



---

# Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2009

Berlin

18. - 20. November 2009

## Kurzfassungen



Maritim Hotel Berlin  
Stauffenbergstraße 26  
10785 Berlin  
Tel. +49 (0)30 2065-0  
Info.ber@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](mailto:info@dkv.org)  
Homepage <http://www.dkv.org>



# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Arbeitsabteilung I</b>	<b>4</b>
<b>Arbeitsabteilung II.1</b>	<b>18</b>
<b>Arbeitsabteilung II.2</b>	<b>35</b>
<b>Arbeitsabteilung III</b>	<b>52</b>
<b>Arbeitsabteilung IV</b>	<b>66</b>
<b>Studentenvorträge</b>	<b>80</b>

## I.01

### **Überblick der Ortho- und Para Wasserstoff Stoffdaten im Tiefkalten Bereich**

**Jürgen Essler, Christoph Haberstroh**

Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik  
Universität Dresden  
D-01062 Dresden

Wasserstoff wird vielfach als alternativer Energieträger für die Zukunft gesehen. In einer Vielzahl von Entwicklungsprojekten weltweit werden derzeit Technologien für eine eventuelle künftige Wasserstoffwirtschaft vorangetrieben.

Grundlage für viele Komponentenentwicklungen und insbesondere für die rechnerische Auslegung von Speicherbehältern, Transfereinrichtungen oder Verflüssigern ist hier das Vorhandensein verlässlicher und präziser Stoffdaten für Wasserstoff. Bei kryogenen tiefen Temperaturen werden hier insbesondere auch die Unterschiede zwischen ortho- und para-Wasserstoff wichtig, zum Teil sogar essentiell. Standardmäßig werden hier kommerzielle Stoffdatenprogramme wie GASPAK und REFPROP eingesetzt.

Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere bei  $cp$  und teilweise bei den Enthalpieunterschieden im Temperaturbereich von 20 bis 80 K die genannten Programme zum Teil inkonsistente Daten lieferten und sogar Fehler aufwiesen. In Zusammenarbeit mit den Autoren konnte dies teilweise geklärt bzw. behoben werden. In der vorliegenden Arbeit wird

- ein Überblick über derzeit vorhandene Stoffdaten gegeben,
- die festgestellten Inkonsistenzen und Verbesserungen und
- empfehlenswerte Daten und Vorgehensweisen beschrieben.

## I.02

### **Wärmeeintrag in Kryogene Speichersysteme durch freie Konvektion in Rohrleitungen**

**Robin Langebach, Christoph Haberstroh**

Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik  
TU Dresden

Die Minimierung des Wärmeeintrages ist eine Kernaufgabe bei der Entwicklung und Optimierung von kryogenen Speichersystemen.

Ein beträchtlicher Teil des Wärmeeintrags bei solchen Behältern ist durch die notwendigen Verbindungsleitungen zwischen kaltem Innenbehälter und warmer Umgebung verursacht. Unvermeidlich ist hierbei der Wärmestrom aufgrund der Längswärmeleitung des Rohrmaterials sowie der innenliegenden Fluidsäule.

Insbesondere bei liegenden Dewarbehältern muss im Allgemeinen von der idealen, vertikalen Ausrichtung dieser Verbindungsleitungen abgewichen werden. Abhängig vom Neigungswinkel von Leitung oder Leitungsabschnitten kann es hier zu weit

höheren Wärmeeinträgen kommen, falls sich zusätzlich eine Konvektionsströmung des Fluids innerhalb der Rohrleitung ausbildet. Der Gesamtwärmeeintrag in das kryogene Speichersystem kann dadurch auf ein Vielfaches im Vergleich zur reinen Wärmeleitung ansteigen. Inhalt der vorliegenden Arbeit sind eine Beschreibung der Zusammenhänge sowie Strategien und Regeln zur Vermeidung oder Minimierung solcher unerwünschten Effekte.

### I.03

#### **Aufbau und Inbetriebnahme einer Tieftemperaturphasengleichgewichtsanlage**

**D. Winkelmann, L.R. Oellrich**

ITTK, Uni Karlsruhe (TH)

Die Kenntnis genauer Phasengleichgewichtsdaten von Gemischen ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Anwendung von Berechnungsmodellen für die Planung und Auslegung von verfahrenstechnischen Prozessen. Für den Einsatz in Gemischkleinkühlern muss das Phasenverhalten weitsiedender Mehrkomponentengemische bekannt sein. Während dies für Anwendungen wie der Erdgasverflüssigung der Fall ist, bei denen man Gemischzusammensetzungen ähnlich der zu verflüssigenden Erdgase wählen kann, ist dies insbesondere für Anwendungsfälle, bei denen derzeit die mögliche Brennbarkeit von Arbeitsstoffen nicht toleriert wird, noch nicht der Fall. Typische isobare Siedeintervalle bei Anwendungen von Gemischkleinkühlern liegen bei Temperaturdifferenzen von 100 K und mehr. Als Kandidaten für die Arbeitsstoffe können derzeit Kombinationen aus teilfluorierten Kohlenwasserstoffen mit Tiefsiedern angesehen werden. Verlässliche Phasengleichgewichtsdaten existieren im Tieftemperaturbereich noch kaum. Am ITTK wurde eine Siedepunktsapparatur geplant und aufgebaut, die Phasengleichgewichtsmessungen bis zu etwa 90 K ermöglicht. Die Apparatur wird vorgestellt und erste Messergebnisse von binären Gemischen im Temperaturbereich von etwa 190 K bis 95 K vorgestellt.

### I.04

#### **Baseline Design of the Cryogenic System for the Dark Matter Experiment EURECA**

**F. Haug, A. Benoit, G. Burghart, T. Niinikoski**

CERN, Genf

EURECA (European Underground Rare Event Calorimeter Array) is a proposed detector experiment being under design study by several collaborating European laboratories. It is aimed at the direct detection of galactic dark matter and is optimized for finding WIMPs (Weakly Interactive Massive Particles). The installation site is an appendix hall of the Frejus tunnel connecting Italy and France. The 2900 m

of rock above the site help to shield off the cosmic muons. The experiment will use two 1-ton detectors housed in water shielded cryostats. As the recoil energy of elastic WIMP/nucleus scattering is expected to be in the few keV range cryogenic detectors are required which shall be cooled to below 10 mK. The cryogenic system comprises of two dedicated dilution refrigerators, a common helium refrigerator and a complex distribution system. Five thermal shields at 50 mK, 1.5 K, 4.5 K, 20K and 80 K will be used to minimize the heat load at the 10 mK range which will be in the order of some 20  $\mu$ W. This paper describes the preliminary cryogenic systems design and lay-out for the particular underground area with difficult access and stringent safety requirements.

## 1.05

### **Helium-Großkälteanlage zum Testen des James Web Teleskops in Houston/TX**

**P. Arnold<sup>1</sup>, Lutz Decker<sup>1</sup>, D. Howe<sup>2</sup>, J. Urbin<sup>2</sup>, Jonathan Homan<sup>3</sup>,  
Carl Reis<sup>4</sup>, J. Creel<sup>5</sup>, V. Ganni<sup>5</sup>, P. Knudsen<sup>5</sup>, A. Sidi-Yekhlef<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Linde Kryotechnik AG  
Pfungen, CH-8042, Switzerland

<sup>2</sup>Linde Cryogenics, Division of Linde Process Plants, Inc.  
Tulsa, Oklahoma, USA

<sup>3</sup>NASA, Johnson Space Center, Texas, USA

<sup>4</sup>Hamilton Sundstrand, Engineering and Science Contract Group,  
NASA Johnson Space Center, Texas, USA

<sup>5</sup>Thomas Jefferson National Laboratory  
Newport News, Virginia, USA

Das James Web Teleskop ist der Nachfolger des Hubble Teleskops. Es wird 1,5 Mio km von der Erde entfernt im Weltraum platziert werden. Vor dem für 2013 geplanten Start wird es in der Houston NASA Weltraum-Simulationskammer bei kryogenen Temperaturen ausgiebig getestet.

Die Helium-Großkälteanlage von Linde wird dazu die bei unterschiedlichen Testfällen benötigte Kühlleistung zur Verfügung stellen. Den hohen Anforderungen der NASA an Leistungs- und Temperaturgenauigkeit wird dabei Rechnung getragen.

Hohe Betriebsflexibilität kann durch die Anordnung zweier paralleler Turbinenstränge sowie die Verwendung einer floatenden Druckregelung erreicht werden. Die elektrische Leistungsaufnahme wird signifikant reduziert.

## I.06

### **Schlüsselfertige Helium-Reinigungs- und Verflüssigungsanlage für Darwin, Australien**

**L. Blum, S. Boeck, K. Kurtcuoglu, U. Lindemann**

Linde Kryotechnik AG, CH-8422 Pfungen, Schweiz

Die Linde Kryotechnik hat für den Aufstellungsort Darwin, Australien, eine schlüsselfertige Helium-Gewinnungsanlage entwickelt, fabriziert und aufgestellt. Der Gehalt des Heliums am Rohgasstrom von 555t/Tag beträgt maximal 3 mol%. Zur Vorreinigung wird der als Hauptbestandteil vorliegende Stickstoff in zwei Stufen zu einem großen Teil kondensiert und abgeschieden. Die Produktqualität wird erhöht in nachgeschalteten kryogenen Adsorbern, einer katalytischen Oxidationsstufe sowie einem Trockner.

Ein „stand-alone“ N2-Rückverflüssiger stellt sowohl den Flüssig-Stickstoff zur Vorkühlung des Heliumverflüssigers zur Verfügung wie auch die Kälteleistung für die Stickstoff-Abscheidestufen.

Nach der Reinigung wird das Helium in einem Claude-Prozess verflüssigt und in einem 113'500 l Dewar-Tank gespeichert. Von dort aus werden zwei Abfüllstationen für Helium-Trailer und –Container zur weiteren Verteilung bedient.

Der Prozess ist optimiert auf minimalen Energieverbrauch, maximale Helium-Ausbeute sowie minimale Helium-Verluste.

## I.07

### **Verflüssigung von Argon mit einem Gemischkleinkühler**

**T. Frank<sup>1)</sup>, E. Ziegler<sup>1)</sup>, G. Venkatarathnam<sup>2)</sup>, L.R. Oellrich<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> ITTK Uni Karlsruhe (TH)

<sup>2)</sup> Refrigeration and Airconditioning Laboratory (RAC),  
Indian Institute of Technology, Madras (IITM)

Gemischkältekreisläufe werden seit Jahrzehnten erfolgreich in großindustriellem Maßstab zur Verflüssigung von Erdgas eingesetzt. Die Möglichkeit, Standardbauteile einzusetzen und so zu einer kostengünstigen Kühlervariante zu gelangen, hat zu einem intensiven Studium von Gemischkleinkühlern geführt [1]. Der Gemischkleinkühler-Teststand am ITTK [2,3] wurde zur Verflüssigung von Gasen modifiziert. Der modifizierte Versuchsstand wird vorgestellt und die bei der Verflüssigung von Argon erhaltenen Ergebnisse präsentiert.

[1] G. Venkatarathnam, L.R. Oellrich

V/POTENTIAL VON GEMISCHKLEINKÜHLERN IM BEREICH DER ERDGASVERFLÜSSIGUNG –  
EIN ÜBERBLICK, Potential of small mixed refrigerant coolers for natural gas liquefaction- a review  
DKV-Jahrestagung 2005, 16.-18.11.05. Würzburg, paper AAI.3

[2] F. B. Wilke, L. R. Oellrich, UNTERSUCHUNGEN MIT EINEM GEMISCHKREISLAUF  
DKV Jahrestagung 2002, paper AA I.3

[3] K. Weckemann, L. R. Oellrich, RESULTS OF THE INVESTIGATION OF A MIXED REFRIGERANT  
CRYOCOOLER

International Congress of Refrigeration 2003, Washington, D.C., paper ICR0547

## I.08

### **Reinigung und Verflüssigung von Neon durch einen Helium-Kältekreislauf**

**S. Boeck**

Linde Kryotechnik AG, CH-8422 Pfungen, Schweiz

Linde hat eine Anlage zur Neon-Gewinnung aus dem Rohgas von Luftverflüssigern entwickelt und erfolgreich in Betrieb genommen. Das Rohgas wird dabei in einem zweistufigen Helium-Kältekreislauf mit Hilfe der Linde-eigenen dynamisch gasgelagerten Expansionsturbinen herunter gekühlt. In der ersten Stufe wird Stickstoff durch Kondensation dem Rohgas entnommen. Kryogene Adsorber bei 80K fangen verbliebene Spuren von Stickstoff auf, bevor die verbleibende Neon-Helium Mischung die letzte Trennstufe erreicht. Hier wird das Neon verflüssigt und abgeschieden. Eine Rektifikationskolonne bei niedrigem Druck stellt die geforderte Produkt-Reinheit des gewonnenen Neons sicher.

## I.09

### **Messung des Wärmeeinfalls in der kryogenen Transferleitung für KATRIN**

**S. Grohmann**

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Physik  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Die kryogene Transferleitung im Experiment KATRIN verbindet 3 große supraleitende Magnetkryostate im Tritiumlabor Karlsruhe mit der in einem externen Maschinenhaus installierten He-Kälteanlage. Die vakuumisierte Transferleitung beinhaltet 1 LN<sub>2</sub>- und 5 GHe-Leitungen mit Betriebstemperaturen zwischen 4,5...100 K, welche von einem LN<sub>2</sub>-gekühlten Strahlungsschild umgeben sind. Die 40 m lange Transferleitung besteht aus 1 vertikalen und 3 horizontalen Abschnitten, sowie 4 Ventilboxen und 1 T-Verzweigung. Während der Inbetriebnahme wurde der Wärmeeinfall auf den He-Kreislauf zur Strahlrohrkühlung der Tritiumquelle bei einer Temperatur von 25 K gemessen. Zur Auswertung wurden Messpunkte mit verschiedenem He-Massenstrom gefittet, um Offsets der Enthalpiedifferenz- und Massenstrommessungen zu eliminieren. Dadurch konnte mittels Standard-Prozessmesstechnik trotz der sehr kleinen Enthalpiedifferenzen eine Messgenauigkeit von  $\pm 30\%$  erreicht werden. Die gemessenen thermischen Verluste lagen bei  $0.35 \pm 0.10$  W/m Transferleitung. Aufgrund des deutlich höheren Anteils an Ventilboxen und Vakuumtrennungen liegt dieser Wert etwa doppelt so hoch wie die für die HERA und LHC Transferleitungen publizierten Verluste.

## I.10

### **Geschichte und Zukunft der Kryotechnik**

**L. Decker<sup>1</sup>, H. Quack<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Linde Kryotechnik AG, Pfungen

<sup>2</sup> TU Dresden, Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, emeritiert

Auch die Kryotechnik feierte in den letzten 15 Jahren mehrere 100-jährige Jubiläen. C. von Linde, Mitbegründer des DKV vor hundert Jahren, war einer der Wegbereiter der industriellen Kryotechnik. 1908 gelang es H. Kamerlingh Onnes erstmals Helium zu verflüssigen. Mit Ausnahme der Luftzerlegung blieb die Kryotechnik die ersten 50 Jahre lang reine Wissenschaft beschränkt auf einige wenige Forschungslabore. Heute ist sie eine Technologie, die Grundlagenforschung vorantreibt. Supraleitende Magnete erlauben es, Werkstoffe wie auch chemische und biologische Abläufe besser zu verstehen. Kryotechnik hilft, unseren Lebensstandard laufend zu verbessern. MRI-Magnete geben einen schonenden Einblick in unseren Körper. Kryotechnik ermöglicht Lösungsansätze zur zukünftigen Energieversorgung der Menschheit. Supraleiter reduzieren Stromverluste in Verteilnetzen, Wasserstoff erlangt als mobiler Energieträger Bedeutung, Fusionsreaktoren sichern den Energiebedarf unserer Erde.

**Stichworte:** Kryotechnik, Geschichte, Luftzerlegung, Gasverflüssigung, Supraleitung, Fusion

## I.11

### **Qualifizierung von Konstruktionswerkstoffen und Bauteilverbindungen für Tieftemperaturanwendungen**

**Siegfried Römer, Ulrich Grimm, Ronny Künanz**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden

Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

[Siegfried.Roemer@ilkdresden.de](mailto:Siegfried.Roemer@ilkdresden.de)

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und die Nutzung verflüssigter, natürlicher Gase sowie aus Biomasse gewonnener Brennstoffe befinden sich derzeit im Fokus aktueller Entwicklungen. In all diesen genannten Bereichen sind zur Systementwicklung und -validierung umfangreiche Material- und Werkstoffprüfungen notwendig.

Diese seit langem zum Kerngeschäft des Institutes für Luft- und Kältetechnik Dresden zählenden Dienstleistungsangebote wurden mit dem Aufbau einer Vielzahl neuer Versuchseinrichtungen erheblich erweitert.

Im Vortrag stellt der Autor eine neuartige Tieftemperaturversuchseinrichtung zur hochgenauen Ermittlung mechanischer Kennwerte wie Elastizitätsmoduli, Dehnungs- oder Festigkeitskennwerte bei kryogenen Temperaturen vor. Mit dem System können diese Eigenschaften auch an faserverstärkten Werkstoffen und Bauteilverbünden

ermittelt werden. Entwicklungserfahrungen sowie Versuchsergebnisse mit dem innovativen, bewusst auf Dehnmessstreifen verzichtenden Systemaufbau werden vorgestellt.

Die Tieftemperatureinrichtung soll vorrangig zur Qualifizierung neuer Materialien und Verbindungstechnologien für Brennstoffzellen-, Wasserstoff- und LNG-Anwendungen eingesetzt werden.

## I.12

### **Thermische Materialtests im kryogenen Bereich**

**Dr. Gabriele Spörl, Dr. Gunter Kaiser**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH,  
Kälte- und Tieftemperaturechnik,  
Bertolt-Brech-Brech-Allee 20, 01309 Dresden

Anfragen zur Kühlung von Prüfkörpern für verschiedene mechanische Prüfverfahren und zu Anlagen für thermisches Zyklieren mit schnellen Abkühlraten und hohen Zyklenzahlen bis in den Temperaturbereich von -196°C und bis 300°C lassen dafür einen Bedarf erkennen. Die Analyse der Anforderungen hat ergeben, dass eine Anlage nicht das gesamte nachgefragte Spektrum abdecken kann. Prinzipiell sind zwei Betriebsarten möglich: Temperieren und Zyklieren. Abkühl- und Erwärmungsgeschwindigkeiten sind aber maßgeblich durch die Eigenschaften der Prüfkörper bestimmt und definieren so die Leistungsparameter der Kammer.

Im Vortrag sollen erste Erfahrungen bei der Planung derartiger Kammern vorgestellt werden. Insbesondere für extrem lange Prüfzeiten und/oder hohe Durchsätze flüssigen Stickstoffs oder von Kaltgas, wird die Rekondensation des Stickstoffgases mit in Betracht gezogen. Erste Ideen für Prinziplösungen in modularer Bauweise werden diskutiert. Damit wollen wir uns in die Lage versetzen, kundenorientiert auf Anfrage eine „maßgeschneiderte“ Kammer mit den gewünschten Anforderungen bauen zu können.

**Stichworte:** Zyklerkammer, Flüssiger Stickstoff, Temperieren, Rekondensation

## I.13

### **Diskussion der DIN EN 13648 Kryobehälter - Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung**

**M. Süßer**

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technische Physik

Die Europäische Norm legt die Anforderungen an die Konstruktion, Herstellung und Prüfung von Sicherheitsventilen für den Kryo-Betrieb fest d.h. für den Betrieb mit tiefkalten Flüssigkeiten unter -10°C in Ergänzung zum Betrieb bei Umgebungstemperatur (EN ISO 4126). Sie behandelt die Absicherung von

Kryobehältern und die dazu notwendigen Sicherheitsarmaturen wie Sicherheitsventil und Berstscheibe und gibt Hinweise über die Bestimmung des im Störfall abzuführenden Massenstromes. In der Einleitung werden keine Begrenzungen des Gültigkeitsbereiches festgelegt und somit ist sie im gesamten Kryobereich verbindlich.

Diese Norm soll in einigen Punkten vorgestellt und diskutiert werden, da die praktische Umsetzung in einigen Fällen z.B. die Aussagen zum 3% - Druckverlustkriterium, nicht oder nur sehr beschränkt eingehalten werden kann.

## I.14

### **Automatische Betankungskupplung für Transportfahrzeuge von flüssigem Wasserstoff**

**M. Börsch, F. Holdener**

WEKA AG, CH-8344 Bäretswil, Schweiz

Die Verteilung von flüssigem Wasserstoff erfolgt häufig mit speziellen Tank-Transportfahrzeugen. Für das Umfüllen des Wasserstoffs vom Trailer zum stationären Tank werden heute manuelle, offene Kupplungen verwendet. Der Kupplungs- und Betankungsvorgang dauert einerseits relativ lange, andererseits sind diese Kupplungen nicht optimal an die Anforderungen für kryogenen Wasserstoff angepasst. Im Rahmen verschiedener Kundenprojekte wurden Prototypen-Kupplungen entwickelt und optimiert, die ein einfaches Anschließen und Sichern ermöglichen. Die automatische, kompakte Kupplung ist hinsichtlich der Anforderungen des kryogenen Wasserstoffs optimiert. Die Neuentwicklung muss trotz großer Nennweite durch eine einzelne Person bedient werden können. Erste Labortests zeigten positive Resultate. Die Weiterentwicklung für den Feldeinsatz ist geplant.

## I.15

### **Erste Betriebswerte der dynamisch gasgelagerten Expansionsturbine in einem industriellen Wasserstoff-Verflüssiger**

**S. Bischoff, L. Decker**

Linde Kryotechnik AG, CH-8422 Pfungen, Schweiz

Wasserstoff steht seit im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses seitdem sich die Vorräte fossiler Brennstoffe erschöpfen und damit ihre Preise massiv steigen. Des weiteren verlangen neue Hightech-Prozesse nach Wasserstoff hoher Reinheit. Die Verflüssigung von Wasserstoff im industriellen Maßstab bietet dazu Hand und erlaubt zudem den effizienten Transport.

Linde Gas hat in Leuna einen neuen 5.5 TPD Wasserstoff-Verflüssiger in Betrieb genommen, der von der Linde Kryotechnik ausgelegt und geliefert wurde. Eine der

vier verbauten Expansionsturbinen wurde erstmals mit dynamischen Gaslagern ausgestattet. Besondere Konstruktionsmerkmale und Betriebsdaten dieser Anwendungen werden hier diskutiert, gemessene Wirkungsgrade und Daten zur Betriebssicherheit werden präsentiert.

Es wird aufgezeigt, welche Vorteile ein Einsatz der Linde-eigenen dynamisch gasgelagerten Expansionsturbine in zukünftigen Wasserstoff-Verflüssigern erbringt.

## I.16

### **Kryogenes MicroFlow-Regelventil für Isotope von Wasserstoff**

**F. Holdener, M. Börsch**

WEKA AG, CH-8344 Bäretswil, Schweiz

Für niedrigmolekulare kryogene Medien wie z.B. Helium und Wasserstoff hat sich die Abdichtung mit metallischem Federbalg etabliert. Für den Fall einer Beschädigung des Metallbalgs wird heute üblicherweise eine zusätzliche nachgelagerte O-Ringdichtung verwendet. Anwendungen mit Isotopen von Wasserstoff, Deuterium und Tritium, müssen zur Umgebung hin absolut dicht sein. Dafür wurden spezielle kryogene MicroFlow-Regelventile entwickelt. Neben der vollmetallischen primären Abdichtung mit Faltenbalg und Dichtring, besitzen diese eine zusätzliche komplett umschliessende vollmetallische Zweitsicherung, die ebenfalls aus Faltenbalg und Dichtring besteht. Die Zwischenkammer ist zur Überwachung an ein Leckage-Alarmsystem angeschlossen. Darüber hinaus besitzen diese MicroFlow-Ventile die Eigenschaft kleinste Durchflüsse hochpräzis zu regeln. Das entwickelte Ventilkonzept erlaubt eine Adaptierung auf die unterschiedlichsten Anforderungen der komplexen kryogenen Anlagen und Apparate der Nuklearphysik.

## I.17

### **Freezing von Biosystemen**

**Dr. Gabriele Spörl, DI Holger Reinsch**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Kälte- und Tieftemperaturtechnik  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

„Freezing von Biosystemen“ steht für die Einwirkung von Kälte zum Einen zur Zell-/Gewebeerhaltung (Kryokonservierung) und zum Anderen zur Zell-/Gewebezerstörung (Kryochirurgie). Bei einer erfolgreichen Kryokonservierung gelingt der intra- und extrazelluläre Schutz nur durch die Verwendung von Kryoprotektiva, die Generierung von optimalen Temperaturverläufen für den Einfrier- und Auftauprozess und der Anwendung Behältnis angepasster Hardware (z. B. Racks für Vials und Blutbeutel) zum Management des Wärmeübergangs in und aus den Biosystemen. Die erfolgreiche Kryodestruktion verzichtet auf zellerhaltende Zusätze. Auch hier sind optimale Temperaturverläufe zu generieren, die aber eine möglichst intensive Eisbildung im Gewebe erzeugen sollen und letztlich für die

Zerstörung der Zellwände sorgt. Die Übertragung der Kälte erfolgt hier mit Hilfe spezieller Kryosonden, welche als Kontakt- oder als Sprühsonden ausgeführt sind. Das ILK Dresden hat beide Aspekte in den vergangenen Jahren bearbeitet und im Rahmen von DKV-Konferenzen darüber berichtet. In diesem Jahr gibt es für diese Kryoanwendungen neue Impulse, die vorgestellt werden. Wir wollen mit unserer Erfahrung in der Kryokonservierung die Amnion- und Hornhautbanken bei der optimalen Lagerung dieser Gewebe unterstützen, um damit zu einer verbesserten Patientenversorgung beizutragen. Die Anwendung der Kryodestruktion hat nach wie vor ihre Berechtigung und wird besonders im Veterinärbereich attraktiv.

**Stichworte:** Kryokonservierung, Kryodestruktion, Kryochirurgie, Kryoprotektiva, Gewebe

## I.18

### **Kryokonservierung von Blutstammzellen zur Therapie**

**Dr. med. Andreas Sputtek**

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Institut für Transfusionsmedizin  
Martinistr. 52, 20246 Hamburg

Kryokonservierte autologe (= eigene) Blutstammzellpräparate sind das Mittel der Wahl für die Wiederherstellung der Blutbildung nach das Knochenmark stark beeinträchtigenden oder zerstörenden Therapieschemata. Sie werden vor der eigentlichen Behandlung der bösartigen Erkrankung gewonnen, währenddessen tiefgefroren aufbewahrt und danach zurückgegeben, woraufhin sie sich wieder im Knochenmark ansiedeln und dort ihrer Aufgabe, nämlich der Blutbildung, erneut nachkommen. Dadurch wurden auch sehr aggressive Therapieschemata möglich, die früher wegen der irreversiblen Zerstörung des Knochenmarkes ausschieden. Solche Behandlungen fanden im Jahr 2007 deutschlandweit bei ca. 2500 Patienten mit Multiplem Myelom (= plasmazelluläre bösartige Geschwulst), Amyloidose (= Einlagerung krankhafter Eiweiße in das Bindegewebe) und Hodgkin- bzw. Non-Hodgkin-Lymphom (= bösartige Erkrankungen der Lymphdrüsen) statt. Während früher das Tiefgefrieren von aus dem Knochenmark stammenden Zellenvorherrschte, hat sich das Interesse zunehmend auf die maschinelle Sammlung von bestimmten Zellpopulationen aus dem peripheren Blut verlagert.

