



Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2010

Magdeburg

17. - 19. November 2010

Kurzfassungen


MARITIM Hotel Magdeburg

Maritim Hotel Magdeburg
Otto-von-Guericke-Straße 87
39104 Magdeburg
T: +49 (0)391 5949-0
E: info.mag@maritim.de
H: www.maritim.de

Veranstalter

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

Striehlstrasse 11, 30159 Hannover
T: +49 (0) 511 8970 814
F: +49 (0) 511 8970 815
E: info@dkv.org
H: www.dkv.org

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsabteilung I	4
Arbeitsabteilung II.1	19
Arbeitsabteilung II.2	34
Arbeitsabteilung III	48
Arbeitsabteilung IV	63
Studentenvorträge	77

I.01

Kühlung unter 4 Kelvin

Kevin Phelan

Entropy GmbH, Gmunder Str. 37a, 81379 München,
k.phelan@entropy-cryogenics.com

In diesem Vortrag wird ein Überblick über den Stand der Technik zur Erzeugung von Temperaturen unterhalb von 4K gegeben. Dieser Temperaturbereich ist inzwischen nicht mehr nur für Forschung und Entwicklung interessant, sondern auch in der industriellen Anwendung häufen sich die Fragestellungen, die effiziente und leicht-handhabbare Kühltechnik erfordern.

I.02

Thermischer Kontakt von elektrisch isolierenden Anordnungen von 30 bis 150 mK

T. Eisel , J. Bremer , F. Haug , T. Koettig , T. Niinikoski

CERN Organisation, CH-1211 Genève 23; Switzerland
walter.thomas.eisel@cern.ch

Das "AEGIS" (Antimatter Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy) Experiment wird derzeit entwickelt, um den Effekt der Erdanziehungskraft auf Antimaterie zu untersuchen. Zur Gewährleistung präziser Messungen ist es zwingend erforderlich, die erzeugte Antimaterie auf 100 mK abzukühlen. Diese Abkühlung erfolgt in einer so genannten Penning-Falle, welche thermisch mit der Mischkammer eines ^3He - ^4He -Mischungskryostaten verbunden ist. Die Penning-Falle besteht aus mehreren Elektroden mit jeweils unterschiedlichen elektrischen Spannungen, die bis zu einigen kV betragen können. Die Elektroden müssen somit individuell elektrisch isoliert sein, was jedoch bei tiefen Temperaturen den thermischen Kontakt stark verschlechtert.

Zwei unterschiedliche Ausführungen zur Kühlung der Elektroden werden vorgestellt, die so genannte Stab- und die Stapelanordnung. Bei der Stabanordnung verbindet ein metallischer Stab jeweils eine Elektrode mit dem dazugehörigen Wärmeübertrager innerhalb der Mischkammer. Ein keramischer Ring und das Helium in der Mischkammer fungieren als elektrische Isolatoren. Bei der Stapelanordnung wird die elektrische Isolierung durch eine Saphirplatte erreicht, welche zwischen einer Elektrode und der Mischkammer gepresst ist. Zur Erhöhung des Wärmeübergangs wird an den Kontaktstelle des Saphirs dünnschichtiges Indium genutzt. Die zwei beschriebenen Anordnungen wurden in einem Temperaturbereich von ca. 30 bis 150 mK thermodynamisch charakterisiert.

Im Vortrag wird ein Überblick über AEGIS und ^3He - ^4He -Mischungskryostate gegeben. Weiterhin werden die beiden Anordnungen zur Kühlung der Elektroden verglichen und die erlangten Ergebnisse präsentiert.

Messtechnik mit Supraleitenden Quanteninterferenzdetektoren für den Betrieb in neuen Flüssig-Helium-freien Kälteanlagen

Thomas Schurig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin
Fachbereich Kryo- und Vakuumphysik, Abbestr. 2-12, 10587 Berlin, Deutschland
thomas.schurig@ptb.de

Supraleitende Quanteninterferenzdetektoren (SQUIDs) sind die derzeit empfindlichsten Sensoren für magnetische Flussänderungen. Im Prinzip kann jede physikalische Größe, die in magnetischen Fluss umgewandelt werden kann, mit diesen Sensoren detektiert werden, wie z.B. die magnetische Induktion oder elektrischer Strom, so dass SQUIDs für verschiedenste messtechnische Anwendungen, bei denen es auf eine hohe Empfindlichkeit ankommt, interessant sind. Derartige Sensoren werden üblicherweise mit flüssigem Helium gekühlt, wie z.B. große Multikanalsysteme für die medizinische Messtechnik. Wenn sie bei noch tieferen Temperaturen betrieben werden müssen, wie z.B. empfindliche SQUID-Stromsensoren für die Signalverstärkung supraleitender Strahlungsempfänger, werden häufig $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Lösungskältemaschinen, ^3He -Verdampferkryostaten oder ADR-Kryostaten (ADR - Adiabatic Demagnetization Refrigerator) mit Flüssig-Helium-Vorkühlung verwendet.

Die kommerzielle Verfügbarkeit leistungsfähiger und zuverlässiger Pulsrohrkühler für den Temperaturbereich bis zu 2,5 K hat in den letzten Jahren die Möglichkeit eröffnet, bedienfreundliche und dabei relativ vibrations- und magnetisch störarme Kältemaschinen bis zu Temperaturen von 10 mK aufzubauen. Anlagen für Temperaturen bis in den Mikrokkelvinbereich mit Pulsrohrvorkühlung befinden sich in der Entwicklung. Obwohl die Pulsrohrtechnik im Vergleich zu anderen mechanischen Kühlsystemen wenig Störungen verursacht, muss die hochempfindlichen SQUID-Sensorik an diese neuen Maschinen angepasst werden. Inzwischen stehen sehr robuste komplexe integrierte Stromsensorschaltungen für die verschiedensten messtechnischen Anwendungen in solchen Kältemaschinen zur Verfügung. Auch SQUID-basierte Thermometer für derartige Anlagen wurden entwickelt.

Stichwörter:

Supraleitungssensorik, SQUID-Messtechnik, Pulsrohrkühler

Strukturforschung mit Neutronen unter extremen Umgebungsbedingungen

¹ Peter Smeibidl^{1*}, Alan Tennant¹

¹ Helmholtz Zentrum Berlin, Bereich Magnetische Materialien, 14109 Berlin
peter.smeibidl@helmholtz-berlin.de

* Korrespondenzautor

Die Strukturforschung mit Hilfe von Neutronenstreuung am Forschungsreaktor BER 2 ist, neben dem Betrieb des Synchrotronspeicherrings BESSY 2 und der Solarenergieforschung, einer der wesentlichen Forschungsschwerpunkte am Helmholtz Zentrum Berlin (HZB). Das HZB stellt seine Einrichtungen Messgästen gemäß einem internationalen Auswahlverfahren zur Verfügung.

Um die experimentellen Möglichkeiten weiterzuentwickeln, wurde der Bau eines Hybridmagnetsystems begonnen, das in seiner Endausbaustufe Neutronenstreuungsexperimente bei Magnetfeldern oberhalb 30 T und bei Temperaturen im Millikelvin-Temperaturbereich ermöglichen soll. Unter

Verwendung von resistiven Insertspulen (sog. Bitter-Magneten), die in der Raumtemperaturbohrung eines Supraleitungsmagneten angeordnet werden, können diese Magnetfelder für eine auf die Erfordernisse der Neutronenstreuung hin optimierte Geometrie erreicht werden. Die supraleitende Außenspule wird nach dem Konzept eines Cable-in-Conduit Leiters hergestellt und mit überkritischem Helium gekühlt. Die innere Bitterspule wird durch einen Kreislauf hochreinen, entionisierten Wassers bei 30 bar gekühlt. Zur Kühlung der zu untersuchenden Proben ist in einer ersten Stufe die Installation eines ^3He -Kryostaten in der horizontalen Raumtemperaturbohrung der Bitterspule geplant.

Das Projekt wird im Rahmen von internationalen Kooperationen mit verschiedenen Forschungseinrichtungen in Europa und USA verfolgt. Für die Realisierung ist eine Gesamtdauer von fünf Jahren geplant.

