  
Fraunhoferstr. 10, 83626 Valley

Gebäude werden betrieben, damit Menschen in ihnen leben und arbeiten können. Für einzelne Raumklimaparameter wurden in den letzten Jahren Anforderungswerte bzw. -bereiche mit dem Ziel festgelegt, eine hohe Zufriedenheit der Gebäudenutzer zu gewährleisten. Die zugrunde liegenden Untersuchungen fanden vornehmlich in Klimaräumen mit kontrollierter Umgebung statt. Dies war erforderlich um einzelne Effekte überhaupt untersuchen zu können und deren Mechanismen verstehen zu lernen. Der Mensch wird aber von vielen Größen gleichzeitig beeinflusst. Dies können raumklimatische Größen wie z.B. Raumtemperatur, Feuchte, Lärm, Geruch, Licht sein. Es können aber auch Größen wie Tätigkeit, Arbeitszufriedenheit, Erwartungen usw. Einfluss ausüben. Gerade die Zufriedenheit mit dem Raumklima wird auch durch solche Größen beeinflusst. Das Zusammenwirken aller dieser Größen kann nicht mehr in Klimaräumen untersucht werden. Felduntersuchungen, bei denen Personen in ihrer bekannten alltäglichen Umgebung befragt werden, bieten die Möglichkeit dazu. Beispielhaft wird das Vorgehen bei der Auswertung gezeigt.

Stichworte: Raumklima, thermische Behaglichkeit, Felduntersuchung, Statistische Auswertung

## IV.21

### **Modelle zur Vorhersage der thermischen Behaglichkeit**

Dipl.-Ing. Rita Streblow, Prof. Dr.-Ing. D. Müller  
E.ON Energy Research Center, Jägerstraße 17-19 , 52066 Aachen

Die Modellierung des thermischen Verhaltens des menschlichen Körpers beschäftigt Physiologen, Physiker und Ingenieure schon seit gut einem Jahrhundert. Viele Modelle zur Vorhersage der thermischen Interaktion des menschlichen Körpers mit seiner Umgebung wurden entwickelt und durch die Weiterentwicklung der Computerhard- und Software in ihrem Detailgrad weit vorangetrieben. Nur wenige Modelle haben es aber zu einer verbreiteten Anwendung geschafft.

Es wird eine Übersicht über thermische Komfortmodelle mit einer Unterscheidung in statische und physiologische Modelle und ihren Anwendungsgrenzen im Bereich der Innenraumklimatisierung gegeben. Wichtige Parameter zur Wiedergabe aktueller experimenteller Daten werden herausgearbeitet.

Stichworte: thermische Komfortmodelle, menschlicher Wärmetransport

## IV.22

### **Effektivität von Geräten zur Luftreinigung**

Olaf Zeidler, Arne Dahms, Dirk Müller  
Hermann-Rietschel-Institut Technische Universität Berlin  
Email: olaf.zeidler@tu-berlin.de

#### Einleitung

Üblicherweise wird eine gute Innenraumluftqualität dadurch erreicht, dass die Konzentration von geruchsaktiven Substanzen reduziert wird durch Lüften. Seit einiger Zeit werden mehr und mehr Luftreiniger auf dem Markt angeboten. Die Hersteller versprechen dabei eine Reduzierung der geruchsaktiven Substanzen in der Innenraumluft.

Bisher sind nur wenige Untersuchungsergebnisse über die Wirksamkeit dieser Geräte veröffentlicht. Meist handelt es sich dabei um Herstellerunterlagen.

In einem neuen Experimentalaufbau innerhalb des Luftqualitätslabors wird der Einfluss unterschiedlicher Luftreinigungsgeräte auf die empfundene Luftqualität untersucht.

#### Versuchsaufbau

In zwei identisch aufgebauten mechanisch belüfteten Testräumen wird die Leistungsfähigkeit der Luftreiniger untersucht. Ein regelbarer Volumenstrom der Innenraumluft aus den Testräumen wird über ein geerdetes Leitungssystem aus Edelstahl in den Bewertungsraum des Luftqualitätslabors geleitet. Mit Glas-trichtern wird diese Luft den Personengruppen zur Bewertung dargeboten. Zusätzlich werden Luftproben mit Hilfe von Tenax-Röhrchen chemisch analysiert.

#### Methode

Die empfundene Intensität wird mit Hilfe einer trainierten 10-köpfigen Personen-gruppe und einer Azeton-Vergleichsskala bestimmt. Eine Gruppe von 40 untrainierten Personen

bewertet die Akzeptanz der Luftqualität. Die Ergebnisse werden umgerechnet, so dass die vorhergesagte Anzahl der Unzufriedenen (PPD) angegeben werden kann. Beide Gruppen werden nach dem hedonischen Eindruck befragt.