Die bislang für blutbildende Zellen klinisch etablierten Kryokonservierungsprotokolle stimmen dahingehend überein, dass die einzufrierende Zellsuspension entweder 5-10 % Dimethylsulfoxid (DMSO) oder 5 % DMSO plus 6 % Hydroxyethylstärke (HES) enthält. Die erforderliche optimale Kühlrate variiert von 1 - 5 °C/min. Das Abkühlen erfolgt meist in einem mit Flüssigstickstoff betriebenen programmierbaren Einfriergerät, ist aber auch ohne ein solches Gerät möglich. Wichtig ist, dass die erforderliche Abkühlkinetik reproduzierbar erreicht wird. Deren Verlauf hängt u.a. vom Gefriergut selbst (Volumen, zylindrische oder plattenförmige Geometrie, Gefriergutschichtdicke, Zusammensetzung, thermische Eigenschaften des Behältnisses etc.) ab. Die in mitgeführten kleineren Referenzproben (z. B. Reagenzrörchen) gemessenen Temperaturverläufe können sich deshalb durchaus von den im Gefriergut (üblicherweise in Beuteln) auftretenden Verläufen unterscheiden. Die für eine mehrmonatige Lagerung einzuhaltende Temperatur liegt

erfahrungsgemäß unterhalb von -100 °C, wobei für eine kurzfristige Aufbewahrung (Wochen) auch Temperaturen von  $\leq$  -80 °C ausreichen können. Für einen evtl. erforderlichen Transport im tiefgefrorenen Zustand sollten zum Versand geeignete, auslaufgeschützte Flüssigstickstoffbehälter verwendet werden, welche die erforderlichen tiefen Temperaturen sicher aufrechterhalten. Das Auftauen vor der Verabreichung mittels Transfusion erfolgt üblicherweise in einem 37 °C warmen Wasserbad oder Gerät mit einem Warmluftgebläse unmittelbar am Krankenbett.

**Stichwörter:** Kryokonservierung, Blutstammzellen, Dimethylsulfoxid, Flüssigstickstoff

## I.19

### **Kryokonservierung und Langzeitlagerung von Nabelschnurblut**

**Dr. Dietmar Egger**

VITA34 AG  
Deutscher Platz 5a, 04103 Leipzig  
dietmar.egger@vita34.de

Stammzellen aus dem Restblut der Nabelschnur sind die jüngsten Zellen, die ohne ethische Bedenken und risikolos gewonnen werden können, die nahezu frei von Viren sind und ein besonders hohes Differenzierungs- und Regenerationspotential besitzen.

Im Jahr 2009 haben allein durch das Nabelschnurblutregister Netcord vermittelte Präparate die Zahl von 9000 klinischen Anwendungen überschritten. Neben dem mittlerweile etablierten Einsatz bei Blutkrebskrankungen zeigen neueste Studien aus Bereichen der regenerativen Medizin zunehmend neue Therapiemöglichkeiten mit autologen Nabelschnurblutstammzellen auf, wie die Herstellung mitwachsender Herzklappen für Kinder, die Behandlung frühkindlicher Hirnschäden und des Diabetes mellitus Typ 1 im Kindesalter.

Grundlage für diese innovativen Ansätze ist die Kryokonservierung und das Vorhalten eigener Stammzellen. Dabei stellt die Langzeitlagerung kryokonservierter Präparate, die über den gesamten Lagerzeitraum Eigentum der Kinder bleiben, eine besondere Herausforderung an die Nabelschnurblutbank dar.

## I.20

### **Kryokonservierung von adherenten humanen mesenchymalen Stammzellen aus Nabelschnurgewebe**

**Dr. Viktoriya Vedorova, Dr. Alexandra Stolzing**

Fraunhofer Institut für Zelltherapie und Immunologie  
Perlickstrasse 1, 04103 Leipzig, Deutschland

Die Testung von humanen mesenchymale Stammzellen im Bereich des Schlaganfall, Herzinfarkt, Diabetes und vielen anderen Erkrankungen schreiten schnell vorwärts

und sind bereist in klinischer Testung. Auch für das Tissue Engineering nutzt man mesenchymale Stammzellen für die Herstellung von Knorpel und anderen einfachen Geweben.

Humane Stammzellen aus der Nabelschnur werden als alternative Stammzellquelle gegenüber den aus Knochenmark isolierten Stammzellen untersucht, da dieses Gewebe sehr reich an MSC sind und zudem diese Zellen nicht gealtert sind.

Eine Optimierung der Kryokonservierung von Stammzellen wäre für solche Therapien von großen nutzen da es die Logistischen Schwierigkeiten minimiert.

Die Adaption von Kryokonservierungs-Protokollen für die Konservierung von Stammzellen in Suspension hin zur Lagerung direkt auf Platten wurde für humane mesenchymale Stammzellen aus der Nabelschnur durchgeführt. Ziel ist dabei eine vereinfachte Kryokonservierung für die Regenerative Medizin oder Pharmatestung zu entwickeln.

**Stichwörter:** Adulte Stammzellen, Kryokonservierung, Adherent

## I.21

### Langzeitlagerung von humanen Thrombozyten

**Willem F. Wolkers**

Institut für Mehrphasenprozesse, Leibniz Universität Hannover  
Callinstraße 36, 30167, Hannover  
wolkers@imp.uni-hannover.de

Humane Thrombozyten (Blutplättchen) werden in Blutbanken bis zu 5 Tage aufbewahrt, danach müssen sie aufgrund gesetzlicher Bestimmungen vernichtet werden. Ihre kurze Lebensdauer führt zwangsläufig zu Versorgungslücken, welche beispielsweise für AIDS-Patienten bedrohlich sind und insbesondere bei der medizinischen Versorgung von Patienten in Krisengebieten ein großes Problem darstellen. Thrombozyten sind empfindlich gegenüber Kühlung und werden daher derzeit bei Raumtemperatur gelagert. Üblicherweise beträgt die Lagerungstemperatur für sie in Blutbanken zwischen 20 und 24°C. Hierbei sind jedoch die stark verkürzte Lagerungsdauer und die Erhöhung der Gefahr bakterieller Kontamination von Nachteil. Es wurden bereits Methoden zur Kryokonservierung von Thrombozyten entwickelt, sie werden im klinischen Alltag aber selten angewendet. Ein alternatives Verfahren stellt die Gefriertrocknung von Thrombozyten mit Hilfe von Trehalose dar, einem Zucker, der hochkonzentriert in Organismen vorkommt, die natürlicherweise das Austrocknen überleben. Hierbei kommt es allerdings ebenso aufgrund der extremen Verarbeitungszustände zur Schädigung der Zellen, so dass die Anwendung dieser Methodik bisher limitiert ist. Nichts desto trotz können gefriergetrocknete Thrombozyten für moderne Anwendungen in der Wundheilung verwendet werden. Der große Vorteil der getrockneten Blutplättchen ist, dass sie selbst bei Raumtemperatur für eine längere Zeit aufbewahrt werden können. In dieser Präsentation werden Probleme in Verbindung mit der Lagerung von Thrombozyten und der Stand der gegenwärtigen Konservierungsstrategien vorgestellt und diskutiert.

## I.22

### **Kryokonservierung roter Blutzellen und hämatopoetischer Vorläuferzellen**

**Johan WM Lagerberg**

Dept. of Blood Cell Research, Sanquin Research  
Plesmanlaan 125, 1066 CX Amsterdam, the Netherlands

**I.** Die Kryokonservierung von Blutkonserven ist ein wertvoller Ansatz, um eine Sammlung seltener Bluteinheiten, insbesondere Erythrozyten seltener Blutgruppen (rote Blutkörperchen, RBC) anlegen zu können. Sie dient unter anderem dazu, das passende Blutprodukt für Patienten bereitstellen zu können, die negativ sind für Blutgruppenantigene mit einer sehr hohen Frequenz in der Bevölkerung (sogn. public antigens). In den Niederlanden ist ein Bestand solcher seltener Erythrozytenkonserven in der Sanquin Bank of Frozen Blood vorrätig.

Das zur Kryokonservierung von RBCs am häufigsten eingesetzte Gefrierschutzmittel ist Glycerol. Abhängig von der Glycerolendkonzentration werden 2 Methoden des Gefrierprozesses unterschieden: die „High-Glycerol-Methode“ mit 40% v/v Glycerol, die eine Lagerung der Blutzellen bei -80°C ermöglicht und die „Low-Glycerol-Methode“ (19% v/v Glycerol, Lagerung unterhalb von -150°C). Die Verwendung der aufgetauten RBC-Einheiten wird jedoch derzeit durch ein Zeitfenster von 24 Stunden eingeschränkt, in dem die für die notwendige Glycerolentfernung dann geöffneten Konserven einer bakteriellen Kontaminationsgefahr unterliegen. In einem kürzlich entwickelten automatisierten Verfahren erfolgen diese Prozessschritte in einem geschlossenen System, so dass die Konserven nach dem Tauen länger verwendet werden können. Zur Charakterisierung dieses Verfahrens wurde die in-vitro Qualität der aufgetauten deglycerolisierten Erythrozyten während einer Lagerung bei 2- 6°C mit verschiedenen Additiven analysiert. Darüberhinaus wurde untersucht, inwieweit die in-vitro Qualität durch Modifikationen des Deglycerolisierungsprozesses verbessert werden kann.

**II.** Bei Patienten, die sich einer Chemo- und/oder Strahlentherapie unterziehen müssen, ist die Blutbildung schwergradig beeinträchtigt. Die Funktion des Knochenmarks kann anschließend durch eine Transplantation mit peripheren Blutstammzellen rekonstituiert werden. Im Fall einer autologen Transplantation ist dazu die Kryokonservierung und temporäre Lagerung der zu transplantierenden Zellen erforderlich. Obwohl die Kryokonservierung von hämatopoetischen Vorläuferzellen (HPC) bereits erfolgreich angewendet wird, ist bekannt, dass die Gefrier- und Auftauprozesse auch einige Schäden an den Zellen hervorrufen. Darüberhinaus verursacht das hierbei verwendete Gefrierschutzmittel Dimethylsulfoxid (DMSO) Nebenwirkungen beim Patienten. Daher besteht Interesse an einer Verbesserung des bisher verwendeten Einfrierverfahrens (10% DMSO und ein langsames lineares Abkühlungsprotokoll). Dieses wurde durch die Untersuchung theoretisch optimierter Abkühlungsraten und Verringerung der DMSO Konzentration angestrebt. Die Ergebnisse zeigen, dass die derzeit angewendete Kryokonservierungsstrategie durch eine Absenkung der DMSO Konzentration auf 5% und optimierte Gefrierprotokolle verbessert werden kann.

## I.23

# Die Anwendung von tiefgefrorenen Blutprodukten in Auslandseinsätzen der Bundeswehr

**Jeannot Zimmer**

Institut für den Medizinischen Arbeits- und Umweltschutz der Bundeswehr, Berlin

Bei Einsätzen der Bundeswehr im erweiterten Aufgabenspektrum ist ab einem gewissen Umfang der Operationen für die medizinische Versorgung vor Ort die Verfügbarkeit von Spezialisten in einem Einsatzlazarett erforderlich. Zur klinischen Versorgung gehören neben Notfallmedizinern und weiteren Fachärzten auch Laboratoriumsmediziner zur Diagnostik und Therapie der Patienten mit einem Standard mindestens wie in einem Kreiskrankenhaus in Deutschland. Die Besonderheit bei der Notfallversorgung liegt in der jederzeitigen Sicherstellung der Verfügbarkeit von zellulären Blutprodukten wie den Erythrozytenkonzentraten (EK). Beim Afghanistan-Einsatz der Bundeswehr als Teil der multinationalen International Security Assistance Force (ISAF) wurde das Kontingent 2003 in Kabul durch das Deutsch-Niederländische (D-NL) Korps geführt. Damit waren zusätzlich die tiefgefrorenen Produkte der NL Armee verfügbar, die für die gemeinsame Behandlung von Schwerverletzten hätten benötigt werden können. Durch das Attentat auf einen deutschen Militärbus am 07.06.2003 musste innerhalb kürzester Zeit der Einsatz von EK, tiefgefrorenen EK sowie tiefgefrorenen Thrombozytenkonzentraten (TK) aus beiden Blutdepots organisiert werden. Durch die komplizierende Behandlung eines Schwerverletzten mit der Notfallblutgruppe Null Rhesus negativ standen diese EK für die Versorgung der weiteren Schwerverletzten nicht mehr zur Verfügung. Daher mussten für diesen Patienten tiefgefrorene EK und TK und die als Besonderheit in den Einsätzen mögliche Warmblutspende eingesetzt werden, um eine ausreichende Stabilisierung zu erreichen. Der standardisierte Auftauprozess in einem halboffenen System mit der Notwendigkeit der Entfernung von Stabilisatoren für die Kryolagerung begrenzte zeitlich die Anzahl von verfügbaren Produkten. Die Kombination von schnell verfügbaren Blutprodukten und Kryoprodukten ist daher derzeit das einzige sinnvolle Verfahren, um in Einsätzen die Versorgung mit zellulären Blutprodukten sicherstellen zu können. Dieses wurde hier erstmalig zur optimierten Behandlung bei einem Schwerverletzten in einem Auslandseinsatz der Bundeswehr durchgeführt.

## II.1.01

# Wärmeübertragung beim Strömungssieden in einem innenberippten Rohr bei hohen Dampfgehalten

Klaus Spindler

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Es wurde der Wärmeübergang und Druckverlust beim Sieden von R134a und R404A in einem horizontalen innenberippten Rohr bei hohen Dampfgehalten untersucht. Die Versuche wurden mit konstantem Austrittsdampfgehalt (1.0, 0.9, 0.8) durchgeführt. Die Wärmestromdichte wurde zwischen 1000 und 15000 W/m<sup>2</sup> variiert, die Massenstromdichte lag zwischen 25 und 150 kg/m<sup>2</sup>s. Mit dem Kältemittel R134a wurde bei der Siedetemperatur von 10°C, 0°C und -20°C, mit R404A bei 0°C und -20°C gemessen. Es werden die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten in stromabwärts gelegenen Messebenen betrachtet, da sich dort der höchste lokale Dampfgehalt ergibt.

Der lokale Wärmeübergangskoeffizient steigt bei ansonsten konstanten Parametern zunächst mit wachsendem Dampfgehalt an. Es werden Werte bis 17000 W/m<sup>2</sup>K (R134a) bzw. 14300 W/m<sup>2</sup>K (R404A) erreicht. Das Austrocknen der Rohroberfläche und das Absinken des Wärmeübergangskoeffizienten erfolgt bei einem Dampfgehalt >0.9. Bei großen Wärmestromdichten reißt der Flüssigkeitsfilm auf Grund der höheren Dynamik bei der Verdampfung früher auf als bei kleinen Wärmestromdichten. Bei Schichtenströmung (25 kg/m<sup>2</sup>s) ergeben sich durch die stärkere Überhitzung des Kältemitteldampfes bei höheren Wärmestromdichten niedrigere Wärmeübergangskoeffizienten. Bei den Versuchen mit einer Massenstromdichte von 62.5 kg/m<sup>2</sup>s (R134a) und 25 kg/m<sup>2</sup>s (R134a und R404A) steigt der Wärmeübergangskoeffizient mit sinkender Siedetemperatur an. Der Grund hierfür ist die Volumenzunahme und die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes. Damit verbunden ist eine bessere Benetzung der Rohrwand. Bei R134a und einer Massenstromdichte von 62.5 kg/m<sup>2</sup>s geht die Schichtenwellenströmung in eine Ringströmung über. Der Vergleich mit der Korrelation von Thome et al. (1997) zeigt keine befriedigende Übereinstimmung. Die Abweichung liegt in der Regel >50%. Der Grund hierfür ist, dass Ringströmung mit gleichmäßiger Filmdicke, wie sie in der Korrelation vorausgesetzt wird, im untersuchten Parameterbereich nur selten auftritt.

## II.1.02

### Wärmeübertragung beim Sieden von Kältemitteln an horizontalen Rohren

**Björn Müller, Martin Freystein, 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

Der Wärmeübergang beim Behältersieden wird durch die Verwendung von Heizflächen mit hinterschnittener Oberfläche und mehr oder weniger abgeschlossenen Kanälen im Vergleich zu Glattrohren wesentlich verbessert. Die Verwendung solcher Hochleistungsverdampferrohre steigert die Energieeffizienz der Wärmeübertrager und damit des gesamten Prozesses. Zudem werden die Materialkosten gesenkt. Dies erfolgt allerdings nur bei hinreichend genauer Auslegung der Apparate. Dazu sind Korrelationen notwendig, die auf empirischer Basis den Wärmeübergang berechnen.

Der Beitrag behandelt den Wärmeübergang von siedendem Propan und R134a am GEWA-PB Hochleistungsverdampferrohr aus Baustahl im Druckbereich von 3 bis 50% des kritischen Druckes und bei Wärmestromdichten zwischen 50 W/m<sup>2</sup> und 100k W/m<sup>2</sup>. Die Messungen werden in einer Standardsiedeapparatur durchgeführt, wobei die Blasenbildung mit Foto- und Videoaufnahmen dokumentiert werden.

Anhand dieser Aufnahmen wird die Blasenbildung charakterisiert und abhängig von Sättigungsdruck und Wärmestromdichte den unterschiedlichen Siedemechanismen zugeordnet. Die Messergebnisse werden zu einer Korrelation zusammengefasst.

Die Verifikation der Messungen erfolgt anhand von Messergebnissen an Glattrohren aus Baustahl und Kupfer sowie von Literaturdaten.

**Stichworte:** Wärmeübergang; Behältersieden; Propan; R134a; Baustahl; Hochleistungsverdampferrohr

## II.1.03 und II.1.04

### Untersuchung des Wärmeübergangs und des Inundationseffekts in einem Rohrbündelverflüssiger

T. Gebauer<sup>1</sup>, A. Leipertz<sup>1</sup>, A. P. Fröba<sup>1</sup>  
A. Gotterbarm<sup>2</sup>, J. El Hajal<sup>2</sup>, A. Beutler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT)  
Universität Erlangen-Nürnberg

<sup>2</sup>Wieland-Werke AG, Ulm

In Rohrbündelverflüssigern von kältetechnischen und petrochemischen Anlagen werden oftmals Hochleistungsrippenrohre eingesetzt. Durch Herabtropfen von Kondensat oberer auf untere Rohrreihen wird der Kondensationswärmeübergang wesentlich limitiert, was als Inundationseffekt bekannt ist.

Ziel eines von der bayerischen Forschungsstiftung geförderten Projektes ist es, durch eine Optimierung der Rippengeometrie und Reduzierung der Benetzbarkeit mittels Oberflächenmodifikationen dem Inundationseffekt zu begegnen. Durch die Herabsetzung der Benetzbarkeit der Rohroberfläche mittels Beschichtungen, die anhand mehrerer Kriterien ausgewählt wurden, soll der Kondensationsrückhaltewinkel in den Rippen reduziert werden. Dieser wird zur Ermittlung einer optimalen Rippenteilung auf den Rohren bei Variation des Flüssigkeitsüberschusses, der Stoffeigenschaften und der Betriebszustände mittels numerischer Strömungssimulation (CFD) analysiert. Ein in das CFD-Programm implementiertes Berechnungsmodell ermöglicht die Simulation und Berechnung des Wärmeübergangs bei der Kondensation.

Anhand eines am LTT-Erlangen aufgebauten Rohrbündelverflüssigers, der für das Kältemittel R134a und auch für Propan (R290) eingesetzt wird, können Einzelrohruntersuchungen durchgeführt und mit Hilfe einer Berieselungseinheit ein Rohrbündel mit bis zu 40 Rohrreihen simuliert werden. Im Mittelpunkt stehen hierbei Vergleichsmessungen sowohl von glatten, berippten und oberflächenmodifizierten Einzelrohren als auch von entsprechenden Rohrbündeln.

## II.1.05

### Reynolds, Maxwell, und die Lichtmühle

Holger Martin

KIT – Universität Karlsruhe (TH) – Institut für Thermische Verfahrenstechnik  
76128 Karlsruhe,  
[holger.martin@kit.edu](mailto:holger.martin@kit.edu)

Im Jahre 1969 veröffentlichten S. G. Brush und C. W. F. Everitt einen historischen Übersichtsartikel, der dann als Unterkapitel 5.5 *Maxwell, Osborne Reynolds, and the radiometer* in Stephen G. Brushs berühmtem Buch *The Kind of Motion We Call Heat* abgedruckt wurde. Diese Übersicht beschreibt, bis zum Ende des 19. Jahrhunderts, die Geschichte der wissenschaftlichen Erklärungen der Kräfte, die die Flügel der

Lichtmühle (siehe: **Crookes radiometer**<sup>\*</sup>) rotieren lassen. Diese Kräfte im Crookesschen Radiometer (die *nicht* auf den Strahlungsdruck zurückzuführen sind, wie anfänglich von Crookes und auch von Maxwell vermutet) wurden bald als thermische Effekte des Restgases im evakuierten Glasbehälter der Lichtmühle erkannt, und zwar hauptsächlich durch *Osborne Reynolds* – aus einer sehr umfangreichen experimentellen und theoretischen Studie zur *thermal transpiration* und *impulsion*, die 1879 veröffentlicht wurde – und durch *James C. Maxwell*s gaskinetisch- statistische Herleitung der Differentialgleichungen für die *Thermische Gleitströmung (Thermal Creeping Flow)*, die durch Tangentialspannungen auf Grund eines Temperatur-gradienten auf einer festen Oberfläche angetrieben wird, etwas früher im selben Jahr 1879.

Merkwürdigerweise haben diese fundamentalen physikalischen Gesetze bisher nicht ihren Weg in die meisten Lehr- und Handbücher der Wärmeübertragung und der Strömungsmechanik gefunden.

Eine Literaturrecherche über die Stichworte *thermal transpiration* und *thermal creeping flow*, in Verbindung mit *radiometer forces*, ergab eine umfangreiche Sammlung von interessanten Aufsätzen; nicht nur die ursprünglichen Arbeiten, die schon im Unterkapitel 5.5 von Brushs Buch genannt werden, sondern viele weitere aus dem frühen zwanzigsten Jahrhundert, von *Martin Knudsen*, *Wilhelm Westphal*, *Albert Einstein*, *Theodor Sexl*, *Paul Epstein* und anderen.

Die Kräfte, die man aus den Gesetzen der *freien Molekularströmung* nach Knudsen (1909) berechnet, nehmen linear mit dem Gasdruck zu, während die Kräfte aus Maxwell's *Thermischer Gleitströmung* (umgekehrt proportional) mit dem Druck abnehmen. In einem Übergangsbereich von Gasdrücken, dessen Lage von den charakteristischen Abmessungen der Strömungskanäle, oder der Radiometerflügel abhängt, durchläuft eine geeignete Interpolation zwischen diesen beiden Arten von Kräften, wie sie von *Wilhelm Westphal* und später von *G. Hettner* vorgeschlagen wurde, ein Maximum. *Albert Einsteins* Näherungslösung von 1924 stimmt recht gut mit der Größenordnung dieser Kräfte im Bereich des Maximums überein.

Eine zusammenfassende Gleichung und ein Diagramm dieser Kräfte in Abhängigkeit vom Gasdruck verbindet die relevanten Theorien von *Knudsen* (1909), *Einstein* (1924), *Maxwell* (1879) (und *Hettner* (1926), *Sexl* (1928), und *Epstein* (1929) die analytische Lösungen für Maxwell's Gleitströmungsgleichungen für nicht-isotherme Kugeln und Kreisscheiben entwickelten, die für die Thermophorese und für das Radiometer sehr wichtig sind).

Die genannten bisher wenig bekannten Mechanismen, und deren mögliche Integration in die Grundgleichungen der Thermofluidodynamik, werden gerade in neuester Zeit, wegen des zunehmenden technischen Interesses an Mikro- und Submikrokanälen in einer Vielzahl neuer Anwendungen wieder verstärkt untersucht, sie sollten also jedem interessierten Ingenieur in Zukunft möglichst schon im Studium vermittelt werden.

\* siehe <http://www.oedilf.com>: Crookes radiometer

## II.1.06

### Einfluss von Kältemaschinenöl auf den Wärmeübergang beim Strömungssieden von CO<sub>2</sub>

Dipl.-Ing. Markus Wetzel,  
Prof. Dr. Y. Saito, Prof. Dr.-Ing. M. Kind, Prof. Dr.-Ing. Th. Wetzel

Institut für Thermische Verfahrenstechnik  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Aufgrund verschärfter Richtlinien für den Einsatz von Kältemitteln gewinnen heutzutage insbesondere natürliche Kältemittel wie CO<sub>2</sub> an Bedeutung. In einem Kältemittelkreislauf bestehend aus ölgeschmierten Elementen (wie z.B. Verdichter) strömt jedoch stets ein Kältemittel/Öl-Gemisch. Schon in geringen Konzentrationen besitzt das Kältemaschinenöl einen deutlichen Einfluss auf den Wärmeübergang, zumeist resultierend in einer Verminderung der Kälteleistung.

Die Kältemittelverdampfung findet in der Praxis häufig in horizontalen Verdampferrohren statt. Zur Vorausberechnung des Wärmeübergangskoeffizienten und als Bewertungsgrundlage der Messwerte werden Korrelationen zum Strömungssieden in horizontalen Rohren verwendet. Darin sind die Stoffdaten für das Kältemittel/Öl-Gemisch in Abhängigkeit der Öl-Konzentration zu bestimmen.

Der Einfluss des Öls auf den Wärmeübergang ist speziell auch durch eine Änderung der Strömungsform charakterisiert. Dies soll zunächst in Abhängigkeit der Betriebsparameter sowie der Ölkonzentration (0 bis 3 Gew.-%) im Kältemittel aufgezeigt werden. Die visuelle Bestimmung der Strömungsform wurde erstmals durch Messung der Flüssigkeitsschichtdicke am Rohrscheitel mittels der konfokalen Laser-Wegmessung gestützt. Die Messtechnik wird in diesem Zusammenhang vorgestellt und zwecks Anwendbarkeit bewertet.