Stichwörter:

Strukturforschung, Neutronenstreuung, hohe Magnetfelder, Hybrid-Magnetsystem, Millikelvin-Temperaturen

I.05

Gekoppelter Betrieb von zwei Helium-Verflüssiger-Anlagen am Helmholtz Zentrum Berlin (HZB)

Dr. Wolfgang Anders

HZB Berlin (ehemals BESSY)
anders@bessy.de

Am HZB werden zwei Heliumverflüssiger betrieben. Eine TCF50 mit einer Verflüssigungsleistung von 200 l/h und eine L700 mit einer Verflüssigungsleistung von 700 l/h. Diese Anlagen sind auf Niederdruck-, Mitteldruck- sowie der Flüssigkeitsseite gekoppelt. Der Betrieb mit den Kopplungen wird beschrieben sowie die speziellen Anforderungen bei der Kühlung von supraleitenden Magneten bei 4,5 K an dem Elektronenbeschleuniger BESSY II und dem Betrieb der Testanlage HoBiCaT zur Charakterisierung von supraleitenden Kavitäten bei 1,5-2,1 K. Die geplanten Ausbauten zur Kühlung der Beschleunigungsstrukturen und der Elektronenquelle eines „Energie Recovery Linacs“ (ERL) geben einen Ausblick auf das BERLinPro Projekt am HZB.

Erste Betriebserfahrungen mit der kryotechnischen Anlage des LHC Beschleunigers

**Udo Wagner, Krzysztof Brodzinski, Klaus Barth, Vladislav Benda, Johan Bremer,
Juan Casas-Cubillos, Serge Claudet, Dimitri Delikaris, Gerard Ferlin,
Gonzalo Fernandez Penacoba, Antonio Perin, Olivier Pirotte, Mathieu Soubiran,
Laurent Tavian, Rob van Weelderen**

Technology Department, CERN, CH-1211 Genf 23, Schweiz
udo.wagner@cern.ch

Seit Herbst 2009 ist die kryotechnische Anlage des „Large Hadron Collider“ (LHC) mit zunehmend befriedigender Zuverlässigkeit für den Beschleunigerbetrieb des LHC im Einsatz.

Dieses Vortragsmanuskript gibt eine Einführung in den Aufbau des kryotechnischen Systems und seine grundlegenden Betriebsprozesse. Die Temperaturstabilität und die Verfügbarkeit der Anlage während Strahlbetriebs bei 3.5 TeV werden vorgestellt. Die Fortschritte, welche, seit dem ersten Abkühlen in Jahre 2007, bei der Verkürzung transienter Betriebsfälle erreicht wurden, werden dargestellt. Einige typische Problemquellen des Kühlsystems sowie deren kurzfristige Behandlung und geplante zukünftige Behebung werden erläutert.

Stichwörter:

LHC, Kryotechnische Großanlage, Verfügbarkeit

Progress of Helium Refrigeration System for Wendelstein 7-X

**C. P. Dhard¹, S. Raatz¹, H. Bau¹
L. Decker², U. G. Nüsslein²**

¹ Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Teilinstitut Greifswald, EURATOM Association,
Wendelsteinstrasse 1, D-17491 Greifswald Germany
dhard@ipp.mpg.de

² Linde Kryotechnik AG, Daettlikonerstrasse 5, CH-8422 Pfungen Switzerland
lutz.decker@linde-kryotechnik.ch

The helium refrigerator for the fusion experiment Wendelstein 7-X (W7-X) was specified to be operating in completely automatic mode for cooling the superconducting coils, casings, supports and divertor cryo-vacuum pumps (CVP) at 3.4 K in peak power and 3.9 K in standard operating modes. The refrigerator supplied by Linde Kryotechnik AG has an equivalent refrigeration power of 7 kW at 4.5 K. The scope includes a large refrigerator, a subcooling cold box with cold compressors and circulation pumps and a distribution valve box. In the meantime the corresponding hardware is installed and the commissioning is in progress. The paper gives an overview on the process, the dedicated equipment and the extensive control system.

Aktueller Stand der Kryogenik für das Europäische XFEL Röntgenlaserprojekt bei DESY

Dr. Bernd Petersen

Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), Notkestr. 85, 22607 Hamburg
Bernd.Petersen@desy.de

Der Aufbau des Europäischen XFEL Röntgenlaserprojektes bei DESY in Hamburg wurde begonnen. In vielen Einzelheiten wurden die bereits vorgestellten Planungen für die Heliumkälteversorgung konkretisiert und teilweise schon umgesetzt. Das Konzept zum Umbau der ehemaligen HERA Heliumkälteanlage zur Versorgung des XFEL wird vorgestellt. Dabei müssen mehrstufige Kaltverdichter mit einer Kapazität von 2 KW bei 2 K in die Anlage integriert und die spezifischen Betriebsanforderungen des supraleitenden Linearbeschleunigers erfüllt werden. Ein Verteilersystem ermöglicht die Versorgung des XFEL Injektorenbereiches unabhängig vom Linearbeschleuniger. Eine Testhalle zum Test der supraleitenden Kavitäten und der vollständigen XFEL Kryomodule aus der Serienproduktion wurde errichtet und steht zum Einbau der kryogenischen Komponenten bereit. Zur Testhalle gehören zwei Heliumpumpsätze, die bei Umgebungstemperatur arbeiten und über eine Kapazität von jeweils 20 g/s bei einem Ansaugdruck von 20 mbar verfügen. Der konzeptionelle Entwurf für das Verteilersystem und die Teststände wird vorgestellt.

Stichwörter:

Freier Elektronen Laser, Europäisches XFEL-Projekt, supraleitender Linearbeschleuniger, Hochfrequenz-Resonatoren, Helium II, Kaltverdichter

The European Spallation Source, Lund, Sweden, a next generation materials research facility

Hugo Bohn

European Spallation Source (ESS), 22100 Lund, Schweden
hugo.bohn@ess.se

Die neue Flüssigheliumanlage am IFW Dresden

Ch. Haberstroh¹, Dirk Lindackers²

¹ Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, TU Dresden
christoph.haberstroh@tu-dresden.de

² Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e.V.
D.Lindackers@ifw-dresden.de

Am Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden wurde vor kurzem eine eigene Heliumverflüssigungs- und Abfüllanlage in Betrieb genommen. Zusammen mit der bereits vorhandenen Heliumrückgewinnung ermöglicht diese, den in den letzten Jahren rasant gestiegenen Flüssigheliumbedarf des Instituts von mittlerweile fast 100 000 l LHe nunmehr aus eigener Kraft und zu erheblich günstigeren Konditionen als bisher abzudecken. Die Konzeption und die Beschaffung der Anlage erfolgten in Kooperation mit der TU Dresden.

Die Anlage basiert auf einem Standardverflüssiger (Grundkapazität 44 ltr./Std.) und einen 5000 l – Speicherdewar. Als Besonderheiten sind ein kalter Ejektor am Verflüssigerausgang sowie eine halbautomatische Schnellabfüllung mit kalter LHe-Förderpumpe und Kaltgasrückgewinnung integriert. Flankierend wurde am IFW ein datenbankgestütztes Managementsystem zur Verfolgung der Heliummengen an den einzelnen Verbrauchsstellen im Haus entwickelt und aufgebaut. Die LHe-Verbuchung erfolgt über eine RFID-Codierung und Wägung sämtlicher ein- und ausgehender Kannen. Zur Füllstandsmessung wurde ein Teil Labor-Dewarkannen mit supraleitenden Sonden und einer selbstentwickelten Auswerteelektronik ausgestattet.

Hinsichtlich des spezifischen Energieverbrauchs pro Liter bereitgestelltem LHe stellt die so realisierte Konstellation derzeit die weltweit effizienteste He-Verflüssigungsanlage dieser Größenklasse dar. Ihr hoher Automatisierungsgrad minimiert zudem den Personaleinsatz.

Erprobung des Strahlrohrkühlsystems für den Quellmagnetkryostaten in KATRIN

S. Grohmann, H. Schön, M. Süßer

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Physik (ITEP)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen
steffen.grohmann@kit.edu

Im Quellmagnetkryostaten WGTS (Windowless Gaseous Tritium Source) des Experiments KATRIN werden pro Sekunde 10^{11} β -Zerfallselektronen generiert, um über das Tritium- β -Spektrum die Masse von Elektronenantineutrinos mit einer Sensitivität von 0,2 eV/c² zu messen. Die WGTS enthält ein 10 m langes Strahlrohr von 90 mm Innendurchmesser, in das über eine zentrale Injektionskammer molekulares Tritium eingespeist wird. Das Tritium diffundiert zu beiden Rohrenden, wo es über Pumpkammern mit je 4 Turbomolekularpumpen DN250 abgepumpt wird. Damit KATRIN seine Sensitivität erreicht, muss das Strahlrohr bei einer Betriebstemperatur von 30 K mit $\pm 0,03$ K stabil und homogen temperiert werden. Hierzu wurde ein Thermosiphon mit gesättigtem Neon entwickelt, der an das Strahlrohr angelötet ist. Zur Erprobung wurde ein 12 m langer Testkryostat gebaut, der das Strahlrohr mit den angrenzenden Pumpkammern, sowie die zugehörigen Kühlkreisläufe und Schilde enthält. Der sogenannte Demonstrator wurde im Tritiumlabor des KIT installiert und an die KATRIN Kälteversorgung angeschlossen. Es wird über Art und Umfang der Tests, sowie über erste Testergebnisse berichtet.

