



---

# Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008

Ulm

19. - 21. November 2008

## Kurzfassungen



Maritim Hotel Ulm  
Basteistr. 40  
89073 Ulm  
Tel. 0731 923-0  
info.ulm@maritim.de  
www.maritim.de

Veranstalter

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

Striehlstrasse 11, 30159 Hannover  
Telefon +49 (0) 511 8970 814  
Telefax +49 (0) 511 8970 815  
Email: info@dkv.org  
Homepage <http://www.dkv.org>



# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Arbeitsabteilung I</b>	<b>4</b>
<b>Arbeitsabteilung II.1</b>	<b>16</b>
<b>Arbeitsabteilung II.2</b>	<b>26</b>
<b>Arbeitsabteilung III</b>	<b>40</b>
<b>Arbeitsabteilung IV</b>	<b>52</b>

## I.1

### Kryokonservierung als Beitrag zum Erhalt bedrohter Tierarten

**Gabriele Spörl<sup>1</sup>, Hubert Lücker<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Angewandte Neue Technologien  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
gabriele.spoerl@ilkdresden.de

<sup>2</sup>ZooConsulting Dresden

Die Welt der Amphibien ist in Gefahr! Ein Drittel aller bisher bekannten ca. 6.000 Amphibienarten ist hoch bedroht. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann dieser Rückgang auf die Zerstörung und Veränderung der Lebensräume zurückgeführt werden. Eine dieser neuen zerstörischen Krankheiten ist die Chytridiomykose, eine schwerwiegende Hautinfektion durch Pilze. Sie führt zu schweren Entartungen und kurzfristig zum Aussterben der befallenen Arten. Die Chytridiomykose ist im Freiland gegenwärtig nicht zu bekämpfen. Aber unter den kontrollierten Bedingungen einer Haltung in Menschenhand ist dies jedoch relativ einfach möglich. Aus diesem Grund sind durch die Internationale Artenschutzorganisation (IUCN) und den Weltzoooverband (WAZA) alle zoologischen Gärten weltweit aufgerufen, durch Erhaltungszuchten bedrohter Amphibienarten das gegenwärtige Artensterben zu bremsen.

Gegenwärtig wird versucht, mit Hilfe der Konservierung von Amphibien eine Art „Frozen Zoo“ und/oder Gendatenbank für die Amphibien aufzubauen. Gemeinsam mit Partnern vorerst aus der Region Sachsen an der Universität Dresden, der Hochschule für Technik und Wirtschaft und dem Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden werden die Voraussetzungen geschaffen, befruchtete Amphieneier so zu konservieren, dass sie auf lange Sicht gelagert werden können. Mit den zu entwickelnden Verfahren der Kryokonservierung sollen die befruchteten Eier/Embryonen in den betroffenen Regionen vor Ort konserviert und damit dem Angriff oder der weiteren Ausbreitung des Chytridpilzes entzogen werden. Damit diese Maßnahmen auch wirklich umgesetzt werden können, wird auch ein kryobiologisches Labor Bestandteil von ein bis zwei einzurichtenden Erhaltungszucht-Station sein. Dort sollen die erforderlichen Grundlagenuntersuchungen bzgl. der Kryokonservierbarkeit von Amphieneiern und die Entwicklung von Kryoprotokollen für die Anwendung im Feld erfolgen. Anfänglich wird in dieser Station auch die Kryobank aufgebaut.

Im Vortrag wird über die biologischen und kryobiologischen Besonderheiten der Amphibien und erste Versuche zur Kryokonservierung berichtet.

**Stichworte:** Amphienschutz, Arterhaltung, Kryokonservierung, Kryobiologie

## I.2

### Kryokonservierung und Artenschutz - Wildtiererhaltung der Zukunft?

**Dominik Lermen**

Institut für Biogeographie, Universität Trier  
Am Wissenschaftspark 25-27, DE-54296 Trier  
lermen@uni-trier.de

Heute, weit in der zweiten Dekade nach der Ratifizierung des Übereinkommens über die biologische Vielfalt in Rio de Janeiro 1992, realisieren wir, dass das 2010 Millennium Target mit dem Ziel der Reduktion des Verlustes an biologischer Diversität, nicht vollkommen erfüllt werden kann.

Während jedermann um die prekäre Situation großer charismatischer Säugetiere wie der große Panda, Gorillas und Orang Utans bescheid weiß, sind viele andere, weniger bekannte

Arten in ähnlich bedrohlichen Situationen. Betrachtet man die Rote Liste der gefährdeten Tierarten der IUCN von 2007 stellt man fest, dass zum jetzigen Zeitpunkt von allen bisher untersuchten Arten 32,2% der Amphibien, 23% der Säugetiere, 12% der Vögel und 43% der Süßwasserfische als gefährdet eingestuft sind. Diese Gefährdung resultiert hauptsächlich aus der zunehmenden Zerstörung und dem Verlust von Lebensräumen bedingt durch das fortwährende Bevölkerungswachstum, durch Überfischung, Industrialisierung aber auch durch auftretende Wildtierkrankheiten und andere sich ändernde Faktoren die sich nachteilig auf Wildtierpopulationen auswirken können, wie etwa der Klimawandel. Mit dem Verlust an Arten geht ein Verlust an bedeutendem biologischem Wissen verloren. Dies bezieht sich sowohl auf grundlegende biologische Fragestellungen, als auch auf Wissen welches zum Wohle der Menschheit beitragen kann, bedenke man die Vielzahl an biologischen Ressourcen, die für die Entwicklung neuer Medikamente und im Rahmen biotechnologischer Prozesse bereits Verwendung fanden.

Doch wenn wir auch nur eine Handvoll gefährdeter Arten erhalten wollen, so ist es klar, dass diese eines intensiven Managements bedürfen. Hierbei müssen sowohl *in-situ* als auch *ex-situ* Maßnahmen Anwendung finden. Dies erfordert einen kooperativen, multidisziplinären Ansatz der einen großen Bereich biologischer Wissenschaftsdisziplinen umfasst. Ein wichtiger Bestandteil dieser Strategie ist unter anderem die Kryokonservierung von lebenden biologischen Proben. Die anschließende nahezu veränderungsfreie Lagerung dieser in sogenannten Kryobanken (auch Gen- oder Biobanken genannt) ist bereits jetzt von enormer Bedeutung für den Artenschutz. Biobanken unterstützen gleichermaßen die *in-situ* und *ex-situ* Erhaltung durch die Bereitstellung von wichtigem genetischem Material für die Erhaltungszucht. Ferner unterstützen sie grundlegendere Forschung durch die Bereitstellung von somatischen Zellen.

Betrachtet man jedoch die große Vielfalt an gefährdeten Arten, so stellt sich die Frage "Ist die Kryokonservierung für Erhaltungsmaßnahmen wirklich schon anwendbar?"

### I.3

#### Anwendung der Kryokonservierung in der humanen Reproduktionsmedizin

**Dr. U. Pohler**

MVZ-wagnerstibbe

Zentrum für IVF und Reproduktionsmedizin  
Deutsche Klinik Bad Münder  
Hannoversche Straße 24, 31848 Bad Münder  
[u.pohler@t-online.de](mailto:u.pohler@t-online.de)

Kinderwunsch ist die natürlichste Sache der Welt – doch etwa 7-10 % der Paare sind ungewollt kinderlos. In Deutschland finden jedes Jahr ca. 40.000 Behandlungen im Rahmen der künstlichen Befruchtung statt und daraus werden ca. 12 000 Kinder geboren.

Die Kryokonservierung bietet die Möglichkeit sowohl Samen – und Eizellen vor oder nach der Befruchtung bei -196°C aufzubewahren.

Lassen sich nach der Eizellentnahme mehr Eizellen befruchten, als für den späteren Transfer (max. 3 erlaubt) vorgesehen sind, kann das Paar entscheiden, ob die überschüssigen befruchteten Eizellen eingefroren werden. Der Vorteil des Einfrierens liegt darin, eine weitere Chance auf eine Schwangerschaft zu erhalten, ohne dass eine erneute hormonelle Stimulation und Eizellentnahme notwendig wird.

Durch zunehmende Erfolge in der Krebsbehandlung bietet die Kryokonservierung die Möglichkeit, den Kinderwunsch zu einem späteren Zeitpunkt zu erfüllen. So lassen sich unbefruchtete Eizellen als Fertilitätsreserve vor einer geplanten Chemotherapie einfrieren.

In letzter Zeit wird auch die Kryokonservierung von Ovargewebe propagiert, obwohl dieser Ansatz noch nicht die Erfolge einer klinischen Anwendbarkeit hat.

## Arbeitsabteilung I

Auch Samenzellen von Patienten vor Strahlen oder Chemotherapie lassen sich kryokonservieren. Selbst wenn keine Samenzellen im Ejakulat auffindbar sind, können durch operative Maßnahmen Samenzellen direkt aus dem Hodengewebe isoliert und kryokonserviert werden.

In den Richtlinien zur künstlichen Befruchtung ist daher gefordert, dass jedes reproduktionsmedizinisches Zentrum für die Kryokonservierung apparative Voraussetzungen wie auch etablierte Einfriermethoden bereithalten muss.

**Stichworte:** Kinderwunsch, Eizellen, Samenzellen, Kryokonservierung

### I.4

#### **Langzeitlagerung und Transport kryokonservierter biologischer Proben**

**Dagmar Kerkau**

Leiterin Kryobank

AIR LIQUIDE Medical GmbH

Füttingsweg 34, D-47805 Krefeld

*Telefon:* +49 2151 379 9868, *Fax:* +49 2151 379 9477

Mobil: +49 173 70 39 151

[dagmar.erkau@airliquide.com](mailto:dagmar.erkau@airliquide.com), [www.airliquide.com](http://www.airliquide.com), [www.kryobank.de](http://www.kryobank.de)

- ✓ **Gründung: 1980**
- ✓ **Bereitstellung von Lagerplatz (auch adhoc) für**
  - humanes Erbgut, wie Sperma, Hoden- und Ovargewebe, Knochenmarkstammzellen privater Kunden (autolog)
  - back-up Proben von industriellen Kunden
- ✓ **Transportorganisation**

### I.5

#### **Biobanking & Kryotechnologie - Rückgrat der zukünftigen Biotechnologie und Medizin**

**Günter R. Fuhr**

Fraunhofer-Institut für

Biomedizinische Technik IBMT

Ensheimer Strasse 48, 66386 St. Ingbert

[Guenter.Fuhr@ibmt.fraunhofer.de](mailto:Guenter.Fuhr@ibmt.fraunhofer.de)

Seit etwa 20 Jahren verlagert sich die pharmakologische Forschung, die Diagnostik und medizinische Datenerhebung sowie die biologische Forschung und Biotechnologie weg von Tiermodellen hin zu gut charakterisierten Zelllinien. Auch die Tumorablagen der Pathologien orientieren mehr und mehr auf die Ablage von Lebendmaterial. Nicht zuletzt haben die umfangreichen Stammzellisolationen zu einer Vielzahl von Biomaterialbanken mit Probenzahlen von einigen Zehntausend und mehr geführt. Kohortensammlungen erreichen Probenstärken von einer halben Million und mehr. Ganz ohne Zweifel werden Biomaterialbanken das Rückgrat der zukünftigen Medizin, Biotechnologie, aber auch Pharmakologie sowie der Forschung im »Life Science«-Bereich bilden.

Die derzeit einzige langzeitstabile Möglichkeit, die Lebensprozesse von Zellen höherer Tiere und des Menschen reversibel anzuhalten, ist die Tieftemperaturkonservierung (Kryolagerung). Aus einer Vielzahl biologischer und physikalischer Gründe lassen sich größere Gewebeverbände (cm<sup>3</sup> und mehr) oder gar Organismen nicht kryokonservieren.

Zellsuspensionen mit Milliarden von Zellen lassen sich hingegen unter Aufrechterhaltung der Vitalität mit Hilfe von Kryoprotektiva mit Überlebensraten von über 80% einfrieren und auftauen.

Im Unterschied zur Tieftemperaturphysik mit Supraleitern und hochisolierender Vakuumtechnik ist die Kryotechnologie der Biobanken in der gegenwärtigen Ausführung der Ablagedepots technisch noch nicht den zukünftigen Anforderungen gewachsen. In Zukunft müssen Verwechslungssicher und ohne Kontamination, ohne Vereisung der Oberflächen und mit deutlich reduziertem Personalaufwand Tausende von Proben abgelegt, verwaltet und entnommen werden können. Die Qualität der abgelegten Proben ist in starkem Maße abhängig von der Gefriertechnologie und der Standardisierung der Prozesse.

Seit acht Jahren entwickelt das Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik Kryoequipment und Substrate für das Biobanking in den Kategorien S1 – S4 der Laborsicherheit. Das Fraunhofer IBMT bietet seit dem Jahr 2000 Komplettlösungen vom Labormanagement bis zur Probenablage, den weltweiten Versand und die kundenspezifische Optimierung der Kryoprozeduren an. Am Beispiel der »Globalen HIV-Ablagebank« der Bill & Melinda Gates Foundation werden im Rahmen des Vortrages die folgenden wesentlichen Elemente vorgestellt:

- neue Substrate mit Barcode, RFID und elektronischem Speicherchip, der auch bei Temperaturen von  $-180^{\circ}\text{C}$  beschrieben und gelesen werden kann,
- Kühlhauben-basierte Freezer und Lagerbehälter zur Vermeidung von Reifbildung, der Kontamination der Stickstoffseen sowie der Proben, als auch die halb- und vollautomatische Entnahme von Proben,
- Labormanagementssoftware zur SOP-basierten Handhabung von Proben und Steuerung der Präparationsstrecken und Labore.

Perspektiven der biologisch-medizinisch ausgerichteten Biomaterialbanken werden diskutiert.

## I.6

### **Eine Kryobank für humanes Ovarialgewebe: Konzept und Perspektiven**

**V. Isachenko, E. Isachenko, J.M. Weiss**

Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe

Universitätsfrauenklinik Ulm · Prittwitzstr. 43 · 89075 Ulm

v.isachenko@yahoo.com

Ovarialgewebe stellt das neueste Objekt einer humanen Kryobank dar. Aufgrund der steigenden Effektivität onkologischer Therapien fragen Patientinnen in zunehmendem Umfang auch nach dieser Möglichkeit zur Restitution ihrer Fertilität nach der chemo- oder radiotherapeutischen Behandlung. Diese Option stellt aktuell einen bedeutenden Forschungsschwerpunkt dar. Das Ovarialgewebe kann nach dem Auftauen retransplantiert werden und Ausgangspunkt einer regelrechten Follikelreifung mit Ovulation maturer Oozyten mit oder ohne Gonadotropinstimulation sein. Sowohl bei Tieren als auch beim Menschen sind Geburten nach Retransplantation publiziert worden. Kryokonserviertes Ovarialgewebe kann für folgende Ziele genutzt werden:

1. Sollte infolge einer onkologischen Therapie ein Premature Ovarian Failure (POF) entstehen, kann die Re- Transplantation von Ovarialkortex die ovariale Funktion erneuern. Dies ist unabhängig von einem noch vorhandenen Kinderwunsch.
2. Wenn potenziell noch Kinderwunsch besteht, ist diese Überlegung auf alle Fälle sinnvoll, da das Ovar für die Reproduktion erforderlich ist.
3. Vor einer onkologischen Therapie kryokonserviertes humanes Ovarialgewebe kann außerdem Ursprung unreifer Eizellen (GV-Oozyten) sowie adulter Stammzellen der

Ovaroberfläche sein. Daraus ergibt sich die mögliche Verknüpfung verschiedener Konzepte zur Erhaltung der Fertilität sowie denkbarer therapeutischer Optionen durch die Stammzellen.

## I.7

### **Kryokonservierung ohne Kryoprotektoren: Spermien zeigen eine Möglichkeit**

**Evgenia Isachenko, Vladimir Isachenko, Jürgen M. Weiss**

Sektion von Gynäkologische Endokrinologie und Reproduktionsmedizin

Universitätsfrauenklinik Ulm · Prittwitzstr. 43 · 89075 Ulm

v.isachenko@yahoo.com

Zurzeit ist die „langsame“ (konventionelle) Kryokonservierung von Spermien Standard. Sie erlaubt das Einfrieren einer relativ großen Mengen Ejakulat (0,25-1 ml) mit dem Erhalt einer hohen Motilität von Spermien, ihrer akrosomalen und zytoplasmatischen Membranen, der funktionellen Aktivität der Mitochondrien und der DNA-Stabilität. Außerdem wird die Translokation der Phospholipide im Inneren der Spermienmembran nach dem Auftauen verhindert.

Unter den gegebenen Umständen stellt sich die Frage: Warum brauchen wir die Entwicklung einer anderer Technologie und welche Vorteile bietet sie uns im Vergleich zu der alten? Diese "neue" Technik ist die Vitrifikation. Sie benötigt weder spezielle Kühlungsprogramme noch permeable Kryoprotektoren. Im Vergleich zum konventionellen programmierbaren Einfrieren ist diese Technologie viel schneller, einfacher und billiger. Sie kann aber auch eine gute Motilität von Spermien nach dem Auftauen gewährleisten, das Spermium vor der Kryoschädigung bewahren und einen mutagenen Effekt, der bei der Verwendung von permeablen Kryoprotektoren verursacht werden kann, verhindern. Die Methode basiert auf einem sehr schnellen Einfrieren der Zelle durch direktes Eintauchen in flüssigen Stickstoff, wodurch die Bildung von großen Eiskristallen verhindert wird.

Die aktuelle Technologie kann nur geringe Mengen (1 - 30 µ l) an Spermavolumina wirksam einfrieren. Daher werden mehrere Portionen eingefroren. Die Motilität und die Integrität des Zytoskeletts bleiben erhalten.

## I.8

### **Kryomikroskopie: Eine Untersuchungsmethode zur Visualisierung von Gefrierprozessen**

**Ralf Spindler, Birgit Glasmacher**

Institut für Mehrphasenprozesse und Zentrum für Biomedizinische Technik, Leibniz  
Universität Hannover, Callinstr. 36, 30167 Hannover

Gefrierprozesse treten in weiten Bereichen in der Natur und in der Technik auf. In der Kryokonservierung spielen vor allem die Phasenumwandlungen von Wasser bei tiefen Temperaturen eine entscheidende Rolle. Dies ist darin begründet, dass biologisches Material wie Zellen und Gewebe einen hohen Wasseranteil von 60 bis 80% besitzt. Die Kryomikroskopie bietet die Möglichkeit unter kontrollierten thermischen Bedingungen eine Vielzahl von Gefrierprozessen und deren Effekte auf biologisches Material zu untersuchen. Aufgrund einer Eiskristallbildung im Extrazellularraum, beispielsweise, erhöht sich dort die Osmolarität, wodurch es zu einem Efflux von Wasser aus dem Intrazellularraum kommt und ein Schrumpfen der Zellen ist beobachtbar. Eine intrazelluläre Eiskristallbildung ist meist durch das „Darkening“ erkennbar. Darüber hinaus kann mit Hilfe der Kryomikroskopie das Nukleationsverhalten von

Frierschutzmitteln und Vitrifikationslösungen charakterisiert werden, welche in der Kryokonservierung eine zentrale Rolle spielen. Eine Vielzahl von Modalitäten der Kryomikroskopie wurden entwickelt, darunter Temperatur-Gradienten-Systeme, die Konfokale Mikroskopie und Multiphotonen-Laser-Scanning Systeme, welche die Kryomikroskopie zu einer leistungsfähigen Untersuchungsmethode etabliert haben. In Verbindung mit weiteren Untersuchungsmethoden, wie beispielsweise Differentielle Scanning Kalorimetrie (DSC) oder Fourier Transformation Infrarot Spektroskopie (FTIR), werden die erzielten Ergebnisse ergänzt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen können grundlegende Phänomene untersucht und neuartige Frierprotokolle der Kryokonservierung optimiert werden.

## I.9

### **Entwicklung eines Micro-Freezers zur Parameteroptimierung in der Kryokonservierung**

**F. Evertz, A. Szentivanyi, I. Bernemann, N. Hofmann, B. Glasmacher**

Institut für Mehrphasenprozesse, Leibniz Universität Hannover

Callinstr. 36, 30167 Hannover

evertz@ifv.uni-hannover.de

Für die erfolgreiche Kryokonservierung von Zellen in Suspension sind optimierte Kühlprotokolle zur Verminderung von Zellschäden durch Dehydrierung und Schrumpfung sehr wichtig. Gerade bei teueren, kritischen und seltenen Zellen wie Stammzellen ist ein schneller Optimierprozess mit geringen Zellbedarf sehr wünschenswert. Da solche Optimierstudien mit den kommerziell erhältlichen Freezer-Systemen (Controlled Rate Freezer wie CM2000® oder Planer®) sehr zeitintensiv und von der Temperaturlösung nicht optimal sind, wurde ein neues System zur Durchführung von Parameterstudien in der Kryokonservierung entwickelt. Dieser neue Freezer wurde für die Optimierung von Kühlprotokollen (Parameter: Kühlraten, Mehrschritt-Kühlprotokolle, Haltezeiten) und Kryoprotektivparameter (Typ, Konzentration) entwickelt. Da ein kleines Probenvolumen Zellen spart und zudem ein homogenes Abkühlverhalten der Proben bewirkt, wurden Probenvolumen von 200µl (PCR-Tubes) für dieses System verwendet. Zur einfacheren Handhabung wurde das System dem Layout einer 96-Wellplatte angeglichen, damit die Verwendung einer Achtkanalpipette ermöglicht wird.

Das Funktionsprinzip des Freezers ist auf das Power-Down-Verfahren zurückzuführen. Hierfür wird ein Aluminiumkühlkörper mit flüssigem Stickstoff gekühlt, der mit 12 Plattformen bestückt ist, die jeweils mit einer Heizfolie als Kompensationsheizung ausgestattet sind. Über jeder Heizfolie ist ein Probenhalter angebracht, der durch Steuerung der Kompensationsheizleistung temperiert wird.

Der µ-Freezer kann im Bereich von 4°C bis -30°C Abkühlraten bis zu 26K/min und zwischen -30°C und -80°C bis zu 11 K/min erreichen. Dabei können insgesamt 96 Proben und 12 Kühlprotokolle in einem Arbeitschritt bearbeitet werden.

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Exzellenzcluster REBITH.

## I.10

### Thermische Stratifikation in LH<sub>2</sub>-Dewarbehältern

**R. Langebach und Ch. Haberstroh**

Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, TU Dresden  
01062 Dresden  
[lobin.langebach@tu-dresden.de](mailto:lobin.langebach@tu-dresden.de)

In ruhenden kryogenen Dewarbehältern kann sich unter bestimmten Voraussetzungen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte thermische Schichtung (Stratifikation) einstellen. Sowohl die flüssige als auch die gasförmige Phase sind betroffen, mit jeweils charakteristischem Temperaturprofil. Bekannt und untersucht ist dieses Phänomen bisher vor allem für große Lagertanks bei kommerziellen Verflüssigungsanlagen sowie für Treibstofftanks in der Raumfahrttechnik.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, in wie weit sich Stratifikationseffekte auch auf Speicherkapazität und Verhalten kleinerer Dewarbehälter (100 ... 200 l), wie sie z.B. als LH<sub>2</sub>-Tanks im Automobilbereich zum Einsatz kommen, auswirken können. Präsentiert werden experimentelle Ergebnisse von Messungen an vergleichbaren Labordewarkannen, thermodynamische Bilanzrechnungen und theoretische Abschätzungen sowie erste Ergebnisse präziser Simulationsrechnungen.