Anschließend werden die Auswirkungen auf den Wärmeübergangskoeffizienten beim Strömungssieden veranschaulicht. Es werden Werte auf Basis der eigenen experimentell ermittelten Daten gezeigt. Korrelationen aus der Literatur werden hinzugezogen und hinsichtlich Übereinstimmung diskutiert. Als Betriebsparameter wurden der Massenstrom an Kältemittelgemisch, die im Verdampferrohr zugeführte Wärmestromdichte sowie der lokale Dampfgehalt variiert.

**Stichwörter:** Wärmeübergang, Strömungssieden, Kältemittel/Öl-Gemisch, Strömungsform, Messung, Korrelation, Kohlendioxid

## II.1.07

### Verdampferentwicklung für den Einsatz in thermisch betriebenen Kältemaschinen

Kai Thomas Witte<sup>1</sup>, Lena Schnabel<sup>1</sup>, Olaf Andersen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, GERMANY  
email: kai.witte@ise.fraunhofer.de

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung IFAM  
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, GERMANY

Forschungsergebnisse zur Entwicklung hocheffizienter thermisch angetriebener Adsorptionskältemaschinen mit dem Kältemittel Wasser haben gezeigt, dass neben der Optimierung des Adsorbers nun auch zunehmend die Optimierung des Verdampfers an Bedeutung gewinnt. Wie in allen kältetechnischen Prozessen, ist dabei die Anforderung einer möglichst geringen treibenden Temperaturdifferenz gegeben, um eine möglichst hohe Gesamteffizienz zu erreichen. Während des Prozesses wird Wasser innerhalb eines Temperaturbereichs zwischen 3 und 20 °C verdampft, was einem Sättigungsdampfdruck von 7.6 bzw. 23.4 mbar entspricht. Obwohl umfangreiche Literatur zur Verdampfung von Wasser vorhanden ist, existieren nur sehr wenige Daten zur Verdampfungscharakteristik im Niederdruckbereich. Aus diesem Grund wurden am Fraunhofer ISE zwei Teststände entwickelt und in Betrieb genommen.

Innerhalb des Vortrags sollen Forschungsergebnisse über den aktuellen Stand der Verdampferentwicklung mit dem Kältemittel Wasser im Niederdruckbereich zwischen 10 und 20 mbar vorgestellt werden. Dabei werden neben der Erläuterung des Funktionsprinzips die Ergebnisse von zwei verschiedenen Testständen präsentiert. So werden am Siedekennlinienteststand (grundlagenforschungs-orientiert) die relevanten Bereiche des konvektiven Siedens und des Blasensiedens für verschiedene Oberflächenstrukturen (sandgestrahlt, unbehandelt, säulenstrukturiert und für Kurzmetallfasern, vgl. Abbildung 1) vorgestellt. Am Verdampferteststand (anwendungs-orientiert) hingegen die Messergebnisse für Rohrbündel-Wärmeübertrage. Dabei wurden Rohre mit galvanisch aufgebrachten Mikrostrukturen sowie die Kombination von Mikro- und Makrostrukturen (vgl. Abbildung 2) vermessen und nicht strukturierten Rohren, d.h. einem schlanken Glattrohr, gegenüber gestellt. Ferner wurden Füllstandsvariationen durchgeführt.

Abbildung 1: Oberflächenstrukturen die am Siedekennlinienteststand vermessen wurden

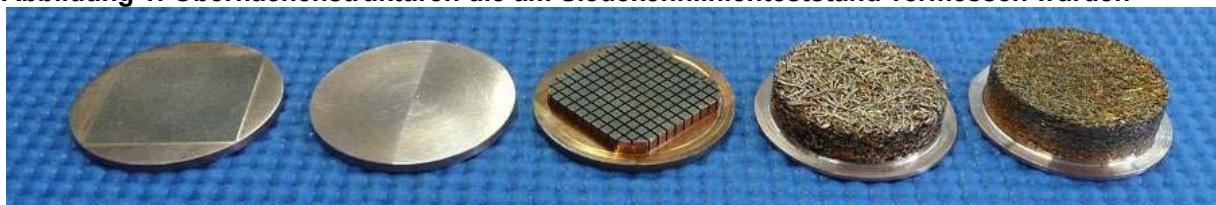


Abbildung 2: Mikro- und Makrostrukturierte Verdampferrohre



## II.1.08

### Air Velocity field and heat transfer coefficients in Batch freezing tunnels

K. N. Widell <sup>(a)</sup>, T. Eikevik

Norwegian University of Science and Technology  
Dep. of Energy and Process Engineering, 7491 Trondheim, Norway  
(a) fax: +47 7359 3950, kristina.n.widell@ntnu.no

The air velocity field inside a freezing tunnel is important for the heat transfer from the products and it highly influences the freezing time. The air velocities are higher in some places and lower in other because of the construction of the tunnel. This leads to different product freezing times inside the tunnel and also inefficient use of the fan energy. The compressors and the fans are the main electricity consumers in a freezing tunnel. The fans are not only using electricity for operation, they also add heat to the freezing tunnel that has to be removed by the refrigeration system. High air velocities are most important in the beginning of the freezing period. Some of the fans could be turned off or the speed of the fan will be reduced after a given period, to save electricity. However, it is challenging to decide when and how much reduction in air flow. This paper presents simulations of the air velocity field with a CFD software. The air velocity field is difficult to measure but simulations give indications of how it works in reality. Models for heat transfer coefficients as functions of air velocity and temperature is also described. These models are meant to be used in a larger simulation model, giving possibility to optimize the operation of a batch freezing tunnel.

## II.1.09

### Untersuchungsergebnisse einer solarthermisch betriebenen 5 kW Absorptionskältemaschine

PD Dr.-Ing. Salman Ajib, Dipl.-Ing. Wolfgang Günther

Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Maschinenbau, Institut für Thermo- und Fluideodynamik

Postfach 100 565, 98684 Ilmenau

Salman.ajib@tu-ilmenau.de

Wolfgang.guenther@tu-ilmenau.de

Die Kältetechnik gewinnt in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Im Bereich der Klimatisierung von Ein- und Mehrfamilienhäusern bieten sich Kälteerzeugungsanlagen im Kleinleistungsbereich bis ca. 5 kW an. Auf dem Markt befindliche herkömmliche Kompressionskältemaschinen arbeiten zwar mit einem relativ hohen inneren Wirkungsgrad, die Antriebsenergie muss jedoch in Kraftwerken verlustreich erzeugt und über weite Strecken transportiert werden. Dem gestiegenen Bedarf entsprechend ist es erforderlich, die notwendige Kälte unter ökologischem Aspekt mit einem möglichst geringen energetischen und ökonomischen Aufwand zu erzeugen. Hier bietet sich besonders eine Absorptionskältemaschine (AKM) , die mit anfallender Abwärme, Solarenergie oder Fernwärme betrieben wird, an.

An der Technischen Universität Ilmenau wurde im Rahmen eines Verbundprojektes mit dem Institut für Luft und Kältetechnik Dresden sowie dem- Energieanlagenbau Westenfeld GmbH (EAW) eine derartige AKM kleiner Leistung entworfen und experimentell untersucht. Ziel war es, eine möglichst kompakte, kostengünstige und zuverlässige Lösung zu finden. Dazu fanden eine Reihe unterschiedlicher Untersuchungen, ausgehend vom Arbeitsstoffpaar über die Auslegung und Gestaltung einzelner Komponenten bis hin zur Beurteilung des Einflusses des Kühlmediums und des Inertgases, statt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass die als Funktionsmuster durch den Industriepartner EAW Energieanlagenbau GmbH, Westenfeld aufgebaute 5 kW AKM mit dem Arbeitsstoffpaar  $H_2O/LiBr$  den geforderten Auslegungsdaten entspricht. So konnte man eine Kälteleistung in Höhe von 4,5 kW bei einer Austreibungstemperatur von 95 °C, Kühlwassertemperatur von 33 °C und Verdampfungstemperatur von 13 °C erreichen. Das Wärmeverhältnis betrug dabei 0,68.

#### Inhaltliche Schwerpunkte des Vortrages sind:

- Bedeutung der solarthermisch betriebenen AKM (energetisch, ökonomisch und ökologisch)
- Stand der Technik (Kurzdarstellung)
- Aufbau der Versuchsanlage
- Hauptuntersuchungsergebnisse, auch an der Berieselungsanlage (neu)
- Ausblick.

**Bemerkung:** Eine Beteiligung der Projektpartner (ILK Dresden und EAW GmbH Westenfeld) ist bei dem Vollbeitrag nachgefragt.

## II.1.10

### **Erfahrungen und Lösungsansätze für Korrosionsprobleme in Absorptionskälteanlagen**

**Steffen Feja**

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

Mit der Entwicklung von Absorptionskälteanlagen geht von Beginn an die Forschung nach dem notwendigen Korrosionsschutz einher. Aufgrund des hohen Elektrolytgehaltes und der damit ausgezeichneten elektrischen Leitfähigkeit der verwendeten Absorptionslösungen kann es binnen kürzester Zeit zu verheerenden Korrosionsproblemen kommen. Deshalb werden hohe Ansprüche sowohl an die für den Betrieb einer Anlage verwendeten Materialien und Reagenzien, als auch an eine saubere Betriebsführung einer solchen Anlage gestellt.

Der Vortrag befasst sich mit Problemen, die das Korrosions-, aber auch das Betriebsverhalten von Absorptionskälteanlagen umfassen. Anhand von mehreren Beispielen werden Erfahrungen, welche durch die Analyse der Absorptionslösungen gewonnen werden konnten, dargelegt. Lösungsansätze werden angesprochen und der Erfolg der Modifizierungen der Sole oder in Änderungen bei der Betriebsführung der jeweiligen Anlagen werden diskutiert. Abschließend wird eine einfache Methode zur Reinigung von metallbelasteten Absorptionskältelösungen erklärt und anhand von chemischen Untersuchungen ausgewertet.

## II.1.11

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

**T. Koller (Dipl.-Ing.), M. Zetzsche, T. Brendel, H. Müller-Steinhagen**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
Tel.: 0049-711-685-69446, Fax: 0049-711-685-63503  
E-mail: koller@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 die Kühlung von 5 Räumen im Institutsgebäude mit Kühldecken, einen Eisspeicher und die Absorptionskältemaschine mit einem Trockenkühlsystem.

Nach Messungen und Tests im Labor wird die Anlage im Sommer 2009 über mehrere Monate im konstanten Betrieb unter realen Lastfällen gefahren.

Im Vortrag werden daher die ersten Langzeiterfahrungen veröffentlicht. Es werden Messdaten aus der Kühlperiode vorgestellt und verschiedene Betriebsstrategien

abhängig vom Lastfall näher erläutert. Das aktuelle Kühlkonzept wird detailliert vorgestellt. Eine besondere Rolle spielt dabei die Be- und Entladung des Eisspeichers und eines Kaltwasserspeichers, die eine Deckung des Kältebedarfs in den Räumen zu jeder Tageszeit sicherstellen sollen. Außerdem wird die Funktions- und Betriebsweise der Anlage anhand von Messdaten beschrieben.

Die Steuerung der Anlage erfolgt über speicherprogrammierbare Steuerung. 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.

### II.1.12

#### **Untersuchung eines Absorptions-Wärmepumpen-Prozesses mit teilweise mischbaren Arbeitsstoffen**

**O. Kotenko, H. Moser, R. Rieberer**

Institut für Wärmetechnik – Technische Universität Graz  
Inffeldgasse 25/B, A 8010 Graz, Austria  
Fax: +43 316 873 7305, e-mail: [oleksandr.kotenko@tugraz.at](mailto:oleksandr.kotenko@tugraz.at)

In diesem Artikel wird ein Überblick über einen Absorptions-Wärmepumpen-Prozess mit teilweise mischbaren Arbeitsstoffen gegeben. Dieser stellt eine Alternative zu konventionellen Absorptions-Wärmepumpen-Prozessen dar und kann als Absorptions-Wärmetransformator verwendet werden.

Grundsätzlich geht es bei diesem Prozess darum, dass die Arbeitsstoffe eine Mischungslücke aufweisen und deshalb, (bei bestimmten thermodynamischen Bedingungen) durch Entmischung in flüssiger Phase voneinander getrennt werden können. D. h., die Trennung gelingt, ohne dass ein Arbeitsstoff verdampft werden muss. Dadurch sollen die im Austreiber einer konventionellen Absorptions-Wärmepumpe auftretenden Irreversibilitäten verringert werden. Die Anwendbarkeit bezüglich der nutzbaren Temperaturniveaus hängt stark von den verwendeten Arbeitsstoffen ab. Aus der Literatur sind folgende Arbeitsstoffpaare bekannt: Furfural/Wasser, DMF/n-Heptan und DMSO/Zyklohexan.

In diesem Artikel soll das Arbeitsstoffpaar Furfural/Wasser hinsichtlich des möglichen Anwendungsbereites mittels ASPEN Plus Simulationsrechnungen untersucht und diskutiert werden. Dafür werden die binären Parameter des Stoffgemisches aus Literaturdaten berechnet und verschiedene Sensitivitätsanalysen des Kreislaufes durchgeführt.

Aufgrund der Simulationsergebnisse wird das Potential dieses Prozesses bezüglich der Anwendungsmöglichkeiten als Wärmetransformator abgeschätzt und die Randbedingungen für den Betrieb werden diskutiert.

### II.1.13

## **Messtechnische Überprüfung zum Einfluss variabler Volumenströmen auf das Teillastverhalten von Absorptionsanlagen**

**Jan Albers, Annett Kühn, Felix Ziegler**

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, Sek. KT 2,  
Marchstraße 18, 10587 Berlin, Germany  
Tel: +49(0)30/314-25314, Fax: +49(0)30/314-22253  
Email: jan.albers@tu-berlin.de

Das Teillastverhalten von Absorptionskälteanlagen oder –wärmepumpen kann mit Hilfe der Methode von charakteristischen Gleichungen häufig in einem weiten Teillastbereich gut wieder gegeben werden. Durch eine Erweiterung dieses Berechnungsverfahrens können auch variable Volumenströme von Heiz-, Kühl- und Kaltwasser berücksichtigt werden. Dabei ist zwischen verschiedenen Auswirkungen (z.B. Veränderung der treibenden Temperaturdifferenzen, Veränderung der Wärmetransmissionen etc.) zu unterscheiden. In dem Beitrag wird das im letzten Jahr vorgestellte, erweiterte Berechnungsverfahren anhand von umfangreichen Messungen in einem weiten Volumenstrombereich experimentell überprüft und Schlussfolgerungen z.B. für die Anwendung in Regelstrategien erarbeitet.

### II.1.14

## **Erprobung einer KWKK–Anlage zur Stützung elektrischer Netze bei dezentraler Stromerzeugung**

**Prof. Dr.-Ing. Dieter Nordmann, Dipl.-Ing.(FH) Fang Yang**

Labor für thermische Energiesysteme, Fachhochschule Hannover  
Ricklinger Stadtweg 120, D-30459 Hannover

Der Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) – Dezentrale Systeme untersucht u.a. die Voraussetzungen, um mit dezentral aufgestellten BHKW das elektrische Netz auf der 400 Volt – Ebene zu stützen. In einer ersten Stufe der Untersuchungen wurde ermittelt, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, um mit dezentralen Stromerzeugungsanlagen (KWK- Anlagen) eine Netzstützung wirtschaftlich zu ermöglichen. Die Wirtschaftlichkeit ist nur darstellbar, wenn es gelingt, die bei dem Betrieb der KWK- Anlagen zwangsläufig anfallende Wärme ganzjährig – auch in den Sommermonaten – zu nutzen.

Für die Sommermonate ist ein System zu entwickeln, welches auch in der warmen Jahreszeit mit sonst sehr geringen Laufzeiten der BHKW- Anlagen eine hohe Lieferfähigkeit für elektrische Energie ermöglicht. Durch die Erweiterung einer KWK- Anlage mit einer Absorptionskältemaschine (AKM) zur Kraft-Wärme- Kälte- Kopplungsanlage (KWKK) erreicht man eine doppelte Wirkung. Einerseits kann der steigende Kühlbedarf zur Klimatisierung ohne Belastung des Stromnetzes gedeckt

werden und anderseits die Betriebszeit des BHKW im Sommer wesentlich erhöht werden, wodurch die Lieferfähigkeit elektrischer Energie zur gezielten Netzstützung verlängert wird.

Es wurde eine KWKK-Anlage, besteht aus einem Mini-Blockheizkraftwerk, einer Absorptionskältemaschine, zwei thermischen Speicher (warmer und kalter Seite) und einer Trinkwarmwasserstation aufgebaut. Es wird über die ersten Systemuntersuchungen und die Erfahrungen bei zentraler Steuerung der KWKK-Anlage über das Internet berichtet.

**Stichwörter:** Kraft-Wärme-Kopplung, netzorientierte Betriebsweise, Speicher-technologie, Absorptionskältemaschine, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

## II.1.15

### **Parameterstudie zur Stromerzeugung auf Niedertemperaturniveau mittels Organic Rankine Cycle und Kalina Cycle**

**Florian Heberle, Dieter Brüggemann**

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT)  
Universität Bayreuth, Universitätsstraße 30, 95440 Bayreuth  
Tel.: +49 921-55-7163, Fax: +49 921-55-7165,  
email: [florian.heberle@uni-bayreuth.de](mailto:florian.heberle@uni-bayreuth.de)

Der Einsatz binärer Kraftwerke ermöglicht die Nutzung geothermischer Ressourcen und industrieller Abwärme auf einem Temperaturniveau unter 200 °C zur Stromerzeugung. Dabei wird die thermische Energie der Quelle auf einen thermodynamischen Sekundärkreislauf übertragen. Vorrangig stehen hierfür der Organic Rankine Cycle (ORC) und der Kalina Cycle (KC) zur Verfügung.

Im Fall des ORC werden organische Reinstoffe wie Kältemittel oder Kohlenwasserstoffe als Arbeitsmittel eingesetzt, hingegen wird im Fall des KC ein Ammoniak-Wasser-Gemisch verwendet. Der nicht-isotherme Phasenübergang dieses zeotropen Gemisches verspricht eine Steigerung der Effizienz durch eine bessere Anpassung der Temperaturprofile während der Wärmeübertragung, was zu einer Entschärfung der Pinch-Punkt-Limitierung führt.

Jedoch ist die KC-Technologie durch eine Separation vor der Entspannung in ammoniakreichen Dampf und ammoniakarme Flüssigkeit mit einem apparativen Mehraufwand verbunden.

Es wird gezeigt, dass die Wahl des Kreisprozesses nach thermodynamischen Kriterien stark von den vorgegebenen Betriebsparametern wie der Temperatur der Wärmequelle oder den Kondensationsbedingungen abhängt. Durch den Einsatz eines geeigneten Arbeitsmittels oder die Variation der Gemischkonzentration besteht für die betrachteten Technologien ein signifikantes Optimierungspotential, was durch entsprechende Prozesssimulationen und Sensitivitätsanalysen verdeutlicht wird. Ein innovativer Ansatz des ORC zur Wirkungsgradsteigerung stellt zudem der Einsatz von Kältemittelgemischen mit niedrigen Siedepunktsunterschieden und der Verzicht auf eine Separation vor der Entspannung dar.

## II.1.16

### **Eiserzeugung und Eisspeicherung mit Wasser als Kältemittel**

**Dr. Ing. Peter Albring**

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden  
Hauptbereich Angewandte Energietechnik  
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden  
[peter.albring@ilkdresden.de](mailto:peter.albring@ilkdresden.de), Tel: 0351-4081 700

Eine ideale Ergänzung zur Kaltwassererzeugung für Klimatisierungsaufgaben ist die Eisspeicherung zur Deckung kurzzeitiger Spitzenlastanforderungen. Bekannte Eisspeicherverfahren verdampfen das Kältemittel mindestens 10 K unterhalb der Gefriertemperatur und arbeiten demzufolge mit schlechten Leistungszahlen. Allein die Eiserzeugung durch direkte Verdampfung von Wasser als Kältemittel, im Vakuum, arbeitet mit Verdampfungstemperaturen von nur 1...2 K unter dem Gefrierpunkt.

Im ILK Dresden wurde eine Kältekaskadenstufe zur Eiserzeugung mit Wasser als Kältemittel, bestehend aus Direktverdampfer, Wasserdampfturboverdichter und Eisspeicherbehälter entwickelt. Bei Verdampfungstemperaturen wenig unter dem Gefrierpunkt kristallisiert ein Teil des in den Verdampfer eingesprühten Wassers. Im angeschlossenen Speicherbehälter wird das Gemisch aus Wasser und Eis aufkonzentriert.

Bei maximalen Eiskonzentrationen um 50% ist die Speicherdichte um den Faktor 7 höher als in einem normalen Kaltwasserspeicher. Bei Beladung der Speicher in Zeiten geringen Kältebedarfs, bei geringer Kondensationstemperatur, werden für die Eiserzeugung Leistungszahlen im Bereich der normalen Kaltwassererzeugung erreichbar. Im Beitrag wird über die Ergebnisse einer Versuchsanlage im ILK Versuchsfeld, bestehend aus Wasserdampfturboverdichter, Direktverdampfer mit 50 kW Ladeleistung und angeschlossenem 600 kWh Eisspeicher berichtet.

## II.1.17

### **Zum Phasenverhalten von Wasser im Kältemittel Kohlendioxid**

**Rudolf Eggers, Daniel Köpke, Roland Engberg**

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Thermische Verfahrenstechnik/Wärme- und Stofftransport  
21073 Hamburg  
[r.eggers@tu-harburg.de](mailto:r.eggers@tu-harburg.de)

Mit dem Ersatz von fluorierten Kohlenwasserstoffen als Kältemittel in Kältekreisläufen rückt CO<sub>2</sub> neben anderen Alternativen immer mehr in den Fokus. CO<sub>2</sub> hat ein Global Warming Potential (GWP) von 1, während Tetrafluorethan (R-134a) ein GWP von 1430 besitzt. Neben dem Einsatzgebiet von CO<sub>2</sub> in größeren Kälteanlagen industriellen Maßstabs, besteht für CO<sub>2</sub> das Potenzial, auch in PKW-Klimaanlagen zum Einsatz zu kommen. Für die Zuverlässigkeit der CO<sub>2</sub>-Kälteanlage ist es wichtig,

sicherzustellen, dass das Kältemittel weitgehend wasserfrei ist und es auch während des Betriebs zu keiner Wasserakkumulation im Kältekreislauf kommt. Dieses Wasser kann sich in bestimmten Anlagenteilen ansammeln, ohne dass es zunächst zur Verschlechterung des Anlagenverhaltens kommt. Dabei besteht das Risiko, dass sich das Wasser in Form von Eis oder Hydraten als feste Phase ablagert. Zur Vermeidung solcher Probleme wird von der IOR ein Wassergehalte von <15ppm als „Code of Practice“ empfohlen.

Zum einen gibt es neben den Erfahrungswerten keine Grundlage für diese Festlegung, zum anderen muss sichergestellt werden, dass ein Grenzwert nicht nur bei der Befüllung und Inbetriebnahme, sondern über die gesamte Betriebsdauer der Anlage vor allem in kritischen Komponenten eingehalten wird. Aus der Praxis ist bekannt, dass sich Wasser im CO<sub>2</sub>-Kreislauf befindet und in einigen Anlagenteilen vermehrt sammelt. Bis heute gibt es keine systematischen Untersuchungen, die Aufschluss darüber geben, wie sich Wasser in CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen verhält, in welchen Bereichen es zur Akkumulation kommt und welche Komponenten besonders kritisch für den Anlagenbetrieb sind.

Im Vortrag wird deshalb das Phasenverhalten im System CO<sub>2</sub> – Wasser in dem für Kälteanlagen relevanten Druck- und Temperaturbereich einschließlich der Bildung von Hydratphasen veranschaulicht. Daraus werden Positionen im CO<sub>2</sub> Kältekreislauf abgeleitet, die für die Bildung von Hydrat oder die Ansammlung von freiem Wasser gefährdet sind. Darüber hinaus soll auch auf die Kinetik der möglichen Phasenänderungen eingegangen werden.

## II.1.18

### **Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) zur Untersuchung von Kältemaschinenölen und Kältemittel-Öl Gemischen**

**Steffen Feja, Joachim Germanus**

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

Mit der dynamischen Differenzkalorimetrie (engl.: Differential Scanning Calorimetry (DSC)) können in Kälteanlagen auftretende thermische Effekte an Kältemittel-Öl-Systemen sehr gut nachgewiesen werden. Zwischen Proben- und Referenzmaterialien auftretende Temperaturdifferenzen bei exo- oder endothermen Vorgängen in Arbeitsstoffen beim Erstarren, Schmelzen, Kristallisieren oder Verdampfen sind mit dieser Methodik detektierbar. Im Gegensatz zur Differentialthermoanalyse (DTA) wird bei der DSC die Temperaturdifferenz nicht direkt als Messsignal verwendet, sondern auf den Wärmestrom als Messgröße geschlossen. Die verwendete MICRO DSC VII der Firma SETARAM nutzt dabei das Verfahren der dynamischen Wärmestromdifferenzkalorimetrie. Dieses Verfahren wird um einen dreidimensionalen Sensor (DSC nach Calvet) erweitert, um den gesamten Wärmefluss der Probe zu erfassen. Mit dieser Messmethodik können wichtige Erkenntnis über die Abhängigkeit der Wärmekapazität von Temperatur, Druck und Zusammensetzung eines Kältemittel-Öl-Gemisches für die Auslegung von Kälteanlagen gewonnen werden.

Der Autor präsentiert ausgewählte Ergebnisse von DSC-Untersuchungen zur Bestimmung der Wärmekapazitäten von Kältemaschinenölen. Am Flockpunkt und Stockpunkt der untersuchten Öle kam es zu thermischen Effekten. An Praxisbeispielen werden der Einfluss von Additiven auf den Flockpunkt diskutiert sowie die Möglichkeiten und Grenzen beim Nachweis von Ausscheidungen im Kältekreislauf mittels der DSC erläutert.

### II.1.19

## **R22 – Ersatz: Auswirkungen auf den Ölhaushalt in der Kälteanlage**

**Christian Puhl, Wolfgang Bock**

FUCHS EUROPE Schmierstoffe GmbH  
Friesenheimer Str. 15, 68169 Mannheim  
[christian.puhl@fuchs-europe.de](mailto:christian.puhl@fuchs-europe.de)

Ab 2010 ist die Verwendung von R22 Frischware EU-weit untersagt. Die verfügbaren Mengen an wiederaufbereitetem R22 werden absehbar nicht zum weiteren Betrieb der bestehenden Anlagen ausreichen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Kältemittelwechsels für viele Betreiber. Mögliche R22-Alternativen sind bereits etablierte HFKW-Kältemittel wie R507 oder R404A (Retrofit-Verfahren mit Ölwechsel). Daneben werden Kältemittel mit Kohlenwasserstoffanteil wie R422A/D oder R417A aufgrund ihrer ausgelobten Eignung zum Einsatz ohne Ölwechsel (Drop-in-Verfahren) empfohlen.