3-Zyklen Pulse-Tube Kühler für kryogene Hochleistungsanwendungen

M. Kuhn, G. Kaiser, T. Schildbach, J. Klier

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Hauptbereich Kryotechnik und Tieftemperaturphysik, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
E-Mail: moritz.kuhn@ilkdresden.de

Am Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden wird derzeit ein Hochleistungs-Pulse-Tube-Kühler mit einer Kälteleistung von 1 kW bei 80 K entwickelt. In der zyklischen Anordnung von drei einzelnen Pulse-Tube-Zyklen wird auf passive Phasenschieber verzichtet und stattdessen die Energie am warmen Ende des Pulse-Tube über Expansionskolben auf den Kompressionskolben des um 120° folgenden Zyklus ge-bracht. Auf diese Weise ist die Phasenverschiebung zwischen Druckwelle und Volumenstrom exakt fixiert. Es sind Leistungszahlen (COP) vergleichbar mit denen von Stirlingkühlern erreichbar. Im 3-Zyklen Pulse-Tube-Kühler unterstützt der Expansionskolben des einen Zyklus den Kompressionskolben des folgenden Zyklus, beide Kolben bilden innerhalb einer High-Force Synchronmaschine eine bewegte Einheit, so dass eine Kurbelwelle entfällt und damit ein vibrations- und geräuscharmer Betrieb gewährleistet ist. Der 3-Zyklen Pulse-Tube-Kühler bietet sich zur Kälteversorgung von Anwendungen mit Hochtemperatursupraleitern (HTSL) an, wie sie beispielsweise HTSL-Fehlerstrombegrenzer, HTSL-Kabel, -Motoren (z.B. Torque-Motoren) und Generatoren vorkommen. Derzeit bieten kommerzielle Systeme für Anwendungen dieser Art ein COP von 4,2%. Mit obiger Entwicklung wird ein COP zwischen 7 und 10% angestrebt. Somit kann bei gleicher Kälteleistung die Hälfte der Antriebsenergie eingespart werden.

Diskussion der Absicherung von Kryostaten mit supraleitenden Magneten

M. Süßer

KIT Karlsruhe, Institut für Technische Physik
manfred.suesser@kit.edu

Die Druckabsicherung von Kryostaten zum Betrieb von supraleitenden Magneten bedarf einer systematischen Gefahrenanalyse und darauf aufbauend ein geeignetes Absicherungskonzepts. Es sollen nicht alle denkbaren Gefahrenquellen berücksichtigt werden, sondern solche die die vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können. Außerdem werden Anlagefehler ohne ursächlichen Zusammenhang nicht betrachtet. Der Beitrag diskutiert die möglichen Schadensursachen und das Absicherungskonzept am Beispiel eines Kryostaten mit 5 supraleitenden Magneten der im KIT in Betrieb geht. Als mögliche Ursachen für Druckanstieg werden der Verlust des Isoliervakuum, der Quench von Magneten, ein Bruch eines Balges oder einer Leitung sowie die Lichtbogenbildung betrachtet. Die Druckbegrenzung der He-Versorgung erfolgt durch eine Sicherheitsventil-Berstscheiben-Anordnung und durch eine Vakuumklappe zum Schutz des Vakuumbehälters.

I.14

Konzeption eines Kryostaten für Wärmedurchgangsmessungen

Th. Funke, Ch. Haberstroh

Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte- und Kompressorentchnik, TU Dresden
thomas.funke@tu-dresden.de
christoph.haberstroh@tu-dresden.de

Die Vermessung thermischer Isolation in der Kryotechnik erfolgt üblicherweise mittels Verdampfungsmessung in einem Badkryostaten. Prinzipbedingt wird hier gegen eine feste Kalttemperatur gemessen. In aktuellen technischen Anwendungen, wie z. B. einem Kryodruck-Speicherbehälter, liegt ein breiteres Temperaturspektrum vor. Zur Abbildung dieses Einsatzfalls wurde an der TU Dresden ein Kalorimeterkryostat für Wärmedurchgangsmessungen entworfen.

Eine Besonderheit stellt die Konzeption als Durchflusskryostat dar. Sie ermöglicht Messungen sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Ausrichtung. Zu untersuchendes Isolationsmaterial wie z. B. vorkonfektionierte MLI-Pakete werden auf der Mantelfläche eines annähernd isothermen Messzylinders appliziert. Dieser Zylinder wird vom Kühlmedium auf einer frei wählbaren Arbeitstemperatur zwischen 20 und 300 K gehalten. Die Kühlung erfolgt vorzugsweise mit Flüssighelium bzw. Heliumkaltgas. Querempfindlichkeiten und Messfehler sind durch geeignete Maßnahmen so weit wie möglich reduziert.

Präsentiert werden Konzeption, Aufbau und Betriebsparameter des Kalorimeterkryostaten, Erfahrungen bei der Inbetriebnahme sowie ggf. erste Messwerte.

I.15

Numerische Thermalanalyse einer externen Temperaturmesseinrichtung für kryogen durchströmte Rohrleitungen

Jean Meyer^{1*}, Robin Langebach², Manfred Süßer³

¹ Dresden International University (DIU),
email@jean-meyer.de

² Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte- und Kompressorentchnik
Robin.Langebach@tu-dresden.de

³ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Physik (ITEP)
Manfred.Suesser@kit.edu

* Korrespondenzautor

Zur Bestimmung der Temperatur von kryogenen Fluiden durch Rohrleitungen wird der Temperatursensor typischerweise innerhalb des Rohres installiert und steht so in direktem Kontakt zum Fluid. Die Vorteile dieser intern installierten Temperatursensoren liegen vor allem in der hohen Genauigkeit sowie dem schnellen Ansprechverhalten bei der Temperaturmessung. Bedingt durch den hohen Installations- und Wartungsaufwand ist diese Art der Platzierung von Temperatursensoren jedoch typischerweise auch mit einer Reihe von Nachteilen verbunden.

Aus diesem Grunde wurde am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine externe Temperaturmesseinrichtung entwickelt. Im Gegensatz zur internen Temperaturmesseinrichtung befindet sich der Temperatursensor hierbei in einer entsprechenden Halterung, die auf der Außenseite

des durchströmten Rohres montiert wird. Der Vorteil dieser Methode ist die vergleichsweise problemlose Installation und Wartung des Sensors sogar im kontinuierlichen Betrieb der Anlage. Der zu erwartende Nachteil liegt in einem verzögertem Ansprechverhalten sowie in einer verminderten Messgenauigkeit.

In dieser Arbeit wird die erreichbare Messgenauigkeit mittels einer Thermalanalyse theoretisch untersucht und klassifiziert. Die Einflüsse verschiedener Wärmequellen und Senken sowie der interagierenden Wärmeübertragungsmechanismen auf die Temperaturmessung werden dargestellt und diskutiert. Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass die externe Temperaturmesseinrichtung auch unter Annahme von konservativen Randbedingungen eine hinreichende Messgenauigkeit ermöglicht und als vollwertiger Ersatz zur herkömmlichen, internen Messeinrichtung eingesetzt werden kann.

Stichwörter:

Temperaturmessung, Kryotechnik, Thermalanalyse, Simulation

I.16

Neue supraleitende Materialien

Paul Seidel

Institut für Festkörperphysik, Friedrich-Schiller-Universität, Jena
Paul.Seidel@uni-jena.de

Mit der sensationellen Entdeckung der Hochtemperatursupraleiter im Jahre 1986 wurde eine neue Klasse supraleitender Materialien gefunden, die völlig neue Eigenschaften zeigte. Diese basieren auf Kupfer-Sauerstoff-Ebenen, die in der kristallographischen Einheitszelle gestapelt vorliegen und durch nichtsupraleitende Schichten gekoppelt sind. Viele Kuprat-Supraleiter wurden inzwischen entdeckt und die kritische Temperatur bis 135 K erhöht. Für praktische Anwendungen stehen jedoch nur wenige davon wie YBCO und BSCCO industriell zur Verfügung. Technologische Probleme, räumliche Anisotropie der Eigenschaften, Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen und komplexes Verhalten in äußeren Magnetfeldern erschweren ihren praktischen Einsatz. Damit besteht, neben der Hoffnung auf höhere Sprungtemperaturen, die Notwendigkeit, neue supraleitende Materialien zu finden und für Anwendungen zu erschließen. Vorgestellt wird der derzeitige Stand bei Borokarbid, Magnesiumdiborid, organischen Supraleitern und insbesondere den eisenbasierten Pnikiden. Letztere wurden seit 2008 weltweit untersucht und haben ähnlich zu den Kupraten supraleitende Schichten (Fe-As) innerhalb der Einheitszelle. Wichtige Eigenschaften dieser neuen Materialien im Vergleich zu konventionellen und Hochtemperatursupraleitern werden zusammengefasst und Anwendungsperspektiven vorgestellt.