## I.11

### Cryogene Flüssigkeiten sicher abfüllen

**Markus Wörsing**

CRYOTHERM GmbH & Co. KG  
Euteneuen 4, 57555 Euteneuen  
[markus.woersing@cryotherm.de](mailto:markus.woersing@cryotherm.de)

Mit „Cryogen“ wird in der Regel ein Temperaturbereich unter 120 K bezeichnet. Der Bedarf an cryogenen Kältemitteln steigt durch neue Anwendungen und durch den Ausbau der Tieftemperaturforschung stark an. Daraus resultierend werden insbesondere die tiefkalt verflüssigten Gase Helium und Stickstoff vermehrt zum Kühlen in den Anwendungen eingesetzt. Andere tiefkalt verflüssigte Gase wie Argon, Wasserstoff oder Sauerstoff spielen in der Kühltechnik eine untergeordnete Rolle und werden deshalb nicht betrachtet.

Das sichere Abfüllen von cryogenen Flüssigkeiten setzt die Kenntnis der Gefahrenpotentiale der hier betrachteten Gase Stickstoff flüssig und Helium flüssig voraus. Die Gefahrenpotentiale werden ausführlich dargestellt und die Maßnahmen zur Reduzierung der daraus resultierenden Risiken dargestellt. Ein Schwerpunkt der Betrachtung wird auf das Abfüllen der tiefkalt verflüssigten Gase gelegt. Hierzu werden technische Lösungen vorgestellt.

Stichworte: tiefkalt verflüssigte Gase, Abfüllung, sicherer Umgang

## I.12

### **Wasserstoff Infrastruktur - Neuartige 700 bar Kompressionstechnologie**

**Jaco Reijerkerk**

Linde AG Linde Gases Division,  
Seitnerstr. 70, 82049 Höllriegelskreuth  
[jaco.reijerkerk@linde-gas.com](mailto:jaco.reijerkerk@linde-gas.com)

- Stand der Technik
- Anforderungen für PKW-Betankungen
- Verdichten mit ionischen Flüssigkeiten
- Kryopumpe: „Vorgekühlt“ zu Hochdruckgas in wenigen Minuten

## I.13

### **Jahrzehntelange Erfahrung mit einer Helium- Tauchkreiselpumpe**

**J. Hoess**

Walther-Meißner-Institut,  
Walther-Meißner-Str. 8, 85748 Garching  
[josef.hoess@wmi.badw.de](mailto:josef.hoess@wmi.badw.de)

## I.14

### **Miniaturisierte Flüssigargon-Pumpe mit pneumatischem Antrieb**

**G. Kaiser, S. Albert, A. Binneberg, J. Klier**

ILK Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden  
[Gunter.Kaiser@ilkdresden.de](mailto:Gunter.Kaiser@ilkdresden.de)

Anhand der Spezifikationen des CERN-Archimedes-Projekts wurde am ILK eine miniaturisierte Flüssigargon-Pumpe mit pneumatischem Antriebssystem entwickelt. Die Flüssigargonpumpe besteht aus einem kryogenen Doppel-Rückschlagventil, welches in die Kryoflüssigkeit eingetaucht wird und einem warmen pneumatischen Druckwellenantrieb, welche über eine Drucktransfer- und Kryoflüssigkeits-Steigleitung miteinander verbunden sind. Die Auslegung von Länge und Durchmesser der verbindenden Leitung zwischen warmer und kalter Seite der Flüssigargonpumpe ist essentiell für deren optimale Funktion. Die thermische Entkopplung beider Einheiten der Pumpe ist sicher zu stellen. Dabei müssen aber die pneumatischen Pumpverluste insbesondere durch die Reduktion des Totvolumens klein gehalten werden. Im Versuchsaufbau konnte ein maximaler Förderstrom der Pumpe von 10 l/h gegen einen Druck von 3 bar nachgewiesen werden, womit die Spezifikation des CERN-Archimedes-Projekt erfüllt wurde. Aufbau und Funktionsprinzip der Flüssigargonpumpe sowie die theoretischen und experimentellen Ergebnisse werden vorgestellt.

Stichworte: Pumpe, Kryoflüssigkeit, Flüssigargon, pneumatisch

## I.15

### **Split-Pulse-Tube-Kühler mit innovativem Doppelkolben-Linearverdichter**

**G. Kaiser, J. Schmidt, A. Binneberg, J. Klier**

ILK Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden

Gunter.Kaiser@ilkdresden.de

Am ILK Dresden wurde ein Split-Pulse-Tube-Kühler mit Doppelkolben-Linearverdichter entwickelt. Der Linearverdichter wird mittels eines neuartigen elektrodynamischen Linearmotors angetrieben, der auf der Basis eines Systems aus bewegter Spule um den mitbewegten Magnetkern (Moving Coil & Core) funktioniert. Dieses Konzept bietet verschiedene Vorteile gegenüber den bisher üblichen Systemen auf der Basis bewegter Spulen (Moving Coil) bzw. bewegter Magnete (Moving Magnet). Mit kompaktem Aufbau lassen sich Antriebe mit kurzem Hub, hoher Kraftdichte, hoher Leistung und hohem Wirkungsgrad realisieren. Die Rückstellkraft des Magnetsystems erlaubt es auf mechanische Rückstellsysteme (z.B. Federn) zur Sicherung der Schwingermittellage zu verzichten. Das neuartige Antriebskonzept wird vorgestellt und die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Untersuchungen werden diskutiert. Das Vorhaben wurde durch das BMBF finanziell unterstützt (FKZ: IW041392)

Stichworte: Kryokühler, Pulse-Tube, Linearantrieb, Linearmotor, bewegte Spule mit Kern

## I.16

### **Vakuum gelötete Plattenwärmetauscher für Heliumanwendungen**

**Arndt-Erik Schael**

Linde AG, Geschäftsbereich Linde Engineering

Werk Schalchen, Produktlinie Plattenauscher

Carl-von-Linde-Str. 15, 83342 Tacherting

Arndt-Erik.Schael@Linde-LE.com

Für Anwendungen in der Tieftemperatur- und Kryotechnik werden seit einigen Jahren im Vakuum gelötete Plattenwärmetauscher aus Aluminium eingesetzt. Sie bestehen im Wesentlichen aus einer Stapelfolge von Trennblechen und dazwischen liegenden Rippenplatten (Fins), wobei die einzelnen Lagen durch Sidebars nach außen abgeschlossen werden. An der Oberseite und der Unterseite bilden dicke Deckbleche den Abschluss eines Blockes. Über aufgeschweißte Header werden die Ströme auf die verschiedenen Passagen verteilt, wobei in einem Block bis zu 15 Ströme fließen können. Der Anwendungsbereich liegt bei Designdrücken von bis zu 111 bar und Designtemperaturen zwischen 4 K (-269°C) und 338 K (+65°C). Typische Einsatzbereiche sind Luftzerlegungsanlagen, LNG- und NGL-Anlagen, im Kaltbereich von Ethylenanlagen sowie in Heliumanlagen. Für letztere Anwendung wurde bei Linde Engineering im Werk Schalchen ein Plattenwärmetauschersatz entwickelt, der in den Standardheliumkälteanlagen und -verflüssiger der Linde Kryotechnik AG, Pfungen (Schweiz), eingebaut wird. Dieser Plattenauschersatz wird in drei Baugrößen mit Nennübertragungsleistungen von 40 kW bis 125 kW und je fünf hintereinander geschalteten Tauschern gefertigt. Die Heizflächendichte liegt typischerweise bei  $1030 \text{ m}^2/\text{m}^3$  bei einem Gesamttauschervolumen von  $0,13 \text{ m}^3$  bis  $0,48 \text{ m}^3$ .

## I.17

### **Die Wahl des Tieftemperatursensors für den Einsatz bei kryogenen Großexperimenten**

**Manfred Süßer**

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Physik  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
[Manfred.Suesser@itp.fzk.de](mailto:Manfred.Suesser@itp.fzk.de)

Die Auswahl geeigneter Temperatursensoren erfordert die Betrachtung aller Einsatzrandbedingungen. Der wesentliche Punkt bei der Diskussion der erreichbaren Messunsicherheit ist die Betrachtung der gesamten Messstrecke mit den experimentellen Randbedingungen. Bei Großanlagen tritt die Messunsicherheit oftmals hinter der Zuverlässigkeit und der Langzeitstabilität zurück, denn ein Austausch defekter Temperatursensoren ist nur unter hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand möglich oder bei bestimmten Einbauorten unmöglich. Eine hohe Zuverlässigkeit wird durch die Akzeptanz einer größeren Messunsicherheit erreicht. Eine entsprechende Gewichtung muss bei der Auswahl der Temperaturfühler unbedingt vorgenommen werden. Oftmals erfolgt die Sensorauswahl nur nach Genauigkeitsangaben des Sensors ohne die anderen Randbedingungen wie elektrische Überlastbarkeit, elektrische Spannungsfestigkeit und mechanische Belastbarkeit zu berücksichtigen. Die Bestückung kryogener Großanlagen erfolgt zurzeit mit Cernox- oder TVOTemperatursensoren.

Diese beiden Sensortypen werden im Beitrag bezüglich der oben genannten Kriterien diskutiert.

## I.18

### **Entwicklung und Anpassung von Meßmethoden für LNG Großtankanlagen**

**A. Binneberg, B. Schumann, J. Klier**

ILK Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden  
[armin.binneberg@ilkdresden.de](mailto:armin.binneberg@ilkdresden.de)

Für die Einführung der flüssig Wasserstofftechnologie in Transportsysteme und für die Verteilung von Erdgas in flüssiger Form (LNG – liquid natural gas) durch Schiffe, Bahn und LKW werden zunehmend thermische Isolierungen aus Kompositen auf der Basis von Hartschäumen und Epoxidharzmaterialien untersucht. Zur Entwicklung und Optimierung dieser Verbundwerkstoffe sind die Messung der thermischen und mechanischen Eigenschaften der Ausgangsmaterialien bei tiefen Temperaturen bis zu -253°C durchzuführen. Dazu werden zumeist wissenschaftliche Apparaturen, zum Teil auch sehr aufwendige kommerzielle Messgeräte eingesetzt. Zur Charakterisierung und Qualitätskontrolle der neu entwickelten Verbundwerkstoffe sind diese genannten Apparaturen aufgrund der Abmessungen der Probenräume und Messverfahren jedoch ungeeignet. Deshalb werden vom ILK Dresden geeignete Messverfahren für LNG Großtankanlagen entwickelt. Im Vordergrund steht dabei die Bestimmung der integralen Wärmeleitfähigkeit und des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von massiven Verbundpaneelproben. Die Messungen werden bis zur Temperatur des flüssigen Stickstoffs (bzw. Wasserstoffs) durchgeführt.

**Stichworte:** LNG, Wärmeleitfähigkeit, thermische Ausdehnungskoeffizient, Feststoffisolation

## I.19

### Komplexität der Helium-Kälteanlage für Wendelstein-7X Thermodynamik - Anlagensteuerung - Montage und Inbetriebsetzung

**Nüsslein Uwe G.<sup>1</sup>, Dhard C.P.<sup>2</sup>, Raatz S.<sup>2</sup>, Bau H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Linde Kryotechnik AG, Dättlikonerstrasse 5, 8422 Pfungen, Switzerland  
uwe.nuesslein@linde-kryotechnik.ch

<sup>2</sup> Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Teilinstitut Greifswald, Euratom Association,  
Wendelsteinstrasse 1, 17491 Germany

Am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), Greifswald, wird eines der weltweit grössten Stellarator Fusionsexperimente, der Wendelstein-7X (W7-X) errichtet. Wesentliche Bestandteile des W7-X Kryostats benötigen im Betrieb eine Kühlung mittels superkritischem Helium von 3,4 bis 3,9 Kelvin.

Die Kälteleistung liefert eine kryogene Anlage bestehend aus zwei Helium-Verdichterstufen, zwei Coldboxen mit Expansions-Turbinen, eine Unterkühlerbox, ausgerüstet mit kalten Kompressoren und kalten Zirkulationspumpen. Eine Magnetverteilbox kontrolliert im Betrieb die einzelnen Kühlströme zu den entsprechenden Verbrauchern des W7-X.

Die komplexen Anforderungen an die Kälteanlage durch die variablen Betriebsmodi, den Tag- und Nachtbetrieb, die begrenzte elektrische Leistungsaufnahme und die räumlichen Gegebenheiten stellten alle Fachdisziplinen vor neue Herausforderungen im kryotechnischen Anlagenbau.

Die kryotechnische Anlage ist in Greifswald aufgebaut worden und die Inbetriebnahme der He-Anlage wird derzeit vorbereitet.

## I.20

### Closed loop mechanical cool down refrigeration plant for MRI-Magnets

**P. Froehlich<sup>1</sup>, M. Muehlegger<sup>1</sup>, D. Crowley<sup>2</sup>, M. Bohn<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Linde Kryotechnik AG, CH-8422 Pfungen, Switzerland

<sup>2</sup>Siemens Magnet Technology, Oxon OX29 4BP, UK

<sup>3</sup>The Linde Group, Linde Gas Division, Seitnerstr. 70, 82049 Pullach, Germany

Superconducting MRI magnets operate at Liquid Helium temperature in order to achieve the high magnetic fields required for diagnostic operation. During manufacture, the MRI magnets have to be cooled down for testing purposes. The conventional cooling procedures are labour intensive, not fully automated, and require large amounts of liquid nitrogen and the rare and precious noble gas helium as a liquid coolant.

In order to further improve this process, Linde Kryotechnik has led a team of experts to develop a solution to cut down the Helium consumption and consequently to economize the manufacturing process at the MRI producer. A suitable mechanical cool down system has been developed in close cooperation with Siemens Magnet Technology and BOC UK (a Linde Group company).

This closed loop mechanical cool down unit will be explained and its functionality shown in a block diagram. The refrigeration system has been designed to cool 12 magnet systems in parallel from room temperature to 10K with a pre-defined, isothermal cool down gradient including the final process step, the so-called "first fill" with LHe.

The presentation will provide information about the different sequences, such as coupling, purification, purging, cooling down, first fill and de-coupling, within the entire cool down process of an MRI magnet system. Recent experiences from the installation and start-up of the plant as well as its implementation into the manufacturing facility of Siemens Magnet Technology are presented.

## I.21

### Grosstechnische Wasserstoffverflüssigung in Leuna

<sup>1</sup>M. Bracha, Linde Gas, <sup>2</sup>L. Decker

<sup>1</sup> Linde Gas Division, Seitnerstr. 70, 82049 Pullach, Germany

<sup>2</sup> Linde Kryotechnik AG, CH-8422 Pfungen, Switzerland

Wasserstoff steht seit der massiven Kostenexplosion bei den fossilen Brennstoffen vermehrt im Interesse von Industrie und Öffentlichkeit. Bereits heute werden große Mengen an Wasserstoff für die Raffinerien hergestellt, um die konventionellen Kraftstoffe Benzin und Diesel zu entschwefeln. Daneben benötigen viele Hightech-Prozesse insbesondere in der Halbleiterindustrie dieses Gas in reinster Form. Aus Gründen der Logistik und Reinheit wird Wasserstoff für diese Kunden daher in immer größeren Mengen in flüssiger Form produziert. Auch beim Aufbau einer H<sub>2</sub> Infrastruktur für Fahrzeuge wird die Belieferung der Tankstellen bevorzugt mit flüssigem Wasserstoff erfolgen.

Um den momentanen Bedarf an flüssigem Wasserstoff decken zu können, hat Linde 2007 einen neuen Wasserstoff-Verflüssiger in Leuna, Sachsen-Anhalt, in Betrieb genommen. Dabei wurde erstmals und erfolgreich der Einsatz einer dynamisch gasgelagerten Expansionsturbine erprobt.

### II.1.1

#### Forschungspolitik für mehr Energieeffizienz in der Kälte- und Klimatechnik

**Rodoula Tryfonidou**

BMWi, Referat für Energieforschung, Bonn  
Villemomblé Str. 76, 53123 Bonn  
[rodoula.tryfonidou@bmwi.bund.de](mailto:rodoula.tryfonidou@bmwi.bund.de)

### II.1.2

#### Forschungsförderung durch das Bundeswirtschafts- und das Bundesforschungsministerium - Industrielle Gemeinschaftsforschung und Verbundforschung

**Claudia Reinfurth**

Forschungskuratorium Maschinenbau, Frankfurt  
Lyoner Str. 18,  
[claudia.reinfurth@vdma.org](mailto:claudia.reinfurth@vdma.org)

### II.1.3

#### Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU Wir fördern Innovationen

**Roland Digel**

Deutsche Bundesstiftung Umwelt,  
Postfach 1705, 49007 Osnabrück  
[r.digel@dbu.de](mailto:r.digel@dbu.de)

### II.1.4

#### Forschungsförderung zur Kältetechnik bei der DFG

**Stephan Kabelac**

Helmut Schmidt Universität Hamburg  
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg  
[kabelac@hsu-hh.de](mailto:kabelac@hsu-hh.de)

## II.1.5

### Eine Literaturübersicht zum Wärmeübergang beim Sieden von Ammoniak

**Klaus Spindler**

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart  
[spindler@itw.uni-stuttgart.de](mailto:spindler@itw.uni-stuttgart.de)

Ammoniak hat sich als ausgezeichnetes Kältemittel mit sehr guten thermodynamischen Eigenschaften und Transporteigenschaften bewährt. Ammoniak wird als Kältemittel in großen Kälteanlagen und Wärmepumpen verwendet. Es gibt ein starkes Interesse Ammoniak auch in Kleinsystemen einzusetzen. Die genaue Kenntnis des Wärmeübergangs beim Behältersieden an einzelnen Rohren und Rohrbündeln, beim Strömungssieden und des Öleinflusses erlaubt eine exaktere thermische Auslegung und eine Optimierung der Verdampfer. Neben glatten Rohren werden auch aussen bzw. innen berippte Rohre zur Verbesserung des Wärmeübergangs verwendet. Zur Verringerung der Ammoniak-Füllmenge werden berieselte Verdampfer und Plattenverdampfer eingesetzt. Die Wärmeübergangsbeziehungen für das Strömungssieden in Rohren werden für die Anwendung in Plattenverdampfern angepasst.

Es wird ein Überblick über das Wärmeübergangsverhalten des siedenden Ammoniaks beim Behälter- und Strömungssieden gegeben. Es werden experimentelle Ergebnisse aus der Literatur dargestellt. Der Einfluss der Oberflächengeometrie (glatt, berippt, porös beschichtet) und des Öls wird besprochen. Die Berechnungsgleichungen für den Wärmeübergang beim Sieden werden aufgezeigt und gegenübergestellt.

## II.1.6

### Wärmeübertragung von R134a und Propan an Glatt- und Hochleistungsrohren aus Stahl in einem weiten Druckbereich

**Olaf Kruck, Andrea Luke**

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover  
Callinstr. 36, 30167 Hannover  
Tel: +49 (0) 511 - 762 2877, Fax: +49 (0) 511 - 762 3857  
[ift@ift.uni-hannover.de](mailto:ift@ift.uni-hannover.de)

Durch den Phasenwechsel wird eine sehr energieeffiziente Wärmeübertragung mit geringen treibenden Temperaturdifferenzen erreicht. Die zugrundeliegende Blasenbildung beruht auf komplexen physikalischen Phänomenen, die bisher jedoch nicht allgemeingültig beschrieben sind. Trotzdem wird der Prozess des Siedens in vielen technischen Apparaten und Prozessen genutzt. Deren Auslegung beruht demzufolge auf empirischen Gleichungen und ist mit hohen Unsicherheitsaufschlägen behaftet. Industriell genutzte Wärmeübertragerrohre werden zudem um rippenartige Strukturen an der Oberfläche erweitert, welche die Auslegung weiter erschweren.

Der Beitrag behandelt insbesondere den Oberflächen- und Stoffeinfluss auf den Siedevorgang. Es werden elektrisch beheizte, horizontal ausgerichtete Versuchsrohre aus Baustahl mit technisch rauer Oberfläche und Hochleistungsverdampferrohre mit komplexen Strukturen in einer Standardsiedeapparatur untersucht. Neben den gemessenen des Wärmeübertragungskoeffizienten wird die Rauheit bzw. Struktur der Versuchsrohre sowie

die Blasenbildung diskutiert. Letztere wird mittels Foto- und Hochgeschwindigkeitsaufnahmen während der Messung dokumentiert.

Die beiden Versuchsflüssigkeiten R134a und Propan, werden im Druckbereich von  $p^* = 0,03$  bis  $p^* = 0,5$  und bei Wärmestromdichten bis  $100 \text{ kW/m}^2$  untersucht. Das Messergebnis am sehr glatten Versuchsrühr zeigt für beide Stoffe im gesamten Druckbereich sehr ähnliche Wärmeübertragungskoeffizienten, was bereits in einigen anderen Arbeiten diskutiert wird. Im Vergleich beider Stoffe an Hochleistungsverdampferrohren sowie an Rohren mit gezogener Oberfläche zeigen sich druckabhängig systematische Unterschiede, die eventuelle auf Stoffeigenschaften zurückgeführt werden können.

## II.1.7

### **Wärmeübergang beim Sieden von R125 ( $\text{CHF}_2\text{CF}_3$ ) in freier Konvektion bis in den kritischen Zustandsbereich**

**Elmar Baumhögger<sup>1</sup>, Irhad Buljina<sup>2</sup>, Dieter Gorenflo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institut für Energie- und Verfahrenstechnik, Universität Paderborn

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Thermodynamik, Ruhr-Universität Bochum

Im Rahmen der Überarbeitung des Kapitels zum Behältersieden im VDI-Wärmeatlas werden neue Messungen mit dem Kältemittel R125 ( $\text{CHF}_2\text{CF}_3$ ) durchgeführt, die von tiefen Temperaturen (ca.  $-25^\circ\text{C}$ ) bis in das (thermodynamisch) kritische Zustandsgebiet ( $T_c = 66,0^\circ\text{C}$ ,  $p_c = 36,2 \text{ bar}$ ) reichen und eine grosse Variationsbreite der Wärmestromdichte umfassen, die – je nach Zustandsgebiet – bei freier Konvektion ohne Blasenbildung beginnt und in der maximalen Wärmestromdichte des Blasensiedens (burnout) endet. Als Heizelement dient ein horizontales Kupferrohr von 25 mm Durchmesser, das mit einer grösseren Zahl von Thermoelementen über den Umfang verteilt ausgestattet ist und dadurch die Erfassung von Veränderungen im örtlichen Wärmeübergang entlang des Rohrumfangs erlaubt.

Die Messwerte werden mit früheren Ergebnissen zu R125 und zu anderen Kältemitteln sowie mit Berechnungsmethoden verglichen.