Der Beitrag stellt die unterschiedlichen Kältemittelkonzepte unter dem Gesichtspunkt des Ölhaushaltes der Kälteanlage dar und gibt Hilfestellung bei der praktischen Umrüstung von R22-Kreisläufen. Kenngrößen, wie z.B. eine ausreichende Mischbarkeit zwischen Kältemaschinenöl und Kältemittel über einen möglichst großen Konzentrations- und Temperaturbereich zur Sicherstellung einer verlässlichen Ölzirkulation und eines unbeeinträchtigten Wärmeübergangs, werden aufgezeigt.

Andere für den Verdichter relevante Aspekte, die sich aus der Wahl des Kältemittel/Öl-Systems ergeben, sind die spezifische Verdünnung des Schmierstoffes und die Schmierungseigenschaften unter Kältemittelatmosphäre d.h. bei Praxisbedingungen im Kältekreislauf. Diese Eigenschaften, die für den Verschleißschutz im Verdichter mit entscheidend sind, werden anhand von Beispielen erläutert.

Ein kurzer Ausblick zeigt außerdem R22-Alternativen aus der Gruppe der natürlichen Kältemittel. Obwohl eher für Neuanlagen interessant, können in Einzelfällen auch CO<sub>2</sub> oder reine Kohlenwasserstoffe wie Propan/Propen mit entsprechenden, geeigneten Schmierstoffen verwendet werden, wenn der dafür notwendige Umbau der Kälteanlage betriebswirtschaftlich Sinn macht.

## II.1.20

### **Naturumlauf-Abtauung einer CO<sub>2</sub>-Luft/Wasser-Wärmepumpe**

**Dipl.-Ing. Julia Mildenberger, Dipl.-Ing. Kai Kosowski, Dr.-Ing. Nicholas Lemke,  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler**

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Thermodynamik  
Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig  
j.mildenberger@tu-bs.de

Wärmepumpensysteme mit Luft als Wärmequelle besitzen bei niedrigen Umgebungstemperaturen verbunden mit einer hohen Feuchtigkeit der Außenluft häufig das Problem der Verdampfervereisung. Der Eisanwuchs am Verdampfer führt im Allgemeinen zu einer Erniedrigung der Heizleistung, im schlimmsten Fall sogar zum Erliegen des Wärmepumpenkreislaufes. Um dies zu verhindern, ist eine periodische Abtauung des Verdampfers unumgänglich.

Der hier vorgestellte Einsatz eines Naturumlaufs für eine verdichterlose Verdampferenteisung stellt ein neues, bislang noch nicht realisiertes Abtauverfahren dar. Belegt durch experimentelle Ergebnisse wird gezeigt, dass sich das neuartige Verfahren sowohl im Hinblick auf Abtauleistung wie auch -geschwindigkeit konkurrenzfähig gegenüber gängigen Verfahren der Verdampferabtauung präsentiert. Hierbei werden sowohl stationäre als auch transiente Messungen an einer Versuchsanlage vorgestellt.

**Stichworte:** Wärmepumpe, Verdampfervereisung, Naturumlauf, Abtauung, R 744, CO<sub>2</sub>

## II.1.21

### **Energieeffizienz mittels Druckhaltung und Entgasung**

**Dipl.-Ing. Hans-Friedrich Bernstein**

KOREX GmbH, Lilienthalstraße 5, 82205 Gilching

Auf dem Fachgebiet der Kühlung wird Wasser als Kälteträger genutzt. Wasser ist nicht nur das billigste und effektivste Kälteträgermedium, sondern es ist auch überall auf unserem Kontinent vorhanden. Wasser besitzt eine komplizierte Struktur und nimmt Lösungen aus der Umgebung auf, mit denen es in Berührung kommt. Wasser kann der Natur also nicht als reines H<sub>2</sub>O entnommen werden. Neben den alkalischen Mineralien transportiert und absorbiert es Gase, wie z.B. Sauer- und Stickstoff.

## II.1.22

### **Kältetechnische Verfahren zur Meerwasserentsalzung**

**Dr.-Ing. Bodo Burandt, Dr.-Ing. Peter Albring**

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

Wasser ist das wichtigste Nahrungsmittel. Da das Trinkwasserdargebot auf der Erde ungleich verteilt ist, kommt es vor allem in ariden Klimagebieten zu Wassermangel. Über 500 Millionen Menschen in 31 Ländern leiden an Wasserknappheit oder Wassermangel. Ebenso ungleich verteilt ist der pro Kopf-Wasserverbrauch, zwischen 25 l/Tag in Indien und 3.100 l/Tag in Südkalifornien.

Die Trinkwassererzeugung durch Entsalzung von Meer- und Brackwasser hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Zurzeit sind weltweit Entsalzungsanlagen mit einer Kapazität von ca. 36. Mio. m<sup>3</sup>/Tag installiert. Aktuelle Marktanalysen erwarten jährliche Zuwachsraten von mindestens 1,5 Millionen m<sup>3</sup>/Tag.

Zwei Haupttechnologien zur Trinkwasseraufbereitung aus Meerwasser haben sich im Laufe der Zeit auf dem Markt etabliert. Zum einen die Destillation und auf der anderen Seite die Membrantechnik (Umkehrosmose). Die wichtigsten Destillationsverfahren sind insbesondere die mehrstufige Entspannungsverdampfung (MSF) und die Multi-Effekt-Destillation, wobei der Prozess durch Wärme (Abwärme) getrieben werden kann oder durch mechanische Energie, mit Dampfstrahlverdichtern oder Turbo-Verdichtern.

Die den Energiebedarf und die Wasserkosten bestimmenden Komponenten von Destillationsverfahren sind Verdampfer/ Kondensatoren. Im Allgemeinen werden hier Rohrbündelwärmeübertrager eingesetzt. Das ILK entwickelte ein Meerwasserentsalzungssystem im Rahmen von Forschungsprojekten mit berieselten Platten-Verdampfer-Kondensatoren aus AlMg3. Sie erreichen Wärmedurchgangskoeffizienten von 3.500 W/(m<sup>2</sup>\*K). Durch Hintereinanderschalten von mehreren Verdampfer-Kondensator-Effekten wird der spezifische Energieverbrauch reduziert. Für ein System mit zwei Effekten wurde ein neuer Wasserdampfturboverdichter mit Ansaugvolumenströmen zwischen 10 bis 20 m<sup>3</sup>/s entwickelt und getestet. Die Spezifischen Energieverbräuche unterschiedlicher Entsalzungsverfahren werden gegenübergestellt.

**Stichwörter:** Meerwasserentsalzung, Plattenwärmeübertrager, Verdampfer-Kondensator, Turboverdichter

## II.2.01

### **Einflüsse der Raumgeometrie auf die Wurfweite von Luftkühlern**

**Dipl. Ing. Heinz Jackmann**

Güntner AG & Co KG,  
Hans Güntner Straße 2-6, 82256 Fürstenfeldbruck  
Tel. : 08141 / 242-0, Mobil: 0172/8940114  
mail: h.jackmann@guentner.de

Als Wurfweite eines Luftkühlers bezeichnet man die Entfernung zum Luftkühler in der noch eine mindest- Luftgeschwindigkeit von 0,5 – 0,25 m/s im Zentrum des eindringenden Luftstrahls messbar ist. Die Angaben in den Datenblättern der Luftkühler basieren auf Messungen unter idealen Bedingungen und enthalten keine Korrekturfaktoren für die Raumgeometrie und die Temperatur der eingeblasenen Luft.

Die angegebenen Wurfweiten der Hersteller werden in der Praxis oft nicht erreicht, weil niedrige Raumhöhen die Wurfweite reduzieren oder die Temperaturdifferenz zwischen dem eindringenden Luftstrahl und der Raumluft ein vorzeitiges Ablösen der Strömung an der Decke bewirkt. Deshalb ist die individuelle Abschätzung der Eindringtiefe eines Luftstrahls in einen Raum nur möglich unter Berücksichtigung der Raumgeometrie, der Luftabkühlung und der Einbauten.

Basierend auf theoretischen Berechnungen und Labormessungen haben wir ein Berechnungsmodell entwickelt das es ermöglicht die Eindringtiefe eines Luftstrahls in Räumen mit unterschiedlicher Geometrie zu bestimmen. Dabei werden die Einflüsse der Raumgeometrie ebenso berücksichtigt wie die Einflüsse durch die niedrige Temperatur der eingeblasenen Luft.

Die Messung der Luftströmungen im Raum stellt hohe Anforderungen an die Messtechnik.

Bei unseren Labormessungen haben wir mit modernen Messmethoden die Geschwindigkeit und die Richtung der Luftströmung in jedem Messpunkt erfasst und in ein Strömungsmodell übertragen.

In der Präsentation zeigen wir den Einfluss der Raumgeometrie und der Luftabkühlung auf die Wurfweite bei Luftkühlern und einen Vergleich der Messungen mit den Ergebnissen aus unserem Berechnungsmodell.

## II.2.02

### **Ventilatoren für Luft-Wasser-Wärmepumpen**

**Joachim Dietle**

Ziehl-Abegg AG  
74653 Künzelsau; Heinz-Ziehl-Straße  
[joachim.dietle@ziehl-abegg.de](mailto:joachim.dietle@ziehl-abegg.de)

Luft-Wasser- und Luft-Luft-Wärmepumpen beziehen Ihre Energie aus der Umgebungsluft. Aufgrund Ihrer einfachen Installation, insbesondere bei bestehenden Objekten, werden Sie immer beliebter.

Technisch betrachtet ist diese Wärmequelle jedoch nicht unkritisch. Temperaturspreizung oder Luftfeuchtigkeit sind hier nur zwei nennenswerte Beispiele.

Um dem Ziel einer hocheffizienten und geräuscharmen Wärmepumpe näher zu kommen, muss besonderes Augenmerk auf den Ventilator gelegt werden. Die Einbindung ins Gesamtsystem Wärmepumpe spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Anhand physikalischer Grundlagen und Untersuchungen werden zunächst die Rahmenparameter und das Optimierungspotential aufgezeigt. Anschließend werden die Vorteile der neuen EC-Ventilatoren „ECblue“, speziell für die Anwendung in Wärmepumpen, dargestellt.

**Stichworte:** Wärmepumpe, Ventilator, Energieeffizienz, Akustik, EC

## II.2.03

### **Innovativer Verflüssiger für die Haushaltskältetechnik**

**Dipl.-Ing.(FH) Carsten Heinrich**

ILK, Dresden  
[carsten.heinrich@ilkdresden.de](mailto:carsten.heinrich@ilkdresden.de), Tel.: 0351-4081637

In der Haushaltskälteindustrie stellen statisch belüftete Verflüssiger aus rundem Stahlrohr mit Drahtpaketen oder Blechen zur Oberflächenvergrößerung seit Jahrzehnten den Stand der Technik dar. Nachteilig an diesem Konzept ist die inhomogene Verteilung der Oberflächentemperatur.

Durch die Anwendung von MPE-Rohren lässt sich eine gleichmäßig hohe Temperatur über die gesamte luftseitige Oberfläche erreichen. Im Vortrag wird die Entwicklung eines statisch belüfteten MPE-Rohr-Verflüssigers für Haushaltskältegeräte (HKG) vorgestellt. Bestandteile des Vortrags sind theoretischen Untersuchungen, wie z.B. CFD-Simulation zum Einfluss der Geometrie und dynamische Simulationen zum Einfluss auf das Kältekreislaufverhalten. Die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen werden durch Messdaten aus zahlreichen Messreihen auf dem Komponentenprüfstand wie auch im Geräteeinsatz untermauert.

Zusammenfassend werden die hiermit verbundenen Möglichkeiten zur Energieeffizienzsteigerung von HKG dargelegt.

## II.2.04

### **Energiekostenoptimierung und Steigerung der Kühleffizienz durch fachgerechte Reinigung von Luftkühlern und Kühlregistern**

**Dipl.-Biol. Rüdiger Schlenk (t.o.)**

Nalco Deutschland GmbH  
Ludwig-Landmann-Str. 405, D-60486 Frankfurt  
E-Mail: rschlenk@nalco.com

Verschmutzte Luftkühler zur Kühlung von Prozessen und für RLT-Anlagen sowie die Heiz-/Kühlregister in RLT-Anlagen können schon nach wenigen Betriebsjahren neben hygienischen Problemen auch hohe wirtschaftliche Kosten erzeugen. Durch Ablagerungen auf den Lamellen werden mikrobiologische Vorgänge gefördert und der Wärme- bzw. Kälteübergang stark eingeschränkt. Es entstehen erhebliche unnötige Energiekosten. Moderne und effektive Reinigungsmethoden, welche die Lamellenpakete bis in den „Kern“ reinigen sind hier eine echte Alternative. Verbesserte Wärmeübergänge an den Luftkühlern führen zu geringeren Betriebskosten an den Kältemaschinen und durch zu einer signifikanten Reduzierung der Freisetzung von Kohlendioxid. Der Vortrag gibt eine Übersicht zu der Problematik und stellt die effiziente Reinigung sowie die daraus resultierende Verbesserung der Wärmeübergänge an Praxisbeispielen vor.

## II.2.05

### **Performance of Vapor Compression Systems with Liquid Flooding and Regeneration**

**Ian Bell, Eckhard A. Groll\*, James E. Braun**

Purdue University  
School of Mechanical Engineering, Ray W. Herrick Laboratories  
140 S. Martin Jischke Drive, West Lafayette, Indiana 47907, USA

\*Corresponding Author, E-mail: groll@purdue.edu

Vapor compression refrigeration technology has seen great improvements over the last several decades in terms of cycle efficiency through a concerted effort of manufacturers, regulators, and research engineers. As the standard vapor compression systems near idealized operation, alternative means must be investigated to increase cycle efficiency and capacity. One possible means of increasing cycle efficiency is to flood the compressor with a large quantity of oil to

achieve a quasi-isothermal compression process, as well as adding a regenerator to increase refrigerant subcooling.

The addition of oil flooded can provide a significant increase in system efficiency over the standard vapor compression system. In addition, the efficacy of liquid flooding increases as the temperature lift of the system increases. Therefore, this technology is particularly well suited to lower evaporating temperatures and high ambient temperatures. While the effects of liquid flooding are most pronounced for low evaporating temperatures and high ambient temperatures, liquid flooding of the compressor for typical air-conditioning temperatures is still worthwhile. For the beneficial effects of liquid flooding to be realized, a regenerator is required to exchange heat between the gas coming out of the evaporator and the liquid exiting the condenser.

With the addition of compressor liquid flooding and regeneration, the increase in efficiency for R410A at typical air-conditioning applications is 4%, and 15% at typical freezer temperatures. The impact of liquid flooding and regeneration is even more significant for cycles employing CO<sub>2</sub> as the refrigerant.

## II.2.06

### CO<sub>2</sub>-Gaskühler mit microox®-Technologie

Dr. Josef Riha

Güntner AG & Co. KG  
Hans-Güntner-Straße 2-6, 82256 Fürstenfeldbruck

In der mobilen Klimatechnik haben sich in den letzten zwei Jahrzehnten die Microchannel-Wärmeaustauscher durchgesetzt. In der stationären Kälte- und Klimatechnik werden heute jedoch fast ausschließlich lamellierte Wärmeaustauscher mit Kupferrohren und Aluminiumlamellen eingesetzt. Diese Situation beginnt sich erstmals mit der Einführung von microox®-Wärmeaustauschern zu ändern.

Kohlendioxid ist schon lange Zeit als Kältemittel bekannt. Bereits 1850 schlug Alexander Twining in seinem britischen Patent Kohlendioxid als Kältemittel vor. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Eigenschaften stellen für die Komponenten der Kälteanlage neue Herausforderungen dar. Dies gilt vor allem für die Verdichter, Expansionsventile und für die Verflüssiger/Gaskühler.

Der Einsatz von microox®-Wärmeaustauschern in der CO<sub>2</sub>-Technologie stellt wegen der hohen Drucklage und der hohen Kältemittel-Eintrittstemperatur eine weitere Herausforderung dar. Durch das geringere Füllvolumen, das geringe Gewicht, die hohe Effizienz und die – im Vergleich zu herkömmlichen Wärmeaustauschern – gleichgebliebenen Kosten ist diese Technologie für R744-Verflüssiger und -Gaskühler optimal geeignet.

**Stichworte:** CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> microox®-Gaskühler, Füllmengenreduzierung, Effizienz

## II.2.07

### **Eine neue Generation von Luftkühlern für Betrieb mit Ammoniak**

**Ing. Stefano Filippini, Ing. Umberto Merlo**

LU-VE SpA,  
21040 Uboldo, Varese, Italien  
Fax 0296780560, [sales@luve.it](mailto:sales@luve.it)

LUVE hat in letzter Zeit einige Tests zum Verhalten von Luftkühlern durchgeführt, um die Reibbildung besser zu verstehen und die Produktleistungsfähigkeit zu verbessern. Kriterien für die Entwicklung sind Leistung, Luftdurchsatz und Oberfläche. Objektiv ist es, für jeden Anwendungstyp ein Produkt mit zahlreichen Leistungsverhalten bei sauberer Oberfläche und Reibbildung zu liefern.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Anfertigung eines Produktes, dessen internes Volumen (d.h. die Ammoniakmenge) 30% niedriger ist als heute auf dem Markt verfügbar.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit von LUVE konzentrierte sich hauptsächlich auf die Bestimmung der notwendigen Leistung, des Luftdurchsatzes und der Oberfläche.

Unser Ziel war daher höchstmögliche LEISTUNGSFÄHIGKEIT unter tatsächlichen Betriebsbedingungen. Dank dem Einsatz von CFD-Software und umfassenden Labortests wurde eine neue Wärmetauschergeometrie entwickelt, die bei der Reibbildung gute Leistung bringt und die Lamellenoberfläche entsprechend nutzt. Die Oberfläche hat mehrere Turbulatoren für eine perfekte aerodynamische Konfiguration. Ihrer Definition wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet, und es wurde eine mikrofotografische Bewertung der lamellierten Turbulatoren durchgeführt, die deutliche Reibbildung auf der Lamellenoberfläche zeigte.

Dieser Aufsatz beschreibt detailliert die CFD-Software-Analyse, Versuchsmethode, Versuchstätigkeit und die Ergebnisse dieser bedeutenden Entwicklung.

**Stichwörter:** Ammoniak, Luftkühler, Wärmetauscher, Leistungsfähigkeit, CFD-Software

## II.2.08

### **Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln**

**Dr.-Ing. Ole Fredrich, Dr.-Ing. Dieter Mosemann**

GEA Grasso GmbH, 13509 Berlin

In zahlreichen industriellen Prozessen stehen Wärmen zur Verfügung, die wegen ihres Temperaturniveaus nicht mehr direkt nutzbar wären und in die Umgebung abgeführt werden. Gleichzeitig müssen Prozesse z.B. in der Lebensmittelindustrie gekühlt werden und hinterlassen ebenfalls Abwärmeströme, die die Umgebung belasten. Diesen Aufgaben stellt sich die industrielle Wärmepumpe, die ganz

erheblich zur Energie- und Emissionseinsparung beitragen kann. Dabei spielt der Einsatz der natürlichen Kältemittel  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$  eine zunehmende Rolle, die die Anwendung neben der Energieeinsparung auch im Hinblick auf die direkte Umweltbelastung durch Herstellung, Gebrauch und Entsorgung des Kältemittels besonders umweltfreundlich macht.

Die Anwendungsspezifik des Wärmepumpeneinsatzes ist geprägt sowohl durch die Gegebenheiten und Beschränkungen der Wärmequelle als auch durch die Anforderungen auf der Anwenderseite.

Nutztemperaturen oberhalb von  $65^\circ\text{C}$  erlangen zunehmendes Interesse, wenn die Energieeffizienz der Wärmepumpe einen wirtschaftlichen Betrieb erlaubt. Dafür können auch  $\text{NH}_3$ -Flüssigkeitskühlsätze eingesetzt werden.

Aus einem Vergleich der Anforderungsprofile für eine Wärmepumpe und für einen Flüssigkeitskühlsatz werden die anwendungsspezifischen Unterschiede und daraus resultierenden Verbesserungspotentiale aufgezeigt.

Für einen Einsatzfall einer auf eine Kälteanlage „aufgesetzten“ Wärmepumpe werden Schaltungsvarianten erläutert.

**Stichworte:** Industriewärmepumpe, Ammoniak, natürliche Kältemittel, Praxisbeispiel

## II.2.09

### **"Anwendungen der Thermoplatten" vorwiegend zur transportfähigen Eiserzeugung**

**Prof. Dr.-Ing. Michael Kauffeld<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Hubert de Vries<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Hochschule Karlsruhe

<sup>2</sup> Ingenieurtechnik-Vritex GmbH

Finkenweg 1, 70771 Leinfelden-Unteraichen

Der Vortrag behandelt Fortschritte in der Herstellung von Thermoplatten, die eine stetige Erweiterung des Einsatzes in der Kälte- und Kryotechnik erhält. Gleichzeitig wird auf praktische Möglichkeiten hingewiesen, welche Anwendungen für Kälte- und Kryotechnische Systeme möglich sind. Die Eiserzeugung mit Thermoplatten zeigt auf Grund der Wölbung einen wahren Fortschritt! Hier springt das erzeugte Eis förmlich von der Platte ab. Die zersprungene Hohlform dieses dünnen Eises ist ideal geeignet für die Kühlung von Lebensmitteln sowie für Anwendungen, wo der Abtauleistung Priorität beigemessen wird. Um die Thermoplatte, speziell entworfen für die Eisherstellung, eine funktionelle Lebensdauer zu gewährleisten, haben die dazu passenden Kältesysteme eine spezielle Bauart. Vor allem wird die Erzeugung von transportfähigen Eis gewährleistet. Der weitere Fortschritt besteht darin, in dem die Abtauleistung sich von allen anderen Eiserzeugungen abhebt.

### II.2.10

## **CO<sub>2</sub>-Expander-Kompressor: Weiterentwicklung, Einbindung in die Kälteanlagen und Regelung**

**Mario Wenzel**

Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik  
TU Dresden, 01062 Dresden  
Mario.Wenzel@tu-dresden.de

Beim Einsatz von CO<sub>2</sub> bzw. R 744 entstehen, aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften hohe Kondensationsdrücke. In konventionellen Anlagen werden entsprechend dem Stand der Technik Expansionsventile eingesetzt. Das Kältemittel wird hier isenthalp entspannt, ohne Nutzung der gerade bei einem CO<sub>2</sub>-Kreislauf nicht unerheblichen potentiellen Arbeitsleistung. Die an der TU Dresden entwickelte Expansions-Kompressionsmaschine (ECU) ersetzt das Drosselventil durch eine arbeitsleistende Entspannung und hat das Potential, den Energieverbrauch von R 744-Kälteanlagen an warmen Tagen um ca. 35 % und im Jahresdurchschnitt um etwa 20 % zu senken. Diese Einsparungen konnten bei Feldversuchen direkt beim Kunden nachgewiesen werden.

Bei volumetrischen Maschinen ergibt sich, bei sich ändernden Prozessbedingungen, die Notwendigkeit einer intelligenten Einbindung in den Kältekreislauf, sowie der Regelung einer solchen Maschine. Für eine Supermarktanlage wurde eine Schaltungsvariante erarbeitet. Diese Einbindung wird im Zuge eines AiF- Projektes in einer Versuchsanlage realisiert, in welcher das Verhalten der ECU bei differierenden Prozessbedingungen untersucht und mit dem herkömmlichen Drosselbetrieb verglichen werden kann.

In der vorliegenden Arbeit werden die Einbindung der Expander-Kompressoreinheit und eine mögliche Strategie zur Regelung diskutiert.

Des Weiteren wird der derzeitige Entwicklungsstand der an der TU Dresden entwickelten Expander-Kompressoreinheit präsentiert.

### II.2.11

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

**Christian Tischendorf\*, Ricardo Fiorenzano\*,  
Wilhelm Tegethoff<sup>†</sup>, Jürgen Köhler\***

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

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

Die Druckdifferenz zwischen Hochdruck und Verdampfungsdruck in CO<sub>2</sub>-Kältekreisläufen ist bei überkritischer Prozessführung im Vergleich zu anderen herkömmlichen Kältemitteln sehr hoch. Aufgrund der hohen Druckdifferenz treten

hohe Drosselverluste auf. Die Verwendung eines Expansionsventils bedingt eine isenthalpe Drosselung, was zur Folge hat, dass im Vergleich zu einem isentropen Drosselungsprozess die kinetische Energie des Kältemittelstroms vollständig dissipiert und die Verdampfungsenthalpie reduziert wird. Durch die Verwendung eines Ejektors anstelle eines Expansionsventils werden die Drosselverluste reduziert und ein Teil der kinetischen Energie zurückgewonnen. Mit der zurückgewonnenen Energie kann der Verdichter komprimiert das verdampfte Kältemittel vom mittleren Druckniveau zum Hochdruckniveau und benötigt weniger Antriebsleistung. Von dem der Verdichter energetisch günstiger ansaugen kann. Für das Verhältnis aus angesaugtem Massenstrom und dem Druckunterschied zwischen Verdampfungsdruck und mittlerem Druckniveau gibt es ein energetisches Optimum, welches von den Randbedingungen abhängt. Die Steigerung der energetischen Effizienz aufgrund des durch den Ejektor geschaffenen Druckunterschieds hängt unter anderem auch von der Effizienz der anderen Kreislaufkomponenten und der damit verbundenen Energiedissipationen ab.

Dieser Beitrag präsentiert den Vergleich von Ejektor-Wärmepumpen-Kreisläufen, die mit den Kältemitteln R744, R134a, R290 und R410A betrieben werden und zeigt die detaillierte Analyse der Energiedissipation und der Energieflüsse in einem Ejektor-Kreislauf. Die Analyse erfolgt mit Hilfe von Simulationsmodellen, die in der Sprache Modelica erstellt und in der Bibliothek TIL zusammengefasst wurden.

Anhand der Analyse wird gezeigt, wie sich die Energiedissipation in den einzelnen Komponenten auf die energetische Effizienz auswirkt und wie hoch sie für die untersuchten Kältemittel im Vergleich zu R744 sind.

**Stichworte:** Wärmepumpe; Ejektor-Kälte-Kreislauf; Simulation; Energiedissipation; Energetische Effizienz; R744; R134a; R290; R410A

## II.2.12

### Example for Systematic Optimization of a Thermal System: Top-mount Refrigerator

**Abdullah Alabdulkarem, Vikrant Aute, Reinhard Radermacher**

Center for Environmental Energy Engineering, University of Maryland  
College Park, MD 20742 USA  
raderm@umd.edu

Optimization of thermal system is usually handled in a way where a designer improves the design until he/she runs out of time or the design fulfills most requirements. In this presentation we propose the use of multi-objective, multi-variable optimization algorithms using a household refrigerator as example. A refrigerator consists of a vapor compression system that cools a cabinet. In order to optimize a refrigerator for initial cost and energy consumption, an optimization study was conducted including vapor compression system components and the cabinet since both affect cost and energy efficiency. At preliminary design values for the vapor compression cycle, and using a UA-based model for a top-mount cabinet, the baseline refrigerator manufacturing cost and daily energy consumption were obtained. An optimization was performed then under due consideration of cost and

performance of all cycle components and including the cabinet with a range of wall thicknesses. Because the two objectives, cost and energy efficiency, conflict with each other, a trade-off solution in form of a Pareto optimal set was found.