Kryokonservierung von Mausmutanten

Johannes Schenkel

Kryokonservierung W430, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
j.schenkel@dkfz.de

Transgene Tiere, vor allem Mäuse, sind einmalige Mutanten von großem wissenschaftlichem Wert, die man nur mit erheblichem Aufwand generieren und charakterisieren kann und deren Zahl kontinuierlich zunimmt. Kleine Populationen, eine permanente Gefahr des Verlusts, schlechtes Zuchtverhalten, die Notwendigkeit diese Tiere in der Zucht zu behalten sowie ein häufiger Austausch transgener Tiere zwischen unterschiedlichen Haltungen sind nur einige der Probleme, mit denen sich transgene Tierhaltungen auseinandersetzen müssen. Tierverbrauch und Platzbedarf sowie die damit verbundenen Kosten steigen rasch ins Unermessliche, sodass man zur Sicherung der Stämme und zur Haltung solcher Tiere, die sich in keinem Experiment befinden, eine Alternative finden muss. Diese Alternative bietet sich in Form der Kryokonservierung an. Grundsätzlich lassen sich frühe Embryonalstadien und Spermatozoen kryokonservieren. Vorausgesetzt es wurde ausreichend kryokonserviert kann auf eine weitere Zucht verzichtet werden. Embryonen bzw. Spermatozoen sind nahezu unbegrenzt in flüssigem Stickstoff bei -196°C lagerbar.

Die Entscheidung, ob Embryonen oder Spermatozoen kryokonserviert werden sollen, muss individuell getroffen werden. Entscheidend sind dabei der Genotyp der Mutation sowie der genetische Hintergrund der jeweiligen Linie.

Durch den nach der Revitalisierung von Embryonen erforderlichen Embryotransfer tritt gleichzeitig ein Sanierungseffekt auf, was für die Tierhaltung ein großer Vorteil ist. Limitierend ist eine ausreichende Anzahl von Embryonen zu erhalten. Grundsätzlich sind höhere Embryonalstadien wegen der höheren Wahrscheinlichkeit wieder lebende Tiere zu erhalten zu bevorzugen. Allerdings ist dann mit einem höheren Aufwand für die Kryokonservierung zu rechnen.

Reife Spermatozoen stehen meistens in ausreichender Menge zur Verfügung. Es werden nur wenige Spendertiere benötigt. Jedoch ist die zur Revitalisierung erforderliche *in-vitro*-Fertilisation aufwändig und nicht bei allen genetischen Hintergründen erfolgreich. Werden Spermatozoen eingefroren, so erhält man nach der Revitalisierung ein Tier, das vom eingefrorenen Sperma und den zur *in-vitro*-Fertilisation verwendeten Oozyten abstammt.

Grundsätzlich ist es sehr wichtig, dass die Qualität der kryokonservierten Proben kontrolliert wird, wir verwenden hierfür etwa 10 % der eingefrorenen Proben. Verschiedene Strategien der Qualitätskontrolle werden vorgestellt.

Ziel unserer Arbeit ist ein Repositorium aufzubauen. Neben dem Konservierungsprozess und der Lagerung der Proben besteht die Notwendigkeit ausführliche Informationen über die jeweilige mutante Linien vorzuhalten. Deshalb wurde eine Datenbank angelegt, in der alle im Haus vorhandene Linien (also archivierte und aktive) detailliert gelistet sind. Diese Datenbank ist auch mit der Bibliotheksdatenbank und dem Technologietransferbüro verlinkt, darüber hinaus dient sie der gesetzlichen Aufzeichnungspflicht von gentechnisch veränderten Tieren.

Da die Kryokonservierung als solche sowie die Optimierung der Probengewinnung und deren Qualitätskontrolle auch zum Einsparen von Versuchstieren führt, ist diese auch ein Beitrag zum Tierschutz und den „3-R“-Postulaten von Russell und Burch.

Bärtierchen und die Kunst des Überdauerns – Von der Biodiversität zur Biotechnologie

PD Dr. Ralph Oliver Schill

Universität Stuttgart, Biologisches Institut, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
ralph.schill@bio.uni-stuttgart.de

Bärtierchen wurden erstmal 1773 von dem Pastor Johann August Ephraim Goeze aus Quedlingburg als kleine „Wasserbären“ in der Literatur erwähnt und 1776 von dem Naturwissenschaftler Lazzaro Spallanzani als Tardigrada (lat. tardus - langsam, gradi - schreiten) beschrieben. Sie sind in marinen, limnischen und terrestrischen Lebensräumen zu finden. Insgesamt sind über 1000 Arten beschrieben und jährlich werden neue Arten entdeckt. Je nach Lebensraum sind die Tiere häufigen Veränderungen des Mikroklimas ausgesetzt, die ihr Überleben direkt beeinflussen. Solche Veränderungen, wie die Dehydrierung und Rehydrierung oder das Gefrieren und Auftauen, können mehrmals im Tagesverlauf auftreten oder auch nur gelegentlich im Abstand von Wochen oder Monaten. Diese Fähigkeiten besitzen nicht nur die erwachsenen Tiere, sondern auch Embryonen. Die Bärtierchen zeigen eine außergewöhnliche Toleranz gegenüber vielen physikalischen Faktoren, wie gegenüber sehr hohen und sehr geringen Temperaturen, aber auch gegenüber verschiedenen Strahlungsarten. Wenn die Mechanismen der Überdauerung von Bärtierchen verstanden werden, erfahren wir grundlegende Dinge über das Leben und erhalten viele neue Erkenntnisse über eine Langzeitstabilisierung und Konservierung biologischer Materialien für die Lebensmittelindustrie, die pharmazeutischen Industrie und den biomedizinischen Bereich.

Stichwörter:

Anhydrobiose, Bärtierchen, Konservierung, Kryobiose, Tardigraden

Kryokonservierung pflanzengenetischer Ressourcen – Praktizierte Techniken und Stand der Anwendung

Heinz Martin Schumacher

DSMZ- Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen,
Inhoffenstraße 7b, 38124 Braunschweig
mas@dsmz.de

Pflanzliche Zellen stellen wegen ihrer hohen Wassergehalte und ihres sub-zellulären Aufbaus mit großen intrazellulären wassergefüllten Vakuolen ein besonderes Problem bei der Kryokonservierung dar. Lange Zeit bestand auch ein geringes Interesse an Kryokonservierung, da bei pflanzengenetischen Ressourcen aus gemäßigten Breiten mit den Pflanzensamen ein einfaches Organ für die Konservierung über Jahrzehnte bereit stand.

Eine geeignete Langzeitkonservierungsmethode fehlt allerdings bis heute für genetische Ressourcen von tropischen Nutzpflanzen, die meist keine lagerfähigen Samen bilden, für vegetativ vermehrte Pflanzen, die, über Samen vermehrt, genetisch nicht stabil sind und die zahlreichen Pflanzen, Gewebe und Organe, die in der modernen Biotechnologie in Forschung und Züchtungspraxis Anwendung finden.

Seit Mitte der 70 Jahre wurden Kryokonservierungsmethoden für Pflanzenzellen entwickelt. Hierbei arbeitete man zu Anfang mit entdifferenzierten Zellkulturen. Später wurden weitere Techniken entwickelt und auf andere Gewebe und Organe angewendet. Heute stehen verschiedene Basistechniken zur Verfügung, die in der Literatur mit den englischsprachigen Begriffen „ultra-rapid freezing“, „controlled rate freezing“, „vitrification“ und „encapsulation/dehydration“ bezeichnet werden. In den letzten Jahren sind verstärkt auch Kombinationen dieser Basistechniken entwickelt worden. Alle

Techniken arbeiten zumeist mit einfachen Gerätschaften. Oft geschieht dies bewusst, um eine Anwendung in tropischen Ländern mit limitierten finanziellen Ressourcen möglich zu machen.

In der EU wurde die Grundlagenforschung zur Kryokonservierung von Pflanzenzellen in den letzten Jahren durch ein Forschungsprojekt und eine COST Action gefördert. Mit zunehmendem Erfolg werden Kryokonservierungstechniken bei Pflanzen immer öfter auch praktisch angewendet, vor allem in den großen nationalen Genbanken wie in Fort Collins, USDA oder in Deutschland beim IPK (Institut für Kulturpflanzenforschung) Gatersleben oder der DSMZ in Braunschweig (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen) aber auch in internationalen Zentren wie CIP oder CIAT.