## II.1.8

### **Flow Boiling Heat Transfer in Microchannel Heat Exchangers for Electronics Cooling**

**S.S. Bertsch, E.A. Groll, S.V. Garimella**

Ray W. Herrick Laboratories, Purdue University

140 S. Martin Jischke Drive

West Lafayette, IN 47907-2031, USA

[sbertsch@purdue.edu](mailto:sbertsch@purdue.edu)

phone: +1 (765) 496 2668, fax: +1 (765) 494-0787

The local two-phase heat transfer coefficient is the key parameter needed for accurate prediction of the heat transfer rate in microchannel cold plate evaporators used in electronics cooling systems. Many of the recent studies of heat transfer in microchannel heat exchangers for electronics cooling were developed for water, in the subcooled or low vapor-quality region. In contrast, the present study focuses on the investigation of the local flow boiling heat transfer coefficient at different vapor qualities for the refrigerants R-134a and R-245fa in two different copper microchannel cold plate evaporators.

The study contains measurements of the local heat transfer coefficient for two different geometries of parallel microchannels with hydraulic diameter from 0.54 to 1.09 mm. The heat transfer coefficient is measured locally for vapor qualities ranging from subcooled liquid to superheated vapor at several different vapor pressures and heat fluxes ranging from 0 to 21 W/cm<sup>2</sup>. Mass flux ranges from 20.3 to 340 kg/m<sup>2</sup>s. The results of the measurements are then compared to more than 20 correlations available in the literature.

Finally, a new model is proposed to estimate the flow boiling heat transfer in microchannels which is validated with the measured data from this study and several other data sets found in the literature.

## II.1.9

### Methode zur Erhöhung der Verdampfungstemperatur

**Markus Müller**

Hauptbereich Kälte- und Tieftemperaturtechnik ILK Dresden eGmbH

Bertholt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

Tel.: (0351) 40 81 636, Fax: (0351) 40 81 605

[markus.mueller@ilkdresden.de](mailto:markus.mueller@ilkdresden.de)

Eine der wirksamsten Methoden zur Senkung des Energieaufwandes für die Kühlung ist die Anhebung der Verdampfungstemperatur bei gleich bleibender Nutztemperatur. In dem Vortrag sollen bekannte und neuartige Möglichkeiten aufgezeigt, bewertet und miteinander verglichen werden.

Im Vordergrund steht dabei ein vom Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden entwickeltes Verfahren für überhitzungsgeregelte Systeme, welches unter Nutzung von relativ preiswerten, handelsüblichen Bauteilen eine teilweise Auslagerung der Überhitzung aus dem Verdampfer ermöglicht, ohne die Regelgüte des Systems negativ zu beeinflussen.

Vorgestellt werden theoretische und praktische Untersuchungen an einem luftbeaufschlagten Verdampfer für die Normalkühlung

## II.1.10

### Optimierte Wärmeübertrager-Auslegung für industrielle Klimageräte

**Peter Starp, Nils Halm**

Pfannenberg GmbH, Hamburg

Werner-Witt-Str. 1, 21035 Hamburg

[peter.starp@pfannenberg.com](mailto:peter.starp@pfannenberg.com)

**Iris Mersmann; Stephan Kabelac**

Institut für Thermodynamik,

Helmut-Schmidt Universität der Bundeswehr Hamburg

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

[kabelac@hsu-hh.de](mailto:kabelac@hsu-hh.de)

Der Beitrag stellt die Ergebnisse eines Forschungsprojekts vor, welches von der Pfannenberg GmbH, Hamburg, und dem Institut für Thermodynamik der Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr in Hamburg durchgeführt wurde. Ziel des Projekts war eine verbesserte, belastbare Vorausberechnung luftgekühlter Verdampfer und Verflüssiger, wie sie in Klimageräten kleiner und mittlerer Leistung typischerweise zum Einsatz kommen. Diese luftgekühlten Wärmeübertrager

haben eine Vielzahl von Auslegungsparametern / Freiheitsgraden durch die unterschiedlichen möglichen Stromführungen und Geometrien, welche jeweils auch die Effizienz des Apparates beeinflussen. Um eine zeit- und kostenintensive Optimierung dieser Wärmeübertrager auf der Ebene von Prototypen zu vermeiden muss im Vorfeld eine sowohl luft- wie kältemittelseitig belastbare Vorausberechnung möglich sein.

Im Zuge des Projekts wurde zum einen ein Auslegungsprogramm speziell für derartige luftgekühlte Wärmeübertrager entwickelt, zum anderen ein flexibler Versuchsstand aufgebaut. Das Programm basiert auf einer Zellenmethode; zur Optimierung sind unterschiedliche Zielfunktionen wählbar. Der Versuchsstand ermöglicht die Charakterisierung vorhandener Verflüssiger bzw. Verdampfer in einem weiten Parameterfeld. Im Vortrag wird die Struktur des Programms erläutert, die Validierung der Rechnung anhand exemplarischer Messdaten dargestellt sowie die Leistungsfähigkeit der Optimierung skizziert.

## II.1.11

### **Simulation und Betrieb eines Eisspeichers**

**T.Koller, M. Zetsche, T. Brendel, H. Müller-Steinhagen**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
koller@itw.uni-stuttgart.de

Seit einigen Jahren wird am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart eine solar betriebene 10 kW-Absorptionskälteanlage entwickelt und erprobt. Durch Kombination mit einem Eisspeicher kann die Effizienz dieser Kälteanlage bei der Gebäudekühlung wesentlich verbessert werden. Aus diesem Grund ist in den vergangenen Monaten ein kleiner Eisspeicher (0,5m<sup>3</sup>) gebaut und vermessen worden.

Zur Untersuchung verschiedener Betriebsweisen und zur Einbindung in ein Simulationsprogramm der gesamten Gebäudekühlung wurde der Eisspeicher numerisch abgebildet. Im Beitrag wird ein eigens entwickeltes Simulationsprogramm vorgestellt und näher erläutert und ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messergebnisse vorgestellt. Weitere wesentliche Schritte in diesem Projekt sind die Nutzung des Eisspeichers zur Kühlung des Institutsgebäudes und die Vermessung und Beurteilung des Betriebsverhaltens im realen Einsatz. Über erste Erfahrungen und Erkenntnisse aus dieser Projektphase, die im Sommer 2008 beginnt, wird ebenfalls berichtet.

## II.1.12

### **Solares Kühlen von Büro- und Serverräumen**

**M. Krause, J. Kaiser, C. Lauterbach, D. Schmidt**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energiesysteme  
Gottschalkstr. 28a, 34127 Kassel  
michael.krause@ibp.fraunhofer.de

Weltweit ist zurzeit aufgrund hoher interner Lasten durch z.B. Personen, Beleuchtung und EDV sowie solarer Gewinne durch groß ausgelegte Verglasungsflächen ein steigender Bedarf für Gebäudeklimatisierung festzustellen. Auch wenn für Büroräume passive Maßnahmen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung oftmals möglich sind, kommen Serverräume in der Regel nicht ohne aktive Kühlssysteme aus.

Da bei weitem die meisten der Klimatisierungssysteme mit elektrischen Kompressionskältemaschinen (KKM) betrieben werden, hat der Anstieg des Kühlungsbedarfs einen enormen Anstieg des fossilen Energieverbrauchs zur Folge. Alternativen zu KKM stellen thermisch betriebene Kältemaschinen dar. Hierzu zählen zum einen Absorptions- und Adsorptionsskältemaschinen zur Bereitstellung von Kaltwasser, aber auch offene Sorptionssystemen mit festen oder flüssigen Sorptionsmitteln zur direkten Konditionierung der Zuluft.

Aufgrund der in der Regel auftretenden Gleichzeitigkeit von solarer Einstrahlung und Klimatisierungsbedarf bieten sich bei solchen Systemen insbesondere die Verwendung solar erzeugter Wärme an, die europaweit innerhalb der letzten Jahre bei ca. 120 Systemen zur solaren Gebäudeklimatisierung eingesetzt wurde. Eine solche Gleichzeitigkeit tritt jedoch nicht im Fall der Kühlung von Serverräumen auf, bei denen die Kühllast im Wesentlichen unabhängig von der zur Verfügung stehenden Einstrahlung anfällt. Eine solare Klimatisierung von Serverräumen bedingt somit die Integration von weiteren Kältequellen, thermischen Speichermedien sowie optimal angepassten Regelungsstrategien. Letzteres ist insbesondere der Fall, wenn Büro- und Serverbereich von einem einzigen Kälteerzeuger versorgt werden sollen.

Diesbezüglich wird der Vortrag basierend auf Simulationsstudien mögliche Konzepte inklusive Regelungsstrategien zur solaren Kühlung von Büro- und Serverräumen aufzeigen und die Performance in Abhängigkeit der Systemauslegung bewerten.

### II.1.13

#### **Betriebserfahrungen für solares Kühlen mit einer Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine**

**M. Zetzsche, T.Koller, T. Brendel, H. Müller-Steinhagen**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
[zetzsche@itw.uni-stuttgart.de](mailto:zetzsche@itw.uni-stuttgart.de)

Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart entwickelt eine solar angetriebene Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitspaar Ammoniak/Wasser. In diesem Zusammenhang wird auch 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.

Das Kühlkonzept, das fünf verschiedene Betriebszustände des Kältesystems umfasst, wird detailliert vorgestellt. Eine besondere Rolle spielt dabei die Be- und Entladung des Eisspeichers, die es ermöglichen soll den Kältebedarf der Räume zu jeder Tageszeit zu decken.

Funktions- und Betriebsweise der Anlage wird anhand von Messdaten erläutert.

Dazu werden alle Komponenten von einer speicherprogrammierbaren Steuerung gesteuert und die Messdaten aufgezeichnet. Die Kennwerte wie z.B. die Kühllast, die verfügbare Kälteleistung, der Beladungsgrad des Eisspeichers, der COP der Absorptionskältemaschine und die Randbedingungen (Solarstrahlung, Umgebungstemperatur) werden dargelegt und erläutert. Optimierungsmaßnahmen am System, die mit Hilfe von Simulationsprogrammen untersucht wurden, werden vorgestellt.

### II.1.14

#### Berücksichtigung von variablen externen Volumenströmen in charakteristischen Gleichungen für Absorptionskälteanlagen

**Jan Albers, Felix Ziegler**

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, Sek. KT 2,  
Marchstraße 18, 10587 Berlin, Germany  
[jan.albers@tu-berlin.de](mailto:jan.albers@tu-berlin.de)

Die Methode von charakteristischen Gleichungen ist geeignet die Leistungsfähigkeit von Absorptionskälteanlagen in einem weiten Teillastbereich wiederzugeben. Voraussetzung hierfür ist die Gültigkeit von Linearitätsannahmen (z.B. Teillast unabhängige Wärmeübergangskoeffizienten, konstante externe Volumenströme etc.). Diese Annahmen sind jedoch in der Praxis häufig nicht erfüllt. Mit dem Beitrag wird ein Berechnungsverfahren vorgeschlagen, welches die Methode der charakteristischen Gleichungen um die Berücksichtigung von variablen externen Volumenströmen erweitert.

Die Ergebnisse werden mit Messwerten aus praktischen Anwendungen verglichen.

### II.1.15

#### Optimierte Regelstrategie für Absorptionskälteanlagen mit Thermosyphon-Desorbern

**Jan Albers, Felix Ziegler**

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, Sek. KT 2,  
Marchstraße 18, 10587 Berlin, Germany  
[jan.albers@tu-berlin.de](mailto:jan.albers@tu-berlin.de)

Häufig wird die Kälteleistung von Absorptionskälteanlagen zur Einhaltung des Kaltwassersollwertes durch Regelung der Hezwassereintrittstemperatur bei gleichzeitig konstant gehaltener Eintrittstemperatur des Kühlwassers geregelt. Diese Art Standardregelung kann bei der in solaren Kühlsystemen häufig verwendeten Kälteanlage vom Typ Yazaki WFC-10 zu ungünstigen Betriebszuständen mit geringen Kältezahlen bzw. COP-Werten führen. Regelt man aber Heiz- und Kühlwasser gleichzeitig, ist eine deutlich höhere Energieeffizienz erreichbar. Im Beitrag wird die neu entwickelte Regelstrategie erläutert und ihre Wirksamkeit anhand von Messdaten im Fern- und Solarwärmebetrieb verdeutlicht.

### II.1.16

#### Optimierung von Absorptionswärmepumpen

**Christian Wuschig, Stefan Plura, Christian Schweigler**

ZAE Bayern, Technik für Energiesysteme und erneuerbare Energien  
Walter-Meissner-Str. 6, 85748 Garching  
[wuschig@muc.zae-bayern.de](mailto:wuschig@muc.zae-bayern.de)

Die numerische und analytische Beschreibung und Untersuchung von Absorptionskältemaschinen liefert Ergebnisse für zukünftige Systemplanungen optimierter Absorptionskältemaschinen. In diesem Beitrag wird der Einfluss der zwei möglichen Arten

der Kühlwasserführung auf den spezifischen Wärmetauscherflächenbedarf und die Kältezahl (COP) beschrieben. Aufgrund der kleineren Temperaturdifferenz zwischen Generator und Absorber (thermische Länge) weist die Variante, bei der der Kondensator zuerst gekühlt wird, den geringeren spezifischen Flächenbedarf auf, obwohl diese Variante den niedrigeren COP hat. Diese Ergebnisse lassen sich auch auf Anlagen mit doppeltem Niederdruckteil (Twin Design) übertragen. Auch hier weisen die Varianten, die sich aus der Kühl- und Kaltwasserführung ergeben, bei denen der Kondensator zuerst gekühlt wird, den geringsten Flächenbedarf auf. Welche dieser Varianten optimal ist, wird für variierende externe Bedingungen untersucht.

Bereits vorhandene analytische Verfahren zur Optimierung der Wärmetauscherflächen der einzelnen Komponenten von Absorptionskältemaschinen, mit dem Ziel der optimalen Verteilung der Wärmetauscherflächen auf die Hauptkomponenten, wurden untersucht und mit einer numerischen Optimierung verglichen. Beide Methoden weisen gute Ergebnisse auf. Die Ursache für Abweichungen der einen Methode bei großen Temperaturspreizungen am Generator wurde untersucht. Beide Methoden wurden mit guten Ergebnissen auf zweistufige Absorptionskältemaschinen übertragen. Die Methode, die bei dem Vergleich die höhere Genauigkeit gezeigt hat, wurde auch für die Darstellung einer kombinierten zwei-/einstufigen Absorptionskältemaschine angepasst. Diese Kälteanlagenvariante wird derzeit für den Einsatz in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssystemen, d.h. zur Kopplung an Blockheizkraftwerke, entwickelt. Hierzu wurden mit Hilfe des Modells unterschiedliche Kopplungskonzepte abgebildet. Auch hierfür lieferte die weiterentwickelte analytische Methode sehr gute Übereinstimmung mit einer numerischen Optimierung.

## II.1.17

### **Aufbau und Anwendung der Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen Typ congelo mit Fusionsplattenwärmeübertrager**

**Lutz Richter**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
lutz.richter@ilkdresden.de

**Sebastian Zürich**

AGO AG, Am Goldenen Feld 23, 95326 Kulmbach

Insbesondere in Verbindung mit Biogas- BHKW sind Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlage im Kälteleistungsbereich 30 bis 200 kW zur Milch- und Getränkekühlung, in der Kühl Lagerwirtschaft oder zur Kälteerzeugung auch im Gefrierbereich ein wichtiger Baustein für Energieverbundsysteme. Die Anlagen des Typs congelo verwenden Plattenwärmeübertrager, die in Fusionstechnik hergestellt wurden. Gegenüber anderen für Ammoniak verwendbaren Plattenwärmeübertragern besitzen diese einen Kostenvorteil.

Aufbau, Besonderheiten und Anwendungsprojekte der Baureihe congelo werden vorgestellt und erläutert.

## II.1.18

### Kraft-Wärme-Kopplung im Leistungsbereich von 10 KW mit periodisch arbeitender Sorptionsmaschine

F. Ille<sup>1</sup>, S. Schramm<sup>1</sup>, M. Adam<sup>1</sup>

K. Backes<sup>2</sup>, A. Antrakidis<sup>2</sup>, C. Faber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Düsseldorf, E<sup>2</sup> – Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf

fabian.ille@fh-duesseldorf.de

<sup>2</sup>Solar-Institut Jülich / Fachhochschule Aachen

Heinrich-Mußmann-Str. 5, 52428 Jülich

Innovative Anlagenkonzepte zur Reduzierung des erforderlichen Primärenergieeinsatzes oder zur Verbesserung der Produktqualität

Vorgestellt werden erste Ergebnisse des BMBF-Projektes „Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im Leistungsbereich von 10 kW“, ein Gemeinschaftsprojekt der Arbeitsgruppe E<sup>2</sup> – Erneuerbare Energien und Energieeffizienz der FH Düsseldorf, des Solar-Institut Jülich der FH Aachen und der Unternehmen SenerTec GmbH, SorTech AG, Vaillant GmbH und Power Plus Technologies GmbH. Ziel des Projektes ist es, ein modulierendes und ein nicht modulierendes Blockheizkraftwerk und eine periodisch arbeitende Sorptionsmaschine im Leistungsbereich von 10 kW erstmals in verschiedenen Gerätekombinationen im Labor zu vermessen (Schwerpunkt Solar-Institut Jülich), ihren Einsatz unter verschiedenen Randbedingungen zu simulieren (Schwerpunkt FH Düsseldorf) und in einem Praxistest zu erproben.

Die interaktive Softwareumgebung MATLAB/SIMULINK, in Verbindung mit der Toolbox CARNOT, dient als Werkzeug zur Modellierung und dynamischen Simulation der Anlagenkonzepte. Die erstellten Anlagenmodelle bestehen KWKK-seitig aus Blockheizkraftwerk und Sorptionskältemaschine, jeweils mit gerätespezifischer Regelung, und verbraucherseitig aus einem beheizten bzw. gekühlten Gebäude und einer Brauchwassererwärmung. Die Modelle der Kältemaschine und der BHKW wurden anhand von Messergebnissen validiert.

Labortests und Rechnersimulationen zeigen, dass der Betrieb der Maschinen als KWKK – Anlagen funktioniert und durch hydraulische und regelungstechnische Veränderungen weitere Verbesserungen des Betriebsverhaltens möglich sind.

## II.1.19

### Betrieb einer Kleinabsorptionskälteanlage als Wärmetransformator zur Heizungsunterstützung innerhalb solarthermischer Anlagen

**Lutz Richter**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden

Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

lutz.richter@ilkdresden.de

Wasser-Lithiumbromid- Absorptionskälteanlage können nicht nur im Sommer zur Klimakälteerzeugung betrieben werden sondern auch in den Übergangs- und Wintermonaten zur Heizungsunterstützung innerhalb solarthermischer Anlagen. Erforderlich ist eine Betriebsweise von Kleinabsorptionskälteanlagen als Wärmetransformator zur Anhebung des Temperaturniveaus im solarthermischen Kreislauf. Für diese Betriebsweise sind nur geringe Veränderungen im kältetechnischen Kreisprozess und in der Anlagenregelung erforderlich. Die Nutzungsmöglichkeiten einer Absorptionskälteanlage kleiner Leistung zur Wärmetransformation werden vorgestellt. Die Anhebung des Temperaturniveaus im solarthermischen Kreislauf ist abhängig vom Ausgangspunkt des Temperaturniveaus und kann

zwischen 10 und 30 K betragen. Es kann aber auch BHKW- Abwärme um rd. 40 K von bspw. von 87°C auf 118°C angehoben werden. Ebenfalls ist die Erhöhung der Nutzung von Wärmespeichersystemen möglich.

## II.1.20

### **Einsatz einer Absorptionskältemaschine zur Unterstützung netzorientierter Betriebsweise dezentraler Energiesysteme**

**Fang Yang, Dieter Nordmann**

Fachhochschule Hannover, Labor für thermische Energiesysteme,  
Ricklinger Stadtweg 120, 30459 Hannover  
fang.yang@fh-hannover.de

Die im Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) entwickelte netzorientierte Betriebsweise des Blockheizkraftwerks (BHKW) hat das Ziel, den elektrischen Lastgang eines Niederspannungsnetzbezirks durch gesteuerte (über die Netzeitwarte) dezentrale Erzeugung zu vergleichsmäßigen. Dabei sind die möglichen Anforderungszeiten des elektrischen Netzes mit dem Wärmebedarf des Objekts in Übereinstimmung zu bringen. Eine Entkopplung der Wärmenutzung von der Bereitstellung elektrischer Energie ist mit dem intelligenten Einsatz eines thermischen Pufferspeichers realisierbar. Gerade in den Sommermonaten ist der Bedarf an elektrischer Regelenergie besonders hoch, aber es ist auch naturgemäß schwierig, in diesem Jahresabschnitt die mit der Stromproduktion gekoppelte thermische Energie zu nutzen. Anderseits wird im Sommer in vielen Objekten Kälte für Klimatisierungsaufgaben benötigt. Durch Einsatz der thermisch angetriebenen Absorptionskältemaschine (AKM) wird dieser Wärmeüberschuss in Nutzkälte umgewandelt. Die Wirtschaftlichkeit von BHKW-Anlage wird erhöht und gleichzeitig der Kühlbedarf gedeckt. Im Rahmen von FEN wurde an der Fachhochschule Hannover eine Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitstoffpaar Wasser/Lithiumbromid zur Untersuchung der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) aufgestellt. Die Kälteleistung der AKM beträgt 10 kW.

Im Mittelpunkt des ersten Untersuchungsabschnitts stand die Erfassung der Wechselwirkungen zwischen dem netzorientierten Betrieb des BHKW und dem Speichermanagement. Lässt sich überhaupt ein Betrieb des BHKW unter Wahrung der Wärmeversorgung des Objekts realisieren? Wie funktioniert der sogenannte speichergeführte Betriebsabschnitt, also der Zeitabschnitt, bei dem das BHKW von der Netzeitwarte abgeschaltet wird und die Wärmeversorgung des Objekts aus dem Pufferspeicher erfolgt? Die Basis für die Tagesgänge des Energiebedarfs bildet die neue VDI 46551.

Die Untersuchungen unter Einbindung der Absorptionskältemaschine konzentrieren sich auf diesen speichergeführten Betriebsabschnitt. Alleine der Pufferspeicher bringt die thermische Antriebsenergie für die AKM auf, das Kaltwasser wird in dem Kältespeicher zugeführt. Dieser Betriebsabschnitt endet mit der Abschaltung der AKM bei Erreichen der Mindest-Antriebstemperatur.

Über diese Untersuchung des einstationären Systemverhaltens einer KWKK- Anlage mit netzorientierter Betriebsweise wird berichtet.

## II.2.1

### Transkritische CO<sub>2</sub>-Verdichtung mit Schraubenverdichtern

**D. Zaytsev, D. Mosemann, O. Fredrich**

GEA Grasso GmbH

Holzhauser Str. 165, 13509 Berlin

dmosemann@grasso.de

Unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen der transkritischen Verdichtung mit einem Schraubenverdichter bis über 100 bar Verdichtungsenddruck werden die Möglichkeiten zur Begrenzung der Lagerkräfte durch Vergrößerung der Zähnezahl der Rotoren oder durch Rotorkürzung untersucht.