Major improvements were achieved in both objectives. One of the systems on the Pareto set with the same system cost as the Baseline was found with 37% less energy consumption.

Another system with the same energy consumption as the Baseline was obtained at 8.8% reduction in system cost. The present paper demonstrates the value of a systematic, systembased optimization approach integrated with cost data to effectively meet optimization objectives.

### II.2.13

#### **Geschichte der Kältemittelverdichter**

**Dipl.-Ing. Adalbert Stenzel**

Alle drei Systeme zur Kälteerzeugung, wie Kaltdampfmaschine, Absorptionsmaschine und Kaltluftmaschine waren nach Plank Mitte des 19ten Jahrhunderts schon bekannt - Absorptionsmaschine und Kaltluftmaschine wurden schon erfolgreich industriell eingesetzt.

Die Bemühungen von Jakob Perkins, James Harrison oder Charles Tellier, die Kaltdampfmaschine breiter anzuwenden, waren jedoch weitgehend gescheitert. - Linde erkannte den besonderen Vorteil der Kaltdampfmaschine für die Erzeugung der „künstlichen Kälte“. Er schrieb 1871 die Abhandlung „Verbesserte Eis- und Kühlmaschine“ und erhielt in der Folge den Auftrag, eine solche Maschine zu entwickeln. Nach anfänglich großen Problemen, insbesondere wegen mechanischer Unzulänglichkeit seiner ersten Konstruktion, so wie Undichtigkeiten und Explosionsgefahren, wählte er im dritten Anlauf einen liegenden, doppeltwirkenden Wechselstromverdichter mit Kreuzkopf, Kolbenringen und Stopfbuchsabdichtung für seine Versuche. - Diese Konstruktion brachte mit dem Kältemittel NH<sub>3</sub> den Durchbruch der Kaltdampfmaschine und dominierte den Markt der Industriekühlung über Jahrzehnte. - Erst in den 50er Jahren des letzten Jahrhundert wurden schnelllaufende Mehrzylinder-Kolbenverdichter für den industriellen Bereich entwickelt, die allerdings heute, in Folge verbesserter Fertigungsmethoden, zum Großteil durch Schrauben- und Turboverdichter abgelöst wurden.

Wesentlich dynamischer verlief die Entwicklung der Kleinkälteverdichter für Haushalt und gewerblichen Bereich. Anfänglich wurde die liegende Ausführung der Industrieverdichter mit Kreuzkopf einfach kopiert, die Verdichter aus Platzmangel jedoch senkrecht gestellt. Diese Ausführung war, wie die Industrieverdichter sehr wartungsbedürftig, bedingt durch Stopfbüchse und Kreuzkopfschmierung. Um die Gefahren durch Undichtigkeiten und den Aufwand für tägliche Wartungsarbeiten zu vermeiden, kamen schon bald, auch aus heutiger Sicht sehr interessante hermetische (1905) und halbhermetische (1915) Lösungen auf den Markt, die damals allerdings zumeist noch recht aufwändig oder ineffizient waren. Erst durch die Entwicklung neuer, für Menschen ungefährlicher und für die verwendeten Materialien neutraler Kältemittel gelang es 1926, wirtschaftlich interessante hermetische Verdichter für Haushalt, Gewerbe und Klima zu entwickeln. - Auch in diesem Bereich haben verbesserte Fertigungsmethoden die Tendenz zu Drehkolbenverdichtern

verstärkt. Heute dominieren spezialisierte hermetische Kolben-, Rollkolben- und Spiralverdichter in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Zum Schluss wird ein Ausblick auf mögliche Entwicklungen der Zukunft gegeben.

### II.2.14

#### **Optimierte Verdichter für künftige Supermarktanwendungen**

**Dipl.-Ing. (FH) Rainer Pelzl**

Bitzer Kühlmaschinenau GmbH  
Eschenbrünnlestr. 15, D-71065 Sindelfingen

Klimaveränderungen und begrenzte fossile Energieressourcen erfordern einen effizienteren Umgang mit Energie. Kältemittel und damit betriebene Kälte- und Klimaanlagen stehen dabei in zweifacher Hinsicht im Brennpunkt der Betrachtung. Zum einen haben die heute häufig eingesetzten Kältemittel einen direkten Einfluss auf den weltweiten Treibhauseffekt, wenn sie unkontrolliert in die Atmosphäre entweichen. Zum anderen hat die Wahl des Kältemittels einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf einer Kälteanlage und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Austoss. Ein entsprechendes Lösungskonzept können z.B. Hybridlösungen darstellen. Diese Systeme sind als Kaskaden aufgebaut, in der Tiefkühlstufe wird als Kältemittel das umweltneutrale CO<sub>2</sub> eingesetzt. In der Normalkühlstufe bietet sich R134a mit niederen Drucklagen und günstigem GWP aus heutiger Sicht als beste Lösung im Bereich der FKW's an. Diese Kombination ist im Hinblick auf einen geringen TEWI-Wert so wie eine gute Ökoeffizienz momentan als nahezu ideal anzusehen.

Um die Ökoeffizienz dieser Anlagen weiter zu steigern, entwickelt BITZER seine Produktpalette zielgerecht weiter. Während in der Tiefkühlstufe eine bewährte Baureihe subkritischer Verdichter zur Verfügung steht, wurde für die Normalkühlstufe nun eine spezielle Baureihe für Kältemittel R134a entwickelt. Der Einsatzbereich dieser neuen Verdichtertypen wurde hin zu niedrigeren Verflüssigungstemperaturen und damit zu besseren Jahresleistungszahlen optimiert.

Die Überlegungen und Gründe zur Entwicklung der neuen Baureihe, die Umsetzung und die Entwicklungsschritte sowie erste Erfahrungen mit den neuen Verdichterbaureihen werden aufgezeigt und erläutert.

**Stichwörter:** TEWI-Wert, Ökoeffizienz, CO<sub>2</sub>/R134a Hybrid-Technik, optimierte R134a-Verdichterbaureihe

## II.2.15

### **Effizientere Leistungsregelung von Schraubenverdichtern**

**Dipl. Ing. Rainer Große-Kracht**

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH  
Eschenbrünnlestrasse 15, 71065 Sindelfingen

Schraubenverdichter werden seit vielen Jahren in industriellen Anwendungen und Flüssigkeitskühlsätzen mittlerer und großer Leistung eingesetzt. Die Leistungsanpassung erfolgt bei großen Schraubenverdichtern im Wesentlichen durch Schieberregelung und bei kleineren Schraubenverdichtereinheiten durch Abschaltung einzelner Verdichter in einer Parallelschaltung. In den letzten Jahren wurde die Leistungsregelung von Schraubenverdichtern alternativ mittels Drehzahlanpassung mit Frequenzumrichtern eingeführt. Durch diese Regelung konnte eine hohe Effizienz der Verdichter in einem weiten Drehzahlband erreicht werden. Trotz der Inverter- und Motorverluste ergaben sich im Teillastbereich höhere Leistungszahlen als bei schiebergeregelten Verdichtern.

Bei der Auswahl von Systemen und Komponenten steigt die Bedeutung der Teillastwirkungsgrade immer mehr, da die meisten Anlagen den überwiegenden Teil des Jahres in Teillast betrieben werden.

Neue Entwicklungen in der Schraubenverdichtertechnologie werden daher nicht vornehmlich auf den Volllastbetrieb optimiert, sondern berücksichtigen die besonderen Anforderungen im Teillastbetrieb. Diese Vorgehensweise führt zu Wirkungsgradsteigerungen im Teillastbereich, wie sie bisher nur durch Drehzahlregelung erreicht wurden. Dies ermöglicht besonders bei Flüssigkeitskühlsätzen und reversiblen Wärmepumpen eine bessere Einstufung in Zertifizierungsprogrammen wie zum Beispiel nach EUROVENT.

Eine neue Serie von Kompaktschraubenverdichtern von 195 bis 1120m<sup>3</sup>/h (bei 50Hz Betrieb) wurde speziell für die Anforderungen in Flüssigkeitskühlsätzen entwickelt. Dabei wurde neben der Effizienzsteigerung im Volllastbetrieb besonderer Wert auf eine deutliche Wirkungsgradverbesserung im Teillastbetrieb und die Erweiterung der Einsatzgrenzen in Richtung niedriger Verflüssigungstemperaturen gelegt.

Neben der Entwicklung der Verdichter ist die transparente Darstellung der Leistungsdaten im Voll- und Teillastbereich eine neue herausfordernde Aufgabe für die Hersteller geworden. Die neue Version der BITZER Software ermöglicht die Auslegung von Parallelschaltungen mit bis zu 6 Verdichtern und Flüssigkeitskühlsätzen mit mehreren Kreisläufen inklusive der korrekten Berechnung des ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) nach EUROVENT oder individuellen Vorgaben.

## II.2.16

### **Zweistufige Ammoniakanlage vs. Einstufige Ammoniakanlage**

**Staatl. Geprüfter Kältetechniker Thomas Murschel**

N. V. Mayekawa Europe S. A. Zweigniederlassung Deutschland  
Nürnberger Straße 118; 97076 Würzburg  
thomas.murschel@mayekawa.de

Immer wieder stellt sich in der Praxis die Frage, welche Vorteile –bzw. Nachteile eine zweistufige Kälteanlage mit Economiser gegenüber einer einstufigen Kälteanlage mit Economiser hat. Dieser Vortrag stellt sich dieser alltäglichen Fragestellung. Bei der Projektierung der Verdichter wurde von einem realen Projekt ausgehend, die wichtigsten Kenndaten und Unterschiede ermittelt.

Es wurde auf fundierter Art und Weise eine interessante Gegenüberstellung erstellt. Es handelt sich um eine spezifische Darstellung, deren Ergebnisse nur bedingt übertragbar sind. Trotzdem ist eine klare Tendenz bzw. Resultat sichtbar. Aufgrund des hohen Preiskampfes im deutschen Kälteanlagenbau, werden meist effiziente Lösungen durch Billiglösungen ersetzt. Die Investitionsfrage -bzw. Preis haben heute einen hohen Einfluss, auf die Ausführung der Kälteanlage. Meist werden effiziente Anlagen in der Kostenbetrachtung einseitig gesehen. Schlussendlich wird meist die technisch bessere Lösung aufgrund des hohen Preisdrucks gestrichen. Es soll hiermit klar die Vorteile aber auch die Nachteile beider Systeme betrachtet werden. In der heutigen Zeit unter Berücksichtigung des wichtigen Aspekts der Energieeinsparungen, dient diese Ausarbeitung zur Veranschaulichung der signifikanten Unterschiede.

Auch konstruktiv, wird eine interessante Verdichter Ausführung vorgestellt, die schon seit mehr als 40 Jahren eingesetzt wird und kontinuierlich weiter entwickelt wurde. Die Wirtschaftlichkeit, COP Werte, Betriebskosten, Installationskosten, Regelbarkeit und finanzielle Renditen, werden in dieser Betrachtung berücksichtigt und dargestellt. Für Betreiber oder Anlagenbauer ist es ein nutzvoller Vergleich und Ansatz, um für zukünftige Projekte eine entsprechende Abwägung und Entscheidung treffen zu können.

**Stichwörter:** 2-stufiger-Compound Verdichter, Amortisation, Effizienter COP

## II.2.17

### **Möglichkeiten des Volumenstrommanagements an Hubkolbenkompressoren in der Anwendung**

**Simon Ahlers, Andreas Boni**

TEKO Gesellschaft für Kältetechnik mbH, Altenstadt

In der Anwendung von Kaldampfkompressionsmaschinen sind Anlagen mit unterschiedlichen Kühlstellenausprägungen (Anzahl und Leistungsbereich) gegeben.

Dadurch stellen sich im jeweiligen Betriebszustand wechselnde Leistungsanforderungen an den/die Verdichter. Neben den energetischen Effekten ist zusätzlich auch die Warenqualität zu fokussieren. Zweckmäßig sind möglichst konstante Temperaturdifferenzen, die indirekt über Volumenstromanpassung durch Techniken am Verdichter erreicht werden.

Dieser Vortrag wird verschiedene Volumenstrommanagement- Lösungen vergleichen und Effekte der Effizienzsteigerung analysieren und hervorheben. Dabei wird beispielhaft auf die Anforderungen im Lebensmitteleinzelhandel eingegangen.

**Schlüsselwörter:** Drehzahlsteuerung, Zylinderbankschaltung, Zylinderabschaltung, Leistungsregelung

## II.2.18

### **Teil A: Bestimmung des Abscheidegrades von Ölabscheidern unterschiedlicher Bauart**

**Christian Köpp**

ESK Schultze GmbH & Co. KG, Velten

Im Rahmen der allgemeinen Diskussionen hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Energiekosten von technischen Anlagen werden Konzepte zur Verbesserung der Energieeffektivität von Kälteanlagen entwickelt. Neben der verfügbaren Kälteleistung ist der COP eine wesentliche Kennzahl von Kälteanlagen. Die Hauptkomponenten im Kaltdampfkältekreislauf sind Verdichter, Ölabscheider, Verflüssiger, Expansionsventil und Verdampfer. Um den COP einer Kälteanlage zu erhöhen, müssen die einzelnen Komponenten weiter entwickelt und optimiert werden. Hinsichtlich der Berechnung und Auslegung, sowie der Weiterentwicklung von Ölabscheidern ist es unumgänglich zu wissen, wie hoch der Abscheidegrad eines Ölabscheidens an verschiedenen Betriebspunkten der Kälteanlage ist. In der Literatur sind bis heute keine verbindlichen Definitionen bzgl. des Abscheidegrades eines Ölabscheidens vorhanden. Die Definition ist im Wesentlichen dem Hersteller überlassen. ESK hat im Rahmen eines Forschungsprojekts Ölabscheider mit vergleichbaren Leistungsangaben, mit jedoch unterschiedlichen konstruktiven Lösungen vermessen, sowie Untersuchungen zu Neuentwicklungen durchgeführt.

### **Teil B: Prüfstand zur Vermessung von Ölabscheidern**

**Peter Rölling**

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Dresden

Im ILK Dresden wurde ein Messprüfstand entwickelt und gebaut, mit dem der Abscheidegrad von kältetechnischen Ölabscheidern bei unterschiedlichen Bedingungen hinreichend genau bestimmt werden kann.

Die relativ einfache und praktikable Ermittlung des Abscheidegrades basiert im Wesentlichen auf mehrere simultane Massenstrommessungen mit Coriolis-Messgeräten.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde eine Vielzahl von Ölabscheidern vermessen, dabei hat der Messprüfstand seine Funktionalität erfolgreich nachgewiesen.

Neben der Ölabscheider-Vermessung ist es mit dem Prüfstand prinzipiell auch möglich, die Ölwrurfraten von Verdichtern bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu ermitteln.

### II.2.19

## Überblick zum Nachweis der Wirksamkeit von Kühlungsmöglichkeiten kleiner Kolbenverdichter

**Stephan Lehr**

TU Dresden - Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik  
01062 Dresden

Gegenstand der Untersuchungen sind einstufige, luft- bzw. wassergekühlte Hubkolbenverdichter mittlerer Baugröße, wie sie in kältetechnischen und pneumatischen Anwendungen zum Einsatz kommen. Diese haben das Problem räumlich eng beieinander liegender Saug- und Druckkammern, welche nur durch eine, im Betrieb heiße Wand getrennt sind. Durch den intermittierenden Betrieb treten teils erhebliche Geschwindigkeiten mit entsprechendem Wärmeübergang in den Kammern auf. Saugseitig führt das zu bekannten und ungewollten bzw. unnötigen Effekten der Sauggasaufheizung, mit entsprechender Wirkung auf den Energiebedarf und die Förderleistung des Verdichters. Druckseitig wiederum ist die Wärmeübertragung durch kleine Flächen begrenzt. Hier aber ist eine Wärmeabfuhr und damit Abkühlung des Gases, z.B. aus Lebensdauergründen nachfolgender Bauteile erwünscht oder wegen einer zweiten Stufe mit internem Zwischenkühler notwendig.

Die vorliegende Arbeit behandelt am Beispiel eines einstufigen Luftverdichters einen Vergleich experimenteller Maßnahmen zur Verringerung der Aufheizung und zur Verbesserung der Kühlung. Hierzu dient als Vergleichsbasis eine Ventilplatten-Zylinderkopf-Kombination, welche sich bereits seit längerem auf dem Markt befindet. Es wird der Frage nachgegangen, ob die vorhandene Geometrie mit ihren geringen Abmessungen in dem Maße verändert/verbessert werden kann, dass ein experimenteller Nachweis unter Berücksichtigung von Fehlertoleranzen möglich wird.

## II.2.20

### **Aktuelle Möglichkeiten und Potenzial von Kälteanlagenschaltungen mit dem Kältemittel R744 (CO<sub>2</sub>)**

**Manuel Fröschle**

Bock Kältemaschinen GmbH, Frickenhausen

In vielen Bereichen ist das Kältemittel R744 (CO<sub>2</sub>) in den letzten Jahren zu einer interessanten Alternative zu herkömmlichen und neuen chemischen Kältemitteln geworden. In den unterschiedlichen Anwendungsbereichen werden dabei ganz verschiedene Anlagenschaltungen eingesetzt und untersucht.

Um die Entwicklung und die Anwendung dieser Kälteanlagen mit R744 (CO<sub>2</sub>) besser zu verstehen, soll dieser Vortrag einige dieser Anlagen betrachten und deren Vor- und Nachteile beleuchten.

## II.2.21

### **Vorstellung eines Leitfadens zur Energieeffizienz bei Tiefkühlhäusern**

**Dipl.-Ing. Michael Weilhart**

Vorsitzender der Technischen Kommission des VDKL  
St.-Ulrich-Str. 24, D-80689 München

Der Kühlhausverband VDKL erstellt in Zusammenarbeit mit dem VDMA den Leitfaden „Energieeffizienz für Tiefkühlhäuser“, der zu diesem Thema Anlagenbetreibern, Kühlhauseigentümern und deren Planern eine praxisgerechte Hilfestellung geben soll.

Erfahrungswerte bei Kühlhäusern als Kältenutzern zeigen auf, dass bei der Energieeffizienzsteigerung die alleinige Betrachtung der Kälteerzeugung das mögliche Potenzial bei weitem nicht ausschöpft. Deshalb beschäftigt sich dieser Leitfaden nicht allein mit der Kälteanlage, sondern berücksichtigt global den gesamten Kühlhausstandort als „Energiezentrum“. Vorgestellt werden Maßnahmen für Bestandsgebäude und für Neubauten.

Im ersten Schritt werden alle Wärmeströme und Wärmelasten auf den zu kühlenden Bereich identifiziert und im Anschluss Vorschläge erstellt, wie diese durch technische oder organisatorische Maßnahmen minimiert und im besten Fall vollständig verhindert werden können.

Im zweiten Schritt erfolgt die Optimierung der Effizienz der Kälteanlage. Das Ziel ist hier, wie bei anderen Kälteanlagen auch, mit möglichst wenig Strombedarf möglichst viel „Kälte“ zu erzeugen, also im physikalischen Sinn das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand bzw. Kälteleistung zu Antriebsleistung zu maximieren.

Speziell bei Kühlhäusern muss vor allem der Kälteanlageneffizienz im Teillastbetrieb ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. Dazu zählt auch, die bei der Kälteerzeugung grundsätzlich anfallende Abwärme wirtschaftlich zu nutzen.

Beurteilungskriterium hier ist der im Arbeitskreis Energieeffizienz des VDMA definierte, exergetische Gütegrad von Kälteanlagen.

**Stichwörter:** Kühlhaus, Energieeffizienz, Leitfaden, Gütegrad, Kälteanlage

## II.2.22

### **Wartung an Industrie-Kälteanlagen aus Sicht des Betreibers**

**Dr.-Ing. Jürgen Brunnenkant**

Ingenieurbüro Brunnenkant Gdbr  
Panoramastraße 6, 69168 Wiesloch

Eine fachgerechte Wartung ist Voraussetzung für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb einer industriellen Kälteanlage.

Die Ausgestaltung von Wartungsverträgen stellt Weichen für den nachhaltigen und energieeffizienten Betrieb einer Kälteanlage sicher.

Der Vortrag spricht die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen von Wartungsverträgen an und geht vertieft auf die Sicht des Betreibers industrieller Kälteanlagen ein. Schwerpunkt liegt auf der Formulierung eines Kooperationsmodells zwischen Wartungsfirma und Betreiber zur gemeinsamen Optimierung und zum wirtschaftlichen Betrieb industrieller Kälteanlagen.

## II.2.23

### **Containment und Monitoring direkter und indirekter Emissionen ozonschädigender und treibhauswirksamer Stoffe in der Kälte- und Klimatechnik**

**Ass. jur. Stefani Wolfgarten, Dipl.-Kfm. Volker Hudetz**

VDKF Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e. V.  
Kaiser-Friedrich-Str. 7, 53113 Bonn

Zur Vermeidung von direkten und indirekten Emissionen ozonschädigender Stoffe hat der Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e. V. (VDKF) eine Software mit Namen VDKF-LEC (Leackage and Energy Control) speziell für Kälte-Klima-Fachbetriebe entwickelt. Diese Software ermöglicht es den Betrieben, alle erforderlichen Aufzeichnungs-, Berichts- und Monitoringvorgaben der europäischen und nationalen gesetzlichen Regelungen abzudecken.

Die Kälte-Klima-Fachbetriebsversion der VDKF-LEC-Software liefert verlässliche Daten aus der Branche und ermöglicht die Protokollierung der regelmäßigen Dichtheitskontrollen. Ausländische Kälte-Klima-Fachbetriebe können die den europäischen Rechtsrahmen abbildende, englische Europaversion nutzen.

Mit der später entwickelten VDKF-LEC-Betreiberversion wurde ein Werkzeug geschaffen, das dem Anlagenbetreiber eine Gesamtlösung seiner Aufzeichnungs- und Meldepflichten sowie eine Übersicht über den Stand sämtlicher Anlagen bietet. Die Monitoring-Version wurde entwickelt, um verlässliche Daten und Informationen aus der Branche für Behörden und für die interessierte Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Es werden z. B. Daten wie Emissionsdaten, CO2-Äquivalente, Daten zur Energieeffizienz und zum Gesamt-Treibhauseffekt (TEWI) erhoben. Diese Daten können dann statistisch in Form von Kältemittelstatistiken, Klimabilanzen oder Ozonbelastungsbilanzen ausgewertet werden.

**Stichwörter:** Aufzeichnungs- und Berichtspflichten, Energieeffizienz, TEWI, Dichtheitskontrollen

### III.01

## Prozessenergienutzung von Supermarkt- Kälteanlage zur Gebäudebeheizung

Alexander Wirsching, Heiko Sittinger

TEKO Gesellschaft für Kältetechnik mbH, Altenstadt

Durch Verknappung fossiler Energieträger und Vorgaben zur Verminderung von Treibhausgasemissionen steigen die Kosten bei der Heiz- und Kälteversorgung. Die in der Kälteerzeugung anfallende „Abwärme“ ist bisher nur bedingt „recycelt“ worden. Moderne Ansätze untersuchen Möglichkeiten, die Prozesswärme aus der Kälteversorgung in einem Supermarkt als Wärmeenergie zur Beheizung des Gebäudes ganzheitlich zu nutzen. Bei Bedarf kann die vorhandene Kälteanlage durch eine Wärmepumpenfunktion, und deren Effekten, erweitert werden.

In diesem Vortrag werden dabei die thermodynamischen, energetischen, umweltrelevanten und wirtschaftlichen Aspekte der Systeme aufgezeigt.

**Schlüsselwörter:** Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe, Heizung, Prozessenergienutzung, Kälte-Wärme-Kopplung

### III.02

## Reduktion des Treibhauspotentials (GWP) und Einsparung von nicht erneuerbarer Primärenergie (PEne) in Supermärkten des Lebensmitteleinzelhandels

Ing. Gerald Hofer, MSc

Hauser GmbH  
Hartmayrgut 4-6, 4040 Linz  
g.hofer@hauser.com

Steigende Energiekosten und erste spürbare Auswirkungen der übermäßigen Erwärmung unseres Planeten haben in den letzten Jahren das Energiebewusstsein in unserer Gesellschaft verändert.

Dies sieht man vor allem bei Wohngebäuden, bei denen die Ausführung als Niedrigenergie- oder Passivhaus immer mehr zum Standard wird.

Bei Sonderbauten, wie Supermärkten gibt es nur vereinzelt sogenannte „Energiespärmärkte“ oder „Ökomärkte“, die zwar mit großem Aufwand errichtet wurden aber in weiterer Folge aus wahrscheinlich wirtschaftlichen Gründen eher selten weiter gebaut werden.

Es wird nachvollziehbar aufgezeigt, wie die Planung eines energieeffizienten Supermarktes funktioniert, welche Berechnungen und Simulationen notwendig sind und wie die sich daraus ergebenden Einsparungen bezogen auf bestehende Supermärkte sein werden.

Einleitend erfolgt eine Information zur Treibhausproblematik und den fossilen Energieträgern.

Eine wichtige Basis um Vergleichskennzahlen zu bekommen ist die Erhebung des Bestandes. Ziel ist es einen österreichischen Standard Supermarkt zu definieren. Dies wird durch die genaue Recherche und Berechnung von zwei bestehenden Supermärkten aus dem Jahre 2007 gemacht. Es zeigt sich, dass die Baukonstruktionen und die Energiekennwerte beider Referenzmärkte ähnlich sind und den landesspezifischen Bauverordnungen entsprechen.

Aus dem Mittel der Berechnungsergebnisse der beiden Referenzstandorte werden ökologische und energetische Kennwerte für den Standard Supermarkt gebildet.

Diese sind

- Graue Energie und Treibhauspotential der Gebäudehülle
- Heizwärmebedarf
- Gesamtenergiebedarf
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
- Treibhauspotential durch Energieverbrauch.

Danach werden die Möglichkeiten einer bauökologischen und energetischen Optimierung eines Supermarktes aufgezeigt. Um einen nachvollziehbaren Vergleich zum Standard zu erzielen wird ein fiktiver optimierter Supermarkt mit der Bezeichnung Optimarkt entworfen und basierend auf dieser Gebäudegeometrie werden die Standard-Kennwerte mit den optimierten Kennwerten gegenübergestellt.