#### Untersuchte Geräte

Es werden drei unterschiedliche Luftreinigungsgeräte separat untersucht. Typ 1 und Typ 2 sind Unterflurbrüstungsgeräte mit eingebautem Luftreiniger. Diese Geräte arbeiten mit Ionisation und Ozonierung. Bei Typ 1 können Ionisierung und Ozonierung nur gemeinsam betrieben werden. Typ 2 kann Ionen und Ozon separat produzieren. Der dritte untersuchte Typ ist ein Gerät, das im Innenraum aufgestellt wird und im Umluftbetrieb arbeitet. Es kann in vier verschiedenen Betriebsmodi betrieben werden.

#### Ergebnisse

Mit Ozonierung steigt die Anzahl der unzufriedenen Personen in allen untersuchten Fällen an. Die chemischen Untersuchungen zeigen, dass gleichzeitig die Konzentration der Aldehyde in der Raumluft ansteigt. Dies wird wahrscheinlich durch Oberflächenreaktionen des Ozons mit den Raummaterialien hervorgerufen. Die erhöhten Aldehydkonzentrationen können ein Grund für die schlechter bewertete Luftqualität sein.

Luftreiniger mit Ionisation haben nahezu kein Effekt oder eine sehr kleine Verbesserung der Raumluftqualität zur Folge.

### IV.23

#### **Luftqualitätssensorsystem zur bedarfsgerechten und energieoptimierten Lüftung**

Tomas Hecker  
Produktmanager, AL-KO THERM GmbH, Hauptstrasse 248-250,  
D-89343 Jettingen-Scheppach  
Telefon: (+49) 8225 39- 128, tomas.hecker@al-ko.de

Die Kombination von sensorgesteuerten Raumbediengeräten mit raumluftechnischen Anlagen ermöglicht hohe Energieeinsparung durch Luftvolumenstrommanagement. Bereits bei um 50% reduzierten Luftvolumenstrom werden die Stromkosten um 85 % und Wärme und Kälte um 70 % gesenkt.

1. Vorstellung der wesentlichen Untersuchungsergebnisse vom Hermann-Rietschel-Institut der elektronische Nase „AirQualitizer“.
2. Life Cycle Cost – Vergleich von Klimasystemen  
Intelligente Betriebswirtschaftliche Systemoptimierung von Raumautomation mit der elektronische Nase zur Luftqualitätsüberwachung, Anlagenautomation, Kommunizierenden Feldgeräten und, Klimatisierungssystem mit hocheffizienten Wärmerückgewinnungseinheiten sparen Investitionskosten und reduzieren die Energiekosten um bis zu 90 % gegenüber Standardanlagenkonzepten mit einer Effizienzklasse von A+.
3. Vorstellung einer Life Cycle Cost Software zum einfachen Vergleich von Klimasystemen nach der DIN 18599 und VDI 2067 T1. (Für DKV Teilnehmer ist die Software Gratis)

### IV.24

#### **Luftqualitätsmessung mit Multigassensensorsystemen, das Forschungsvorhaben SysPAQ**

Birgit Müller<sup>1</sup>, Frank Bitter<sup>1</sup>, Dirk Müller<sup>1</sup>, Henrik N. Knudsen<sup>2</sup>, Alireza Afshari<sup>2</sup>,  
Pawel Wargocki<sup>3</sup>, Bjarne Olesen<sup>3</sup>, Birgitta Berglund<sup>4</sup>, Olivier Ramalho<sup>5</sup>,

Joachim Goschnick<sup>6</sup>, Oliver Jann<sup>7</sup>, Wolfgang Horn<sup>7</sup>, Daniel Nesa<sup>8</sup>, Eric Chanie<sup>9</sup>,  
Mika Ruponen<sup>10</sup>

<sup>1</sup>Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin, Marchstr. 4, 10587 Berlin  
Tel.: 030 31424170, Fax : 030 31421141, birgit.mueller@tu-berlin.de