Testergebnisse eines drehzahlgeregelten Prototyps für unterschiedliche Betriebsbedingungen einer zweistufigen CO<sub>2</sub>-Installation, einer Wärmepumpenanwendung und einer Klima-Kälteerzeugung werden vorgestellt.

## II.2.2

### Asymmetric Single Screw Compressors

**T. Young, J. Creed**

J&E Hall Ltd

Unit 41Questor Estate, Pearson Way, Dartford, Kent, DA1 1JN, UK

twt.young@jehall.co.uk

Single Screw compressors have a unique compression mechanism, comprising one main rotor with two meshing Gate Rotors one on each side. This arrangement produces two independent compression processes each providing 50% of the total swept volume. Previous designs of Single Screw compressors had a combined capacity control operation typically varying capacity from 25 to 100%. Asymmetric designs have now been developed that allow each compression process to operate independently there by providing high efficiency part load performance.

## II.2.3

### Wärmeübergang bei kompakten Kolbenverdichtern

**T. Müllner**

Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung  
Technische Universität Wien

**O. Bielmeier**

HOERBIGER Kompressortechnik GmbH  
Im Forchet 5, 86956 Schongau  
olaf.bielmeier@hoerbiger.com

Bislang wurde der Wärmehaushalt eines Kleinverdichters nur vereinzelt und unter allgemeinen Gesichtspunkten untersucht. Mit der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, eine Wärmebilanz für schnell laufende Kompressoren aufzustellen. Besondere Berücksichtigung findet die Wärmestromverteilung vom Verdichtungsraum in die angrenzenden Bauteilwände während einer Kurbelumdrehung.

In einem weiterführenden Schritt wird die Abhängigkeit der Wärmeverteilung von geometrischen Faktoren betrachtet. Insbesondere Anzahl, Größe und räumliche Anordnung der Ein- und Auslassventile sind hierbei von Interesse. Ein realer, dennoch in gewissem Umfang idealisierter Kompressor wurde für die numerische Simulation in einem CFD-Programm aufbereitet. Sowohl die Kinematik des Kolbens als auch die Dynamik der Ventile sind Bestandteil des mechanischen Modells. Um die Rechenzeit in annehmbarem Rahmen zu halten wurde als Randbedingung konstante Temperatur angesetzt.

Im ersten Abschnitt wird kurz auf die Modellierung des mechanischen Systems und insbesondere auf die Notwendigkeit einer sog. dynamischen Vernetzung des Verdichtungsraums eingegangen. Die darauf folgende Passage widmet sich den Ventilen und deren baulichen Unterschieden, welche für die Fluidströmung maßgeblich sind.

Im Ergebnisteil werden die numerisch ermittelten Wärmeströme sowie lokale und gemittelte Wärmeübergangskoeffizienten dargestellt und diskutiert. Einen Schwerpunkt der Betrachtung bildet der Einfluss der geometrischen Variation bei den Ventilen.

Ein abschließender Abschnitt geht noch auf die Verifizierung ausgewählter Rechnungen durch Prüfstandsmessungen ein.

## II.2.4

### Eine neue Wärmeaustauschertechnologie für Verflüssiger

**Franz Summerer**  
Güntner AG & Co. KG  
Hans-Güntner-Straße 2 - 6, 82256 Fürstenfeldbruck  
[f.summerer@guentner.de](mailto:f.summerer@guentner.de)

In der stationären Kälte- und Klimatechnik werden heute fast ausschließlich lamellierte Wärmeaustauscher mit Kupferrohren und Aluminiumlamellen eingesetzt. Diese wurden zwar hinsichtlich Füllvolumen, Effizienz, Gewicht und auch Kosten in den letzten Jahrzehnten immer weiter optimiert, doch ein wirklicher Technologiesprung ist damit nicht gelungen und auch nicht zu erwarten.

In der mobilen Klimatechnik dagegen haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten die Microchannelwärmeaustauscher durchgesetzt. Diese sind zwar wesentlich effizienter, leichter und auch kostengünstiger als die lamellierten Wärmeaustauscher, sind jedoch in den Abmessungen und vor allem in der Leistungsdichte begrenzt, so dass Ihr Einsatz in der stationären Kälte- und Klimatechnik mit erheblichen Nachteilen verbunden ist.

In diesem Beitrag wird eine neue Wärmetauschertechnologie vorgestellt, die beide Vorteile möglichst gut vereint.

Stichworte: Füllmengenreduzierung, Gewichtsreduzierung, Leistungsdichte, Effizienz, Kosten

## II.2.5

### Korrosionsuntersuchungen an Wärmeaustauschern

**Astrid Thalhammer**

Güntner AG & Co. KG, Hans-Güntner-Str. 2 – 6, 82256 Fürstenfeldbruck  
a.thalhammer@guentner.de

**Frank Hillerns**  
Tyforop Chemie AG, Hamburg

**Felix Flohr**  
Solvay Fluor GmbH, Hannover

Korrosion an einem Wärmeaustauscher kann sowohl auf der Innenseite als auch auf der Außenseite des Systems auftreten.

Zur Korrosion auf der Innenseite wurden diverse Tests mit unterschiedlichen Materialkombinationen durchgeführt. Ein Aspekt der Untersuchung war, die Wechselwirkungen von Kältemitteln und deren Kälteöle auf die Metallocberflächen zu ermitteln. Ferner interessierte das Materialverhalten in Kontakt mit Kälteträgern unterschiedlicher Konzentrationen. Des Weiteren wurde das Kältemittel bzw. die Kälteträgermischung auf deren Stabilität hin analysiert.

Die Untersuchung des Verhaltens der Außenseite von Wärmeaustauschern erfolgte mit Hilfe von standardisierten Korrosionstests. Ein SWAAT-Test ermöglicht die Simulation einer stark sauren und aggressiven Umgebung, und ein Salzsprühtest, die eines neutralen Elektrolyten. Auf Grund der Testbedingungen kann ein Vergleich von Wärmeaustauschern mit unterschiedlichen Materialkombinationen erfolgen.

So führt der Einsatz von verschiedenen Materialien unter diesen Bedingungen zu deutlicher Kontaktkorrosion.

Stichworte: Innere Korrosion, Kältemittel, Kälteöle, Kälteträger, äußere Korrosion

## II.2.6

### Verflüssigerprüfstand für mobile Verflüssiger

**Michael Stalter**

TWK GmbH  
Floridastraße 1, 76149 Karlsruhe  
Tel. : +49 (0) 721 97317-30, Fax. : +49 (0) 721 97317-11  
Mobil: +49 (0) 160 99119443  
michael.stalter@twk-karlsruhe.de

Der Vergleich von Verflüssigern hinsichtlich Übertragungsleistung, luft- und kältemittel seitigem Druckabfall ist sowohl für den Hersteller, den Zulieferer wie auch für den Automobilhersteller von großem Interesse.

Im Gegensatz zu stationären Anwendungen, bei denen die Verflüssiger im Sammlerbetrieb ohne Unterkühlung gemäß EN 327 gemessen werden, werden Verflüssiger für mobile Anwendungen meist mit definierten Unterkühlungen untersucht.

Es wird ein an der TWK entwickelter und im Kundenauftrag gebauter Prüfstand vorgestellt, der prinzipiell gemäß dem Hochdruckkalorimeterverfahren aufgebaut ist, aber speziell den Anforderungen der Automobilindustrie genügt.

So können Verflüssiger mit internem- oder externem Sammler, mit und ohne Unterkühlung in der Zarge vermessen werden. Der vollständig ölfreie Betrieb des Prüfstandes erlaubt dabei eine hohe Vergleich- und Reproduzierbarkeit der Messungen.

Die weiteren Forderungen an den Prüfstand sind das automatisierte Anfahren des Messpunktes hinsichtlich Lufteintrittstemperatur und -volumenstrom, Kältemittelmassenstrom, Kältemitteleintrittstemperatur und Unterkühlung ohne Füllmengenänderung, energieeinsparender Frisch-, Misch- und Umluftbetrieb, kurze Messpunktswechselzeiten und stabile Beharrungszustände.

## II.2.7

### Vom Sinn und Zweck der Eurovent Zertifizierung

**Andrea Voigt**

Eurovent Certification Company SCRL  
62 Boulevard de Sébastopol, 75003 Paris  
a.voigt@amv-communications.com

Auf Anfrage der Hersteller überprüft Eurovent die wichtigsten Leistungsdaten von Produkten aus den Bereichen Kälte-, Klima- und Lüftungstechnik und veröffentlicht dann die Ergebnisse. Das klingt auf den ersten Blick ganz einfach, ist aber tatsächlich ein sehr umfangreiches Unterfangen. So stellt die Eurovent Zertifizierung für Klimageräte bis 100 kW, Kaltwassersätze, Wärmeübertrager und zahlreiche andere Produktgruppen in Europa bislang die einzige unabhängige Überprüfung von Leistungsdaten dar.

Die Prüfungen der Leistungsdaten erfolgen durch unabhängige Testlabore, die von der Eurovent Zertifizierung beauftragt werden. In Deutschland sind dies TÜV Nord, TÜV Süd, DMT und WSP – je nach zu überprüfender Produktkategorie und Prüfkriterien.

Bei Klimageräten von 12 bis 45 kW beispielsweise lässt Eurovent die Gesamtkälte- und Wärmeleistung, die Leistungszahl im Heizmodus (COP) bzw. im Kühlmodus (EER) sowie die Schallleistung überprüfen. Dies gilt für Monosplit- und Multisplitgeräte, mit luftgekühltem oder wassergekühltem Verflüssiger, reversible Modelle oder nur zur Kühlung und für jedes einzelne Innengerätmodell. Außerdem haben sich die Hersteller mancher Produktgruppen wie z.B. Verdampfer, Verflüssiger und Rückkühler, die am Eurovent teilnehmen, verpflichtet, ihre gesamte Produktpalette überprüfen zu lassen. Mit anderen Worten: alle Modelle der zu zertifizierenden Produktreihen. Allein für den Bereich Rückkühler heißt das 9 Teilnehmer, insgesamt 11 Marken und über 1000 Produktreferenzen, die gemäß 19 technischen und leistungsbezogenen Kriterien überprüft werden.

Zunächst ging es bei der Eurovent Zertifizierung ausschließlich darum zu überprüfen, ob die Leistungsdaten der Hersteller korrekt sind. In Anbetracht der aktuellen Entwicklungen und der europäischen Gesetzgebung, ganz besonders auch im Bereich der Umweltverträglichkeit von Produkten, wird nun auch für manche Gerätetypen eine Klassifizierung der Energieeffizienz angegeben. So haben es sich einige der teilnehmenden Herstellergruppen zum Ziel gesetzt, die am wenigsten effizienten Geräte nach und nach aus ihrem Angebot zu nehmen und so das Gesamtleistungsniveau der auf dem europäischen Markt erhältlichen Geräte zu steigern.

Korrekte Daten für Planer, Ingenieurbüros und Anlagenbauer

Mehr und mehr nationale und internationale Vorschriften und Regelungen beziehen genaue akustische und thermische Werte ein. Ein gutes Beispiel dafür ist die europäische Richtlinie

2002/91/EG zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, zu deren Umsetzung jedes Land in der EU verpflichtet ist. In Deutschland spielt hierbei die EnEV eine Schlüsselrolle, in Frankreich ist es die RT2005 usw. Letztere beispielsweise bevorzugt ganz klar Produkte, deren thermische Leistungsdaten von neutraler Stelle zertifiziert wurden. Mit anderen Worten: wurde ein Produkt nicht zertifiziert, werden automatisch 10% von den angegebenen Werten abgezogen – eine Art pauschaler Sicherheitsfaktor, um zu vermeiden, dass die Leistungswerte zu hoch angesetzt werden. Wurden die Produkte jedoch zertifiziert, werden genau die angegebenen Werte für Berechnungen zugrunde gelegt. Ob ein Produkt von Eurovent zertifiziert wurde oder nicht, kann auf einen Klick unter [www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com) nachgeprüft werden. Auf der Website sind alle Hersteller und Programme der Eurovent Zertifizierung gelistet. Ein weiteres Beispiel ist die Einteilung von Geräten in Energieeffizienzklassen, wie sie beispielsweise zwingend für Klimageräte vorgeschrieben ist (EU Richtlinie 92/75/EG) und von der Eurovent Zertifizierung außerdem auf freiwilliger Ebene auch für Kaltwassersätze und Wärmeübertrager durchgeführt wird.

## Informationen zu Eurovent

### Zu Eurovent gehören 15 Verbände in Europa

Die Eurovent Certification Company gehört zum Dachverband Eurovent Cecomaf, dem wiederum 15 europäische Herstellerverbände aus den Bereichen Lüftungs-, Kälte- und Klimatechnik angehören. Dazu zählen Uniclima in Frankreich, der VDMA in Deutschland oder ANIMA und CO.AER in Italien. Insgesamt vereinigt Eurovent über 1000 Hersteller aus 12 Ländern. Die Eurovent Certification betreut derzeit 17 Zertifizierungsprogramme, weitere sind in Vorbereitung wie beispielsweise ein Programm zur Zertifizierung von Kühlbalken.

### Die Zertifizierungsprogramme auf einen Blick

- Klimageräte bis zu 12 kW Kälteleistung
- Klimageräte mit 12 – 45 kW Kälteleistung
- Klimageräte mit 45 – 100 kW Kälteleistung
- Präzisionsklimageräte
- Gebläsekonvektoren
- Flüssigkeitskühler
- Luftkühler für Kälteanwendungen
- Luftgekühlte Verflüssiger
- Drycooler
- RLT-Geräte
- Kühlmöbel
- Lamellen-Wärmetauscher
- Platten- Wärmetauscher
- Röhren-Wärmetauscher
- Luft/Luft Rotationswärmetauscher
- Luftfilter

Stichworte: Zertifizierung, Leistungsdaten, europäische und internationale Normen, Energieeffizienz

## II.2.8

### Performance Evaluation of Hermetic Refrigeration Compressors through Numerical Modeling

**Eckhard A. Groll, Dr. Eng.**

Professor of Mechanical Engineering

Director of Global Initiatives, Co-operative Education and

Professional Experiences in the School of ME

Purdue University, Ray W. Herrick Laboratories

140 S. Martin Jischke Drive, West Lafayette, Indiana 47907, USA

E-mail: groll@purdue.edu

Compressors are considered the heart of the vapor compression cycle. Even small improvements in compressor performance result in significant improvements of the overall cycle efficiency. In order to provide design engineers the tools to improve the performance of refrigeration compressors, a comprehensive numerical model of the compressor is necessary. The author has been working on the development of comprehensive numerical models to predict the performance of positive displacement, hermetic refrigeration compressors for more than 15 years. During this time, models for three different scroll compressors, a novel-geometry rotary compressor, a hermetic two-stage rolling piston compressor, and a novel-geometry reciprocating compressor with integrated capacity modulation have been developed. These models include the analysis of the losses associated with heat transfer, refrigerant leakage, valves, friction, and the electric motor. They predict the overall mass flow rate, power input, and the average discharge temperature of the compressor. The models also predict the temperature, pressure, and refrigerant mass in the suction, compression, and discharge chambers as a function of the orbiting angle. These models are being used as tools that allow parametric studies of the compressor design parameters. These parameters include the chamber geometry, manufacturing clearances, materials used, and the location of suction and discharge ports, among others. Based on the parametric studies of these parameters, design improvements have been implemented by the industrial sponsors that lead to improved compressor performance. The paper presented here will provide an overview of the typical submodels that are used to predict the compressor geometry, the compression process, and the various compressor loss mechanisms. In addition, how these submodels are integrated into an overall comprehensive compressor model will be outlined in detail. Finally, performance predictions of three compressors will be presented as example studies.

## II.2.9

### Energetische Bewertung und optimierte Betriebsführung von Kälteanlagen aus automatisierungstechnischer Sicht

**Martin Becker**

Hochschule Biberach

Fachbereich Architektur&Gebäudeklimatik

Studiengang Gebäudeklimatik und Energiesysteme

Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Fachgebiet MSR-Technik, Gebäudeautomation und Energiemanagement

Karlstrasse 11, 88400 Biberach

becker@fh-biberach.de, www.fh-biberach.de

Einer energieeffizienten Betriebsführung von Kälteanlagen kommt aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins und der ständig steigenden Energiekosten eine zunehmend wichtige Bedeutung für den wirtschaftlichen Betrieb von Kälteanlagen zu.

Doch wie lassen sich Kälteanlagen hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz im laufenden Betrieb objektiv und eindeutig bewerten und miteinander im Sinne eines Benchmarkings vergleichen? Häufig wird als energetische Bewertungsgröße der COP (Coefficient of performance) für die Beurteilung der Energieeffizienz herangezogen. Doch welchen COP betrachten wir hierbei im konkreten Fall? Den COP des Verdichters, des gesamten Kältekreislaufs oder des gesamten Kältesystems (Kältemaschine inkl. Kälteverteilung mit den Hilfsenergien wie Pumpen, Ventilatoren usw.). D.h. der ermittelte COP-Wert ist je nach Definition der Systemgrenze ganz unterschiedlich. Berücksichtigt man zusätzlich den üblichen Teillast-Betrieb der Anlage ist es sinnvoller, statt eines Leistungswertes (z.B. auf Basis eines COP-Wertes) eine Arbeitszahl über einen definierten Zeitraum (z.B. Tag, Woche, Monat, Jahr) zu ermitteln, die die tatsächlichen Randbedingungen im realen dynamischen Anlagenbetrieb berücksichtigt.

In diesem Beitrag werden ausgehend von den thermodynamischen Grundlagen und Systembilanzgedanken erste Ansätze vorgestellt, welche methodischen und messtechnischen Verfahren für die praktische Anwendung aus automatisierungs- und informationstechnischer Sicht geeignet sind, die Energieeffizienz von Anlagen im laufenden Betrieb im Sinne eines ständigen Anlagen-Monitorings zu erfassen und zu bewerten.

Ausgehend von im laufenden Anlagenbetrieb zu ermittelnden energetischen Kenngrößen wäre es wünschenswert Mindeststandards an die technische Ausrüstung von Kälteanlagen für ein ständiges Monitoring zur Bewertung der energetischen Effizienz von Kälteanlagen festzulegen und verbindlich vorzuschreiben.

## II.2.10

### Die Kälteanlage der Zukunft Kältemittel, Gestaltung, Berechnung, Realisierung

**Hans Förster**

Ing.-Büro IFM Dr.-Ing. Förster

Bahrendorfer Str. 4, 39112 Magdeburg

dr.foerster-kaelte@web.de

Die chlorfreien Sicherheitskältemittel werden teilweise noch mit Kritik begleitet wegen ihrer Wirkung auf die Umwelt. Diese Kältemittel haben aber auch Eigenschaften, die ihnen Chancen für eine hohe Energieeffizienz eröffnen. Die Energieeffizienz ist aber eine entscheidende Voraussetzung für die Beschränkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoss in die Atmosphäre, also für den Umweltschutz.

Es wird gezeigt, unter welchen Bedingungen diese Eigenschaften zur Geltung gebracht werden können und welche Effekte erreichbar sind.

Als Voraussetzung für die Realisierung der hohen Energieeffizienz werden die geeigneten Kreisprozessmodifikationen dargestellt und dazu der Stand der Berechnung und Programmierung der neuen Systeme erörtert. Software dazu steht in Kürze zur Verfügung.

Ferner wird diskutiert, welche Möglichkeiten der energetischen Optimierung mit Kolbenverdichtern bestehen.

Weiter werden Wege zur Optimierung der Kühlagerung durch eine neue Generation von Absorptionskälteanlagen aufgezeigt, die das Problem der Wärmenutzung von BHKW auf neue Weise lösen.

Eine spezielle Anwendung dieser Absorptionskälteanlagen besteht für Brauereien. Hier deutet sich eine Revolutionierung der Kreislauf-Stoffwirtschaft, gekoppelt mit einem neuen Konzept der Energieversorgung an.

## II.2.11

### **Luftverteilung in großen Tiefküllagern mit frei blasenden Ventilatorkühlern**

**Heinz Jörg Röttger, Manfred Zeller**  
RWTH Aachen  
Eilfschornsteinstr. 18, 52.62 Aachen  
manfred.zeller@rwth-aachen.de

Lüftungssysteme in KühlLAGern haben primär die Aufgabe, das KühlGut unabhängig von den Lager- und Betriebsbedingungen auf vorgegebener, möglichst einheitlicher Temperatur zu halten. Die in Ventilator-Umluftkühlern gekühlte Luft muss deshalb so zugeführt werden, dass die gesamte Lagerhalle durchströmt wird und dass vor allem keine so genannten Strömungsträume entstehen. Dies ist im Prinzip durch unter Umständen aufwändige Luftverteilssysteme zu erreichen. Aus verschiedenen betrieblichen Gründen (größere Flexibilität, Vereisen und dadurch lastbedingtes Herabstürzen von Kanälen) wird jedoch eine kanallose Luftverteilung mit frei blasenden Ventilatorkühlern zur KühlLagerkonditionierung angestrebt. Die in den letzten Jahren veränderte Nutzungscharakteristik der KühlLAGer mit kurzen Lagerzeiten und relativ häufigem Umschlag der Waren und den daraus resultierenden höheren Toröffnungsfrequenzen, haben das Einhalten bestimmter Lagerungsbedingungen noch erschwert.

Heutige KühlLAGer besitzen relativ große Gebäudeabmessungen mit Ausstattungskomponenten (Unterzüge, örtlich variable Lagerfüllung), die die Strömung beeinflussen und bei der Planung Berücksichtigung finden müssen. Außerdem spielen zeitlich veränderliche Aktionen (Öffnen und Schließen der Tore) eine Rolle. Daher sind instationäre, dreidimensionale und lokal durch Thermik bestimmte Strömungsfelder zu berechnen. Eine komplette Abbildung der Vorgänge erscheint jedoch selbst beim gegenwärtigen hohen Stand der Rechentechnik nicht umsetzbar.

Es ist daher eine an der Realität orientierte modellmäßige Abstraktion notwendig. Hierzu wird ein existierendes Tiefküllager heutigen Standards betrachtet, das im Hinblick auf die Zielvorstellungen eine kanallose Luftführung besitzt.

An diesem KühlLAGer wurden mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation systematische Parameterstudien durchgeführt. Beispielhafte Ergebnisse zeigen den Einfluss der Kühleranzahl und -anordnung, des Abstandes zwischen Decke und Palettenregalen, des Einblasimpulses der KühlLuft, der Gangbreite zwischen Regalen, der Gangposition und der Türöffnung (simuliert durch stationäre örtliche Feuchtigkeitszufuhr).

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die Auswirkung lokaler Wärmequellen auf das Strömungsfeld in der Halle.