I.20

Bedeutung der Kryokonservierung von Keimzellen in reproduktionsmedizinischem Bereich

Dr. rer.nat. Kathi Teßmann

FertiGen GmbH, Völkinger Str. 4, 40219 Düsseldorf
kryobank@ivf-duesseldorf.de

Die Kryokonservierung ist heute fester Bestandteil einer Kinderwunschbehandlung. Sowohl die (un)befruchteten Eizellen/Embryonen als auch Ejakulate, Eierstock- und Hodengewebe lassen sich einfrieren und jahrelang aufbewahren ohne Verlust biologischer Aktivitäten. Fertilitätsprotektion in Form von Keimzell-Kryokonservierung wird vor geplanten Hoden-/Eierstockoperationen ggf. Sterilisationsbehandlung oder bevorstehender Krebstherapie empfohlen. Die moderne Lebensplanung (Soldaten; Karriereplanung, Behandlungszyklus in Abwesenheit des Partners) führt zu einer immer zunehmenden Bedeutung für eine Kryokonservierung von Keimzellen und ermöglicht somit die Fertilitätserhaltung. Neben konventionellen einfrier Methoden (slow cooling) werden im reproduktionsmedizinischen Alltag, alternative Einfrierverfahren wie Vitrifikation eingesetzt. Dieses erfordert modernste Technik, optimale Sicherheitsvorkehrungen, Überwachungsmaßnahmen und kompetentes, qualifiziertes Personal. Praxisorientiertes Arbeiten im Bereich der Assistierte Reproduktionsmedizin setzt das Qualitätsmanagement als organisatorische Grundlage zur Einhaltung gesetzlicher Vorgaben voraus.

Entwicklung eines GMP-gerechten Verfahrens zur Kryokonservierung von Zellen und zellbasierten Implantaten für die regenerative Medizin

Dr. Denise Freimark^{1*}, Constanze Sehl¹, Klaus Hudel², Prof. Dr. Peter Czermak^{1,3}

¹ Fachhochschule Gießen-Friedberg, Institut für Biopharmazeutische Technologie,
35390 Gießen, Deutschland
denise.freimark@tg.fh-giessen.de

² Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, 37507 Osterode am Harz, Deutschland
k.hudel@martinchrist.de

³ Kansas State University, Department of Chemical Engineering, Manhattan KS, USA

* Korrespondenzautor

Für die Langzeitlagerung vieler Zellen wird die Kryokonservierung bei -80°C bis zu -196°C eingesetzt. Jeder Zelltyp hat ein individuelles Einfrierverhalten. Daher muss für jeden Zelltyp ein geeignetes Kryokonservierungsprotokoll entwickelt werden, welches eine hohe Zellvitalität nach dem Auftauen garantiert. Bei der Kryokonservierung für therapeutische Applikationen ergeben sich hierbei noch weitere Probleme. Zum einen muss auf gängige Kryoprotektiva wie DMSO und Serum verzichtet werden und zum anderen muss die Probe steril und unter GMP-konformen Bedingungen eingefroren und aufgetaut werden. Zusammen mit unserem Kooperationspartner wurde ein Einfriergerät entwickelt, welche diese Anforderungen erfüllt. In unserer Arbeitsgruppe beschäftigen wir uns mit der Kryokonservierung von multipotenten Stammzellen. Dies ist insofern eine Besonderheit, da hierbei zusätzlich darauf geachtet werden muss, dass die Differenzierungsfähigkeit der Zellen durch die Kryokonservierung nicht beeinträchtigt wird. Es werden Ergebnisse zur Kryokonservierung von Stammzellen mit verschiedenen Kryoprotektiva, Einfrierprotokollen und in verschiedenen Volumina präsentiert. Dabei wurden die Zellen als Suspension und auch in verkapselter Form als Implantat untersucht.

Stichwörter:

GMP-konforme Einfrieranlage, Stammzellen, Kryokonservierungsoptimierung

Lagerung biologischer Materialien und die Fehler im System

Dr. Hans J. Schulthoff

NSC Medical Cooling Systems GmbH
hj.schulthoff@nsc-gmbh.eu

Die Lagerung biologischer Materialien beginnt schon im häuslichen Kühlschrank. Was geschieht mit den dort gelagerten Produkten, und warum sieht alles nach wenigen Tagen „alt“ aus?

Das tägliche Öffnen der Kühlschranktür bringt immer wieder warme, feuchte Luft in den Innenraum und lässt das Lagergut täglich mehrfach in der Temperatur stark schwanken. Die Alterung, der Verfall, beschleunigt sich. Das funktioniert im Haushalt gerade noch, da wir hier Lagerzeiten von wenigen Tagen haben. Diese Art der Lagerung ist immer gleich und immer mit den gleichen Problemen behaftet. Je tiefer die notwendige Temperatur ist, je größer wird das Problem.

In der Medizin und im allgemeinen Bio-Banking sind die Probleme aber mit sehr viel weiter reichenden Folgen versehen. Da warten Menschen auf gelagerte Präparate, da sind Materialien eingefroren und unwiederbringbar für die Nachwelt verloren, wenn sie falsch gelagert werden.

Ein weiterer, wesentlicher Faktor beim Lagern im Tiefkühlbereich, ist die eingesetzte Energie. Es sollte vermieden werden, dass bei der Bedienung der Systeme ein zu hoher Luftaustausch stattfindet, denn jedes verlorene Grad Celsius muss wieder erzeugt werden. Es sollte vermieden werden, dass die kältetechnische Einrichtung (Kompressor) zu viel Wärmeenergie in den Installationsraum einbringt, da sie über Klimaanlage wieder abgeführt werden muss. All das kann beim Einsatz moderner Technologie vermieden werden.

Der Einsatz der neuen Technologie wird immer notwendiger, da das Lagergut zu schützen und der Energieverbrauch zu reduzieren ist und eine verwechslungsfreie Anwahl der eingelagerten Produkte möglich sein muss. Was in der Lebensmittelindustrie Gesetz ist, darf in der Humanmedizin kein Tabu sein.

Die Firma NSC Medical Cooling Systems GmbH, Seevetal bei Hamburg, hat zusammen mit der NNC-MED Consulting ein System entwickelt, das LN₂ basiert arbeitet und die notwendigen, oben geschilderten Anforderungen an ein Kühlsystem abdeckt - die BOS-S Systemlinie.

Hier wird dem Lagergut eine definierte Lagerposition zugeordnet und das Datenmanagementsystem lokalisiert die Einzelproben auf Anforderung. Es wird exakt dokumentiert, wer, wann was am und mit dem System durchgeführt hat, welche thermischen Umfeldbedingungen herrschen und welchen Auslastungsgrad die Lagersysteme aufweisen. (Genaue Übersicht in Schrift und Graphik)

Die Temperaturen werden dreifach mit ungepufferten Temperaturlühlern (Pt1000) erfasst und verfälschungssicher dokumentiert. Alle möglichen, frei definierbaren Alarmsituationen werden ermittelt, dokumentiert, angezeigt und automatisch weiter geleitet. Hierfür wird kundenspezifisch die jeweilige Anbindung an GLT oder andere technische Überwachungseinrichtungen konfiguriert.

Das Lagergut ist zudem in Lagerkassetten, die thermischen Schutz bieten, komfortabel untergebracht. Die Kasette kann lokalisiert aus dem System entnommen werden, das dann wieder geschlossen wird. Damit wird verhindert, dass feuchte, warme Luft eindringt, die bei den herkömmlichen Systemen zu den bekannten Problemen führt (Temperaturtausch / Vereisung).

Komfort, Sicherheit und Energieeffizienz zeichnen die neuen Systeme technisch aus, eine drei- bis vierfache Lebensdauer, marginale Wartungs- und vor allem signifikant geringere Betriebskosten machen die BOS-Systemserie zu einem zukunftssicheren Produkt.

Die Systeme sind innerhalb von 2 Stunden auf -44°C, innerhalb von 3 Stunden auf -86°C herunter gekühlt, da ist mechanische (Kompressor-) Kälte nicht nur überfordert, es ist technisch fast auszuschließen. Hinzu kommt, dass die Systeme auf eine Temperaturverteilung im Innenraum von +/- 1 bis 2 Grad extrem genau auf alle Produkte gleichmäßig einwirken, auch wenn die Bedienöffnung geöffnet oder geschlossen wird.