Die erreichten Einsparungen sind nur bei einer integralen Betrachtung des Gebäudes möglich, was ein perfektes Zusammenspiel zwischen Architektur und Gebäudetechnik notwendig macht und die Kernaussage dieses Vortrages sein soll.

**Stichworte:** Energieverbrauch, Supermarkt, Treibhauspotential

### III.03

#### „Conveni-pack“ Marktkonzept im Vergleich mit dem konventionellen Marktkonzept zweier Discountmärkte

**Dipl.-Ing. Oliver Großkopf, Klaus Tadajewski**

DAIKIN Airconditioning Germany GmbH  
Inselkammerstr. 2, D-82008 Unterhaching  
[tadajewski.k@daikin.de](mailto:tadajewski.k@daikin.de)

Für die Supermarktgebäudetechnik in Deutschland stand bisher eine Trennung von Kälte- und Heizungstechnik im Vordergrund, da sich noch keine Lösung am Markt zeigte, dies als Gesamtanlagenkonzept zu vereinen. Im „Conveni-pack“ (CVP) wurde von Daikin ein solches Konzept zur Marktreife gebracht.

Der untersuchte CVP-Markt gleicht in seinem Aufbau und der gebäudetechnischen Ausstattung den beiden konventionellen Referenzmärkten. Die Einsparungen des Conveni-Packs ergeben sich aus der regelungstechnisch ausgereiften Verteilung der aus dem Verdichtungsprozess anfallenden Wärme und der Wärmerückgewinnung aus der Abluft des Marktes.

Untersuchungen in der Verbrauchswertanalyse haben gezeigt, dass mithilfe einer sicheren Datenquelle sehr gute Voraussagen für das zukünftige Anlagenverhalten, in Abhängigkeit der Außentemperatur, möglich sind.

### **Verbrauchswertanalyse**

Anhand der Verbrauchswertanalyse konnte gezeigt werden, dass die umgerechneten Monatsgaswerte der Messwerterfassungssoftware keine große Abweichung zum Versorgungsunternehmen darstellen. Somit sind die Aussagen zumindest für einen der beiden konventionellen Märkte im Gasverbrauch zuverlässig.

Da für die Stromverbrauchswerte keine Vergleichswerte vom Versorgungsunternehmen vorlagen, ist die Beurteilung kritisch zu betrachten. Jedoch sind alle Werte mit dem gleichen Messwerterfassungssystem erhoben wurden, was zumindest intern keine große Abweichung erwarten lässt und eine Verifizierbarkeit der Werte untereinander möglich macht.

Auf der Basis der Tagesverbrauchswerte ergab die Analyse des „Conveni-pack“ eine mittlere Energieeinsparung von ca. 25% gegenüber dem konventionellen Marktkonzept.

### **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Die wirtschaftliche Betrachtung hat ergeben, dass die eingesetzte Mehrinvestition über den Zeitraum von 15 Jahren (Nutzungsdauer nach VDI 2067), durch den Mehrverbrauch an Gas und Strom der konventionellen Anlagentechnik, in einem wirtschaftlichen Rahmen amortisiert wird und Kapital auf-baut.

Der Vortrag geht auf die folgenden Aspekte ein:

- Konventionelle Haustechnik in einem Supermarkt
- Die Konzeptbeschreibung des Conveni-Pack Systems
- Ergebnisse Benchmarking, Verbrauchswert- und Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Erfahrungen bei der technischen Umsetzung des „Conveni-pack“ - Systems in der Praxis.

**Stichworte:** Gebäudetechnik, Klimatisierungstechnik, Wärmerückgewinnung, Wärmeppumpe, Wirtschaftlichkeitsanalyse

### **III.04**

## **Eine neue Generation von condensing units**

**Klaus Tadajewski**

DAIKIN Airconditioning Germany GmbH  
Inselkammerstr. 2, D-82008 Unterhaching  
[tadajewski.k@daikin.de](mailto:tadajewski.k@daikin.de)

Vorgestellt wird eine Serie von Condensing Units im Leistungsbereich von 11 bis 37 KW und Vorlauftemperaturen von -10 °C bzw. Tiefkühlbereich bis 16 KW und -35°C. Die Besonderheit besteht darin, dass diese Units in der Anwendung ähnlich wie Verbundaggregate arbeiten.

Die Anlagen bestehen grundsätzlich immer aus 2 Scroll-Inverter-Verdichtern für eine gleitende Leistungsanpassung. Besonderheit ist hier das spezielle Ölmanagement.

Die Geräte können eingesetzt werden können eingesetzt werden bei Leitungslängen bis 130 Meter und Höhenunterschieden bis 35 Meter.

Die Geräte sind durch Notbetriebseigenschaften auch bei sensiblen Anwendungen im Kältebereich einsetzbar.

### III.05

## **Kaltsoleanlagen für die Lebensmittelkühlung mit dem natürlichen Kältemittel R 723**

**Burkhard Dunst**

Frigoteam GmbH, München  
Kontakt 089 37412671 oder 0175 5223554  
[dunst@frigoteam.com](mailto:dunst@frigoteam.com)

Das Impulsprogramm des BMU fördert mit einem Anteil von 25 % an den Gesamtinvestitionskosten bei Neuanlagen den Einsatz von natürlichen Kältemittel wie NH<sub>3</sub>; R723 oder CO<sub>2</sub>. Diese Anlagen erfordern eine radikal andere Anlagentechnik als bei den bisherigen Kälteanlagen mit Direktverdampfung mit den Kältemittel R134a oder R404A.

Besonders wichtig ist es, bei Kaltsoleanlagen den gesamten Anlagenwirkungsgrad zu betrachten, unter Berücksichtigung der Energieverbräuche für Umwälzpumpen, Ventilatoren und Abtauvorrichtungen, um tatsächlich die CO<sub>2</sub> Belastung der Umwelt wirksam zu reduzieren. Hierbei kommt der Anlagenkonzeption für Kaltsolesysteme eine herausragende Rolle zu.

In dem Vortag werden alle wichtigen Bauteile einer Kaltsoleanlage unter dem Gesichtspunkt der Energieoptimierung vorgestellt und an Hand vom ausgeführten Projekt erläutert. Es wird mittels einer TEWI Berechnung gemäß EN 378-1 nachgewiesen, dass durch ein optimiertes Kaltsolekonzept und durch den Einsatz von natürlichen Kältemittel, diese Anlagen den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, im Gegensatz zu Direktverdampfungssystemen, wesentlich reduzieren und somit nachhaltig unsere Umwelt schonen.

### III.06

## **Das natürliche Kältemittel CO<sub>2</sub>, theoretische Konzeptanalysen und -berechnungen im Einklang mit der Praxis**

**Bernd Heinbokel**

Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH  
Sürther Hauptstr. 173, 50999 Köln  
[bernd.heinbokel@carrier-kt.de](mailto:bernd.heinbokel@carrier-kt.de)

### **Erfahrungen mit der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen**

Für den ersten Supermarkt, ausgerüstet mit dem effizienten CO<sub>2</sub>OLtec<sup>TM</sup> Konzept für das natürliche Kältemittel CO<sub>2</sub>, ist Mitte Juli 2009 der Grundförderbescheid des Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) eingegangen. Dies bedeutet, die Gesamtkosten für die kältetechnische Einrichtung, welche heute deutlich über einem konventionellen Markt liegen, werden nach der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen“ mit 25% gefördert. Die Aufwendungen für die Wärmerückgewinnung sogar mit 35%.

Eines der zentralen Dokumente im Förderantrag ist die Energieeffizienz-/ TEWI-Rechnung, welche durch Carrier, sowie auch durch das unabhängige, wissenschaftliche Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK) in Dresden erstellt werden.

Die wichtigsten Elemente und Ergebnisse dieser Rechnungen zur **Umweltrelevanz (TEWI) der Kältemittel R404A, R134a und CO<sub>2</sub>** werden vorgestellt. Zum Beispiel haben direktverdampfende Supermarktkälteanlagen mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> bei deutschen Klimaverhältnissen einen ca. 5% niedrigeren Jahresenergiebedarf im Vergleich zu Kälteanlagen mit R404A bzw. R134a, bei ansonsten identischer technischer Ausführung, wie z.B. elektronischen Expansionsventilen.

#### **Theoretische Konzeptanalysen und -berechnungen im Einklang mit der Praxis**

Ein belastbarer Konzeptvergleich, wie er vorgestellt wird, kann nur über Mittelwerte aus einer großen Anzahl Installationen je Konzept erfolgen, da der Jahresenergiebedarf des einzelnen Discounters, Super- oder Hypermarktes, auch bei identischer technischer Ausstattung, durch lokale Randbedingungen um 20 - 30% variiert.

Messwerte zum mittleren Energiebedarf der 72 transkritischen Carrier Supermarkt-Installationen in Europa mit über 10.000 kW installierter Kälteleistung (Stand Mitte 2009) sollen vorgestellt und im Vergleich zu HFKW-Märkten bewertet werden.

## III.07

### **Die Entwicklung der Supermarktkälte**

**S. Haaf, Köln**

Im Rahmen der historischen Vorträge wird in der Arbeitsabteilung III „Kälteanwendung“ die Entwicklung der Kältetechnik in Supermärkten betrachtet.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden in Deutschland die ersten Selbstbedienungsläden, die gekühlte Waren zum Verkauf anboten, eröffnet. Die Verbreitung ließ sich nicht aufhalten und ein neuer Wirtschaftszweig der Kältetechnik entstand.

Über die hier eingesetzte Technik und die Entwicklung neuer Technologien für:

- Kühlmöbel, Normal- und Tiefkühlung in allen Formen
- Kälteaggregate, Verbundsysteme
- Direkte und indirekte Systeme
- Kreislaufschaltungen, Kältemittel
- Effizienz

wird ein Überblick gegeben und dargestellt, wohin diese Entwicklungen geführt haben.

**Stichworte:** Supermarkt, Kühlmöbel, Kälteaggregate, Geschichte

### III.08

## **Kältemittel Luft – Chance für Lebensmittelfroster?**

**Olaf Hempel**

Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH

Bei der Untersuchung von natürlichen Kältemitteln wurde auch Luft wieder betrachtet. Theoretische Berechnungen ergaben, dass die Kaltluftmaschine für tiefere Temperaturen und als offener Prozess eine Chance darstellt.

Die Erfahrungen und Ergebnisse bei der Umsetzung für einen Lebensmittelfroster werden vorgestellt und bewertet.

### III.09

## **Entwicklungstendenzen im Kältemittelbereich**

**Dr. Walter Sorg**

DuPont Fluorchemicals, Neu-Isenburg

- Allgemeine Entwicklungstendenzen im Kältemittelbereich
- Einsatz von HFO-1234yf bei der Automobil-Klimatisierung in der EU
- Entwicklungen außerhalb der EU
- Perspektiven für Kältemittel der 3. Generation in stationären Anwendungen.

### III.10

## **Low GWP refrigerant development**

**Dr. Nacer Achaichia, Ruediger Fleischer**

Honeywell  
[Nacer.achaichia@honeywell.com](mailto:Nacer.achaichia@honeywell.com)  
[Ruediger.fleischer@honeywell.com](mailto:Ruediger.fleischer@honeywell.com)

Due to increased pressure to address the issue of global warming, the European Commission through the MAC directive has effectively banned the use of R-134a refrigerant in air conditioning in new car platforms in EU countries starting January 1, 2011. The F-gas regulation is expected to be reviewed and its potential extension to other applications cannot be ruled out.

Honeywell embarked upon a research program to identify fourth generation fluorocarbon chemistry that would incorporate the desired environmental properties, that is, low global warming potential (GWP) with respect to climate change, while maintain-

ing desirable properties and high performance characteristics. Meeting the requirements outlined in the EU F-gas regulation requires GWP less than 150.

These new high performance materials, whilst containing fluorine, are also by their chemical structure classified as olefins, and more specifically hydrofluoroolefins (HFO). Hydrofluoroolefins (HFO's) are a separate and distinct class of materials from the known HFC materials, primarily due to the olefin nature of the molecule and the relatively short lifetime in the atmosphere. HFO-1234ze(E), HFO-1234yf, and the new HFO chemistry under development and commercialisation by Honeywell is fourth generation fluorocarbon technology.

Honeywell identified HFO-1234yf as a new low global warming refrigerant (GWP=4) which has the potential to be a global sustainable solution for automotive air conditioning. HFO-1234yf is a pure compound which is highly energy efficient, exhibits low toxicity in testing to date, and can potentially be used in systems currently designed for R134a with minimal modifications.

HFO-1234yf has vapour pressure and other properties similar to R134a, it can be a potential candidate to replace R134a in many stationary applications.

Another low GWP molecule HFO1234ze (E) has been identified and is currently commercialized by Honeywell, has also potential for refrigeration applications. It is a highly energy efficient HFO molecule, with a GWP of only 6, and a lifetime of 18days. An update on the development of these molecules will made, and potential applications identified, and compared to various HFC currently in use.

### III.11

## **Minderung des Einflusses von Klimaanlagen auf die Umwelt – Perspektiven von INEOS Fluor**

**Dr. Robert Low, Dr. Karsten Schwennesen**

INEOS Fluor Ltd, The Heath  
Runcorn Cheshire WA7 4QX, UK

Die Bedeutung des Erderwärmungspotentials und der allgemeinen Auswirkungen auf die Umwelt stellen die Kälte- und Klimabranche vor große Herausforderungen. Diese werden im Vortrag besonders mit Blick auf mobile Klimaanlagen diskutiert.

Berichtet wird über den neuesten Stand der technischen Entwicklung des neuen Kältemittels AC-4 von INEOS Fluor. Dieses basiert auf der Komponente 3,3,3-Trifluorpropen (HFO-1243zf) mit niedrigem GWP-Wert. Die thermophysikalischen Stoffdaten von HFO-1243zf und von AC-4 werden betrachtet und Ergebnisse neuer Studien zu Leistungsvermögen, Materialverträglichkeit und Verhalten mit Schmierstoffen präsentiert.

Ebenfalls diskutiert werden die Ergebnisse der Testprogramme zu den wichtigen Aspekten Entzündlichkeit und Toxikologie dieses Kältemittels.

Produktionswege und der Bedarf an Rohstoffen und Energie zur Herstellung dieses Kältemittels werden im Vergleich zu R-134a dargestellt.

Die Herausforderung einer weiteren Minderung der gesamten Einwirkungen von Kälte- und Klimaanlagen auch in stationären Anwendungen wird ebenfalls kurz beschrieben und ein Ausblick aus dem Blickwinkel von INEOS Fluor gegeben.

### III.12

## Umkehrbare R744 Wärmepumpen für Schienenfahrzeuge

Dr. Armin Hafner

SINTEF Energy Research  
Trondheim, Norway  
[Armin.Hafner@sintef.no](mailto:Armin.Hafner@sintef.no)

### Background and objective.

Existing Air Conditioning systems use mainly R134a as refrigerant. The global warming potential for this fluid is 1410 times larger than for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) a sustainable alternative. There are possibilities for large green house gas (GHG) emission savings if new air condition systems are developed for certain applications and apply R744 as working fluid. The objective for the paper is to evaluate the potential of applying R744 in reversible heat pumping systems within the train sector.

### The following topics will be considered:

1. Opportunities for use of reversible R744 heat pumps in the (Norwegian and European) transport sector, focusing on trains. Literature survey.
2. Possible system layout and safety requirements for such heat pumping systems, able to achieve and maintain good indoor environment.
3. System simulation, which results in seasonal performance data
4. Compare Life Cycle Climate Performance (LCCP) of reversible R744 heat pumps with existing heat/cooling systems.
5. Discussion of LCCP results
6. Conclusion.

### III.13

## CO2 Air Conditioning und Heizung mit Wärmepumpe im Stadtbus (COACH)

Michael Sonnekalb<sup>1</sup>, Sven Försterling<sup>2</sup>, Wilhelm Tegethoff<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Konvekta AG  
Am Nordbahnhof 5, 34613 Schwalmstadt

<sup>2</sup> TLK-Thermo GmbH  
Hans-Sommer-Straße 5, 38106 Braunschweig

Fast alle Stadtbusse in Europa sind mit Brennstoff-Zusatzheizsystemen ausgerüstet und mehr als die Hälfte mit einer R-134a-Klimaanlage. Seit Mitte der 1990er konnte Konvekta die Machbarkeit und ökologische Überlegenheit von R-744 gegenüber R-134a als Kältemittel in Klimaanlagen für Stadtbusse demonstrieren. Mit einigen zusätzlichen Bauteilen konnte eine dieser CO<sub>2</sub>-Prototypklimaanlagen für einen Stadtbus so umgerüstet werden, dass das System zusätzlich auch im Wärmepumpenmodus arbeiten kann.

Ein umfangreiches Simulationsmodell für das thermische Verhalten eines Stadtbusse wurde entwickelt und evaluiert. Es beinhaltet auch Modelle für den Fahrzeugmotor, die Brennstoff-Zusatzheizung und das Heizungs- bzw. Klimasystem. Messungen und zahlreiche Simulationsrechnungen zeigen die Leistung und Effizienz der Systeme bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen. Unter Berücksichtigung von Klimadaten und eines typischen Fahrzyklus eines Stadtbusse wurde der jährliche Treibstoffverbrauch für ein konventionelles Brennstoff-Zusatzheizsystem und für die CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe berechnet. Die Studie zeigt ökologische und ökonomische Vorteile für die CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe gegenüber einem Brennstoff-Zusatzheizsystem.

#### III.14

### **Experimentelle Untersuchungen zur Erfassung der Ölzirkulation**

**Ullrich Hesse, Thomas Hartmann**

ipetronik GmbH & Co. KG  
Jägerweg 1, 76532 Baden-Baden

Refrigerant vapor compression cycles such as the A/C loop in automotive applications, need secure oil management to omit compressor failures due to lack of oil in the compressor. Future automotive A/C systems will have additional functionalities, will operate under different conditions and may become more complex with different parallel branches. Each of this will make oil management in the cycle more difficult. The determination of oil circulation ratio is one key indicator to judge the circulation and the feed back of the lubricant to the compressor.

For R134a systems the measurement of OCR based on the acoustic velocity in the liquid line have been proven to be a sufficient method. Calibration of the oil refrigerant mixture is mandatory to get the sound velocity as a function of temperature and mass fraction.

For the application in vehicle and online-testing a special version with compact sensor has been developed, which allows normally an installation directly to the car without major modifications to the A/C-loop. A limitation of this sensor based on sound velocity is that it needs full solubility of the lubricant / refrigerant mixture. A phase separation, even if the fluid is perfectly mixed leads to failures.

Besides the process also the solubility of lubricant / R744 mixtures is different than those of lubricant / R134a. A sensor based on the measurement of the sound velocity can not be used for transcritical cycles as there will normally always be two phases in any of the cycle states. A different sensor device is needed. A test loop has been set up, a sensor was tested the results will be discussed.

## **Schaltventile in heutigen und zukünftigen Kfz-Klimaanlagen**

**Dr. Matthäus Wolfarth**

Otto Egelhof GmbH & Co. KG  
Stuttgarter Straße 60, 70736 Fellbach  
e-mail: m.wolfarth@egelhof.com

Neben den klassischen Expansionsorganen in Kfz-Klimaanlagen machen heutige und zukünftige Entwicklungstendenzen bei diesen Anlagen auch mehr und mehr den Einsatz von Schaltventilen notwendig. Hier spielen wachsende Komfortanforderungen und die damit verbundene Einführung eines Heckverdampfers in konventionellen Systemen ebenso eine Rolle wie die zunehmende Hybridisierung der Fahrzeuge, die in der Regel eine sichere Kühlung der Batterien über den Kältemittelkreislauf erfordert. Hinzu kommt mehr und mehr auch die Forderung nach sicherheitsrelevanten Schaltfunktionen, die im Zusammenhang mit der Einführung neuer alternativer Kältemittel diskutiert werden.

Die dafür notwendigen Schaltventile werden sowohl als separate Einheiten als auch als integrierte Zusatzfunktionen in Expansionsventilen realisiert. Ausgehend von der grundsätzlichen Frage nach dem Einsatz eines Normally-Open (NO) oder Normally-Closed (NC) Ventils sind für die verschiedenen Systeme teilweise ganz unterschiedliche Konzepte in der Diskussion.

Im ersten Teil des Beitrags werden die derzeitigen Entwicklungstendenzen in den Fahrzeug-Klimasystemen aufgegriffen und ihre möglichen Auswirkungen auf Konzeption und Auslegung der Kältekreisläufe wird dargestellt. Die daraus abzuleitenden Anforderungen an die Schaltorgane werden besprochen und ihr Einfluss auf Auslegung und Design der Ventile werden diskutiert. Nach der Darstellung konkret ausgeführter Schaltorgane in separaten oder kombinierten Einheiten für verschiedene Anforderungsprofile schließen eine Zusammenfassung der dargestellten Ergebnisse und ein Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungsschwerpunkte den Vortrag ab.

### III.16

## Untersuchung des Teilhubverhaltens eines Schwenkscheibenkompressors für R134a-PKW Klimaanlagen

**Dr. Klaus Martin (ViF) – Kontaktperson \*)**  
**Prof. Dr. René Rieberer (TU Graz, IWT)**  
**Martina Baumgartner (ViF)**  
**Thomas Mönkediek (AUDI AG)**

\*) Virtual Vehicle

Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH (ViF)  
Inffeldgasse 21A, A-8010 Graz/Österreich  
Tel.: +43 316 873-9025, Email: [klaus.martin@v2c2.at](mailto:klaus.martin@v2c2.at)

Der Kompressor der Kälteanlage ist eines der wichtigsten Nebenaggregate eines Fahrzeugs und bietet ein großes Potential für Optimierungen. Insbesondere die Optimierung hinsichtlich der energetischen Effizienz hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Die Regelung der Kälteleistung der Klimaanlage erfolgt bei modernen Anlagen in der Regel mittels Anpassung des Kompressorhubes, sofern der Kompressor vom Motor des Fahrzeugs angetrieben wird und keine Regelung über die Drehzahl möglich ist. Da die Klimaanlage meistens für Extrembedingungen ausgelegt ist arbeitet der Kompressor bei einem Großteil der tatsächlichen Betriebszustände im Teillastbereich. Bei einer Optimierung der energetischen Effizienz der Klimaanlage stellt sich also auch die Frage nach dem Verhalten des Kompressors im Teilhubbetrieb.

Dieser Beitrag zeigt die experimentelle Untersuchung eines R134a-Schwenkscheibenkompressors im Teilhubbetrieb. In diesem Zusammenhang wird die Auswirkung des reduzierten Hubes auf die Kompressorwirkungsgrade detailliert betrachtet und die Auswirkungen auf die Wirkungsgrade diskutiert.

Die am Versuchsstand ermittelten Kennfelder bilden die Basis für ein Simulationsmodell des Kompressors, das auch das Teilhubverhalten detailliert berücksichtigt. Das Kompressormodell kann in eine Kreislaufsimulation eingebunden werden, so dass mit verhältnismäßig geringem Aufwand zahlreiche Variantenstudien zum Systemdesign durchgeführt werden können. Ziel der umfassenden Berücksichtigung des Teilhubverhaltens des Kompressors ist die Verbesserung der Qualität der Simulationsergebnisse.

**Klimatische Daten und Pkw-Nutzung  
(Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung,  
Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte-/Heizanlagen  
in Europa und den USA)**

**N. C. Strupp(a), N. C. Lemke(a), M.E. Kling(a), J. Köhler(a),  
C. Böttcher(b)**

(a) Technische Universität Braunschweig,  
Hans-Sommer-Straße 5, Braunschweig, 38106, Germany  
+49(0)531-3917814, [n.strupp@tu-bs.de](mailto:n.strupp@tu-bs.de)

(b) Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT),  
Westendstraße 61, Frankfurt/Main, 60325, Germany

Kälte-/Heizanlagen für Pkw werden nach klimatischen Extremwerten ausgelegt, damit auch unter diesen Bedingungen der thermische Insassenkomfort gewährleistet werden kann. Für einige Fragestellungen sind jedoch nicht die Extremwerte, sondern vielmehr die durchschnittlichen, das Fahrverhalten berücksichtigenden äußeren Betriebsbedingungen von Interesse. Daten dieser Art fehlten bisher. Diese Lücke schließt die in diesem Vortrag vorgestellte Studie, die für die Forschungsvereinigung Automobiltechnik (Arbeitskreis Klimatisierung) durchgeführte wurde.

Im Rahmen dieser Präsentation wird ein Matlab basiertes Modell vorgestellt, das Bevölkerungsdichte und Fahrverhalten gewichtete Pkw Nutzungsbedingungen (Temperatur, relative Feuchte, diffuse Solarstrahlung) liefert. Die genutzten Eingangsdaten (meteorologische Daten, Daten zur Pkw-Nutzung, Daten zur Bevölkerungsdichteverteilung), sowie deren Verarbeitung im Modell werden diskutiert.

Es werden exemplarisch Ergebnisse einer Anwendung des Modells auf die geographischen Bezugsräume Europa und USA vorgestellt.

Der Einfluss von unterschiedlichen Nutzungsprofilen auf die erzielten Ergebnisse wird dabei detailliert diskutiert. Des Weiteren wird mit Hilfe der objektorientierten Modelica Bibliothek TIL die Auswirkung unterschiedlicher repräsentativer geographischer Räume auf den Energieverbrauch einer Automobil-Klimaanlage gezeigt.

### III.18

## **Betrachtungen zum Jahresenergieverbrauch von Schienenfahrzeug-Klimaanlagen und Möglichkeiten der Reduzierung**

**Dipl.- Ing. Lutz Boeck, Dipl.- Ing. Lars Hiesche,  
Dipl.- Ing. Jens P. Hirschmann**

Faiveley Transport Leipzig

Ein wesentliches Ausstattungsmerkmal moderner Schienenfahrzeuge heute sind Klimaanlagen zur Schaffung komfortabler Umgebungsbedingungen für die Reisenden. War dieses Ausstattungsmerkmal in der Vergangenheit vor allem HGV und Reisezugwagen vorbehalten, so sind heute auch Regionalfahrzeuge bis hin zu Straßenbahnen zunehmend damit ausgerüstet.

Mit dem breiten Einzug der Klimatisierung in die Fahrzeuge wird dem Jahresenergieverbrauch für die Klimatisierung zunehmend mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Insbesondere bei Kurzstreckenfahrzeugen mit energetisch optimierten Antriebs- Rückspeisessystemen erreicht der Energiebedarf für die Klimatisierung Größenordnungen von ca. 25% des Gesamtenergiebedarfes eines Fahrzeuges.

Im Beitrag werden Ergebnisse von Berechnungen des Jahresenergieverbrauches für verschiedene Klimaanlagenkonfigurationen vorgestellt. Dazu wird ein Softwaretool vorgestellt mit dem der Nutzer die Möglichkeit hat, betriebliche Parameter wie Einsatzort, Fahr- und Besetzungsregime zu variieren. Neben diesen betrieblichen Parametern werden die auslegungsrelevanten Parameter entsprechend der normativen Vorgaben berücksichtigt. Auf die Parameter und ihre Berücksichtigung im Berechnungsmodell wird im Vortrag eingegangen.