## II.2.12

### **Innovative Anlagenkonzepte zur Reduzierung des erforderlichen Primärenergieeinsatzes mit der neuesten Wärmepumpen-Technik**

**Karl Ochsner**

OCHSNER Wärmepumpen GmbH

Ochsner-Str. 1, A-3350 Stadt Haag / Österreich

elke.leonhartsberger@ochsner.at, www.ochsner.at

Groß-Wärmepumpen zum alternierenden Heizen/Kühlen von Büro- und Geschäftsgebäuden gewinnt aufgrund der dramatisch gestiegenen Kosten für Energieträger zunehmend an Bedeutung. Hier ist sowohl der Maschinenhersteller als auch der Energie- und Gebäudeplaner gefordert, die optimale Anlagen-Kombination zu wählen. Die Zielsetzung hat dabei auf die Betriebskosten, Umweltentlastung, Versorgungssicherheit und den Benutzerkomfort Rücksicht zu nehmen.

Dargestellt wird ein Bürogebäude eines oberösterreichischen Energieversorgers, welcher mit 2 Groß-Wärmepumpen (Fabrikat OCHSNER) Heizung und Kühlung durchführt. Die dabei verwendete Wärmepumpen-Technik ergibt höhere Leistungszahlen und Heizungs-Vorlauftemperaturen als bisher üblich. Als Wärmequellen/Wärmesenken werden Erdpfähle sowie Brunnen vorgesehen. Ein Teil der benötigten elektrischen Antriebsenergie wird durch PV-Fassaden gewonnen.

## II.2.13

### **STEIGERUNG DER LEISTUNGSZAHL VON WÄRMEPUMPEN**

**Olaf Hempel**

ILK Dresden eGmbH

Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

olaf.hempel@ilkdresden.de

Die Förderung der Wärmepumpe mit Steuermitteln wird vor dem Hintergrund der Klimadiskussion immer wieder kritisch hinterfragt. Die Ergebnisse von Feldversuchen ergaben Jahresarbeitszahlen, die unter den Erwartungen der Branche lagen. Die Politik reagierte mit Mindestvorgaben. Führt das zu einem neuen Crash am Wärmepumpenmarkt?

Aus technischer Sicht werden die Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz einer Wärmepumpe betrachtet. Schwerpunkte sind der Kältekreislauf und die Einsatzbedingungen der Wärmepumpen.

## II.2.14

### **FKW CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr für geothermische Wärmepumpen**

**Dirk Gebhardt, Horst Kruse**

FKW Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen  
Weidemann 12 – 14, 30167 Hannover  
e-mail@fkw-hannover.de

Nach grundlegenden Untersuchungen an einem Erdwärmerohr, das mit Kohlendioxid arbeitet und über das bereits bei DKV-Tagungen 2001 in Ulm und 2003 in Bonn berichtet wurde, wird die weitere Entwicklung des patentierten innovativen Systems bis zur Markteinführung beschrieben. Vorläufige Messungen haben im Vergleich zu einer konventionellen Sole-Sonde den energetischen Vorteil des CO<sub>2</sub>-Erdwärme-rohrsystens bestätigt und zwar wegen der besseren Wärmeübertragungseigenschaften des Wärmeträgers Kohlendioxid und das pumpenlose Arbeitsprinzip eines vertikalen Thermosiphons.

Ein Dutzend Wärmepumpen sind mit solchen CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohren in den Jahren 2005 bis 2007 bei Einfamilienhäusern installiert worden und arbeiten nun seit 2005 schon bis zu drei Heizperioden ohne technische Probleme. Es wird erwartet, dass dieses neuartige Erdwärmerohrsystem einen gewissen Marktanteil in dem Feld der geothermischen Wärmepumpen erreichen kann, wegen des nicht grundwassergefährdenden Arbeitsstoffes CO<sub>2</sub>, der besonders günstig für Wasserschutzgebiete ist, aber auch wegen der energetischen Vorteile dieses Arbeitsprinzips mit diesem Wärmeträger.

In dem Vortrag werden die neuesten Versuchsergebnisse sowohl bei Feldanlagen als auch auf dem neu installierten Erdwärmepumpen-Versuchsfeld des FKW präsentiert.

## II.2.15

### **Simulationsbasiertes Design einer kompakten CO<sub>2</sub> Abluftwärmepumpe**

**Sebastian Ott**

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG  
Dr. Stiebel-Straße, 37603 Holzminden  
sebastian.ott@stiebel-eltron.de

Steigende Energiekosten und der Wunsch, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu reduzieren, sorgen für eine verstärkte Nachfrage nach erneuerbaren Energien. Wärmepumpen stellen eine geeignete Möglichkeit dar, einen Teil dieses Bedarfs zu decken. Um dem Bedürfnis des Marktes nach einer größeren Vielfalt unterschiedlicher Wärmepumpen für die unterschiedlichen Anwendungen Rechnung zu tragen ist der Einsatz modernster Entwicklungsmethoden notwendig. Diese ermöglichen eine schnellere und genauere Konzipierung der Wärmepumpe. Ein vielversprechender Ansatz ist der simulationsbasierte Entwurf der Wärmepumpe.

Im vorliegenden Fall wurde die Wärmepumpe zuerst als Simulation realisiert, um so Zeit und Geld während des Entwicklungsprozess zu sparen und um den effizientesten Aufbau der Wärmepumpe im Vorfeld zu ermitteln. In einem zweiten Schritt wird die „reale“ Wärmepumpe gebaut und vermessen.

Die Co-Simulation von LabView und der Modelica-basierten Kältekreisbibliothek TIL ermöglicht es, komplexe Regelalgorithmen zu testen, die später mit geringem Aufwand auf die „reale“ Wärmepumpe übertragen werden können.

Das kompakte Design der Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 2 kW und einem integrierten Warmwasserspeicher von 200 l ermöglicht den Einsatz sowohl im Passivhaus

zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung als auch in „normalen“ Häusern zur ausschließlichen Trinkwassererwärmung.

Durch die Abmessungen, die sich im Vergleich zu herkömmlichen Warmwasserspeichern nur durch eine geringfügig größere Höhe unterscheiden, bietet sie einen idealen Ersatz sowohl für elektrisch beheizte als auch für konventionell mit Kessel beheizte Warmwasserspeicher. Zusätzlich bietet der wärmepumpenbeheizte Warmwasserspeicher die Möglichkeit, die Heizung während des Sommers komplett auszuschalten.

Der implementierte Algorithmus ermöglicht in allen Betriebspunkten einen maximalen COP. Selbst bei Warmwassertemperaturen von bis zu 65 °C gewährleistet der Regler einen maximalen COP, um so den CO<sub>2</sub>-Aussstoss zu reduzieren und zugleich Geld zu sparen.

Die Ergebnisse von Simulation und „realer“ Wärmepumpe werden mit denen vergleichbarer Wärmeerzeuger verglichen.

## II.2.16

### **DRY and SPRAY** **HOCHLEISTUNGSFLÜSSIGKEITS-RÜCKKÜHLER UND VERFLÜSSIGER** Die umweltfreundliche Alternative zu den traditionellen Kühltürmen

**Stefano Filippini**  
LU-VE Contardo, Uboldo / Italien  
stefano.filippini@luve.it

Die neue Serie der Hochleistungs-Flüssigkeits-Rückkühler (und Verflüssiger), die nach dem Prinzip **DRY und SPRAY** funktionieren, erweitert die bekannte Baureihe der Rückkühler mit SPRAY-System. Dieses System ist seit mehr als einem Jahrzehnt das Aushängeschild der LU-VE mit vielen Installationen in zahlreichen Ländern.

Das neue DRY und SPRAY-System zeichnet sich im Betrieb mit niedrigem Wasserverbrauch, reduziertem Energieverbrauch und niedrigen Geräuschpegel aus. Es wurde insbesondere für große Kühl- und Klimaanlagen und unterschiedliche industrielle Anwendungen konzipiert.

Die neue Serie ist das Ergebnis einer langen Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, die sich auf folgende Aspekte konzentriert:

- Verbesserung der SprühEffizienz und die damit verbundene Leistungssteigerung
- Analyse der hygienischen Aspekte für ein Produkt mit maximaler Garantie
- Studie der optimalen Zusammensetzung der zu verwendenden Materialien und Qualität des zu versprühenden Wassers für dauerhafte Zuverlässigkeit

Der unseres Erachtens qualifizierteste Teil der Untersuchung ist an die hygienischen Aspekte gebunden. Die Aufmerksamkeit der Behörden zum Thema Kontamination insbesondere aufgrund von Legionellen-Bakterien, für die die Kühltürme die größte Risikoquelle darstellen, ist in der letzten Zeit immer mehr gewachsen. Das neue Produkt Dry & Spray hat das Ziel, bei gleichen Leistungen unter gesundheitlichem Gesichtspunkt eine vollkommen kompatible Lösung zu bieten. Es wurde eine detaillierte Analyse des hygienischen Verhaltens erstellt mit Ausführung einer Gesamtbewertung des Kontaminationsrisikos aufgrund von Legionellen sowohl betriebsintern als auch mit Unterstützung verschiedener Forschungsinstitute in Italien und in Deutschland. Die in Kühltürmen auftretende Legionellen-Kontamination ist oft an die mangelhafte Produkt- oder Anlagenwartung gebunden. Das neue Dry&Spray-Produkt unterscheidet sich aufgrund der fehlenden Wasserrezirkulation und der Abwesenheit eines Sammelbeckens essentiell von den herkömmlichen Kühltürmen.

Eine eingehende Analyse der Dry&Spray Serie hat ergeben, dass das Risiko in Hinsicht auf die mögliche Verbreitung von Legionellen-Bakterien in die Umwelt auch ohne besondere Produktwartung praktisch gleich Null ist. Wir halten dies für den wichtigsten Aspekt. Der Beitrag will insbesondere diesen Gesichtspunkt vertiefen.

## II.2.17

### **Aktive Wärmerückgewinnung – ungenutzte Heizressourcen aus der Kälteanlage**

**Jürgen Lessing**

PEP Kälteplanungsgesellschaft mbH

Clarsbacherstr. 5, 90431 Nürnberg

j.lessing@jl-pep.de

Derzeit werden in gewerblichen und industriellen Kälteanlagen meist nur die Ölkühlerwärme, die Kondensator- oder die Enthitzerwärme genutzt. Dies hat, vor allem in Betrieben mit einem hohen Brauchwasser- oder Heizwärmebedarf, zur Folge, dass die Abwärme der Kälteanlage nur auf einem sehr niedrigen Temperaturniveau vorliegt.

Im Vortrag wird aufgezeigt, wie mittels einer aktiven Wärmerückgewinnung das Temperaturniveau der Heizmedien wesentlich erhöht werden kann. Hierbei werden die Eigenschaften der verschiedenen Kältemittel und Verdichterbauarten mit berücksichtigt, um bei der Planung der Anlage bereits die Basis für eine optimale Energieeffizienz zu schaffen.

Zusätzlich wird noch untersucht, in wie weit die bisher üblichen Boiler-Schaltungen die Energieeffizienz beeinflussen. Hier werden mehrere Schaltungen vorgestellt und die Energieausbeute in den verschiedenen Betriebszuständen bewertet.

Abschließend erfolgt eine Kosten-/Nutzen-Analyse, mit einem Vergleich zu Heiz- und Dampfkesselanlagen.

## II.2.18

### **Effiziente Enthitzung von Kältemitteln mittels Sicherheitswärmeübertragern**

**Erich Berger-Hofmann, Lutz Quester**

PEP Kälteplanungsgesellschaft mbH

Clarsbacherstr. 5, 90431 Nürnberg

j.lessing@jl-pep.de

Auf Grund der Druckverlustproblematik wird bei größeren Kälteanlagen zumeist darauf verzichtet, einen Enthitzer direkt in die Heißgasleitung einzubauen. Wegen der zu erwartenden, hohen Druckverluste wird dieser weitgehend mit einer Teillast projektiert und dann im Bypass eingesetzt. Hierzu ist es dann erforderlich, weitere Absperr- und Regelventile einzubauen, um eine vernünftige Ausnutzung der Fläche des eingesetzten Enthitzers zu erreichen.

Mittels des neu entwickelten Sicherheitswärmeübertragers ist es möglich, den Enthitzer kostengünstig direkt in die Heißgasleitung einzubauen und diese Zusatzeinrichtung zur Wärmerückgewinnung mit adäquaten Kosten zu realisieren.

Auf Grund der Bauart des Enthitzers ist es möglich, den Heißgaskreis und den Wasserkreis mit unterschiedlichen Querschnitten zu versehen, so dass für beide Medien ein optimierter Leitungsquerschnitt über den ganzen Wärmeübertrager erreicht werden kann.

Zusätzlich gibt es hier die durch die Bauart vorhandene Sicherheitsfunktion, die gewährleistet, dass Trinkwasser, oder andere, für den menschlichen Gebrauch vorgesehene Flüssigkeiten / Lebensmittel, auch direkt mit Kältemitteln erwärmt oder erhitzt werden können.

Bedingt durch die Bauart des Wärmeübertragers muss hier kein zweiter Sicherheitskreis aufgebaut werden, um im Havariefall eine Vermischung von evtl. giftigen Kältemitteln oder Ölen zu vermeiden.

Mittels Temperaturverlaufsdiagrammen wird der Wärmefluss innerhalb des Wärmeübertragers erläutert. Zusätzlich werden Berechnungsmodelle vorgestellt, über die die Amortisationszeiten der Wärmeübertrager in verschiedenen Verdampfungstemperatur- und Auslastungsbereichen ermittelt werden können.

Durch die Möglichkeit von Mehrkreis-Enthitzern in einem Gehäuse ist eine zusätzliche Senkung der Investitions- und Montagekosten zu erreichen. Die verschiedenen Varianten und Einsatzmöglichkeiten werden anhand von Beispielen und bereits realisierten Anlagen vorgestellt.

## II.2.19

### Modulare Systemlösungen für die Regelung von Kälteanlagen

**Christoph Leja**

Kriwan Industrie-Elektronik GmbH  
Allmand 11, D-74670 Forchtenberg  
christoph.leja@kriwan.de

Für die Regelung von Kälteanlagen steht besonders der sichere und energiesparende Betrieb im Vordergrund. Dabei sollen nicht nur die einzelnen Regelkreise wie Verdampfer oder Verflüssiger betrachtet werden, sondern das Zusammenspiel aller Teile einer Anlage. Dieses ist nur durch die Kommunikation der einzelnen Komponenten untereinander möglich. Es soll ein Konzept aufgezeigt werden, wie aus vielen kleinen Bausteinen, eine flexible und genau auf die Anforderungen abgestimmte Lösung geniert wird.

Ziel muss es sein, für diese projektspezifischen Lösungen den Inbetriebnahmearaufwand so gering wie möglich zu halten. Das offene Konzept bietet die Möglichkeit einer sehr flexiblen Realisierung. Prinzip:

#### **Intelligente Lösungen durch dezentrale Kommunikation**

Schwerpunkte des Vortrags:

- Erläuterung des Konzepts
- Grundfunktionalitäten
- Vorteile der Kommunikation wie Warendschutz und Verdichterlaufoptimierung
- Realisierung erweiterter Funktionalitäten
- Einbindung der Regler in eine übergeordnete Leittechnik
- Vorstellung realisierter Anlagen

## II.2.22

### Technische Dokumentation als Quellinformation für Qualifikationsmaßnahmen

**Dagmar Schwarz**

Fourpeople GmbH

Bregenzer Str. 73, 88131 Lindau/Bodensee

[schwarz@fourpeople.de](mailto:schwarz@fourpeople.de)

Um höhere Wirtschaftlichkeit zu erzielen, erlebt man immer wieder wie Unternehmen ihre Leistungsbereiche erweitern und Hersteller über ihre Produkte hinaus Schulungen zu ihren Produkten anbieten. Wenn höhere Wirtschaftlichkeit erzielt werden soll, kann der Weg einen neuen Bereich zu erschließen nur beinhalten, dass verfügbare Ressourcen genutzt werden und die Synergien zur Effizienzsteigerung beitragen.

Die Technische Dokumentation bietet sich als Informationsquelle für Qualifikationsmaßnahmen an. Unterschiedliche Qualifikationsmaßnahmen können aus der technischen Dokumentation generiert werden, sofern diese bestimmten Qualitätskriterien entspricht.

Die Qualitätskriterien technischer Dokumentation werden den Anforderungen an Qualifikationsmaßnahmen wie Schulungen und Seminare gegenübergestellt und die daraus hervorgehenden Ergebnisse dargestellt.

An einem Praxisbeispiel wird erläutert wie durch geschickte Handhabung aus einer Bedienungsanleitung eine Schulungsunterlage mit hoher Effizienz generiert werden kann.

### III.1

#### Kältetechnik im Lebensmitteleinzelhandel Energieeinsparung als Herausforderung

Rainer M. Jakobs

DMJ Beratung

Kreuzfeldstr. 10a D-64747 Breuberg

Dr.Rainer.Jakobs@t-online.de

Rund 55.000 Geschäfte im Lebensmitteleinzelhandel gibt es noch in Deutschland. Die 15.000 Discounter haben dabei bereits einen Anteil von über 40%, was ~ 50 Mrd. Euro entspricht. Der Konkurrenzdruck wächst, die Konzentration der großen Handelsketten schreitet fort. Die deutschen Firmen haben mit ~ 11% der 250 größten Handelsfirmen in der Welt nach den USA (45%) den Platz 2 vor Frankreich mit 9,5% und UK mit 8,2 % inne.

Der Energieverbrauch ist ein entscheidender Kostenfaktor für die Firmen, die wachsendem Preis- und Konkurrenzdruck ausgesetzt sind. Der Energieverbrauch im Lebensmitteleinzelhandel steigt an. Für den Betreiber sind die Möglichkeiten der Energieeinsparung im Bereich Kälteerzeugung, Licht, Klimatisierung und Heizung im besonderen Fokus. Der Bedarf an Energieeinsparung wird weiter wachsen.

Bei der technischen Kälteerzeugung in Deutschland hat die Supermarktkälte eine bedeutende Größe, sowohl was den Energieverbrauch betrifft als auch für die wirtschaftliche Bedeutung in der Kältebranche. Die Emissionen in CO<sub>2</sub> – Äquivalenten sind derzeit unter besonderem Fokus des Bundesumweltamtes. Ein Klimaschutz-Impulsprogramm fördert die Energieeffizienz in gewerblichen Kälteanlagen.

Es sind Potentiale zur Einsparung vorhanden, die konsequent genutzt werden müssen. Die derzeitigen Möglichkeiten zur Kosteneinsparung in Deutschland und weltweit werden an einzelnen Beispielen aufgezeigt und Aktivitäten z.B. von der EuP Directive, dem Projekt des Umweltbundesamtes, US-EPA Green Chill Partnership, California Survey, RETScreen - Canada, KTH Sweden, HE (High Efficiency) Stores von Wal-Mart werden erläutert.

Der dominierende Trend zu der Marktform Discounter in Europa hatte und hat Einfluss auf die Kälteerzeugungssysteme und die Kühlkette. Der wachsende Kältebedarf durch den verstärkten Trend zu „chilled food“, „convenience food“, „frozen food“ und z.B. die verlängerten Laden-Öffnungszeiten werden als Basis für die Anforderungen an die Energieeinsparung betrachtet. Die Möglichkeiten durch die Kombination von Kälteerzeugung, Wärmerückgewinnung, Klimatisierung und Heizung stellen ein bedeutendes Potential dar. Es wird ein Überblick gegeben und die möglichen Potentiale werden aufgezeigt.

Die Ergebnisse dieser Marktbetrachtung tragen dazu bei, die verschiedenen Aspekte aus nationaler und globaler Sicht zu erkennen und den Nutzen der Kältetechnik für die Wärme- und Kälteerzeugung und die damit verbundenen Möglichkeiten zur Emissionsminderung richtig bewerten zu können.

Stichworte:

Struktur des Lebensmittelhandels und die aktuelle Entwicklung, „Kälte“ Bedarfsentwicklung, Energieverbrauch im Lebensmittelmarkt, Technische Entwicklungen inner- und außerhalb Deutschlands, „Total Energiekonzepte“ für den Lebensmittelmarkt, CO<sub>2</sub> – Emissionen.

## III.2

### Der moderne Supermarkt aus energetischer Sicht

**Christian Brand**

REWE Deutscher Supermarkt KGaA

Oststr. 75, 22844 Norderstedt

christian.brand@rewe-group.com

Der Lebensmitteleinzelhandel unterliegt wie keine andere Branche derart hohen Anforderungen in punkto Energieeinsparung und Kostensenkung. Gründe hierfür sind neben dem hohen Wettbewerbsdruck auch die stetig steigenden Energiepreise.

Die durchschnittliche Betriebsdauer der gesamten Haustechnik eines Supermarkts beträgt heutzutage ca. 20 Jahre. Gerade unter diesen Bedingungen ist ein hohes Maß an Nachhaltigkeit unbedingte Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb eines Supermarkts über die komplette Laufzeit.

Wo eine energetische Optimierung bisher nur aus einer Optimierung von unabhängigen Einzelgewerken wie Kälteanlage, Heizung, Klimaanlage, Lüftung, Beleuchtung etc. bestand, wird in diesem Vortrag eine gesamtenergetische Betrachtung angestrebt.

D.h. die zu betrachtende Systemgrenze umfasst nicht mehr nur 1 Gewerk, sondern erstreckt sich um den gesamten Markt, also die Summe aller Gewerke inkl. Gebäudehülle.

Im Vortrag geschieht dies unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- die zukunftssichere Wahl des Energieträgers.
- die Betrachtung sämtlicher Wärmequellen und –senken im Gebäude.
- der Filial-Lastgang, d.h. wann wird welche Leistung benötigt.
- die Gebäudedarstellung
- Heizung, Klimatisierung, Lüftung und Kälteanlage und deren jahreszeitabhängige Energieflüsse
- und die technischen Konsequenzen bei deren Zusammenführung

## III.3

### Units für Wärme-, Kälte- und Klimatechnik im Supermarkt

**Steffen Vogelbacher**

Daikin Airconditioning Germany GmbH

Inselkammerstr. 2, 82008 Unterhaching

vogelbacher.s@daikin.de

Vorgestellt werden kompakte Units, die für einen Supermarkt, die Übernahme der Beheizung, Klimatisierung sowie auch der Kälteerzeugung für Truhen-, Plus- wie Tieftemperaturräume übernommen wird.

Die Anlagenkonzeption sieht vor, dass die erzeugte Wärme oder Kälteleistung je nach Bedarf gleichzeitig genutzt werden kann.

Bis auf die Kühltruhen und Kühlraumverdampfer sind alle Bauteile inklusive der Regelung und Fernmeldeüberwachung in der unit enthalten. Dadurch wird nicht nur die gesamte Abwicklung der Erstellung der Kälte-, Wärme- und Klimatechnik enorm vereinfacht, sondern die Abstimmung der Komponenten untereinander wird wesentlich verbessert. Deutliche Betriebskostensparnisse sind bereits nachgewiesen.

Erläutert wird der Geräteaufbau der Units, die Auslegung entsprechend der Supermarktkonzeption, die Funktion und auch das Ergebnis von Betriebskostenmessungen.

### III.4

#### **ENERGIEEINSPARUNG BEI SUPERMÄRKTN - Tatsächliches Potential bei Einsatz von Glastüren (Kühlmöbel) und Heizen mit der Kälteanlage**

**Schauer Andi**

HAUSER GmbH  
Kühlmöbel & Kältetechnik  
Am Hartmayrgut 4-6, A-4040 Linz  
schauer@hauser.com

Beim möglichen Einsparpotential von verschiedenen Maßnahmen werden gerne die "bis zu" Werte angegeben. Oft liegt die Realität ganz wo anders bzw. ist diese sehr situations- und projektabhängig.