II.1.01

Eine Literaturübersicht zum Wärmeübergang beim Strömungssieden von Ammoniak

Klaus Spindler

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

Ammoniak hat sich als Kältemittel mit sehr guten thermodynamischen Eigenschaften und Transporteigenschaften bewährt. Auf Grund des niedrigen Molekulargewichtes und der großen Verdampfungsenthalpie ergeben sich hohe Wärmeübergangskoeffizienten bei Verdampfung und Kondensation. Ammoniak wird als Kältemittel in großen Kälteanlagen und Wärmepumpen verwendet. Es gibt ein starkes Interesse Ammoniak auch in Kleinsystemen einzusetzen. Die genaue Kenntnis des Wärmeübergangs und Druckverlusts beim Sieden in Rohren erlaubt eine exaktere thermische Auslegung und eine Optimierung der Verdampfer. Neben glatten Rohren werden auch innen berippte Rohre zur Verbesserung des Wärmeübergangs verwendet. Die Wärmeübergangsbeziehungen für das Strömungssieden in Rohren werden für die Anwendung in Plattenverdampfern angepasst.

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

II.1.02

Wärmeübergang beim Sieden an strukturierten Stahlrohren in weiten Druckbereichen

Patrick Bujok, Björn C.F. Müller, Hannes Strübing, Prof. Dr.-Ing. habil. Andrea Luke

Technische Thermodynamik, Universität Kassel, 34125 Kassel
luke@uni-kassel.de

Für die Leistungsberechnung von kältetechnischen Anlagen sind unter anderem Korrelationen zur Berechnung des Wärmeübergangs im Verdampfer notwendig, die eine genauere Auslegung der Apparate erlauben, um Kosten, Energie und Ressourcen einzusparen. Das Ziel dieser Forschungsarbeit mit Unterstützung der Industrie ist daher kurzfristig die Verbesserung der empirischen Gleichungen aufgrund von belastbaren Datenmaterial und langfristig die Entwicklung einer theoretisch begründeten Berechnungsmethode zum Wärmeübergang beim Sieden, um die heutigen empirischen Methoden abzulösen. Dazu werden der Wärmeübergang, die Dampfbildung und die Oberflächenstruktur der Heizfläche im mikroskopischen und makroskopischen Maßstab mit neuen, lokal hochauflösenden Methoden am selben Heizelement bestimmt und die Ergebnisse mit den bekannten empirischen Gleichungen verglichen bzw. zur Validierung der Modellbildung verwendet.

Neuere Ergebnisse zum Wärmeübergang und zur gegenseitigen Beeinflussung der Blasen und der Überlagerungen von Verdampfungs- und Konvektionseffekten in siedenden Kältemitteln und Kohlenwasserstoffen in weiten Druckbereich an Stahlrohren mit unterschiedlichen Mikro- und Makrostrukturen werden erläutert. Der Einfluss unterschiedlicher Topographien auf den Wärmeübergang und die Blasenbildung an Glattrohren wird eingehend analysiert. Die Ergebnisse am Glattrohr werden mit dem an konventionellen Rippenrohre und neuartigen Hochleistungsrohren verglichen. Abschließend wird die Anwendbarkeit empirischer Gleichungen aus der Literatur auf strukturierte Baustahlrohre diskutiert.

Stichworte:

Verdampfung; Rippenrohre; Heizfläche; Rauigkeit, Wärmeübergang

II.1.03

Untersuchung des Bündeleffekts an Rippenrohren in einem Rohrbündelverflüssiger mit R134a

A. Gotterbarm¹, J. El Hajal¹, A. Beutler¹
T. Gebauer², A. Leipertz², A. P. Fröba²

¹ Wieland-Werke AG, Ulm
achim.gotterbarm@wieland.de

² Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT), Universität Erlangen-Nürnberg
Thomas.Gebauer@lth.uni-erlangen.de

Das Herabtropfen von Kondensat von im oberen Bereich eines Rohrbündelverflüssigers platzierten Rohrreihen auf darunter liegende limitiert den kondensatseitigen Wärmeübergang wesentlich. In einem von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten Gemeinschaftsprojekt wird dieses als Bündeleffekt bekannte Phänomen experimentell und über CFD-Simulationen mit dem Kältemittel R134a untersucht. Zur Verbesserung des Wärmeübergangs wurden verschiedene Ansätze verfolgt.

Mit Hilfe einer auf Standard- auf Hochleistungsrippenrohren aufgetragenen Plasmapolymerschicht, die eine deutlich geringere Oberflächenenergie als das Rohrmaterial Kupfer besitzt, besteht die Möglichkeit ein verbessertes Kondensatablaufverhalten zu erhalten. Die experimentellen Untersuchungen der Auswirkungen der Beschichtung erfolgten an einem Rohrbündelverflüssiger, der über vier direkt untereinander angeordnete Rohrreihen sowie eine interne Berieselungseinheit verfügt. Somit können bis zu 40 Rohrreihen nachgestellt werden.

Mittels CFD-Modellierung wurde parallel das Kondensatablaufverhalten für unterschiedliche Rippenstrukturen untersucht und optimiert, wozu ein Kondensationsmodell entwickelt und in das Programm Ansys-Fluent eingebunden wurde. Zur Simulation der unterschiedlichen Rohrreihen wurden im Modell die auf das Rohr auftreffenden Kondensatmassenströme variiert. Die gemäß den Simulationsergebnissen zu erwartenden Verbesserungseffekte wurden durch einen Vergleich mit den experimentellen Daten überprüft.

II.1.04

Moving Boundary Modellierung von Verdampfern und Kondensatoren mit experimenteller Validierung

Manuel Gräber, Nils Christian Strupp, Wilhelm Tegethoff

TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik, Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig
m.graeber@tu-bs.de

Eine neue Formulierung von Verdampfer- und Kondensatormodellen nach der Moving Boundary Methode wird vorgestellt. Dabei wird der Wärmeübertrager in drei Bilanzräume unterteilt. Die Grenzen der Bilanzräume liegen an der Stelle, an der das Kältemittel vom ein- in den zweiphasigen Zustand übergeht und umgekehrt. Somit gibt es je einen Bilanzraum mit unterkühltem, zwei-phasigem und überhitztem Kältemittel. Der Ort der Bilanzraumgrenzen sowie die Anzahl der Bilanzräume ändern sich dynamisch während der Simulation. So kann zum Beispiel die Unterkühlung des Kondensators auf null absinken. Zur Validierung der Modelle wird ein Wärmeübertrager mit definierten kältemittelseitigen Randbedingungen beaufschlagt. Die Bewegung der Zonengrenzen wird mittels Hochgeschwindigkeits-Thermografie gemessen. Das erlaubt einen detaillierten und genauen Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Daten.

II.1.05

Strömungsformen in zweiphasig durchströmten Plattenwärmeübertragern

Dipl.-Ing. Volker Grabenstein, Prof. Dr.-Ing. Stephan Kabelac

Institut für Thermodynamik, Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg; 22039 Hamburg
Kabelac@hsu-hh.de

Plattenwärmeübertrager haben sich innerhalb der Kälte- und Klimatechnik neben den Rohrbündel-Apparaten als Verdampfer bzw. als Verflüssiger etabliert. Eine belastbare, gegenüber dem derzeitigen Stand verbesserte Auslegung ist nur durch Wärmeübergangskorrelationen möglich, welche auch die lokal unterschiedlichen Strömungsformen berücksichtigen. Zur Charakterisierung der Strömungsformen in Plattenspalten liegen zur Zeit zwei Veröffentlichungen vor, deren jeweils experimentell ermittelte Strömungsformen-Karten sich deutlich unterscheiden.

Zur Klärung und Vertiefung der Kenntnisse zur jeweiligen Strömungsform bei zweiphasiger Strömung in Plattenspalten mit gewellter Oberfläche wurde ein Versuchsstand aufgebaut, der einen Plattenspalt aus zwei Plexiglas-Scheiben mit Wellenprägung als Teststrecke aufweist. An diesem Versuchsstand wurden mit den Fluiden Wasser/Luft; Ethanol/Luft sowie R365mfc dampf/flüssig systematisch die Strömungsformen und der Druckverlust bei unterschiedlichen Massenströmen visualisiert und in Strömungsformen-Karten zusammengestellt. Die zugehörigen Randwinkel der jeweiligen flüssigen Phasen auf Plexiglas bzw. Stahl wurden gemessen. Im Vortrag soll das experimentelle Vorgehen, die eigenen Ergebnisse sowie der Vergleich mit literaturbekannten Daten erläutert werden.

II.1.06

Wärmeübergang und Druckverlust beim Strömungssieden von R407C – Vergleich verschiedener Korrelationen

P. Rollmann, K. Spindler, H. Müller-Steinhagen

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
rollmann@itw.uni-stuttgart.de

Es wurde der Wärmeübergang und der Druckverlust beim Strömungssieden von R407C in einem horizontalen innenberippten Rohr untersucht. Dabei wurde die Massenstromdichte zwischen 25 und 300 kg/m²/s, die Sättigungstemperatur zwischen 10 und -30°C, die Wärmestromdichte zwischen 1000 und 20000 W/m² und der Dampfgehalt zwischen 0,1 und 1,0 variiert.