Nach der Darstellung von Ergebnissen zum Jahresenergieverbrauch wird auf Möglichkeiten der Reduzierung eingegangen. Verschiedene Varianten wie Luft-/Luft-Wärmepumpe, Wärmerückgewinnung aus der Fortluft oder die bedarfsabhängige Lüftung werden diskutiert. Den theoretischen Betrachtungen werden erste Ergebnisse aus dem realen Betrieb gegenübergestellt.

Dabei wird die Relevanz hinsichtlich des Kühl- und Heizbetriebes individuell betrachtet, da z.B. für Mittel- und Nordeuropa das wesentlich größere Potential zur Energieeinsparung und damit zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Heizbetrieb liegt.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Simulation und Betrieb werden abschließend Schlussfolgerungen hinsichtlich der Anwendbarkeit der energieverbrauchsreduzierenden Maßnahmen für verschiedene Einsatzbedingungen und Fahrzeugtypen gezogen und sinnvolle Kombinationen der verschiedenen Varianten diskutiert.

**III.19**

**HACCP für wärmegedämmte Transportkühlfahrzeuge – Ist das möglich?**

**Rudolf Glück**

TÜV Süd Industrie Service GmbH –ATP Prüfstelle

Riedlerstraße 57, 80339 München

E-Mail: [atp-pruefstelle@tuev-sued.de](mailto:atp-pruefstelle@tuev-sued.de)

**Gesetzliche Grundlagen**

- Anforderungen an den Hersteller von wärmegedämmten Aufbauten
- Anforderungen an den Hersteller von Kältemaschinen und Verdampfern
- Innenreinigung Beispiele vorher/ nachher
- Zertifizierung neu und in Betrieb

## IV.01

### Überlegungen zur Raumluftfeuchte unter sommerlichen Bedingungen

**Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke**

Institut für Luft- und Kältetechnik, Gemeinnützige Gesellschaft mbH

Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

Email: [Uwe.Franzke@ILKDresden.de](mailto:Uwe.Franzke@ILKDresden.de)

Die Aussagen über behagliche Raumluftzustände im Sommer weisen insbesondere beim Feuchtegehalt eine beachtliche Streuung auf. Im Kern geht es darum, welchen Anteil an der Wärmeregulation des Körpers die Verdunstung übernehmen kann. Bei erhöhten Raumtemperaturen muss die Verdunstung einen größeren Anteil übernehmen. Dafür muss ein ausreichend großer Partialdruckunterschied zwischen der Hautoberfläche und der Raumluft vorhanden sein. Neben dem Partialdruckunterschied ist auch der Widerstand der Kleidung gegenüber Diffusion des Wasserdampfes zu berücksichtigen. Theoretische Überlegungen, wonach sich der Partialdruck an der Hautoberfläche nahezu bei Sättigung – entsprechend der jeweiligen Hautoberflächentemperatur – als behaglich einstellt, scheinen sich anhand erster experimenteller Untersuchungen nicht zu bestätigen. Im Sinne der thermischen Behaglichkeit muss das Schwitzen als Überreaktion des Körpers auf eine mangelnde Wärmeabgabe verhindert werden. Dazu werden theoretische und experimentelle Überlegungen vorgestellt.

## IV.02

### Gesunde Raumkonditionen für Schulen

**M. Schmidt**

Universität Stuttgart

## IV.03

### **Exergetische Bewertungsverfahren für die Heiz- und Raumlufttechnik**

**Dipl.-Ing. Alexander Hoh, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center  
RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen  
alexander.hoh@eonerc.rwth-aachen.de

## IV.04

### **Zur Geschichte der Raumklimatechnik** - 50 Jahre Abteilung IV: Klimatechnik im DKV -

Prof. Dr.-Ing. Klaus Fitzner  
Klimakonzept Ingenieurgesellschaft

Wichtige Schritte auf dem Weg der Raumklimatechnik: erst die Technologie. Lavoisier (1792) zerlegt die Luft und misst die Kohlendioxidproduktion des Menschen, Pettenkofer wendet 1858 die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Luftqualitätsmaßstab an, feuchte Luft wird mit Molliers Diagramm 1923 besser berechenbar, mit Fanger werden ab 1970 Maßstäbe für „behagliches Klima“ thermisch und luftqualitätsmäßig gesetzt. Am Luftqualitätsmaßstab wird noch gearbeitet.

Dann die Technik: 1836 gibt es schon im Haus of Commons in London eine Klimaanlage mit allen Klimafunktionen: Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten und Filtern, Quelllüftung! Der Elektromotor wird um 1900 anwendbar und damit Kältemaschinen und noch wichtiger, Ventilatoren. Gebäude wie der Reichstag in Berlin (1894) erhalten Vollklimaanlagen. Die großflächige Anwendung beginnt in den USA in den 1930er Jahren, in Deutschland kriegsbedingt erst nach 1950. Vor 50 Jahren wurde im DKV eine eigene Abteilung (IV) Klimatechnik eingeführt! Anfangs werden amerikanische Klimasysteme übernommen, um 1970 gibt es Weiterentwicklungen in Deutschland und Nordeuropa.

## IV.05

### **Möglichkeiten und Grenzen von turbulenzarmer Verdrängungsströmung in Operationsräumen**

**Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann,  
Co-Autoren: Prof. Kurt Hildebrand, Dipl.-Ing. Pascal Sturny**

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann  
Beuth Hochschule für Technik Berlin  
FB IV, Luxemburger Str. 10, 13353 Berlin  
[kuelpmann@beuth-hochschule.de](mailto:kuelpmann@beuth-hochschule.de)

In OP-Räumen mit höchsten Anforderungen an die Luftreinheit sind nach DIN 1946/4 großflächige Zuluftdurchlässe mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV) zu installieren. Seit langem besteht ein großer Forschungsbedarf zur Frage, wie gut die Verdrängungswirkung und damit Schutzwirkung im sterilen Bereich der Wunde und auf den Instrumententischen noch ist, wenn praxisübliche Bedingungen vorliegen.

Hierzu werden seit mehreren Jahren an der Hochschule Luzern systematische Forschungen durchgeführt. Dabei erfolgte eine umfassende Variation von der Anordnung und Ausbildung der Zu- und Abluftdurchlässe und Musterlasten im Schutzbereich. Die resultierenden Schutzwirkungen der Verdrängungsströmungen wurden mit Hilfe eines standardisierten Partikelmessverfahrens ermittelt, das in der DIN 1946/4 und der Schweizer Richtlinie SWKI 99-3 genau beschrieben ist.

Der Vortrag gibt eine Übersicht über die Möglichkeiten und Grenzen von optimierten Verdrängungslüftungskonzepten für OP-Räume der Raumklasse Ia. Dabei wird insbesondere auf die Auswirkung von typischen Raumlasten (feststehend und bewegt) und medizinischen Geräten eingegangen.

Es zeigte sich, dass ein TAV-Zuluftdurchlass mit einem hohen Kernstromgebiet gegenüber den Randzonen (Differenzialflow-Profil) in der Lage ist bei üblichen Betriebsbedingungen im Schutzbereich eine noch deutlich bessere Lüftungswirksamkeit zu erzielen als in OP-Räumen mit Mischlüftung.

## IV.06

### **Modellierungsansätze für Lochbleche in Luftdurchlässen**

**Dipl.-Ing. Martin Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center  
RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen

[martin.schmidt@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:martin.schmidt@eonerc.rwth-aachen.de)

Die numerische Strömungssimulation ist in der Lüftungstechnik ein wichtiges Werkzeug, das neben Experimenten einen detaillierten Einblick in die Strömungsvorgänge

liefert, die sich innerhalb der raumluftechnischen Komponenten abspielen. In sehr vielen Bauteilen, insbesondere Luftdurchlässe wie Drall- und Schlitzdurchlässe, werden Lochbleche zur Vergleichmäßigung der Strömung eingebaut.

Die detailgetreue Abbildung jedes einzelnen Loches eines Lochbleches ist nicht empfehlenswert, da dies zu sehr großen numerischen Berechnungsgittern und damit zu sehr langen Rechenzeiten führt. Alternativ können Lochbleche als poröses Medium modelliert werden, allerdings muss dieser Ansatz insbesondere in komplexen Geometrien kritisch geprüft werden.

Der einfachste Ansatz für die Modellierung von Lochblechen ist die Einführung von isotropen Impulsquellen, die der Strömung einen definierten, richtungsunabhängigen Druckverlust aufprägen. Als eine Erweiterung dieses Ansatzes kann statt mit isotropen Impulsquellen mit richtungsabhängigen Impulsquellen gearbeitet werden, die in jeder der drei Impulsgleichungen definiert werden müssen.

Die Überprüfung der verschiedenen Ansätze erfolgt anhand von Messdaten, die mit Laser-Doppler-Anemometrie in einem Strömungskanal mit eingebautem Lochblech ermittelt werden.

**Stichworte:** Numerische Strömungssimulation, CFD, Lüftungskomponenten, Luftdurchlässe, Lochblech, Laser-Doppler-Anemometrie

#### IV.07

### Ausbreitung von Verunreinigungen in Raumströmungen

Birgit Müller<sup>1</sup>, Maciej Danielak<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin

Marchstr. 4, 10587 Berlin

Tel.: 030 1424176, Fax : 030 31421141

[Birgit.mueller@tu-berlin.de](mailto:Birgit.mueller@tu-berlin.de)

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

Ein wichtiger Gesichtspunkt für eine gute empfundene Luftqualität ist die Ausbreitung von Emissionen in Räumen. Darüber sind bisher nur wenige Arbeiten veröffentlicht. Wichtig ist zuklären, welchen Einfluss die Raumluftströmung und die Anordnung der Durchlässe auf die Ausbreitung und Abfuhr von Geruchs- und Emissionsstoffen aus Baumaterialien haben, und ob die Luftgeschwindigkeit ein kritischer Faktor bei Geruchstoffemissionen ist.

Mit dem beschriebenen Projekt soll es möglich werden, die Ausbreitung von Gerüchen (Schadstoffen) unterschiedlicher Dichte und unterschiedlicher Quellen (schwer oder leicht flüchtige Verbindung, warme und kalte Quellen) Messtechnisch zu erfassen, und daraus eine Methode abzuleiten, mit dem die Ausbreitung von Gerüchen (Schadstoffen) vorhergesagt werden kann. Damit wäre man der Vorhersagbarkeit

der Intensität von Gerüchen im Raum einen Schritt näher. Wird es möglich die Geruchstoffemissionen und Ausbreitung vorherzusagen, hat dies auch einen bedeutenden Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden, der Außenluftvolumenstrom könnte dann dem Bedarf angepasst werden.

**Stichworte:** Emissionen, Geruch, Raumluftströmung, Energiebedarf, Lüftung

#### IV.08

### **Erfassung von Behaglichkeitskennwerten mit einem funkbasierteren Sensornetzwerk**

**Dipl.-Ing. Armin Knels, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center  
RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen  
[armin.knels@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:armin.knels@eonerc.rwth-aachen.de)

#### IV.09

### **Luftqualitätsmessungen in Schulräumen**

**Dipl.-Ing. Jana Panaskova, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center  
RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen

[jpanaskova@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:jpanaskova@eonerc.rwth-aachen.de)

Neben der thermischen Behaglichkeit hat die Luftqualität einen direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Schülern. Zur Bewertung der Luftqualität gehören neben der messtechnischen Größen, wie CO<sub>2</sub>-Konzentration, auch die sensorische Erfassung der Luftqualität. Im Rahmen des Projekts „Hybride Lüftungstechnik für Schulgebäude“ werden sensorische und messtechnische Bewertungen der Luftqualität im realen Unterrichtsraum durchgeführt.

In einem Feldversuch auf einer Berliner Schule werden über einen bestimmten Zeitraum Messungen mit 3 verschiedenen Luftqualitätssensoren durchgeführt. Zusätzlich wird die Schulluft in das Luftqualitätslabor des Hermann-Rietschel-Instituts der TUB transportiert und sensorisch durch zwei Probandengruppen bewertet.

Für die Regelung der hybriden Lüftung wird ein Sensor mit guter Korrelation zur CO<sub>2</sub>-Konzentration, ausgewählt. Dieser Luftqualitätssensor detektiert menschliche Emission, jedoch ist durch sein Ausgangssignal keine Aussage über die Akzeptanz und

die empfundene Intensität möglich. Durch weitere sensorische Untersuchungen werden weiterführende Erkenntnisse auf diesem Gebiet gewonnen.

**Stichworte:** Luftqualität, Schulluft, Luftqualitätssensoren, sensorische Bewertung

#### IV.10

### **Hybride Lüftung für Schulräume – automatische Fensterlüftung**

**S. Steiger, R. Hellwig**

FhG IPB

#### IV.11

### **Hybride Lüftungstechnik für Schulräume - dezentrale Lüftungs-technik**

**Dipl.-Ing. Inga Eggers, Dipl.-Ing. Peter Matthes, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center

RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen

[Inga.eggers@eonerc.rwth-aachen.de](mailto: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 auf Basis wird ein Regelungskonzept für die hybride Lüftung entwickelt und optimiert.

**Stichworte:** Schullüftung, freie Lüftung, hybride Lüftung

## IV.12

### Maximierung der Jahresarbeitszahl durch optimierte Regelung

**Sebastian Ott**

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, 37603 Holzminden  
[sebastian.ott@stiebel-eltron.de](mailto:sebastian.ott@stiebel-eltron.de), 05531/702 95832

Auch wenn die aktuell gesunkenen Energiepreise und vor allem die Preise von Öl und Gas aus Sicht des Kunden vom Anschaffungspreis einer Wärmepumpe eher für Anschaffung eines vergleichsweise günstigeren Brennwertkessels sprechen, werden über einen längeren Zeithorizont betrachtet die Primärenergiepreise wieder auf ihre Höchststände steigen oder diese überschreiten. So geht der Direktor der IEA Nobuo Tanaka davon aus, dass sich auf Grund derzeit nicht getätigter Investitionen, eines in Zukunft erhöhten technischen Aufwands bei der Ölförderung und eines im Jahr 2010 wieder ansteigendem Bedarfs an Rohöl im Jahr 2013 ein Engpass ergeben wird, der sogar zu einer erneuten wirtschaftlichen Rezession führen könnte. Die IEA empfiehlt deshalb eine höhere Energieeffizienz.

Dieses Ziel lässt sich mit Wärmepumpen, die eine hohe Jahresarbeitszahl ermöglichen, sehr gut erreichen. Um die Effizienz bestehender Wärmepumpenkonzepte weiter zu steigern, bietet die Regelungstechnik neben der weiteren Optimierung der Komponenten ein hohes Potential.

Anhand eines CO<sub>2</sub> Wärmepumpensystems zur kombinierten Raumheizung und Trinkwarmwasser-erwärmung werden beispielhaft Algorithmen und Technologien vorgestellt, die es ermöglichen eine Regelung der:

- Leistung
- Heizkreispumpe
- Überhitzung
- Abtauung des Verdampfers

durchzuführen, um in jedem Betriebspunkt einen optimalen Betrieb aller Komponenten zu gewährleisten. Die bisher meist einzeln eingesetzten erprobten Strategien werden aufgegriffen und auf ihre Kombinierbarkeit bzw. die Effektivität der Kombination geprüft.

Erste Messergebnisse werden mit vorab erstellten Berechnungen verglichen.

## IV.13

### **Wärmepumpenfeldversuch der E.ON Energie AG – Begleitende Berechnungen**

**Dipl.-Ing. Kristian Huchtemann, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik  
E.ON Energy Research Center  
RWTH Aachen  
Mathieustr. 6, 52074 Aachen

[kristian.huchtemann@eonerc.rwth-aachen.de](mailto:kristian.huchtemann@eonerc.rwth-aachen.de)

Der Wärmepumpenfeldversuch der E.ON Energie AG, durchgeführt durch das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, untersucht 77 Wärmepumpensysteme im Gebäudebestand. Die Bilanzgrenzen für die Messungen sind so gewählt, dass eine jeweils vollständige Berechnung der Arbeitszahlen der Wärmepumpe und des Systems möglich ist. Das Gebäude, das Verhalten der Nutzer und die Qualität der Beheizung des Gebäudes sowie die Wärmequelle können allerdings nur indirekt aus den Daten ermittelt werden.

In dem vorliegenden Forschungsprojekt werden Systemmodelle entwickelt, in denen das Gesamtsystem bestehend aus Wärmequelle, Wärmepumpe, Gebäude und Nutzer abgebildet wird. Die aufgenommenen Feldversuchsdaten werden dazu genutzt, die zentralen Modellkomponenten des Systems wie Wärmepumpe und Speicher zu validieren. Gebäudemodelle und Modelle der Wärmequelle ergänzen das Modell zum Gesamtsystem. Die Simulationsergebnisse des Gesamtmodells können wiederum mit den Ergebnissen der Feldversuchsauswertung verglichen werden.

Die objektorientierte Programmierung mit der Plattform Dymola in der Sprache Modelica ermöglicht das Zusammenfügen der verschiedenen Komponenten und die Simulation des Gesamtsystems einschließlich der Regelung. Mit den Modellen des Gesamtsystems werden Parameterstudien durchgeführt. Erste Studien betrachten die Wärmequelle, den Dämmstandard des Gebäudes sowie den Einfluss verschiedener Speichergrößen.

**Stichworte:** Kompressionswärmepumpe, mathematische Modellierung, numerische Simulation, Feldversuch Wärmepumpen

## IV.14

### **Aufbau und erste Messergebnisse einer mechanisch angetriebenen Wärmepumpe mit einem drehzahlvariabel angetriebenen Verdichter**

**Marius Wolfgramm, Matthias Winter, 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

Ca. 30 % der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind auf die Erzeugung von Wärme in Gebäuden zurückzuführen. Die ständig steigenden Preise und Importabhängigkeit der Industrienationen sowie neuerdings auch Lieferengpasse von den fossilen Energieträgern Erdöl und Erdgas, veranlassen Hauseigentümer zunehmend nach Alternativen für die Beheizung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung zu suchen. Systeme die wirtschaftlich im Betrieb sind und vor allem niedrigere Emissionen verursachen, sind Kompressionswärmepumpen. Wärmepumpen benötigen nur etwa 25 % der erzeugten Heizenergie als (hochwertige) Antriebs-energie (=Exergie), die restlichen 75 % stellt die Umwelt zur Verfügung. Traditionell wird der Verdichter einer Kompressionswärmepumpe elektrisch angetrieben. In einem aktuellen Forschungsprojekt, soll die Möglichkeit des Antriebes des Verdichters der Wärmepumpe per Windkraft untersucht werden. Dies würde die CO<sub>2</sub>-Emissionen für dieses Heizungssystem auf nahezu Null reduzieren.

Der Beitrag behandelt den Aufbau der Gesamtanlage und erste Ergebnisse (Leistungszahlen nach den gültigen Normen/Richtlinien, etc.) der aufgebauten Wärmepumpe. Des Weiteren soll die Funktion der Wärmepumpe mit einer neu entwickelten Regelung des Saugdruckes des Verdichters, sowie des Heizwassermassenstromes dargestellt werden. Abschließend wird die technische und thermodynamische Realisierbarkeit und die Besonderheiten und Probleme einer windkraftbetriebenen Wärmepumpe diskutiert.

## IV.15

### **Meilensteine der Wärmepumpengeschichte**

**Prof. Dr.sc.techn. Martin Zogg**

Verfahrens- und Energietechnik  
CH-3414 Oberburg

Mit Heizen durch Wärmepumpen kann der Brennstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emission im Vergleich zu einer konventionellen Kesselheizung auf rund die Hälfte gesenkt werden. Gegenüber einer elektrischen Widerstandsheizung ergibt die Wärmepumpenheizung sogar eine Reduktion des Energiebedarfs um bis zu 80%. Die Wärmepumpenheizung wird sich deshalb künftig noch vermehrt durchsetzen. Schweizer Pioniere haben als Erste funktionierende Brüdenkompressionsanlagen

gebaut. Die ersten Wärmepumpen in Europa wurden in der Schweiz realisiert. Die Schweiz ist in der Wärmepumpentechnik bis heute bei den führenden Ländern geblieben. Ihre Pionierarbeiten in der Entwicklung von Erdwärmesonden, der Nutzung von Abwasser als Wärmequelle, der Entwicklung ölfreier Kolbenkompressoren sowie von Turbokompressoren sind allgemein bekannt. Die grösste je gebaute Wärmepumpe stammt aus der Schweiz. Obwohl ein umfassendes Gasverteilnetz besteht, werden heute rund 75% der neuen Einfamilienhäuser mit Wärmepumpen beheizt. Dieser Bericht präsentiert einige „Highlights“ aus dieser Erfolgsgeschichte. Dabei werden die Schweizer Entwicklungen ins Zentrum gerückt und ihre Beziehungen zu den internationalen Meilensteinen aufgezeigt. Um anzudeuten, in welcher Richtung die künftigen Entwicklungen gehen könnten, werden auch einige neuere Arbeiten aus der Schweizer Wärmepumpenforschung vorgestellt.

**Stichwörter:** Wärmepumpe, Kaltdampfprozess, Brüdenkompression, Technikgeschichte, Pionierleistungen.

## IV.16

### Energieeinsparung durch Sorptionsentfeuchtung

**Herbert Haser**

Im Laufe der letzten Jahre wurden Flächenkühlsysteme allgemeiner Standard für die Gebäudekühlung.

Beim Innenausbau ersetzen vermehrt die Baustoffe Blech und Glas Gips und Mauerwerk; die Feuchtespeicherfähigkeit dieser modernen Gebäude ist entsprechend gering.

Die eingebauten Flächenkühlsysteme reagieren empfindlich auf Taupunktunterschreitung. Bei gleichzeitig stark reduzierten Außenluftmengen wird eine korrekte Entfeuchtung der Außenluft daher immer wichtiger.

Luftaustrittstemperaturen aus dem Kühler um 16°C mit einer relativen Feuchte von 90 bis 95 % genügen heute häufig nicht mehr um Kondensatbildung an den Kühldecken und Absolutfeuchtwerte unterhalb der Schwülegrenze zu garantieren.

Um die notwendigen Entfeuchtung zu erreichen wird Sorptionsentfeuchtung in Bezug auf notwendige Leistungen mit Taupunktentfeuchtung verglichen. Dabei wird aufgezeigt, dass man mit Zuluft von +20°C in Verbindung mit Entfeuchtung im Raum eine bessere Kühlwirkung erzielen kann, als mit Zuluft von +16 °C in Verbindung mit einer Befeuchtung des Gebäudes.

Diese Zusammenhänge werden an einer Anlagenauslegung für ein fiktives Bauvorhaben erläutert und die Konsequenzen auf die Anlagendimensionierung aufgezeigt.

## IV.17

### Sorptionsgestützte Klimatisierung bei Nutzung der oberflächennahen Geothermie

Jan Wrobel, Gerhard Schmitz

Technische Universität Hamburg-Harburg

[jan.wrobel@tu-harburg.de](mailto:jan.wrobel@tu-harburg.de)

Gebäudeklimaanlagen weisen zurzeit in Mitteleuropa hohe Wachstumsraten auf. Im Sommer besteht die Aufgabe einer Klimaanlage in der Abkühlung und der Entfeuchtung der Luft. Gerade die Entfeuchtung verursacht in der Regel einen hohen Kälte- und damit auch Energiebedarf, da die Luft unter die Taupunkttemperatur von 12 °C abgekühlt werden muss, um das Wasser auszukondensieren. Der Taupunkt liegt damit weit unter der für eine behagliche Raumtemperatur notwendigen Zulufttemperatur von etwa 19 °C. Natürliche Kältequellen wie z. B. die Erdreichkühlung können in diesem Zusammenhang nur unzureichend genutzt werden. Die Luft muss nach der Abkühlung und Entfeuchtung in der Regel nacherwämt werden, wozu thermische Energie erforderlich ist.

Eine Alternative zur Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung bieten Sorptionskörper wie z.B. Sorptionsräder. Diese nutzen die hygrokopischen Eigenschaften bestimmter Stoffe wie z. B. Lithiumchlorid (LiCl) oder Silicagel, um die Luft zu entfeuchten. Der Kältebedarf wird dabei durch die vorhergehende Entfeuchtung deutlich reduziert.

Grundidee des hier beschriebenen Verfahrens ist die Verknüpfung der sorptionsgestützten Klimatisierung mit der Nutzung der oberflächennahen Geothermie. Die Idee unterscheidet sich damit von bekannten Desiccant Evaporating Cooling - (DEC) bzw. Verdunstungskühlungen. Für die Regeneration des Sorptionsrades ist Wärme in Form von circa 60–80°C warmen Wassers erforderlich. Diese Wärme kann durch Solarenergie, durch Fernwärme oder durch Abwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt werden. Da die Luft nicht mehr entfeuchtet werden muss, reichen Kaltwasservorlauftemperaturen zwischen 16 und 19 °C, was bei Nutzung der oberflächennahen Geothermie mit Energiepfählen und Erdwärmesonden erzielbar ist. Energiepfähle sind dabei die kostengünstigere Variante, wenn Pfähle aus statischen Gründen sowieso erforderlich sind. Durch die Nutzung solcher natürlichen Kältequellen ist im Gegensatz zu DEC-Anlagen auch die Kombination von Luftkonditionierung und Flächenkühlung möglich. Die Kühllast wird dann so weit wie möglich über Deckenkühler oder über den Fußboden abgeführt, die Frischluftzufuhr beschränkt sich auf die hygienisch notwendige Luftwechselrate.

Es wurden bereits mehrere Anlagen nach diesem Prinzip gebaut. Das Verfahren weist deutliche primärenergetische Vorteile gegenüber guten, konventionellen Klimaanlagen auf, bei denen die Entfeuchtung durch Taupunktunterschreitung erfolgt. In einem neuen Projekt in der Hafencity Hamburg wird der Fokus vor allem auf die Einbindung von Solarenergie und die Nutzung neuartiger Speichertechnologien gelegt. Klimaanlagen sind in der Regel stark instationären Zustandsänderungen unterworfen, daher müssen bei der Verwendung von Geothermie als Kältequelle besondere Überlegungen hinsichtlich auftretender Bedarfsspitzen angestellt werden. Durch die Kombination von Wärmeerzeuger, Nutzung der oberflächennahen Geothermie, PCS-Speicher (PCS: Phase Change Slurry) und Sorptionsräder erscheint eine wärmebetriebene, kältemaschinenfreie Klimatisierung realisierbar.