Für diesen Vortrag wurden zwei Energiesparmöglichkeiten, welche aus der Sicht von HAUSER das größte Potential aufweisen, genau untersucht.

Es geht dabei um Glastüren bei Kühlmöbeln und um eine umfangreiche Wärmerückgewinnung, heizen mit der Kälteanlage.

##### **Glastüren bei Kühlmöbel**

Die Energieeinsparung wird in der Regel mit „bis zu“ 40% angegeben. Diese Angaben berufen sich in der Regel auf Erfahrungen mit einer Norm-Öffnungs frequenz von 6 Öffnungen pro Stunde. Wie hoch ist aber die Einsparung bei höheren Öffnungs frequenzen (z.B. bei Supermärkten mit hoher Kundenfrequenz). In dieser Versuchsreihe wurde ein offenes Kühlmöbel über mehrere Wochen mit verschiedenen Öffnungs frequenzen, 6, 12, 24, 60 und 120 Öffnungen pro Stunde, im Labor getestet.

Dabei wurde untersucht, wie sich die verschiedenen Öffnungs frequenzen auf den Energieverbrauch, den Kältebedarf, die Produkttemperaturen sowie auf den Luftschieber auswirken. Die Erkenntnisse sind eine wichtige Entscheidungshilfe für Supermarktbetreiber.

##### **Heizen mit der Kälteanlage – ECO-ES-System**

Seit Jahren empfiehlt HAUSER seinen Kunden eine umfangreiche Wärmerückgewinnung. Heizen mit der Kälteanlage hat eines der größten Einsparpotentiale in der Gesamtbetrachtung eines Supermarktes.

Bereits bei der DKV Tagung 2006 wurde das unter dem Namen ECO-ES bekannte System vorgestellt.

Bei diesem Vortrag wird anhand eines Praxisbeispiels dargestellt, wie mit diesem System bei einem Hypermarkt (ca. 8.000m<sup>2</sup> Verkaufsfläche) jährlich 30.000 Liter Öl eingespart werden. (Und nicht „bis zu“ 30.000 Liter, sondern tatsächlich 30.000 Liter)

##### **Stichwörter**

- Glastüren
- Kundenfrequenz
- Wärmerückgewinnung
- ECO-ES

### **III.5**

#### **ENERGIEEINSPARUNG BEI SUPERMÄRKTN Kältemittel im Lebensmitteleinzelhandel – Aktuelle Emissions- und Kostenbetrachtungen**

**Jan-Martin Rhiemeier**  
Ecofys Germany GmbH  
Landgrabenstr. 94, D-90443 Nürnberg  
j.rhiemeier@ecofys.de, Internet: [www.ecofys.de](http://www.ecofys.de)

Kältetechnische Einrichtungen des Lebensmitteleinzelhandels sind in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der politischen Diskussion geraten. Ursache hierfür ist nach dem FCKW Ausstieg, die gängige Verwendung von HFKW-haltigen Kältemitteln, wie R134a und R 404 A mit einem sehr hohen Treibhauspotential. Vor dem Hintergrund des Inkrafttretens der EU F-Gas Verordnung im Juli 2006, richten immer mehr Vertreten aus Einzelhandel und Kälteanlagenbau Ihren Blick auf natürliche Kältemittel wie CO<sub>2</sub>, Kohlenwasserstoffe und Ammoniak, da Anlagen mit natürlichen Kältemitteln von den strengereren Auflagen der Verordnung unberührt bleiben.

Der Vortrag zeigt aktuelle Ergebnisse einer durch die Ecofys Germany GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeföhrten Studie zum Einsatz natürlicher Kältemittel im deutschen Lebensmitteleinzelhandel. Die Studie stellt vergleichende TEWI-Analysen unterschiedlicher Kältekonzepte - mit und ohne HFKWs - für verschiedene Ladenformate dar und verdeutlicht, wie sich die Emissionen unter strenger politischen Vorgaben entwickeln. Des Weiteren werden für die untersuchten Anlagentechnologien Vermeidungskosten pro Tonne vermiedenem CO<sub>2</sub> Äquivalent errechnet. Durch die Angaben von Vermeidungskosten bekommen Entscheidungsträger aus Politik, Einzelhandel und Kälteanlagenbau einen Überblick, welche Investitionskosten bei der Umrüstung von bestehender HFKW-Technologie auf Anlagen mit natürlichen Kältemitteln auf die Branche zukommen.

### **III.6**

#### **FORANE® 427A A new –100% HFC – easier retrofit for existing R-22 installations**

**Valerie ALLEGRE**  
Technical Support & Development – Forane® Refrigerants  
420 rue d'estienne d'orves, F-92700 Colombes / France  
[valerie.allegre@arkema.com](mailto:valerie.allegre@arkema.com)

HCFC-22 has been used for decades in air-conditioning and refrigeration applications due to its excellent thermodynamic properties. But, like all HCFCs, R-22 is subject to the regulations of the Montreal Protocol and its subsequent amendments. In Europe in particular R-22 is due to be phased out by 2010. In these countries therefore, the industry will rapidly need a zero-ODP solution to replace R-22 in existing equipment.

Arkema has developed an easy solution to serve customers' needs: Forane® 427A. Forane® 427A is a 100% HFC blend which consequently has no impact on the ozone layer (ODP = 0). Forane® 427A has also one of the lowest GWP among the retrofit solutions available on the market. A non-toxic and non-flammable refrigerant, Forane® 427A requires just one change-out of the system's oil, followed by replacement by a POE lubricant. Outstanding performance, similar to that of R-22, can be achieved without a long and costly rinse of the circuit, thanks to the high tolerance of Forane® 427A to residual original oil (mineral or alkylbenzene). No modification of the installation is required. Moreover Forane® 427A is a simplified retrofit solution for existing R-22 installations in a large range of applications:

Forane® 427A can be used to retrofit low temperature refrigeration equipment as well as air-conditioning installations.

After a reminder about the European Regulation 2037/2000 on substances that deplete the ozone layer and a general presentation of Forane® 427A, we propose to insist on the proven performances of Forane® 427A by developing a few examples of retrofits. Many industrial installations in commercial refrigeration (supermarkets...), in industrial refrigeration (food industry, pharmaceutical industry...) and many water chillers have been successfully converted to Forane® 427A these last three years. Highly satisfactory operating conditions are rapidly reached with Forane® 427A. The required temperature levels are reached easily and remain stable, the discharge temperatures can be up to 10°C lower with Forane® 427A, and energy consumption can be lower as well. The objective of the presentation is to give end users all the keys to find the solution for their retrofits.

### III.7

#### R22 Retrofit Options and Applications

##### **Neil A Roberts**

Technical Market Development Manager  
DuPont Fluorochemicals  
[neil.a.roberts@gbr.dupont.com](mailto:neil.a.roberts@gbr.dupont.com)

##### **Frank Rinne**

Technical Programmes Manager  
DuPont Fluorochemicals  
[dr.frank.rinne@dupont.com](mailto:dr.frank.rinne@dupont.com)

With just over one year left before the use of virgin HCFC refrigerants is banned under the EU Regulation 2037/2000 there is still a very significant quantity of HCFC still in use that will need to be serviced after 31<sup>st</sup> December 2009. Although recycled HCFC is allowed to be used until 2015 the quantities of recycled product available are likely to be far less than the demand. In order to maintain operation of the remaining systems using HCFCs it is likely that a non-HCFC retrofit option will be required as time and financial constraints will mean not every system can be replaced with new equipment to become compliant with the HCFC phase-out legislation.

This paper details the latest developments for cost effective retrofit options available with examples of practical field studies in different types of equipment.

### III.8

#### ANWENDUNG VON CO<sub>2</sub> IN SUPERMARKTSYSTEMEN

**O. JAVERSCHÉK(a), E. MARTIN(b)**

(a) Bitzer Kuehlmaschinenbau GmbH, Eschenbrünnlestr.15,  
71083 Sindelfingen, Germany  
[javerschek@bitzer.de](mailto:javerschek@bitzer.de)

(b) Bitzer Kuehlmaschinenbau Schkeuditz GmbH, Industriestr. 48,  
04435 Schkeuditz, Germany  
[martin@bitzer.de](mailto:martin@bitzer.de)

Die Veröffentlichung bietet einen kurzen Überblick über verschiedene Systemlösungen, die ausschließlich auf CO<sub>2</sub> als Kältemittel basieren. Um einen sicheren und effizienten Betrieb solcher Systeme zu ermöglichen, müssen geeignete Maßnahmen bezüglich des Anlagendesigns und der Steuerung beachtet werden. Im Hinblick auf die Verdichter für den trans-kritischen Betrieb mit CO<sub>2</sub> werden diese Maßnahmen mit den Schwerpunkten Leistungsregelung, Betriebstemperaturen und Ölmanagement betrachtet. Außerdem wird die Anwendung der parallelen Verdichtung diskutiert und Simulationen mit Leistungsmessungen verglichen.

### III.9

#### Leckageuntersuchungen an Wellenabdichtungen für CO<sub>2</sub> – (R744) Kältemittelverdichter

**Michael Fessler**  
Project Manager  
Sabo USA, Inc.

44099 Plymouth Oaks Blvd. Suite 112, Plymouth, MI 48170  
[MFessler@sabousa.us](mailto:MFessler@sabousa.us)

Ein Hauptaugenmerk gilt seit jeher der Wellenabdichtung des Kompressors, da sie als großer Undichtigkeitspfad gilt. Aufgrund des wesentlich höheren Druckniveaus im Vergleich zu R134a werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Das abzudichtende Gemisch aus Kältemaschinenöl und CO<sub>2</sub> hat unter dynamischen Bedingungen einen Druck zwischen 30 und 70 bar, max. bis zu 90 bar. Im Stillstand werden Drücke bis zu 110 bar erreicht. Mit der neuesten Generation der AXIA®-Gleitringdichtungen aus dem Hause KACO werden alle relevanten Anforderungen erfüllt und durch Versuchsergebnisse auf eigenen Prüfständen und in Verdichter- und Fahrzeugtests belegt.

### III.10

#### **Flexible Hochdruckleitung aus Aluminium**

**Henry Petersen und Carsten Post**

Carsten Post

Hydro Aluminium, Precision Tubing Tønder a.s  
Hydrovej 6, DK-6270 Tønder, Denmark  
[carsten.post@hydro.com](mailto:carsten.post@hydro.com)

Piflex® ist eine flexible Rohrlösung aus Aluminium für die Anwendung in R744 MAC Systemen.

Das Unternehmen Piflex P/S wurde als ein Jointventure zwischen Danfoss und Hydro Aluminium im März 2005 gegründet.

Umfangreiche Tests haben bewiesen, dass die Piflex Lösung sehr gute Dauerfestigkeitseigenschaften als auch gute statische Eigenschaften aufweist. Das gilt unter anderem Ergebnisse bei Impulsdruck-, Swing-, Torsions- und Rotationsprüfungen.

Weitere Züge, die nennenswert sind:

Enge Biegeradien und die Möglichkeit vorzuformen und damit eine leichte und kompakte Linerouting möglich zu machen.

Außerdem wird die Piflex-lösung mit angelöteten Verbindungsleitungen geliefert, um einen diffusionsdichten, einfachen und kostenoptimalen Anschluss an die restlichen Komponenten im Kältekreislauf zu gewährleisten.

Die Präsentation rückt die bisherigen Untersuchungen und Ergebnisse ins Blickfeld und bringt die Vorteile und den Weg vorwärts zur Diskussion.

### III.11

#### **Kältemaschinenöle für Kfz-Klimaanlagen**

**Wolfgang Bock, Christian Puhl**

Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH,  
[wolfgang.bock@fuchs-europe.de](mailto:wolfgang.bock@fuchs-europe.de)

- Genereller Überblick - Kältemaschinenöle
- Kältemaschineöle für R 134 a Anwendungen
- Kältemaschineöle für R 744 Anwendungen
- Kältemaschineöle für HFKW Anwendungen

### III.13

#### **CO2-Citysphere - wartungsfreies Klimatisierungskonzept für Stadtbusse Besondere Herausforderungen in der Komponentenentwicklung**

**Martin Rindsfüßer**

Projektleiter Entwicklung, Spheros GmbH  
Friedrichshafener Straße | D-82205 Gilching  
martin.rindsfuesser@spheros.de

Spheros ist darauf spezialisiert, hochkomplexe Klimatisierungskonzepte für Omnibusse in Zusammenarbeit mit dem Kunden individuell zu entwickeln und an den jeweiligen Fahrzeugtyp anzupassen.

Das ausgewogene Miteinander von Klimaschutz, Kundenwünschen, technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit bei kleinen Stückzahlen ist die Voraussetzung für die Entwicklung eines Klimasystems hoher Effektivität (LCCP) und Wartungsfreundlichkeit (LCC).

Steigender Wohlstand und das Wachstum in den neuen Industrienationen beleben die Nachfrage nach klimatisierter Mobilität. Immer mehr Automobilhersteller im Bus- und PKW-Bereich zählen heutzutage eine Klimaanlage zur Grundausrüstung ihres Fahrzeugs.

Im Zuge der globalen Erwärmung rücken die derzeit verwendeten Kältemittel, welche ein hohes Treibhauspotential besitzen, in den Fokus der Diskussion. Die Gesetzeslage ist eindeutig; die chemischen Industrien wetteifern um eine umweltfreundliche Alternative. Definitive Aussagen der Hersteller über die Langzeitwirkungen der neuen chemischen Kältemittel auf Mensch und Umwelt stehen jedoch noch wie vor aus.

Die Verwendung von CO<sub>2</sub> (GWP=1) als Kältemittel stellt derzeit die umweltfreundlichste Alternative dar. Die Anforderungen an die technischen Umsetzung für Busapplikationen sind, unter Berücksichtigung der Drucklage und Leistungsklasse, enorm. Die Flüchtigkeit des Gases, die Effizienz der Systeme in Heißländern und die daraus resultierende Komplexität der Kreislaufsysteme stellen die Entwickler vor große Aufgaben. Ungeklärt ist außerdem die Bereitstellung eines flächendeckenden Servicenetzes.

Spheros stellt in der nachfolgenden Präsentation ein Konzept für Stadtbusse vor, welches

- den Klimaschutz
- Kundenfreundlichkeit
- technische Machbarkeit
- und Wirtschaftlichkeit

miteinander vereint.

### III.14

#### Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeug-Klimaanlagen im Serieneinsatz

**Bernd Schäfer, Andreas Kemle, Marcus Weinbrenner**

Behr GmbH & Co. KG

Mauserstraße 3, 70469 Stuttgart

bernd.schaefer@behrgroup.com

Im Rahmen der Debatte zur Reduzierung des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes diskutiert die EUKommission eine EU-weite Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen auf 130 gCO<sub>2</sub>/km. Eine weitere Verringerung von 10 gCO<sub>2</sub>/km soll durch zusätzliche technische Maßnahmen erreicht werden, wie z.B. der Einführung von Mindeststandards für die Effizienz von Klimaanlagen.

Ein Schwerpunkt der Behr Entwicklung ist die Reduzierung des Kraftstoffbedarfs der PKW-Klimatisierung. Vor diesem Hintergrund wurde die Leistungsaufnahme heutiger Serienklimaanlagen untersucht und bewertet. Dabei spielt neben der Effizienz des Kältekreislaufs, dem Stromverbrauch elektrischer Verbraucher wie Lüfter und Gebläse, auch die Regelung der Klimaanlage eine entscheidende Rolle. Bei der Auslegung eines Kältekreislaufs sind neben der Effizienz noch weitere Faktoren zu betrachten, wie Akustik, Ölrückführung, Kreislaufschwingungen und Lufttemperaturspreizung nach Verdampfer.

Dieser Beitrag fasst die Ergebnisse der Untersuchungen verschiedener Kreislaufarchitekturen von Serienkreisläufen am Systemprüfstand zusammen. In diesem Zusammenhang werden sowohl einzelne Komponenten (Verdichter, Expansionsventil, Wärmeübertrager) als auch deren Systemverhalten (Regelstrategie, Reheatbetrieb) betrachtet und deren Beitrag zur Systemeffizienz bzw. dem Kraftstoffverbrauch diskutiert.

Eine wichtige Kenngröße zur Bewertung der Systemeffizienz ist die Verdichterantriebsleistung bei gegebener Kälteleistung. Durch Integration der Antriebsleistung über die jährlichen Betriebshäufigkeiten kann der jährliche Kraftstoffverbrauch einer Klimaanlage aus Prüfstandsdaten ermittelt werden.

### III.15

#### Ejektor-Kältekreislauf für Kraftfahrzeugklimaanlagen mit Getränkekühler

**W. Hünemörder, H. Takeuchi, T. Györög**

DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH

Freisinger Str. 21, 85386 Eching

w\_huenemoerder@denso-auto.de

Im Rahmen der gegenwärtigen Anstrengungen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO<sub>2</sub> Emissionen von Kraftfahrzeugen werden effiziente Ejektor Kältekreisläufe für mobile Anwendungen entwickelt.

Der Ejektor Kreislauf kann auch zur Getränkekühlung in sogenannten Kühlboxen angewandt werden. Durch Einsatz der Ejektor wird der Nachteil konventioneller Anlagen – nämlich die Reduzierung der Kälteleistung für die Klimatisierung – vermieden.

DENSO hat ein Ejektor System zur Serienreife entwickelt, dass den kontinuierlichen Betrieb mit 2 Verdampfungstemperaturniveaus erlaubt.

Das EJECS (EJector Cycle System) wird vorgestellt sowie die Herausforderungen bei der Entwicklung des Ejektors erläutert.

#### **Stichwörter:**

Ejektor, Dampfstrahlpumpe, Fahrzeugklimatisierung, Getränkekühlung, EJECS

### III.16

#### Torque control for Mobile A/C system with low GWP refrigerants

**Christophe Petitjean, Jugurtha Benouali, Stefan Karl**

Valeo Climate Control, FRANCE

VCC Branch, Alternate Refrigerant Program Director

8 rue Louis Lormand, BP513 - LA VERRIERE, 78321 LE MESNIL SAINT DENIS

[christophe.petitjean@valeo.com](mailto:christophe.petitjean@valeo.com)

Due to EU regulation, an alternative refrigerant to R134a must be chosen to be marketed by 1<sup>st</sup> January 2011. In parallel of that existing regulation, a new one to come will deal with energy efficiency of the A/C system for which the A/C system control is playing an important role.

In this paper, A/C system developments for three different refrigerants will be presented. The actual world wild solution: the R-134a (baseline and enhanced solutions), the R-744 and the possible chemical alternative HFO-1234yf. A reference medium size car is used to get comparative results based on a standard matrix of tests

In the first part of the presentation, the A/C loop layouts will be described. In the second part, the performances (on test bench and car) will be presented and compared to R-134a baseline. The third part will deal with Valeo torque estimation strategy. This strategy allows the torque evaluation, for each system (and refrigerant), in all climatic and driving conditions, with a good accuracy.

### III.17

#### Optimierung von R744-PKW-Klimaanlagen mit Hilfe von numerischer Simulation

**Klaus Martin**

Prof. Dr. René Rieberer (TU Graz, IWT), Samuel Alber (Modine),

Jean-Jacques Robin (Egelhof), Tilo Schäfer (ixetic)

Kompetenzzentrum das virtuelle Fahrzeug Forschungsges. mbH, (VIF)

Inffeldgasse 21a, A-8010 Graz

[klaus.martin@virtuellesfahrzeug.at](mailto:klaus.martin@virtuellesfahrzeug.at)

Die Klimaanlage ist einer der wichtigsten Nebenaggregate eines Fahrzeuges und bietet deshalb ein großes Potential für Optimierungen hinsichtlich Kosten und energetischer Effizienz. Insbesondere die mögliche Einführung des Kältemittels R744 führt zu Herausforderungen bezüglich des Designs und der Betriebsstrategie des Kältekreislaufes.

In einem effizienten Entwicklungsprozess wird die Verwendung von numerischen Simulationsprogrammen immer wichtiger und ist in letzter Zeit nahezu unverzichtbar geworden, wenn man sowohl Kraftstoffverbrauch und Emissionen als auch Produktionszeiten und Kosten minimieren möchte. Zur Überprüfung der Belastbarkeit der Simulationsergebnisse bilden Messungen aber nach wie vor einen wichtigen Bestandteil des Entwicklungsprozesses.

Dieser Beitrag zeigt die Anwendung von numerischer Simulation in sinnvoller Kombination mit Messungen mit dem Ziel der Optimierung eines Kältekreislaufes mit dem Kältemittel R744. In diesem Zusammenhang werden sowohl einzelne Komponenten (z. B. Wärmeübertrager) als auch das Systemverhalten (z. B. Regelstrategie) betrachtet. Für diese Zwecke wurden umfangreiche Messungen durchgeführt mit dem Ziel ein

verifiziertes Simulationsmodell zu erstellen. Dieses wurde in weiterer Folge verwendet, um verschiedene Variationen am System durchzuführen und deren Einfluss zu untersuchen.

### III.18

#### **Simulation von thermoelektrischen Modulen im Fahrzeug**

**C.S. Junior, N.C. Lemke, N.C. Strupp, W. Tegethoff, J. Köhler**  
Institut für Thermodynamik, Technische Universität Braunschweig  
Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig, Germany

Im Hinblick auf die Endlichkeit fossiler Energieressourcen und die notwendige Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen richtet sich das Augenmerk der Automobilindustrie zunehmend auf die effiziente Bereitstellung von Wärme bzw. Kälte und die sinnvolle Nutzung von Abwärme.

Diese Entwicklung führt dazu, dass auch unkonventionelle Ansätze erneut in Betracht gezogen werden, wie z.B. der Einsatz von thermoelektrischen Modulen, welche sowohl in der Klimatisierung als auch in der Abwärmennutzung verwendet werden können.

Da thermoelektrische Module innerhalb der letzten Jahre zunehmend effizienter und preiswerter geworden sind, wird ein sinnvoller Einsatz dieser Module immer wahrscheinlicher. Im Bereich der mobilen Anwendung müssen thermoelektrische Module jedoch sowohl mit konventionellen Konzepten als auch mit neuen Ideen wie z. B. dem Organic Rankine Cycle konkurrieren. Dabei spielen Faktoren wie Effizienz, Leistungsfähigkeit, Gewicht und Investitionskosten eine große Rolle. Daher ist ein gutes Simulationsmodell unerlässlich, wenn es darum geht, das Potential von thermoelektrischen Modulen frühzeitig abzuschätzen.

Am Institut für Thermodynamik wurde ein entsprechendes Modell unter Nutzung der objektorientierten Modellierungssprache Modelica entwickelt. In Kombination mit der Entwicklungsumgebung Dymola wird Modelica in der Automobilindustrie bereits vielfältig eingesetzt, da hier ein breites Angebot an Modellen u.a. speziell fürs Fahrzeug vorhanden ist, welches mit dem neu entwickelten Modell des thermoelektrischen Moduls kombiniert werden kann.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden die Details des Modells präsentiert und die Anpassung an transiente und stationäre Messungen diskutiert. Der Einsatz des Modells hinsichtlich des Energiemanagements im Fahrzeug wird aufgezeigt, wobei der Schwerpunkt auf der Klimatisierung und Heizung der Fahrgastzelle liegt.