Die Messwerte für den Wärmeübergangskoeffizient werden mit den Korrelationen von Shah, Liu und Winterton, Kandlikar, Yun et al., Cavallini et al., Chamra und Mago, Kattan et al. sowie Zhang verglichen. Mit der Gleichung von Cavallini et al., welche sieben empirische Konstanten enthält, konnte eine gute Übereinstimmung erzielt werden. Dazu wurden die Konstanten an die Messwerte angepasst.

Die Messwerte für den Druckverlust werden mit den Korrelationen von Pierre, Choi et al., Kuo und Wang, Chawla sowie Müller-Steinhagen und Heck verglichen. Obwohl sämtliche Gleichungen für Glattröhre bzw. raue Röhre erstellt wurden, zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten. Die größte Genauigkeit wird mit der Gleichung von Kuo und Wang erzielt. Hier werden nahezu alle Werte mit einer Genauigkeit von ±30% bestimmt. Es war keine Anpassung der Korrelation nötig.

II.1.07

Reifbildung und -wachstum auf gekühlten Rohroberflächen

Dr.-Ing. Alexander Schydlo, Prof. Dr.-Ing. Peter Stephan

Technische Universität Darmstadt, FG. Technische Thermodynamik, Darmstadt, Germany
alexander.schydlo@yahoo.de

Einleitung

Reifbildung, als physikalisches Phänomen, ist sehr oft in der alltäglichen Umgebung zu beobachten. In den meisten Fällen der industriellen Praxis ist die entstehende Reifschicht unerwünscht und hat einen negativen Einfluss auf den Betriebszustand der Anlage durch die Isolierung und Verschlechterung der Wärmeübertragung zwischen der umgebenden Luft und der gekühlten wärmeübertragenden Oberflächen. Insbesondere verringert der Reif die Kälteleistung der Anlage und erhöht die Exergieverluste und die Betriebskosten. Darüber hinaus reduziert die entstehende Reifschicht, z. B. in den Luftkanälen, den Strömungsquerschnitt für die durchströmende feuchte Luft, vergrößert zugleich den Durchflusswiderstand und die Druckverluste.

In der Fachliteratur ist die Wärmeleitfähigkeit der Reifstruktur sehr oft als Funktion der Dichte gegeben. Deswegen auch bildet die Reifdichte eine zentrale Größe, welche den Einfluss der variierenden Parameter auf die Eigenschaften der Reifstruktur beinhaltet.

Ziel der Arbeit Ergebnisse

Aus dem derzeitigen Stand des Wissens wird klar, dass schon umfangreiche Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Reifbildung stattgefunden haben. Relativ wenige Arbeiten umfassen experimentelle Untersuchungen der Reifbildung auf Rohroberflächen.

Die Entwicklung der Messtechnik hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Neue optische Messmethoden zur Bestimmung der Geometrie der Reifschicht und präzise Feuchtigkeitssensoren ermöglichen genaue Messungen der Reifdicke und der Masse des kondensierenden Dampfes.

Neue hydrophobe Strukturen und ihre potenzielle Anwendungsmöglichkeiten in der Kältetechnik als wärmeübertragende Substratoberfläche wurden noch nicht vollständig untersucht. Interessant wäre es zu wissen, ob die Substratoberflächen mit hydrophoben Eigenschaften den Isolierungseffekt der wachsenden Reifschicht verringern können.

Die Fachliteratur umfasst keine vollständige Parameterstudie, welche den Einfluss von allen möglichen physikalischen Größen auf die wichtigsten Reifparametern enthält.

Neben den experimentellen Arbeiten entstanden auch mathematische Modelle in Form von Korrelationsgleichungen für die wichtigsten Parameter der Reifstruktur.

Aus diesen Feststellungen lässt sich als Ziel der vorliegenden Arbeit ableiten, möglichst tiefgehende experimentelle Untersuchungen der Reifbildung auf Rohroberfläche durchzuführen und dann entsprechende Korrelationsgleichungen für die Reifstruktur herzuleiten.

Die Korrelationsgleichungen wurden für die wichtigsten Reifparameter hergeleitet und ihre Ergebnisse graphisch dargestellt. Diese Gleichungen ermöglichen die Berechnung der mittleren Reifdicke sowie der Masse des ausfallenden Wassers und stellen einen Zusammenhang zwischen der unbekanntem physikalischen Größe und den variablen Einflussparametern dar. Die Korrelationsgleichungen sind insbesondere für industrielle Anwendungen geeignet.

II.1.08

Vergleich von Verdampferstrukturen für das Kältemittel Wasser

Lena Schnabel, Kai Thomas Witte, Jacek Kowol, Peter Schossig

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, GERMANY
lena.schnabel@ise.fraunhofer.de

In der Entwicklung hocheffizienter thermisch angetriebener Adsorptionskältemaschinen mit dem Kältemittel Wasser zeigt sich immer wieder, dass neben der Optimierung des Adsorbers die Verbesserung des Verdampfers nicht vernachlässigt werden darf. Während der Adsorption wird Wasser in einem Temperaturbereich von 3 bis 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, die eine gesicherte Auslegung des Wärmeübertragers erlauben. Um diese Lücke zu schließen, werden im Rahmen eines durch das BMWi geförderten Projektes am Fraunhofer ISE unterschiedliche Oberflächenstrukturen und Wärmeübertragerkonzepte hinsichtlich ihrer Eignung untersucht. Die zentrale Anforderung besteht dabei in der Realisierung möglichst hoher Übertragungsleistungen bei möglichst kleinen treibenden Temperaturdifferenzen.

Im Rahmen des Vortrags sollen die Ergebnisse von vergleichenden Messungen an unterschiedlich oberflächenstrukturierten Rohren vorgestellt werden. Zentrale Aspekte des Vergleichs sind die Betriebsweise (berieselt, teilgeflutet), der Füllstand (für die teilgefluteten Messungen), der Kaltwasservolumenstrom, die Druckverluste sowie die Kosten. Als Referenz werden Glattrohre herangezogen.

II.1.09

Gelötetes Vollaluminium-Werkstoffkonzept für HVAC&R-Anwendungen

Stefan Schlüter

Hydro Aluminium Deutschland GmbH, Rolled Products, Grevenbroich
stefan.schluefer@hydro.com

Die Zukunft der HVAC&R Anwendungen liegt Hydro zu Folge in gelöteten Vollaluminium Konzepten, die ein intelligentes und energiesparendes Temperieren ermöglichen.

Auf dem HVAC&R Markt sind die gelöteten Aluminiumkonzepte im Vergleich zu den traditionell verwendeten Wärmetauschern aus Kupfer und Aluminium leichter, kompakter und effizienter. Die Wärmeübertragung ist bei gelöteten Varianten durch eine Lötkehlnahtverbindung zwischen Lamelle und Mehrkanalstrangpressrohr im Vergleich zu konventionellen Geräten mit Kupferrundrohr und gesteckter Aluminiumlamelle um ein Wesentliches verbessert.

Bedingt durch das kompaktere Design bei gleichem Berstdruck, bringt die neuartige Aluminiumlösung die gleiche Leistung bei weniger Kühlmittel- und Energiebedarf. Aus den gesetzlichen Bestimmungen ergibt sich ein kleinerer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand. Zusätzlich wird bei diesem Konzept die Wiederverwertbarkeit der Wärmetauscher verbessert.

Die vorgestellten Materialkombinationen werden typischen Korrosionsangriffen im gelöteten Zustand um einiges besser widerstehen, als die zur Zeit marktbewährten Produkte. Hinsichtlich des SWAAT Tests (sea water acetic acid test) weisen die korrosions- und festigkeitsoptimierten Legierungspakete von Hydro-Aluminium bei gleichzeitig kleinerer Bauweise und geringerem Energie- und Kühlmittelbedarf ein vielfach verbessertes Korrosionsverhalten auf als die konventionelle Kupfer- und Aluminiumlösung.