<sup>2</sup> Danish Building Research Institute, Aalborg University

<sup>3</sup> Technical University of Denmark

<sup>4</sup> Karolinska Institute

<sup>5</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

<sup>6</sup> Forschungszentrum Karlsruhe

<sup>7</sup> Federal Institute for Materials Research and Testing

<sup>8</sup> REGIENOV, Renault

<sup>9</sup> Alpha MOS

<sup>10</sup> Halton OY

Gegenwärtig wird die Luftqualität in Innenräumen nur mit sensorischen Methoden mittels Probandengruppen bestimmt. In den letzten Jahren wurden Multigassensensorsysteme, so genannte elektronische Nasen, entwickelt, die den menschlichen Geruchssinn nachahmen. Diese bestehen aus einem Messgerät mit mehreren Gassensoren unterschiedlicher Sensitivität und Selektivität und einer rechnergestützten Datenauswertung. Das Gerät selbst hat keine Möglichkeiten, die empfundene Luftqualität der Probe direkt zu messen. Hierfür müssen die Messwerte des Sensorsystems durch eine Datenverarbeitungssoftware unter der Verwendung von Mustererkennungs- und Regressionsmethoden auf die empfundene Luftqualität abgebildet werden. Seit September 2006 läuft am Hermann-Rietschel-Institut ein Europäisches Forschungsvorhaben mit dem Titel: „Innovative Sensor System for Measuring Perceived Air Quality and Brand Specific Odours“ (SysPAQ). Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Messgerätes zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität sowie der Erkennung von markenspezifischen Gerüchen. Es werden neue Multigas-Sensorsysteme mit erhöhter Empfindlichkeit gegenüber flüchtigen Substanzen in der Innenraumluft entwickelt und für die Bestimmung der empfundenen Luftqualität ein geeignetes Datenverarbeitungsmodell erarbeitet, das auf einer Datenbank aus Messdaten des Sensorsystems und parallel durchgeführten Bewertungen einer Probandengruppe basiert.

Stichworte: Empfundene Luftqualität, Multigassensensorsysteme, Basisgeruchsmodell, empfundene Intensität, flüchtige organische Verbindungen

## IV.25

### Temperaturverteilung in der Fassadengrenzschicht

Dipl.-Ing. Matina Reske, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller  
Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin  
Fachgebiet Heiz- und Raumlufttechnik, Marchstr. 4, 10587 Berlin  
matina.reske@tu-berlin.de

Dezentrale raumlufttechnische Geräte werden seit einigen Jahren in den Markt der Gebäudetechnik eingeführt. Sie werden in der Außenfassade eines Gebäudes platz sparend eingebaut. Die Räume können nutzungsangepasst mit Zu- und Abluft versorgt werden. Die Luft wird aus der Fassadengrenzschicht angesaugt, deren Temperatur erheblich über der Umgebungstemperatur liegen kann. Bisher ist für die an der Planung beteiligten Gruppen unklar, wie die Vor- und Nachteile dieser neuen Technik gegenüber der zentralen Klimatisierung bewertet werden müssen. Besonders die Berechnung des Jahresenergiebedarfs eines Gebäudes mit dezentraler Anlagentechnik kann nur ungenau durchgeführt werden, da bisher kein Modell für die Temperaturerhöhung in der

Fassadengrenzschicht existiert. Es fehlen somit wichtige Auslegungsdaten, die dem Planungsteam eine wirtschaftlich begründete Systementscheidung Zentral/Dezentral ermöglichen.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit für die FLT 2003 wurden die Temperaturverteilungen der Luft im fassadennahen Bereich an drei verschiedenen Hochhäusern zwischen August und November untersucht. Es zeigte sich, dass eine wesentliche Temperaturerhöhung der Luft bis zu einem Abstand von 20 cm normal zur Fassade messbar war. Die Messdaten deuten darauf hin, dass der Energiebedarf besonders in der Sommerzeit ansteigen wird. In der Winterzeit dagegen könnte das Ansaugen der vorgewärmten Luft aus der Fassadengrenzschicht eine Reduzierung des Energiebedarfs bedeuten. Die Temperaturerhöhung der Luft in der Fassadengrenzschicht hängt von den Faktoren des Energieeintrages, der Gebäudeumströmung und den Fassadeneigenschaften ab.

In einem von der AIF geförderten weiterführendem Forschungsprojekt finden zurzeit vor den Südfassaden zweier Gebäude Jahresmessungen statt. Es werden neben der Temperaturverteilung normal zur Fassade die mittleren Ansaugtemperaturen bei unterschiedlichen Volumenströmen und Ansaugöffnungen gemessen. Mit diesen Daten wird ein Modell für die Temperaturerhöhung in der Fassadengrenzschicht aufgestellt und somit kann der Jahresenergiebedarf berechnet werden.

Stichworte: Fassadengrenzschicht, Übertemperaturen, Temperaturanstieg, dezentrale Lüftungsgeräte, Gebäude