## IV.18

### **Neue Lösungen für Latentspeicher in der stationären und mobilen Anwendung**

**Dr.-Ing. Karsten Hackeschmidt**

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

Latentspeicher bieten hervorragende Voraussetzungen zur Speicherung von Wärme bzw. Kälte. So lassen sich z.B. im Bereich der Klimatisierung von Räumen und der Warmwasserbereitung in Verbindung mit intelligenten Betriebsregimen Primärenergie einsparen und die Nutzung alternativer Wärmepotentiale von deren Verfügbarkeit unabhängiger machen. Die Eigenschaften der so genannten Phase Change Materials (PCM) bestimmen dabei den thermischen Einsatzbereich solcher Komponenten. Die technische Nutzbarmachung der thermischen Potentiale wird maßgebend durch die Konstruktion der Latentspeicher selbst und den so genannten Trägerfluiden bestimmt. Jedoch sind heute nach wie vor relativ hohe Investitionen erforderlich, die einer breiteren Anwendung dieser Technologie entgegen stehen. Bedingt ist das im Wesentlichen durch aufwändige Wärmeübertragerkonstruktionen, die vor allem durch die nachteiligen Eigenschaften der PCM's (z.B. schlechte Wärmeleitfähigkeit) geprägt sind. Mit dem Einsatz offenporiger Metallschäume eröffnen sich neue Lösungen für Latentspeicher, die sich in einfach umsetzbaren Konstruktionen, hohen Ausnutzungsgraden der Wärme- bzw. Kältepotentiale, in guten Betriebsdynamiken und vielfältigen Designmöglichkeiten von Latentspeichermodulen manifestieren. Im Vortrag werden dafür Beispiele für die mobile und stationäre Anwendung der Klimatisierung bzw. Temperierung von Räumen vorgestellt.

## IV.19

### **Phasenwechselflüssigkeiten zur Wärmespeicherung im Temperaturbereich zwischen 0 und 20 °C**

**Stefan Gschwander<sup>\*</sup>, Peter Schossig<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>PSE AG, Emmy-Noether-Strasse 2, 79110 Freiburg,  
<sup>\*\*</sup>Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme, Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg

In den letzten Jahren wurden am Fraunhofer ISE neue Wärmeträgerflüssigkeiten entwickelt. Diese Flüssigkeiten zeichnen sich durch eine hohe Wärmekapazität innerhalb eines definierten Temperaturbereichs aus. Die Erhöhung der Wärmekapazität wird durch Beimischen eines Phasenwechselmaterials (engl. Phase Change Material, PCM) zu einer Trägerflüssigkeit (z.B. Wasser) erreicht. Es entstehen sogenannte Phasenwechselflüssigkeiten (engl. Phase Change Slurry, PCS), die wie eine Flüssigkeit gehandhabt werden können. Zur Wärmespeicherung wird der Schmelzprozess des PCM genutzt. Als PCM werden Paraffine genutzt, die entweder in mik-

roverkapselter Form der Trägerflüssigkeit beigemischt werden oder in ihr emulgiert werden. So wird erreicht, dass das PCS sowohl bei geschmolzenem als auch bei kristallisiertem PCM flüssig bleibt und gepumpt werden kann.

Die Flüssigkeiten zeigen innerhalb des Schmelzbereiches des PCM, der etwa 4 – 6 K beträgt, eine bis zu 3-mal höhere Wärmekapazität als Wasser. Zur Kältespeicherung bei der Gebäudeklimatisierung werden für den Temperaturbereich zwischen 0 und 20 °C zwei verschiedene Schmelzbereiche entwickelt:

- 6 - 12 °C, Wärmekapazität ca. 70 kJ/kg
- 12 - 18 °C, Wärmekapazität ca. 60 kJ/kg

Das erste PCS ist vor allem zur zentralen Kältespeicherung gedacht, während das zweite PCS sowohl zur Kältespeicherung als auch zu deren Verteilung im Gebäude, z.B. in Kühldecken, eingesetzt werden kann.

Mit den PCS kann eine Verringerung der Speichergröße um die Hälfte bis etwa einem Drittel gegenüber einem Wasserspeicher erzielt werden. Bei Verwendung des PCS mit dem Schmelzbereich zwischen 12 und 18°C, kann zusätzlich der COP einer Kältemaschine erhöht werden. Mit diesem Material können auch Kühldecken direkt durchströmt werden. Durch den Schmelzvorgang in der Decke erhöht sich deren Leistung durch eine homogenere und etwas tiefere Oberflächentemperatur.

Die hier beschriebenen PCS wurden bereits in Versuchsständen getestet. Eine erste Demonstration des 12 – 18 °C Materials findet derzeit in einer Kälteanlage mit einer Kompressionskältemaschine und einem Kältespeicher, der ein Fassungsvermögen von 5 m<sup>3</sup> hat, statt.

## IV.20

### **Kondensationseffekte an Deckeninduktionsdurchlässen**

**O. Zeidler<sup>1</sup>, V. Michel<sup>1</sup>, T. Sefker<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>: Technische Universität Berlin

<sup>2</sup>: Trox GmbH

## IV.21

### **Verhalten von Kreislauf-Verbund-Systemen zur Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen**

**Dipl.-Ing. Hanns Christoph Rauser**

HCR CONSULTING Ingenieurbüro für Kälte- und Klimatechnik

Lerchenweg 23, 74321 Bietigheim-Bissingen

info@hcr-consulting.com

In raumlufttechnischen Anlagen werden seit vielen Jahren insbesondere im Hygienebereich zur Wärmerückgewinnung Kreislauf-Verbund-Systeme (KV-Systeme) mit Wirkungsgraden bis zu 80 % eingesetzt.

Ein KV-System besteht aus einem oder mehreren Wärmeübertragern im Außenluftstrom und im Fortluftstrom, die durch ein Wärmeträgermedium (Sole) gekoppelt sind. Es wird das Verhalten eines KV-Systems gezeigt und daraus die Kriterien zur Erreichung hoher Wirkungsgrade abgeleitet. Da KV-Systeme neben der Funktion der Wärmerückgewinnung in zunehmendem Maße auch zusätzliche Funktionen wie Nacherwärmung oder Nachkühlung realisieren, wird auch das Verhalten eines solchen Systems bei Einspeisung von Kälte und Wärme in den Kreislauf aufgezeigt.

**Stichwörter:** Energieeinsparung, gekoppelte Wärmeübertrager, Kreislauf-Verbund-System, Wärmerückgewinnung

## IV.22

### Neue Wetterdaten für die TGA

**Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers**

Hochschule Esslingen, Fakultät Versorgungstechnik und Umwelttechnik

Angeregt durch die Diskussion über neue sommerliche Auslegungswerte für RLT-Anlagen veröffentlicht der VDI im Zeitraum Juli/August 2009 den Entwurf der neuen VDI 4710 Blatt 3. In dieser sind die t,x-Korrelationen für die 15 Klimazonen der DIN 4710 für die Jahre 1991 bis 2005 enthalten. Im Vergleich zu den t,x-Korrelationen der DIN 4710, die für die Jahre 1961 bis 1990 erstellt worden sind, zeigt sich die allgemein wahrgenommene Klimaveränderung. So liegen die Jahresmitteltemperaturen der 15 Klimazonen für den Zeitraum 1991 bis 2005 zwischen 0,4 und 0,9 K über den entsprechenden Werten für den Zeitraum 1961 bis 1990. Die in der VDI 4710 Blatt 3 neu veröffentlichten t,x-Korrelationen bieten damit gegenüber den bestehenden Daten eine bessere Grundlage für die Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen.

Darüber hinaus werden in der VDI 4710 Blatt 3 zur Auslegung von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen für die Temperaturen im Sommer und Winter sowie für die Enthalpie im Sommer Daten angegeben, die jeweils ein definiertes Risiko der Über- bzw. Unterschreitung (statistische Überschreitungshäufigkeit) enthalten. Die Angabe von statistischen Überschreitungshäufigkeiten ist eine Methode, die in den angelsächsischen Ländern üblich ist. Welche Auswirkungen die Wahl der Überschreitungshäufigkeit für den Betrieb der Anlagen hat, wird in dem Vortrag näher erläutert.

**Stichworte:** Wetterdaten; t,x-Korrelationen; RLT-Anlagen; Auslegungswerte

**S.01**

**Bericht über die Instandsetzung, Funktion und Optimierung eines  
Philips Kryogenerators mit Retifikationskolonne**

**Sascha Hellmann, Micha Kluge, Andreas Schiener**

Studenten der ESAK Maintal  
Senefelderstr. 3 63477 Maintal-Bischofsheim  
Sascha.Hellmann@esak.de

Der Philips-Kryogenerator wurde in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts auf Basis eines Stirlingprozesses entwickelt. Er arbeitet mit einem Arbeits- sowie einem Verdrängerkolben welche jeweils periodisch gegeneinander laufen. Dabei wird das in ihm befindliche Arbeitsgas, z.B. Helium, abwechselnd Verdichtet bzw. Expandiert, wodurch sehr tiefe Temperaturen erreicht werden können.

Dieser Prozess kann zur Luftverflüssigung genutzt werden. Die bei diesem Prozess anfallende flüssige Luft, wird in der nachfolgenden Retifikationssäule durch Thermosyphonumlauf in den oberen Bereich der Kolonne gefördert und darin in nahezu reinen flüssigen Stickstoff, sowie gasförmigen Sauerstoff getrennt. Der anfallende Sauerstoff wird an der Kolonne abgesaugt und ins Freie transportiert. Der flüssige Stickstoff wird in einem Gefäß aufgefangen.

Zur Kühlung dieser Anlage wird ein Frischwasservolumen von etwa 1 m<sup>3</sup>/h benötigt. Da dieser Wasserverbrauch einen entscheidenden Kostenfaktor darstellt und aus ökologischer Sicht nicht Zeitgemäß ist, wurde ein moderner Kaltwassersatz mit drehzahlgeregelterem Verdichter, luftgekühltem Verflüssiger, elektronischem Schrittmotoreinspritzventil sowie eines Plattenverdampfers geplant und ausgeführt.

Um die gesamte Anlage (Kaltgasmaschine sowie Kaltwassersatz) optimal betreiben zu können wurde eine Regelung mittels SPS entworfen und realisiert.

Die Werksangabe der flüssig Stickstoff Produktion bei Nenndrehzahl und einer Kühlwassertemperatur von ca. 16°C beträgt etwa 6 Liter. Durch die Drehzahlanpassung mittels Frequenzumformer am Antriebsmotor der Philipsanlage und einer deutlich niedrigeren Kühlwassertemperatur durch den Kaltwassersatz soll die Anlage verbessert werden und die Produktionsmenge an flüssigem Stickstoff steigen.

Dieser Vortrag wird anlässlich des 100 jährigen Bestehens des DKV gehalten und soll einen kleinen Rückblick auf die Geschichte der Gasverflüssigung geben. In diesem Vortrag wird über die Instandsetzung und Arbeitsweise der Philipsmaschine sowie des für diesen Zweck entworfenen Kaltwassersatzes referiert.

**Stichwörter:** Stickstoffverflüssigung, Philips Kryogenerator, Tieftemperatur, flüssige Luft

**S.02**

**Literaturstudie zum Einsatz von Peltier-Elementen in der Luftfahrt**

**Severin Skusa**

Institut für Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

In modernen Großraumflugzeugen wird Kälte zur Klimatisierung und zur Kühlung der Elektronik benötigt. Es wird mittels einer Literaturstudie untersucht, inwiefern Peltier-Elemente eingesetzt werden können, um diesen Kältebedarf bereitzustellen. Eine hohe Effizienz, ein hohes Leistungsgewicht und geringes Bauvolumen sind für die Anwendung entscheidend.

Außerdem können Peltier-Elemente eingesetzt werden, um Abwärme in elektrische Energie zu wandeln. Es wird abgeschätzt, inwiefern der Einsatz von Peltier-Elementen in der Luftfahrt sinnvoll möglich ist.

**S.03**

**Literaturrecherche zum Einsatz von Sorptionskältemaschinen in Flugzeugen**

**Steffen Maron**

Institut für Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

Mit Abwärme betriebene Sorptionskältemaschinen sind schon seit langem als eine energieeffiziente Alternative zur Kompressionskältemaschine bekannt. Eine Anwendung in Flugzeugen soll aufgrund der Energieeffizienz überprüft werden. Die Literaturrecherche diskutiert Einsatzmöglichkeiten von Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen in Flugzeugen und zeigt deren Grenzen auf. Berücksichtigung finden dabei insbesondere die Auswirkungen der beim Fliegen wirkenden Kräfte, mögliche Wärmequellen sowie die extremen Temperaturunterschiede in der Luft und am Boden.

**Stichworte:** Adsorptionskältemaschinen, Absorptionskältemaschinen, Flugzeug, Abwärmequellen

## S.04

### **Studie zur Untersuchung der thermodynamischen Prozesse bei der Ein- und Ausspeicherung von Erdgas in Salzkavernen**

**Patrick Bujok**

Inst. f. Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

Der Primärenergieträger Erdgas ist einer der wichtigsten Energieträger in der heutigen Zeit. Als Verbraucher können beispielsweise Haushalte und Kleinverbraucher, die Industrie oder Kraftwerke aufgeführt werden. Die inländische Förderung stellt dabei nur ca. 14 % des Gesamtaufkommens dar. Neben Norwegen und den Niederlanden ist Russland der wichtigste Lieferant für Erdgas. Um einerseits die Versorgung der einzelnen Sektoren mit Erdgas sicher zu stellen und andererseits auf marktwirtschaftliche Impulse reagieren zu können, nutzen Erdgasversorger die Speicherfähigkeit dieses Energieträgers. Die Speicherung in unterirdischen Salzkavernen, stellt dabei eine effiziente Möglichkeit der Nutzung dar. Um wichtige Parameter wie maximal zulässige Ein- bzw. Ausspeicherleistung der Kaverne zu optimieren sind Kenntnisse über die hierbei stattfindenden thermodynamischen Prozesse notwendig. Die Abkühlung des Gases aufgrund der Entnahme und die hieraus resultierende thermische Wechselwirkung mit dem umgebenden Salzgestein werden deshalb analysiert.

## S.05

### **Aufbau eines Prüfstandes zur Untersuchung akustischer Verbesserungsmöglichkeiten der Wärmeübertragung in durchströmten Rohren**

**Cord Tomforde<sup>1</sup>, Andrea Luke<sup>1</sup>, Eckhard A. Groll<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institut für Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

<sup>2</sup> Purdue University

Auf Grund des weltweiten Klimawandels ist es notwendig, die Energieeffizienz von allen technischen Prozessen zu erhöhen. Da Wärmeübertragung in vielen verschiedenen Anwendungen, insbesondere vielen Anwendungen mit hohen Kohlenstoffdioxidemissionen, genutzt wird, ist die Untersuchung von Verbesserungsmöglichkeiten wichtig.

Es wird der Aufbau eines Prüfstandes zur Untersuchung akustischer Verbesserungsmöglichkeiten der Wärmeübertragung von einer Flüssigkeitsströmung an eine glatte Rohrwand dargestellt. Hierbei wird auf das prinzipielle Design des Prüfstandes als auch auf die verbaute Messtechnik eingegangen.

**S.06**

**Wärmeübergang beim Blasensieden von R134a und R290 am polierten und feinsandgestrahlten horizontalen Stahlrohr**

**Hannes Strübing, Björn Müller**

Institut für Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

In der chemischen und petrochemischen Industrie werden Hochleistungsverdampferrohre mit hinterschnittener Oberfläche und mehr oder weniger abgeschlossenen Kanälen immer häufiger eingesetzt da diese energieeffizienter eingestzt werden können als Glattrohre. Hierzu ist jedoch eine genaue Auslegung der Verdampfer zwingend erforderlich. Die Korrelationen zur Auslegung der Verdampfer sind empirischer Natur. Die Validierung dieser Messergebnisse muss jedoch mit Stahl- und Kupferglattrohren erfolgen.

Dieser Beitrag behandelt den Wärmeübergang beim Blasensieden in einem überfluteten Verdampfer von, R290 und R134a an einem Stahlglattrohr mit einer polierten und anschließend feinsandgestrahlten Oberfläche.

**S.07**

**Solare Klimatisierung: Untersuchung von Eisbildung an unterschiedlichen Rohroberflächen**

**cand. tema. Julius Itzrodt**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
E-mail: [julius.itzrodt@web.de](mailto:julius.itzrodt@web.de)

Unter dem Aspekt der Einsparung von Energie wird seit Jahren intensiv auch die Realisierbarkeit von direkt durch die Sonne angetriebenen Kältemaschinen untersucht. Als besonderen Vorteil sieht man dabei die gute zeitliche Übereinstimmung zwischen dem Kältebedarf bei der Klimatisierung von Gebäuden und der als Antrieb benutzen Sonneneinstrahlung an.

Neben den Kälteanlagen zur Klimatisierung von Bürogebäuden, von denen es bereits eine größere Anzahl an Anlagen im Bereich von 35 bis 100 kW gibt, gibt es ein vermehrtes Interesse an kleinen Anlagen zur Klimatisierung von Wohnungen. Soll jedoch die Verfügbarkeit der Kältebereitstellung und damit der Komfort hoch sein, erfordert dies den Einsatz von thermischen Speichern. Eine Möglichkeit ist die Verwendung eines Eisspeichers.

Forschungsprojekt des ITW der Uni Stuttgart ist eine solche kleine Anlage mit 10 kW Kälteleistung unter Integration eines Eisspeichers mit 1 m<sup>3</sup> Speichervolumen.

Der Vortrag beinhaltet einen kurzen Überblick über das Themengebiet der solaren Klimatisierung sowie die Darstellung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheiten der Rohre auf den Vereisungs- und Schmelzprozess. Ziel der Forschungsarbeit ist, Optimierungsmöglichkeiten am bestehenden Eisspeicher aufzuzeigen und umzusetzen.

## S.08

### **Experimentelle Untersuchung eines Sorptionsspeichers zur solarthermischen Energiespeicherung**

**cand. verf. Christian Berreth**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
E-mail: [christian.berreth@web.de](mailto:christian.berreth@web.de)

Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart wird ein integrales Konzept zur solaren Gebäudebeheizung in zwangsbelüfteten Niedrigenergiehäusern entwickelt. Die Anlage basiert auf einem Sorptionsspeicher aus Zeolith, der in das Luftheizsystem integriert wird. Die Regeneration des Speichers erfolgt mit Hilfe solarer Überschusswärme im Sommer. In der Heizperiode wird der Speicher mit feuchter Raumluft durchströmt. Die im Speicher durch die Adsorption des enthaltenen Wasserdampfs erwärmte Luft wird mit Hilfe eines Wärmeübertragers zur Erwärmung der Zuluft des Gebäudes verwendet.

Zur Untersuchung des Sorptionsspeichers steht am ITW eine Anlage im Labormaßstab zur Verfügung. Zur Bilanzierung wurden die Dichtigkeit der luftführenden Rohrleitungen und die Volumenstrommesstechnik verbessert. Da die Wärmeverluste während der Desorption eine große Rolle spielen, wurde ein verbessertes Konzept zur Wärmedämmung des Speichers entwickelt.

Sowohl Be- als auch die Entladung des Speichers wurden vermessen. Insbesondere die solarthermische Desorption des Speichers wurde auf Grund der dafür nötigen hohen Temperaturen untersucht. Die Ergebnisse werden vorgestellt und ein Ausblick auf die Automatisierung und Regelung der Anlage gegeben.

## S.09

### **Inbetriebnahme, Regelung und Vermessung eines Systems zur solaren Kühlung**

**cand. tema. Andreas Schwärzle**

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart  
E-mail: [andreas.schwaerzle@googlemail.com](mailto:andreas.schwaerzle@googlemail.com)

Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart wurde eine solar betriebene Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitspaar Ammoniak/Wasser entwickelt. Nach positiven Betriebserfahrungen wurde nun der zweite Prototyp der Kältemaschine in Betrieb genommen. Die Anlage dient der Kühlung von fünf Büroräumen des Instituts. Das Kältenetz dazu wurde neu aufgebaut und zwei Eisspeicher wurden integriert. Diese dienen zur Steigerung der Kälteverfügbarkeit, sowie zum Einsatz als Kaltwasser-Pufferspeicher. Zudem ist die Möglichkeit gegeben das System für den winterlichen Wärmepumpenbetrieb zu erweitern.

Das Betriebsverhalten sowie die Leistung der Anlage ist abhängig von Druck und Temperatur. Die Kältemaschine wird über den Tiefdruck im Kälteprozess geregelt, der über ein Magnetventil eingestellt wird.

Die Regelung des gesamten Systems erfolgt über ein Datenloggersystem mit Regel- und Steuerungsfunktionen. Hiermit werden alle Ventile und Pumpen, sowie die Ventilatoren zur Rückkühlung gesteuert. Die Möglichkeit des voll automatisierten sowie des manuellen Betriebes wurde realisiert.

Das Kältenetz mit den realisierbaren Schaltungen, sowie die verwendete Regelstrategie werden vorgestellt. Zudem werden erste Betriebserfahrungen sowie Ergebnisse zur Qualität der Regelung dargelegt.

## S.10

### **Application of absorption chillers with the working fluids $\text{NH}_3$ and $\text{H}_2\text{O}$**

**Carolin Dittmar**

ESaK Maintal, Senefelderstr. 3 63477 Maintal-Bischofsheim

The application of absorption chillers especially with the working fluids ammonia and water has decreased in the last decades, you can almost say it has fallen into oblivion. Energy has been relatively cheap and therefore the operation of compression chillers suggested itself. In times in which man is becoming increasingly aware of the finiteness of the world energy resources, in which the demand is constantly rising and the costs will therefore soar sooner or later, the consideration of using or rather recycling energy and of applying renewable energy is growing steadily. The principle of coupling power, heat and coldness is used multiple at absorption chillers with the working fluids water and lithium bromide through the use of waste heat e.g. from block heat and power plants. At this process the lowest cooling temperature that can be generated is about 5 to 6 °C because the mixture starts to crystallize under lower temperatures. In complex air conditioning applications which need cooling accumulators for maximum demand, a conventional cold water accumulator would have to have large-scale dimensions. An ice accumulator in comparison would be considerably smaller. So it is of advantage also for air conditioning applications to generate cooling medium temperatures under 0°C, what requires the application of the working fluids ammonia and water. As uncommon as the application of these units are the companies which build them. A market analysis showed that on the German market today there are only a handful of companies which build absorption chillers with the working fluids ammonia and water for a refrigerating capacity of 500 to 1000 kW.

## S.11

### **Entwicklung eines Kälteprozesses zur Nutzung der Exzessenthalpie beim Lösen von Salzen in Wasser**

**T. Meyer**

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik,  
Fachgebiet Maschinen- und Energieanlagentechnik

Wachsender Klimatisierungsbedarf in Verbindung mit dem weithin anerkannten politischen Willen zur Reduzierung der weltweiten Treibhausgasemissionen führt zu neuen Überlegungen hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz.

Einerseits muss die Effizienz der jeweiligen Kälteprozesse verbessert und andererseits die synergetische Implementierung des Kälteprozesses in die vorhandenen Energiesysteme vorangetrieben werden. Hierzu bieten thermisch angetriebene Kälteprozesse hervorragende Möglichkeiten die Energieeffizienz des gesamten Energiesystems zu verbessern, indem als Antriebsenergie Ab- bzw. Solarwärme verwendet wird, um Nutzkälte zu generieren.

Neben den bereits bekannten thermisch angetriebenen Kälteprozessen wie den Ab- und Adsorptionskälteverfahren und den sorptionsgestützten Klimatisierungsverfahren wird in dieser Arbeit ein neuartiger Kälteprozess vorgestellt.

Dieser Prozess macht die endotherme Lösungsenthalpie beim Lösen entsprechender Salze in Wasser nutzbar. Am Beispiel von in Wasser gelöstem Ammoniumnitrat werden anhand von Messdaten aus der Literatur algebraische Funktionen für den Dampfdruck und die Enthalpie der Salzlösung in Abhängigkeit der Konzentration erstellt.

Nach dem Entwurf eines Anlagenschemas werden die stationären Stoff- und Energiebilanzen aufgestellt, gelöst und unter Verwendung der Ergebnisse gezielt verbessert. Die Anlageneffizienz konnte so vom ersten Anlagenentwurf mit einem Wärmeverhältnis von 4% auf bis zu 24% gesteigert werden.

## S.12

### **Praktikum bei Danfoss**

**Florian Conradi**

Institut für Thermodynamik (IfT), Leibniz Univ. Hannover

Danfoss ist ein weltweit führendes Unternehmen für Produkte und Systemlösungen der Wärme- und Kältetechnik. Der Hauptsitz des Familien-Unternehmens (im Privatbesitz) ist in Nordborg, Dänemark, wo auch das Praktikum durchgeführt wurde. Die Arbeitsabteilung während des Praktikums im Bereich der Kältetechnik ist verantwortlich für das Produkt Management von „micro channel heat exchanger“ (MCHX). Hierbei bildet diese Abteilung die Schnittstelle zwischen der Produktion der MCHX in China und dem Kunden oder dem technischen Vertrieb von Danfoss weltweit.

Die Aufgaben im Praktikum beinhalteten die Berechnung und Auslegung von MCHX, das Bearbeiten von Kunden-Anfragen und die Untersuchung verschiedener MCHX an einem industriellen Versuchsstand unter bestimmten Parametern.

Insgesamt hat das Praktikum bei Danfoss (die gesamte Firma, die Arbeitsweise, das Arbeitsklima, Land & Leute) einen sehr positiven Eindruck hinterlassen.

## S.13

### **Experimental Performance Testing of a Standard and a Prototype Carbon Dioxide Compressor**

**Gerhard Frei**

ESaK Maintal, Senefelderstr. 3 63477 Maintal-Bischofsheim

The objective of this work was to measure the performance of a standard and a prototype carbon dioxide compressor using an existing CO<sub>2</sub> hot-gas bypass compressor load stand. The measured compressors were a semi-hermetic, two-piston, single-stage, reciprocating compressor with an estimated cooling capacity of 15 - 25 kW and a semi-hermetic, three-piston, single-stage swash plate compressor with an estimated cooling capacity of 5 - 15 kW. The measured operating parameters reported are suction pressure, suction temperature and discharge pressure, the refrigerant mass flow rate, compressor power consumption, discharge temperature, oil discharge flow rate and oil mass concentration in refrigerant. The compressor performance indices such as volumetric-, combined mechanical-, true isentropic- and overall isentropic efficiency of the compressor are calculated. In addition, compressor performance maps for all important compressor parameters based on the experimental data are developed. The first part of this thesis gives a short summary of the history of natural refrigeration and the use of natural refrigerants. The fundamentals of carbon dioxide as well as the state-of-the-art technology of the transcritical vapor compression cycle are reviewed and discussed. The second part of this thesis demonstrates the results of the experimental performance testing, as well as the state of development and performance of the investigated carbon dioxide compressors. The results and established compressor performance maps are argued to be useful tools for a future carbon dioxide compressor modeling. The elevated pressures in carbon dioxide compressors generate higher friction losses and force loads on bearings; therefore major attention to lubrication is recommended. A wider application of carbon dioxide as a refrigerant in air conditioning and heat pump application are also suggested and further research is recommended