**Schlüsselwörter:** Thermoelektrik, thermoelektrisches Modul, Energiemanagement

### III.19

#### **Bewertung des Energieverbrauchs von Klimaanlagen für Schienenfahrzeuge**

**Ingwer Ebinger**  
Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung  
Senefelderstraße 3, D-63477 Maintal  
ingwer.ebinger@esak.de

Klimaanlagen sind in Schienenfahrzeugen des Fernverkehrs seit Jahren Standard. Die steigenden Komfortansprüche der Reisenden führen dazu, dass auch die Schienenfahrzeuge des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), d.h. z.B. S-Bahnen aber

auch Straßenbahnen, mit Klimaanlagen ausgerüstet werden. Die Klimaanlagen sind sowohl durch den eigenen Energieverbrauch, als auch durch die infolge ihrer Masse zusätzliche erforderliche Traktionsleistung am Gesamtenergieverbrauch der Fahrzeuge beteiligt. Damit leisten auch sie einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Emission des Verkehrsmittels. Die Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes als nationales und internationales erklärtes Ziel macht eine systematische Analyse und Bewertung bereits auf der Anlagenebene erforderlich, um erfolgversprechende Maßnahmen ergreifen zu können.

In diesem Beitrag wird dargestellt, welche Parameter den momentanen Energieverbrauch der Klimaanlagen in Schienenfahrzeugen beeinflussen und welche Möglichkeiten zum energieoptimierten Betrieb genutzt werden können. Darüber hinaus wird der zeitliche Verlauf des Energiebedarfs im Kühl- und Heizbetrieb bewertet. Auf dieser Basis kann eine Ermittlung des jährlichen Energiebedarfes erfolgen und eine Abschätzung der durch die Klimaanlage hervorgerufenen CO<sub>2</sub>-Belastung vorgenommen werden.

**Stichworte:** Klimaanlagen, Schienenfahrzeuge, Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Äquivalent

### III.20

#### **Luftumkehrbare R744-Klimaanlage**

**A. Hafner<sup>1</sup>; M. Drescher<sup>1</sup>; T. Skiple<sup>1</sup>, A. Holfeld<sup>2</sup>, D. J. Garski<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> SINTEF Energy Research, 7465 Trondheim, Norway, Armin.Hafner@sintef.no

<sup>2</sup>TU-Dresden

<sup>3</sup>MODINE, Racine, USA, D.J.Garski@na.modine.com

Das Interesse an Klimaanlagen, die das natürliche Kältemittel CO<sub>2</sub>/R744 verwenden, hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Ergebnisse von Prototypen haben gezeigt, dass die R744- Technologie konkurrenzfähig ist, was u. a. die Automobilindustrie dazu bewegt hat, diese Technologie umzusetzen.

Die Nachfrage nach Systemen, die in der Lage sind, sowohl in der warmen Jahreszeit kühlen als auch in der kalten Jahreszeit heizen zu können, steigt ständig. Es gibt dabei zwei Möglichkeiten, eine Umkehrung der Betriebsart der Klimaanlage zu erreichen: Zum einen kann der Kältemittelstrom mit Hilfe von Ventilen umgekehrt, zum anderen kann aber auch der Luftstrom umgekehrt werden. Diese Arbeit konzentriert sich auf die **Luftumkehrung**.

Die Kälte- bzw. Heizleistung sowie die Leistungszahlen einer kleinen R744-Prototyp-Klimaanlage mit Luftumkehrung wurden in einer Klimakammer im Laboratorium von SINTEF/NTNU gemessen.

Der Aufbau der Klimaanlage wird behandelt. Ferner werden die Ergebnisse der Untersuchungen vorgestellt und mithilfe von LCCP analysiert.

## IV.1

### Vergleich energetischer Bewertungsmethoden für RLT-Anlagen

**Mathias Schmidt, Th. Schlosser**

Universität Stuttgart

Institut für GebäudeEnergetik

Pfaffenwaldring 35, 70569 Stuttgart

[thomas.schlosser@ige.uni-stuttgart.de](mailto:thomas.schlosser@ige.uni-stuttgart.de)

Seit dem Inkrafttreten der europäischen Richtlinie „Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)“ und der neuen Energieeinsparverordnung (ENEV 2007) gewinnt die energetische Bewertung von RLT-Anlagen wieder zunehmend an Bedeutung.

Es existiert eine Reihe von Bewertungsmethoden, zum einen für komplexe Systeme und zum anderen für Einzelkomponenten, wie z. B. Wärmerückgewinnungssysteme. Auf europäischer Ebene werden von „Eurovent“ raumlufttechnische Produkte unter energetischen Gesichtspunkten bewertet und zertifiziert. Auch hier liegt der Schwerpunkt der Bewertungen bei einzelnen Komponenten oder Anlagen.

Alle diese Verfahren berücksichtigen nicht die spätere Nutzung der Komponenten und Anlagen. Dabei ist es entscheidend, zu wissen welche Anlage oder Anlagenkombination für welche Anwendung die energetisch vorteilhafteste ist. Es nützt der beste Wärmerückgewinner nichts, wenn er falsch eingebaut bzw. falsch betrieben wird.

Auch die ENEV stellt Anforderungen an einzelne Systemkomponenten. Hervorzuheben ist hier die Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Weiterhin wird in der ENEV eine ganzheitliche Bilanzierung des Gebäudes incl. Nutzung und der technischen Anlagen durchgeführt. Mittels einem so genannten „Referenzgebäude“ werden politisch Deckelwerte definiert, die bei zu planenden und betreibenden Anlagen nicht überschritten werden dürfen.

Diese Betrachtung ist eine Schlechtwertbetrachtung mit politisch festgelegten Randbedingungen und lässt keine Rückschlüsse auf zukünftige Entwicklungspotenziale erkennen. Durch zukünftige Verschärfung der Anforderungen für das „Referenzgebäude“ verschiebt sich auch jedes Mal der Bezugswert.

Im Forschungsvorhaben ENERGO wurde als Bezugswert ein „Idealwert“ unter Berücksichtigung der geforderten Nutzung definiert. Dieser steht definitionsgemäß als Minimalwert für eine raumlufttechnische Aufgabenstellung fest und ist somit als Vergleichswert besser geeignet als willkürlich festgelegte „Referenzwerte“. Mit diesem Wert wird weiterhin die Zielrichtung technischer Neuentwicklungen vorgegeben.

Der Beitrag stellt die verschiedenen Bewertungsmethoden vor und zeigt auf welche Vor- und Nachteile die einzelnen Verfahren aufweisen. Am Beispiel soll die energetische Bewertung einer RLT - Lösung nach DIN V 18599 und nach der Bewertungsmethode ENERGO durchgeführt und die Unterschiede diskutiert werden.

## IV.2

### Perspektiven einer effizienteren Energienutzung in Gebäuden und Siedlungsgebieten durch Anwendung des Energiekonzeptes

**Dietrich Schmidt, Herena Torio**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energiesysteme,  
Gottschalkstrasse 28a, D-34127 Kassel  
dietrich.schmidt@ibp.fraunhofer.de

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 umstritten.

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 Exergiestromen 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.

In dem Beitrag wird ausgehend von einer kurzen Einführung zur Anwendung des Energiekonzeptes für Energiesysteme in Gebäuden anhand von Analysen und Beispielen diskutiert und ein Ausblick auf mögliche Benchmarks gegeben. Weiterhin wird die Verknüpfung zur Versorgung von Siedlungsgebieten dargestellt. Die vorgestellte Arbeit wird innerhalb des Verbundvorhabens „LowEx“ des BMWi ([www.lowex.info](http://www.lowex.info)) und die ECBCS Annex 49 der Internationalen Energieagentur ([www.annex49.com](http://www.annex49.com)) durchgeführt und steht in engem Zusammenhang mit den laufenden Arbeiten im Bereich der Energieeffizienten Stadt ([www.eneff-stadt.info](http://www.eneff-stadt.info)).

## IV.3

### Einsatz der Sorptionstechnik in der dezentralen Klimatisierung von Gebäude

**Ulrich Busweiler**

Fachhochschule Gießen – Friedberg  
Wiesenstr. 14, 35390 Gießen  
ulrich.busweiler@mwmw.fh-giessen.de

Dezentrale Lüftungskonzepte haben in den vergangenen Jahren einen nennenswerten Anteil am Klimatechnikmarkt, insbesondere bei der Klimatisierung von Bürogebäuden, erreicht. Vor allem die kurzen, gut kontrollierbaren Luftwege bieten aus hygienischer Sicht Vorteile gegenüber einer zentralen Klimatisierung.

Aus Komfortgründen und insbesondere bei der Kombination mit Raumkühlflächen muss die Zuluft im Sommer entfeuchtet werden mit dem bekannten Hygienerisiko. Außerdem können bei den marktüblichen Geräten die Zuluftfeuchte und die Zulufttemperatur nicht unabhängig voneinander eingestellt werden, was insbesondere bei Quelllüftung aber notwendig ist.

Um die Vorteile der dezentralen Klimatechnik zu nutzen, ohne die genannten Nachteile in Kauf nehmen zu müssen, wird der Einsatz rotierender Wärme- und Stoffübertrager als Ersatz für die üblichen Plattenwärmeübertrager untersucht. Dabei werden bekannte Konzepte aus der zentralen Klimatechnik wie die sorptionsgestützte Klimatisierung in angepasster Form auf die dezentralen Systeme übertragen.

Neben dem Vorteil der trockenen Entfeuchtung bieten Sorptionsräder auf Basis von z. B. Zeolith oder Silicagel zusätzlich im Winter den Vorteil der Wärme- und Feuchterückgewinnung ohne Einfriergefahr.

Es werden Vorschläge für den Geräteaufbau vorgestellt und Konzepte für eine energieeffiziente Wärme- und Kälteversorgung der Geräte. Mithilfe von Jahressimulationen wird ein energetischer Vergleich gegenüber konventioneller dezentraler Klimatechnik vorgenommen.

#### IV.4

### **Überlegungen zur Strömungssimulation von Raumluftströmungen in großen Hallen**

**R. Mai und M. H. Buschmann**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
[matthias.buschmann@ilkdresden.de](mailto:matthias.buschmann@ilkdresden.de)

Zunehmende Komplexität und wachsender Zeitdruck verlangen nach neuen planerischen Instrumenten. Hier bietet die Kombination von vorgelagerten Experimenten mit numerischen Strömungssimulationen, wie sie bereits seit langem in vielen Bereichen des Maschinenbaus Anwendung findet, ein zuverlässiges Hilfsmittel.

Der Vortrag berichtet über eine am ILK Dresden entwickelte Strategie zur Verknüpfung von klassischen planerischen Methoden mit der numerischen Simulation von Raumluftströmungen, eingeschlossen die Ausbreitung von Schadstoffen sowie die Berechnung des Temperaturfeldes im Raum. Neben der Darstellung der theoretischen Grundlagen wird anhand eines praktischen Beispieles die enge Verzahnung von Planung, Simulation und Experiment gezeigt.

## IV.5

### Experimentelle Untersuchungen unterschiedlicher Luftführungssysteme für Flugzeugkabinen

**Olaf Zeidler<sup>1</sup>, Maciej Danilak<sup>1</sup>, Dirk Müller<sup>2</sup>, Ingo Gores<sup>3</sup>, Peggy Bendtfeld<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Technical University of Berlin, Hermann-Rietschel-Institute

Marchstr. 4, 10587 Berlin

olaf.zeidler@tu-berlin.de

<sup>2</sup>RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center

<sup>3</sup>Airbus Deutschland

Bei der Planung von Flugzeugkabinen ist die thermische Behaglichkeit der Passagiere ein wichtiges Kriterium. Bisher verwendete Programme zur Strömungssimulation zeigen teilweise ungenaue Berechnungsergebnisse. Für Messungen zur Validierung von Strömungssimulationen ist ein Kabinenmodell (Mock Up) im Maßstab 1:1 am Herman-Rietschel-Institut aufgebaut. Es sind unterschiedliche Luftführungssysteme sowie eine Anlage zur Temperierung der Oberflächen installiert. Dadurch ist es möglich die Kabinenströmung in verschiedenen Betriebszuständen (Bspw. „Ground Case“ oder „Flight Case“) experimentell zu untersuchen.

Dabei werden Luftgeschwindigkeiten mit einem PST-System und mit thermischen Anemometern gemessen. Die Temperaturen in der Kabine werden mit Thermoelementen und Thermografie ermittelt. Zusätzlich werden Versuche mit Testpersonen durchgeführt, die während eines simulierten Fluges zur Behaglichkeit in der Kabine befragt werden. Die Experimente liefern Basisdaten zur Validierung von Strömungssimulationen und zur Validierung von Komfortmodellen.

## IV.6

### Behaglichkeitsmodelle für inhomogene Umgebungszustände

**Dipl.-Ing. Rita Streblow, Prof. Dr.-Ing. D. Müller**

E.ON Energy Research Center

Jägerstraße 17-19, 52066 Aachen

rita.streblow@eonerc.rwth-aachen.de

Bereits in einer homogenen Umgebung variiert die menschliche Hautoberflächentemperatur für unterschiedliche Körperteile deutlich. In inhomogenen Umgebungszuständen, wie sie in zahlreichen Innenraumsituationen hinsichtlich der Lufttemperatur, der Luftbewegung, der Strahlung und der Wärmeleitung durch Kontaktflächen auftreten, erhöhen sich diese Differenzen der Hautoberflächentemperatur zusätzlich.

Die Differenzen der lokalen Temperaturen und Wärmeströme beeinträchtigen das thermische Empfinden und können zu einem hohen Prozentsatz an Unzufriedenen führen. In umfangreichen experimentellen Untersuchungen in einem Flugzeugkabinenmodell hat sich gezeigt, dass Probanden in ihrer Bewertung des thermischen Komforts eine klare Unterscheidung für mehrere Körpersegmente treffen können. Die lokale thermische Bewertung korreliert dabei sehr gut mit den großskaligen Strömungsstrukturen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wird eine Kombination aus einem physiologischen und psychologischen Komfortmodell vorgestellt, dass durch eine Segmentierung des menschlichen Körpers in der Lage ist, lokale Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit aufzulösen. Das Gesamtmodell kann durch einen Optimierungsalgorithmus an experimentelle Daten angepasst werden, so dass ein neues Werkzeug für die Verbesserung einer Flugzeugklimatisierung entsteht. Mit Hilfe einer Multiparameteranalyse wird ein Zusammenhang zwischen lokalem und globalem Empfinden hergestellt.

**Stichworte:** Thermische Behaglichkeit, Komfortmodelle, lokales Empfinden, lokaler Komfort, Flugzeugkabinen.

#### IV.7

#### Untersuchungen zur Belüftung von Schulen

**Simone Steiger, Florian Nöske,**

**Matthias Kersken, Runa T. Hellwig**

Fraunhofer Institut für Bauphysik, Abt. Raumklima, Klimawirkungen,  
Gruppe Raumklima  
Fraunhoferstr. 10 , 83626 Valley  
runa.hellwig@ibp.fraunhofer.de

Die Luftqualität und die thermische Behaglichkeit haben einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Schülern. Fast alle Schulräume werden in Deutschland ausschließlich über Fenster mit Außenluft versorgt. Messungen haben gezeigt, dass die Belüftung von Schulräumen vor allem in der kalten Jahreszeit unzureichend ist. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass hybride Lüftungssysteme mit einer automatischen Unterstützung der Fensterlüftung geeignet sind, die Häufigkeit von schlechter Innenluftqualität in Schulen zu minimieren, hierbei ist die Anordnung der dezentralen Zuluftöffnungen in den Fassaden einer der kritischsten Systemkomponenten und es besteht gerade bei Schulgebäuden weiterer Untersuchungs- und Optimierungsbedarf.

Nach einer Analyse bestehender Fassadentypen mit Öffnungsgeometrien in Schulräumen wird derzeit in einem Freilandversuchsstand die Auswirkung der Anordnung der Zuluftöffnungen auf die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität in Klassenräumen untersucht. Nach der Auswahl geeigneter Anordnungen der Zuluftöffnungen sollen Regelungskonzepte für die automatische Fensteröffnung entwickelt werden, um eine in Schulen praktizierbare motorisch unterstützte freie Lüftung mit geringst möglichen Behaglichkeitseinschränkungen zu ermöglichen.

**Stichworte:** Fensterlüftung, hybride Lüftung, Schullüftung, Luftqualität, Messungen im Freilandversuchsstand.

## V.8

### Hybride Lüftungstechnik für Schulgebäude

**Inga Eggers, Peter Matthes, Jana Panaskova, Dirk Müller**

RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center

Jägerstraße 17-19 , 52066 Aachen  
inga.eggers@eonerc.rwth-aachen.de

Die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität haben einen direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Schülern und sind heute in vielen Schulräumen unzureichend. Schulräume werden fast immer ausschließlich über Fenster mit Außenluft versorgt. Die Fensterlüftung ist jedoch unter vielen Umgebungsbedingungen nicht in der Lage, einen für eine gute Luftqualität ausreichend hohen Volumenstrom unter Einhaltung der thermischen Behaglichkeit bereitzustellen.

Die hybride Lüftungstechnik verbindet die Fensterlüftung mit einer maschinellen Lüftung und kombiniert so die energetischen Vorteile einer natürlichen mit der Leistungsfähigkeit einer maschinellen Lüftung. Die Kombination der beiden Lüftungsarten kann für einen ausreichenden Außenluftvolumenstrom unter Berücksichtigung der thermischen Behaglichkeit bei beliebigen Umgebungszuständen sorgen.

Es werden Messergebnisse zu den Einsatzmöglichkeiten der Fensterlüftung als auch Messergebnisse eines Feldversuches in Schulgebäuden gezeigt. In den Feldversuchen wurden neben Daten der thermischen Behaglichkeit auch Messungen der empfundenen Luftqualität mit Luftqualitätssensoren und Probanden durchgeführt. Mit Hilfe von dynamischen Simulationen wird ein Regelungskonzept für die hybride Lüftung entwickelt und optimiert.

Stichworte: Fensterlüftung, hybride Lüftung, Schullüftung, Luftqualität, dynamische Simulationsverfahren.

## IV.9

### Selbstzirkulierende Tiefensonden für Wärmepumpen - Grundlagen, Markterfahrungen & Ausblick

**René Rieberer**

Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik  
A 8010 Graz, Inffeldgasse 25 / B  
rene.rieberer@tugraz.at

**Karl Mittermayr**

M-TEC Mittermayr GmbH.  
A 4122 Arnreit 2

In Österreich werden Heizungswärmepumpen größtenteils erdreich-gekoppelt ausgeführt, d.h. Umgebungswärme wird entweder mittels Direktverdampfung oder Sole aus dem Erdreich entzogen. In den vergangenen Jahren haben vertikal eingebrachte Erdreich-Wärmetauscher (Sonden bis ca. 100 m Tiefe) an Bedeutung gewonnen, da sie eine kleinere Grundstücksfläche als horizontale Erdreichkollektoren benötigen. Ein selbstzirkulierendes CO<sub>2</sub>-Thermosyphonsystem stellt eine ökologisch und ökonomisch interessante Alternative zu den etablierten Solesystemen dar. Einerseits besteht kein Umweltgefährdungspotential im Falle einer Leckage und andererseits wird keine elektrisch angetriebene Umwälzpumpe benötigt.

Nach detaillierten theoretischen und experimentellen Untersuchungen wurde vor 7 Jahren die erste Anlage in Österreich auf den Markt gebracht und seither ca. 1400 „CO<sub>2</sub>-Sonden“ in Betrieb genommen.

Dieser Beitrag behandelt folgende Schwerpunkte:

- ⇒ Systembeschreibung CO<sub>2</sub>-Sonde
- ⇒ Überblick über die Entwicklungsschritte und dem Stand der Technik
- ⇒ Erfahrungen aus der Genehmigungspraxis

Weitere potentielle Anwendungen des Funktionsprinzips:

- ⇒ horizontale Erdreichkollektoren
- ⇒ Eis-/Schneefreihaltung
- ⇒ Zwischenkreislauf ohne Pumpe

Stichworte: Erdwärme, Thermosiphon, Naturumlauf, umweltverträglich

#### IV.10

##### **Betrieb einer Absorptionskälteanlage als Wärmepumpe**

**Annett Kühn, Felix Ziegler**

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2

Marchstraße 18, 10587 Berlin

annett.kuehn@tu-berlin.de

In Zusammenarbeit mit dem ZAE Bayern und der SK Sonnenklima GmbH wurde im Jahr 2003 eine 10 kW Absorptionskälteanlage mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/LiBr speziell für den Antrieb mit Niedertemperaturwärme (Solar-, Fern-, Motorabwärme) entwickelt. Die Anlage wurde erfolgreich auf niedrige Antriebstemperaturen, hohe Teil- und Überlastwirkungsgrade sowie gute Regelungstechnische Eigenschaften optimiert, zudem wurde auf einen kompakten Bau und geringe hydraulische Druckverluste geachtet. In den letzten Jahren wurden europaweit mehrere Demonstrationsanlagen installiert.

Um die Betriebszeit von Absorptionskälteanlagen zu verlängern und damit die Amortisationszeit zu verkürzen, sollten diese im Winter als Wärmepumpe betrieben werden können. Damit wird auch in der Heizperiode Primärenergie gespart. Gewöhnlich stellen LiBr-Anlagen Kaltwasser nicht unter 5°C zur Verfügung, da sonst das Kältemittel Wasser gefriert. Allerdings ist bei Wärmepumpenanwendungen die Wärmequellentemperatur oft um oder unter 0°C. Es werden Betriebsergebnisse für den Einsatz der oben vorgestellten Anlage als Wärmepumpe sowie für den Betrieb unterhalb des Gefrierpunktes von Wasser vorgestellt.

## IV.11

### Feldmessung neuer Wärmepumpen „Wärmepumpen-Effizienz“ Zwischenergebnisse

**Marek Miara**

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg  
marek.miara@ise.fraunhofer.de

#### Einleitung

In dem bereits während der Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2006 vorgestellten Projekt „Wärmepumpen-Effizienz“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE wird eine große Anzahl von Wärmepumpen im realen Einsatz vermessen. Dabei werden mit hoher zeitlicher Auflösung Volumenströme, Temperaturen, Wärmemengen und Stromverbräuche erfasst und per Datenfernabfrage täglich am Institut gespeichert und ausgewertet. Aus den Messergebnissen werden Kennwerte, das Systemverhalten, Gütegrade und Korrelationen zu Anlagenstammdaten abgeleitet. Die untersuchten Wärmepumpen nutzen Außenluft, Erdreich oder Grundwasser als Wärmequelle.

Das Fraunhofer ISE untersucht, wie effizient moderne Wärmepumpen in Wohngebäuden aktueller Baustandards sind und ob sie eine nachhaltige Alternative zu fossilen Energieträgern bieten. Für den Einsatz in sehr guten Niedrigenergie-Häusern mit einem Jahresheizwärmeverbrauch von 20 bis 50 kWh/m<sup>2</sup> – entsprechend 2 bis 5 Liter Öl/m<sup>2</sup> – soll festgestellt werden, welche Optimierungen möglich sind.

Das Fraunhofer ISE wird bis Ende 2010 in diesem Feldtest ca. 110 Wärmepumpen für Einfamilienhäuser vermessen. In Zusammenarbeit mit den Herstellern Alpha-InnoTec, Hautec, IVT (mit den Marken Junkers und Buderus), NIBE, Stiebel Eltron, Vaillant und Viessmann und den Energieversorgern EnBW und E.ON Energie untersucht das Institut, wie gut elektrische Wärmepumpen den Wärmebedarf von Niedrigenergiehäusern decken können und wie effizient sie dabei sind. Vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie erfährt das Projekt eine Förderung von 50%. Die Energieversorger und die Hersteller begleiten das Projekt inhaltlich und fördern es finanziell.

Die Installation der Messtechnik für die erste Phase ist jetzt mit 65 Wärmepumpenanlagen nahezu abgeschlossen. Gleichzeitig liegen auch die Messwerte von bis zu 11 Monaten vor.

#### Beispieldaten: Sole-Wasser-Wärmepumpen

Der Mittelwert für die erfassten Arbeitszahlen der Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen beträgt in dem Zeitraum zwischen März 2007 und Februar 2008 3.7. Die Anlagen sorgen sowohl für die Bereitstellung der Heizwärme als auch die Erwärmung des Brauchwassers. Die elektrische Zusatzheizung (z. B. Heizstab) wird bei der Berechnung der Arbeitszahlen berücksichtigt. Die Bandbreite der Arbeitszahlen für die einzelnen Anlagen erstreckt sich von 3.0 bis 4.6.

Der Anteil der erzeugten Wärme für die Brauchwassererwärmung liegt bei 14%. Die mittleren Vorlauftemperaturen liegen dabei bei 55°C. Der Anteil für die Raumheizung beträgt 86% mit mittleren Vorlauftemperaturen von 35°C bis 45°C.

Bei der Verteilung des Stromverbrauchs beträgt im Durchschnitt der Anteil der Wärmepumpe 90%, der Solepumpe 7% und der zusätzlichen elektrischen Zusatzheizung 3%. Eine signifikante Aktivität der Zusatzheizung wurde nur bei 6 Anlagen festgestellt. Bei den meisten Anlagen hat die zusätzliche Elektroheizung überhaupt nicht gearbeitet.

Auf der Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008 werden die bis zum Oktober vorliegenden Ergebnisse für die Luft-, Sole- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen detailliert dargestellt und kommentiert.

## IV.12

### **Thermohydraulische Simulationsverfahren für Wärmepumpenanwendungen**

**Kristian Huchtemann, Dirk Müller**

E.ON Energy Research Center  
Jägerstraße 17-19 , 52066 Aachen  
kristian.huchtemann@eonerc.rwth-aachen.de

Moderne Wärmepumpensysteme versprechen durch die Nutzung von Umweltwärmequellen erhebliche Einsparpotentiale gegenüber klassischen Gasthermen oder Ölkkesseln. In der Praxis erreichen Wärmepumpensysteme für den Wohnungsbau jedoch nicht immer die erwarteten Jahresarbeitszahlen.

Für eine genauere Analyse der Arbeitsweise von Wärmepumpen im Wohnungsbau wird am E.ON Energy Research Center ein dynamisches, thermohydraulisches Simulationsmodell entwickelt, welches das Gesamtsystem bestehend aus Wärmequelle, Wärmepumpe, Gebäude und Nutzer abbildet. Das Modell wird mit Messdaten aus einem Feldversuch überprüft. Der Feldversuch betrachtet verschiedene Wärmepumpenmodelle und Anlagenkonfigurationen und wird im Auftrag der E.ON Energie AG durch das FhG ISE durchgeführt.

Die Simulationen des Energiesystems und die Ergebnisse des Feldversuches ermöglichen ein genaues Verständnis des Betriebsverhaltens von Wärmepumpen in der Praxis. Aus den Ergebnissen können mögliche Verbesserungen der Wärmepumpentechnik abgeleitet werden. Dabei können insbesondere die Auswirkungen einer verbesserten Regelung und Verschaltung des Gesamtsystems untersucht werden.

Stichworte: Kompressionswärmepumpe, Mathematische Modellierung, Numerische Simulation, Versuche mit Wärmepumpensystemen

## IV.13

### **Material Labels in Europa: Eine Kombination von Emissionstests und Sensorischen Untersuchungen**

**Birgit Müller<sup>1</sup>, Maciej Danielak<sup>1</sup>, Arne Dahms<sup>1</sup>, Dirk Müller<sup>2</sup>,**

**Oliver Jann<sup>3</sup>, Wolfgang Horn<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

<sup>3</sup> Bundesanstalt für Materialforschung, Berlin

Verschiedensten Verunreinigungsquellen in Innenräumen beeinflussen die Gesundheit und den Komfort von Personen. Unter diesen Quellen sind Bauprodukte von großer Bedeutung, da diese nicht einfach entfernt werden können und oft sind es nicht die Nutzer die die

## Arbeitsabteilung IV

Entscheidung über die Wahl der Baumaterialien in Wohnungen, Büros oder öffentlichen Gebäuden fallen.

Um die Schadstoffe von Baumaterialien zu kontrollieren, wurden einige wenige Label Systeme in Europa etabliert. Alle Labels verbinden die Untersuchungen der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) mit sensorischen Untersuchungen. Der Emissionstest ist in der ISO 16000-9 genormt und läuft in allen Ländern vergleichbar ab. Die sensorischen Untersuchungen unterscheiden sich jedoch. In Dänemark beispielsweise werden die sensorischen Untersuchungen mit einer naiven Personengruppe von min. 20 Personen durchgeführt. Die Personen bewerten die Akzeptanz der zu untersuchenden Luftproben mit einer kontinuierlichen Skala direkt an der Emissionskammer, hier eine CLIMPAQ (Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality). Zusätzlich wird die Intensität der Probe auf eine sieben Punkt Skala bewertet. In Deutschland wird dagegen der Emissionstest in einer 1 m<sup>3</sup> oder 20 Liter Kammer durchgeführt, der dort vorhandene Volumenstrom ist zu gering für eine direkte sensorische Bewertung. Die Luft aus der Emissionskammer wird daher in 300 Liter großen Probenbehältern gesammelt und im Luftqualitätslabor unter neutralen Bedingungen sensorisch untersucht. Es wird die empfundene Intensität und die Hedonik der Probe mit einer Probandengruppe von 8 - 12 Personen - die einen Vergleichsmaßstab aus einem Azeton-Luftgemisch verwendet - bewertet.

Mit diesem Beitrag sollen die verschiedenen in Europa verwendeten Labels gegenübergestellt werden und neuste Untersuchungen zu diesem Thema aus einem vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben vorgestellt werden.

**Stichworte:** Material Labels, Emissionstest von Baumaterialien, sensorische Untersuchungen, empfundene Intensität, Akzeptanz

### IV.14

#### Analyseverfahren für die Luftqualität in Innenräumen auf Basis von Multi-Gas Sensor Systemen im Rahmen des SysPAQ Forschungsprojektes

**Arne Dahms<sup>1</sup>, Björn Jakob<sup>1</sup>, Frank Bitter<sup>2</sup>, Birgit Müller<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut

Marchstr. 4, 10587 Berlin

arne.dahms@tu-berlin.de

<sup>2</sup>WSPLab Stuttgart

Den Großteil der Zeit verbringen Menschen in Innenräumen – zu Hause, am Arbeitsplatz oder in Transportmitteln. Technische Sensor Systeme werden in Zukunft die Luftqualität in Innenräumen und Transportmitteln erfassen können und somit die Möglichkeit bieten diese zu verbessern.

Das SysPAQ Forschungsprojekt (Innovative Sensor System for Measuring Perceived Air Quality and Brand Specific Odours, [www.syspaq.eu](http://www.syspaq.eu)) befasst sich mit neuen Methoden und Sensoren zur Bewertung der Luftqualität und spezifischen Markengerüchen.

Um olfaktorische Messgrößen wie die Luftqualität oder die Geruchsintensität mit Multi-Gas Sensor Systemen bestimmen zu können ist eine Verarbeitung der Sensordaten notwendig.

Analog zum Gedächtnis des Menschen wird als Referenz eine Datenbank aus Kalibrierdaten verwendet, die aus kombinierten Messungen mit Personen und Sensor System gespeist wird. Im Rahmen des Projektes werden bekannte und neuartige Methoden zur Bewertung olfaktorischer Messgrößen durch Probanden an Emissionen von Baustoffen eingesetzt. Auf Basis der aufgenommenen Kalibrierdaten wird eine Analyse verschiedener mathematischer

Modelle zur Mustererkennung zum Überführen der Sensor Daten in die Probandenbewertung durchgeführt.

Erste Ergebnisse der verschiedenen Modelle (Multivariate Statistische Analysen, Neuronale Netze und Fuzzy Methoden) sowie Ihre Vor- und Nachteile im Bezug auf Anwendbarkeit und Genauigkeit werden dargestellt und diskutiert.

## IV.15

### Chemisch analytische Erfassung und Bewertung von Baustoffemissionen

**Wolfgang Horn<sup>1</sup>, Oliver Jann<sup>1</sup>, Doris Brödner<sup>1</sup>, Sabine Kalus<sup>1</sup>, Elevtheria Juritsch<sup>1</sup>,  
Birgit Müller<sup>2</sup>, Dirk Müller<sup>3</sup>, Johannes Kasche<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin  
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin  
wolfgang.horn@bam.de

<sup>2</sup> Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin

<sup>3</sup> RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude- und  
Raumklimatechnik

<sup>4</sup> Building Applications Ingenieure, Berlin

Emissionen aus Bauprodukten können wesentlich zur Belastung der Innenraumluft beitragen. Diese kontinuierliche, unter Umständen langfristige Eintragsquelle zu verringern, stellt eine wichtige Aufgabe dar. Das gilt auch vor dem Hintergrund der nach wie vor starken Bestrebungen einer weiteren Einsparung von Primärenergie, die gemeinsam mit einer Vielzahl von wärmedämmenden und abdichtenden Maßnahmen zu einem reduzierten natürlichen Luftwechsel in Gebäuden führen. In der wesentlichen Anforderung 03 „Gesundheit, Hygiene und Umweltschutz“ der EG-Bauprodukten-Richtlinie sind weitreichende Forderungen an den Umwelt- und Gesundheitsschutz festgelegt. Demnach dürfen Bauprodukte u. a. keine schädlichen Emissionen aufweisen.

Emissionsprüfungen von Bauprodukten werden in genormten Emissionsmesskammern mit geregelter Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Raumbeladung und Luftwechsel unter Ausschluss von Fremdkontaminationen ermittelt. Dabei werden weitgehend reale Bedingungen eingestellt, wie sie in Innenräumen anzutreffen sind. Gemessen wird mit dieser Methode zumeist die Emission von flüchtigen organischen Komponenten (VOC: engl. volatile organic compounds). Die Bewertung solcher VOC-Emissionen aus Bauprodukten soll durch das AgBB-Schema (Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten) ermöglicht und vereinheitlicht werden. Im Rahmen von zwei Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes wurden zahlreiche Bauprodukte, wie z. B. Holzwerkstoffe, Fertigputze, Farben, Dichtmassen, Teppiche, Bodenbeläge usw. untersucht. Die untersuchten Bauprodukte spannen ein Spektrum von sehr geringen bis hin zu deutlichen Emissionen auf, die durchaus an die Grenzwerte des AgBB-Schemas heranreichen oder diese überschreiten. Im üblichen Messzeitraum von 28 Tagen kann man für die meisten VOC-Emissionen eine deutliche Abnahme vom 1. zum 28. Tag hin feststellen. Da die Änderungen nach dem 28. Tag deutlich geringer ausfallen, ist für die entscheidende AgBB-Bewertung dieser Tag und für einige kritische Parameter, z. B. Emission von Kanzerogenen, auch noch der 3. Tag gewählt worden.

Stichworte: Baumaterialien, Emissionskammer, VOC, AgBB-Schema, Innenraumluft

## IV.16

### Berechnungsansätze für die empfundene Luftqualität

**Jana Panašková, Dirk Müller**

RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center  
jana.panaskova@eonerc.rwth-aachen.de

Die empfundene Luftqualität als das Kriterium für die Qualität der Innenraumluft wird häufig durch zwei Methoden bestimmt. Mit großen Probandengruppe (ca. 40 Personen) kann mit einer Akzeptanzabfrage die Luftqualität in „dezipol“ bestimmt werden. Alternativ wird mit einer kleineren Probandengruppe (ca. 12 Personen) unter Verwendung eines Vergleichsmaßstabs die Geruchsintensität bestimmt.

Die Ergebnisse dieser beiden Bewertungsverfahren stimmen in vielen Fällen nicht überein, da für die Probanden, die für die Bewertung einen Vergleichsmaßstab verwenden, nicht die Akzeptanz sondern die Intensität des Geruchseindrucks ausschlaggebend ist. Um die empfundene Luftqualität in „dezipol“ mit einer kleinen Probandengruppe bestimmen zu können, werden Übertragungsfunktionen entwickelt, die die empfundene Intensität und die hedonische Wirkung für die Ermittlung der Akzeptanz verwenden. Es werden zahlreiche Versuche mit Basisgerüchen und Baumaterialien mit beiden Typen von Probanden durchgeführt und ausgewertet.

Die Berechnung der empfundenen Luftqualität als Funktion der Hedonik und der empfundenen Intensität auf Basis der Bewertungen von kleinen Probandengruppen führt zu einer Reduktion der Kosten für die Bestimmung der empfundenen Luftqualität.

Stichworte: Empfundene Luftqualität, empfundene Intensität, Hedonik, Akzeptanz

## IV.17

### Betriebsoptimierung von Kältezentralen

#### Einsparpotenziale durch situationsabhängige Einsatzregeln für Kaltwassersätze

**Eckardt Augenstein, Stella Schraps**

perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH  
Dennewartstr. 27, 52068 Aachen  
info@perpendo.de

Die Versorgung großer Gebäude in der Industrie mit Klimakälte erfolgt häufig über zentrale Kaltwassernetze, in die, soweit es die Anforderungen zulassen, auch die Prozesskälteversorgung eingebunden sein kann. Häufig sind hier gewachsene Strukturen anzutreffen, sodass zur Kälteerzeugung mehrere Kompressionskältemaschinen mit unterschiedlichen Betriebskennfeldern und zuweilen auch unterschiedlichen Rückkühlleinrichtungen zur Verfügung stehen.

Neben der Wahl der Betriebsparameter und der Qualität der Hydraulik hat auch die Entscheidung darüber, welche Maschine unter welchen Last- und anderen Randbedingungen eingesetzt wird, erheblichen Einfluss auf die Effizienz der Kälteerzeugung. Die Ermittlung einer optimalen Einsatzstrategie kann zu deutlichen Einsparungen im Stromeinsatz für das Gesamtsystem führen.

Der Artikel zeigt anhand eines realen Beispiels, wie mit einer angepassten Methode zur Einsatzoptimierung Regeln zur optimalen Betriebsführung eines komplexen

Kälteversorgungssystems ermittelt werden können. Dabei werden neben den Teillastkennlinien der Maschinen und den grundlegenden Gesetzen der Thermodynamik auch die äußereren Randbedingungen wie z. B. Wetter und Art der Rückkühlleinrichtungen in die Optimierungsrechnung einbezogen.

## IV.18

### Potentiale der Wärmeverschiebung in gewerblichen Gebäuden

**Carsten Heinrich**  
ILK Dresden gGmbH  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
carsten.heinrich@ilkdresden.de

**Thomas Liers**  
Daikin Airconditioning Germany GmbH  
Inselkammerstr. 2, 82008 Unterhaching  
liers.t@daikin.de

Je nach Gebäudeausführung und -nutzung mit oder ohne interne Lasten entsteht gleichzeitig ein Überschuss an Wärme und anderer Stelle ein Wärmebedarf.

An einem Gebäude wird in einer Modellrechnung werden diese Potentiale dargestellt und in einer schrittweisen Darstellung auch der Einfluss bestimmter Änderungen am Gebäude wie Nutzung und interne Lasten.

## IV.19

### VRF-Systeme: für gleichzeitige Nutzung Heizen und Kühlen mit Wärmeverschiebung

**Thomas Liers**  
Daikin Airconditioning Germany GmbH  
Inselkammerstr. 2, 82008 Unterhaching  
liers.t@daikin.de

**Carsten Heinrich**  
ILK Dresden gGmbH  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
carsten.heinrich@ilkdresden.de

Vorgestellt wird ein VRF-System, bei dem sowohl die Kälte- als auch die Wärmeleistung gleichzeitig genutzt werden können. Durch diese Verschiebung kann in vielen Bürogebäuden mit und ohne interne Lasten der Komfort wesentlich verbessert werden und die Energiekosten reduziert werden.

Im Vortrag wird die Funktionsweise dieser VRF-Systeme dargelegt und an einem Projekt die Potentiale der Wärmeverschiebung rechnerisch dargestellt und die Nutzung der unterschiedlich anfallenden Kühl- und Heizlast durch die VRF-Anlage möglich ist sowie welche Betriebskostensparnis zu erwarten ist.

## IV.20

### Paraffin versus Salzhydrat in wasserbasierten Latentwärmespeichern

Thomas Tschirner<sup>1</sup>, Timo Haase<sup>1</sup>, Alexander Hoh<sup>2</sup>, Dirk Müller<sup>2</sup>, Birgit Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin  
Marchstr. 4, 10587 Berlin  
thomas.tschirner@tu-berlin.de

<sup>2</sup>RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Die Nutzung zeitlicher Temperaturunterschiede z.B. zwischen tiefen Nachttemperaturen und hohen Tagtemperaturen für die Kühlung von Räumen erfordert geeignete Energiespeichertechniken. Die Nutzung der latenten Energie des Schmelzens und Erstarrens bietet sich dafür an. Der Phasenwechsel läuft in einem kleinen Temperaturbereich ab und ermöglicht dennoch die Speicherung hoher Energiedichten pro Volumeneinheit. Der Forschungsverbund „LowEx“ ist auf die Entwicklung neuer Heiz- und Kühlsysteme für Gebäude, die mit geringen Temperaturdifferenzen arbeiten und damit regenerative und natürliche Energiequellen nutzen können, ausgerichtet. Ein Teil der Forschungsaktivitäten des Verbundes erstreckt sich auf die Entwicklung und Untersuchung von Latentwärmespeichern für die Raumkühlung. Die grundsätzlichen thermischen Eigenschaften einer handelsüblichen Paraffinmischung und eines Salzhydrates wurden an Prototypen eines wasserdurchflossenen Latentwärmespeichers untersucht. Der Beitrag stellt die Ergebnisse der verschiedenen Materialien vor und diskutiert die Eignung für den Einsatz in wasserbasierten Speichersystemen.

## IV.21

### Zur Miniaturisierung von Wärmerückgewinnungseinrichtungen

Karsten Hackeschmidt

ILK Dresden gGmbH  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
karsten.hackeschmidt@ilkdresden.de

Wärmerückgewinnungsanlagen in RLT-Anlagen mit ihren dimensionierten Wärmeübertragern sind heute Stand der Technik. Deren Leistungsanforderungen müssen zumeist in erheblich begrenzten Einbaubedingungen erfüllt werden. Die Ansprüche der zunehmenden Kompaktheit sind dann in der Regel durch die Zu- und Abströmbereiche solcher Anlagen zu erfüllen, während der Wärmeübertrager selbst in seinen Dimensionen aufgrund der zu übertragenden thermischen Leistungen unverändert bleibt. Die Miniaturisierung dieser Verhältnisse stößt jedoch an technische und physikalische Grenzen, die für jede konkrete Anwendung nach vorgegebenen Strategien praktisch definiert und quantifiziert werden sollten. Im Ergebnis ist stets zu bewerten, bis zu welchem Grade eine ausreichend gleichmäßige Beaufschlagung der Wärmeübertrager mit zunehmenden kompakten Zu- und Abströmbedingungen möglich bleibt.

Mit einer Miniaturisierung von Wärmeübertragerkonstruktionen sind wesentliche Zielstellungen verbunden, die unter dem Begriff der **Miniaturisierungsstrategie** benannt werden können.

1. die Verringerung der Abmessungen, insbesondere in den Zu- und Abströmbe-reichen, bei Beibehaltung der thermischen Funktion,
2. die Integration von bisher nicht realisierten Funktionen, wie Messung zusätzlicher Prozessparameter ohne dabei die Größe des Wärmeübertragers zu ändern und
3. die Leistungssteigerung bei Beibehaltung der Baugröße vom Wärmeübertrager und Steigerung der spezifischen, auf das Volumen des Systems bezogenen umge-setzten Wärmemenge durch Detailoptimierung.

## IV.22

### **Offensive „Wissen durch Lernen“ – OWL – – Experimentalgebäude der TU Berlin –**

**Maciej Danielak, Birgit Müller, Gertraud Zwiens,  
Valeska Michel, Thomas Korner, Florian Brauer, Michael Josefowski**

Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin  
Marchstr. 4, 10587 Berlin  
Maciej.danielak@tu-berlin.de

Im Jahr 2006 hat die TU Berlin das Programm „Offensive Wissen durch Lernen – OWL“ aufgelegt, um die Lehre nachhaltig zu unterstützen. Über einen Zeitraum von 3 Jahren stellt die TU Berlin 10 Millionen Euro für innovative, die Lehrsituation verbessernde Projekte zur Verfügung.

Für den Bereich Architektur, Gebäude- und Energietechnik wurde im Rahmen des Programms ein Projekt ausgewählt, das den Aufbau eines Experimentalgebäudes an der Straße des 17. Juni vorsieht. Die Koordination von Planung und Bau wurde vom Fachgebiet Heiz- und Raumlufttechnik, Hermann-Rietschel-Institut übernommen.

Mit dem neuen Experimentalgebäude der TU Berlin soll die Ausbildung im Bereich Architektur, Energie- und Gebäudetechnik verbessert werden. Im Rahmen der Offensive „Wissen durch Lernen“ möchte das Projektteam ein Experimentalgebäude auf dem Campus der TU Berlin errichten, in dem moderne Energiekonzepte anschaulich dargestellt werden können. Es handelt sich um ein „Ein-Raum-Gebäude“, in dem sowohl die Wärmeerzeugung, die Wärmeverteilung als auch die Auswirkung der Fassadengestaltung und lichttechnische Aspekte veranschaulicht werden können.

Das Experimentalgebäude soll möglichst viele Varianten von Energiekonzepten erlebbar machen. Deshalb ist die technische Ausstattung nicht auf ein bestimmtes Energiekonzept ausgerichtet, sondern es werden unterschiedliche Varianten integriert, die vergleichend vorgeführt werden. Die technischen Installationen umfassen die Fassade, die Wärme- und Kälteversorgung, die Lüftung, die Klimatisierung und die Lichttechnik.

Dieses Projekt soll kurz vorgestellt und der aktuelle Stand präsentiert werden.