II.1.10

Numerisch effiziente Berechnungsmethoden für die Stoffeigenschaften von Fluiden für die Systemsimulation

Christian Schulze², Michaela Huhn², Wilhelm Tegethoff³, Jürgen Köhler¹

¹ TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik, Hans Sommer Straße 5, D-38106 Braunschweig

² TU Braunschweig, Software Systems Engineering Institut,
Mühlenpfordtstraße 23, D-38106 Braunschweig
Christian.Schulze@tu-bs.de

³ TLK-Thermo GmbH, Hans Sommer Straße 5, D-38106 Braunschweig

Die Rechenzeit und Stabilität stationärer und dynamischer Simulationen thermischer Systeme wie Wärmepumpen, Klimaanlage oder Rankine-Prozessen wird maßgeblich durch die Stoffdatenberechnung bestimmt. Häufig ist der Rechenaufwand für die Stoffdaten, beispielsweise mit Hilfe von Helmholtz-Fundamentalgleichungen, zu groß, als dass die Simulationen in Echtzeit gerechnet werden könnten. Darüber hinaus sind die häufig in der Praxis verwendeten Stoffdaten-Bibliotheken, wie beispielsweise Refprop, nicht für den Export auf Echtzeitsysteme gedacht.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden neue Methoden zur effizienten Stoffdatenberechnung von Fluiden und Fluidgemischen konstanter Zusammensetzung vorgestellt, die über das technische relevante Zustandsgebiet, verwendbar sind. Grundlage dieses Ansatzes ist eine Näherung durch eine Kurvenschar, die einen Stoffwert in Abhängigkeit von den Variablen Druck und Enthalpie beschreibt und deren Lücken durch Interpolation geschlossen werden. Die Vorteile dieser Formulierung liegen im geringeren Datenbedarf und einer verbesserten Konsistenz der Größen im Vergleich zu Spline- bzw.

reinen Interpolationsverfahren, sowie einer hohen Rechengeschwindigkeit im Vergleich zu beispielsweise auf Fundamentalgleichungen basierten Berechnungen.

Die programmiertechnische Umsetzung dieser Methoden ist grundsätzlich für die Berechnung von Kältemittelstoffdaten für Echtzeit-Systemsimulationen mit beispielsweise dSPACE oder anderen linuxbasierten Real-Time Systemen gedacht. Sie ist jedoch gleichermaßen in beliebige andere Simulatoren und Programme einbindbar, wie Dymola, SimulationX, Matlab, Excel etc..

Im Beitrag wird die Methode für ausgewählte Kältemittel mit entsprechenden Ergebnissen aus Refprop hinsichtlich der Rechengeschwindigkeit und numerischer Abweichung diskutiert. Darüber hinaus wird beispielhaft ein Werkzeugverbund zu Verwendung der Stoffdaten in Echtzeit-Systemsimulationen unter Verwendung der Modellierungssprache Modelica dargestellt.

II.1.11

Messung elektrischer Eigenschaften von Kältemitteln und Kältemittel-Öl-Gemischen

Steffen Feja, Jan Hegewald

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

In Zusammenhang mit dem steigenden Einsatz von Hermetik- und Halbhermetikverdichtern in der Kältetechnik gewinnt zunehmend die Frage nach den elektrischen Transporteigenschaften der eingesetzten Kältemittel-Öl-Gemische an Bedeutung. Ein Beispiel für das bestehende Interesse sind mobile AC-Systeme in Elektro- und Hybridfahrzeugen, deren Bordnetz mit bis zu 400 V ausgelegt ist. Das die Kenntnis über den spezifischen Widerstand der Arbeitsstoffgemische für deren Einsatz mit elektrischen Kompressoren elementar ist, steht außer Frage. Aber auch die Dielektrizitätskonstante lässt wichtige Aussagen zum Verhalten der Moleküle in einem entsprechenden elektrischen Feld zu, die wiederum gezielt genutzt werden können zur energetischen Optimierung der Klimaanlage. Des Weiteren ermöglicht dieser Parameter bedingt Schlussfolgerungen zur Mischbarkeit von Kältemittel und Schmierstoff.

Im Vortrag wird eine neuartige druckfeste Messzelle beschrieben, die sich an den Vorgaben bezüglich der Messung von isolierenden Flüssigkeiten unter Normaldruck orientiert (DIN EN 60247). Der am ILK Dresden entwickelte Messstand ermöglicht die Messung von Kältemitteln, Ölen und Kältemittel-Öl-Gemischen in einem Temperaturbereich von -30 °C bis 80 °C und Drücken bis zu 80 bar. Während die dielektrische Konstante sowie der elektrische Verlustfaktor bei Wechselstrom ermittelt werden, können zur Bestimmung des spezifischen Gleichstromwiderstandes Spannungen bis zu 500 V appliziert werden.

Diese, für die Sensitivität der Methodik sowie in Anbetracht des weiten Messbereichs, beachtliche Flexibilität erlaubt es, auf die Prüfbedürfnisse der industriellen und gewerblichen Kältetechnik einzugehen.

Im Beitrag werden Probleme beim Setup der Methode diskutiert, auf verschiedene auftretende kritische Aspekte eingegangen sowie experimentelle Untersuchungen an vorrangig ökoeffizienten Kältemitteln (GWP<150) wie R744, R1234yf und R152a, aber auch Kältemittel-Öl-Gemischen vorgestellt.

II.1.12

Klassische und neu entwickelte Kältemaschinenöle für das Kältemittel Ammoniak: Eigenschaften und Auswahlkriterien

Wolfgang Bock, Christian Puhl

FUCHS EUROPE Schmierstoffe GmbH, Produktmanagement Industrieöle
Friesenheimer Str. 15, 68169 Mannheim
christian.puhl@fuchs-europe.de
wolfgang.bock@fuchs-europe.de

Neben den HFKW-Kältemitteln haben sich eine Reihe von natürlichen Kältemitteln - neben Kohlendioxid (CO₂) vor allem Kohlenwasserstoffgase wie Isobutan, Propan und Propen - in den letzten Jahren weiter etablieren können. Ammoniak (NH₃) hat dabei vor allem in der Industriekälte bereits heute eine sehr starke Verbreitung. Als sowohl in thermodynamischer Hinsicht als auch in seiner Klimabilanz (GWP = 0) überragendes Arbeitsmedium gewinnt das Kältemittel dabei weiterhin stetig an Bedeutung.

Dieser Beitrag befasst sich mit den praxisrelevanten Auswahlkriterien für NH₃-Schmierstoffe und stellt dabei für die verschiedenen Verdichtertypen (Hubkolbenverdichter, Schraubenverdichter), Verdampfersysteme (überflutete Verdampfung, Direktexpansion) und Einsatzbereiche (unterschiedliche Verdampfungstemperaturen inkl. Tiefkälte mit t₀ < -50°C) geeignete Kältemaschinenöle vor.

An Ammoniak-Kältemaschinenöle werden unterschiedlichste Anforderungen gestellt: so werden je nach Einsatzfall extreme Kältefließfähigkeit, außerordentliche thermische und chemische Stabilität und / oder gute Kältemittelmischbarkeit gefordert.

Neben den am weitesten verbreiteten mineralölbasierenden Kältemaschinenölen werden in vielen Fällen synthetische Schmierstoffe wie beispielsweise Alkylbenzolöle und Polyalphaolefine eingesetzt, deren grundsätzliche Eigenschaften sowie Vor- und Nachteile ausführlich behandelt werden.

Weiterentwickelte Kältemaschinenöle auf Basis synthetischer Kohlenwasserstoffe mit Ihren herausragenden Produkteigenschaften werden vorgestellt.

II.1.13

Neues Softwarepaket „REFLIB 3.0“ für thermophysikalische Stoffdaten kältetechnischer Arbeitsstoffe

Dr.-Ing. Dietrich Vollmer

Institut für Luft- und Kältetechnik, Hauptbereich Kälte- und Wärmepumpentechnik
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
dietrich.vollmer@ilkdresden.de

Vor etwa 10 Jahren wurde am ILK Dresden ein Softwarepaket „REFLIB“ zur Berechnung thermophysikalischer Kältemittelstoffdaten entwickelt, das mittlerweile als Komponente in zahlreichen Programmen und als Add-In für Stoffdatenberechnungen unter MS Excel verbreitet eingesetzt ist. Ein spezielles Entwicklungsziel war, den Zugriff auf mehrere Stoffdatenbibliotheken zu ermöglichen und dem Anwender einen einheitlichen, nutzerfreundlichen und bibliotheksunabhängigen Funktionssatz zur Verfügung zu stellen. Dieses Konzept spiegelt sich auch im Namen der Software wider, der aus „REFrigerant LIBraries“ abgeleitet ist. Die neue Version 3.0 enthält in ihrer Standardausführung zahlreiche aktualisierte Datensätze „etablierter“ Kältemittel und ist durch Datensätze für neue Kältemittel (z.B. HF0-1234yf) erweitert.

Arbeitsstoffe der Kältetechnik sind jedoch nicht nur Kältemittel, sondern auch ein- und zweiphasige Fluide, die z.B. als „Kälteträger“ für den Wärmetransport eingesetzt werden, für die aber kaum adäquate Software vorhanden ist. Bezüglich der funktionalen Abhängigkeiten thermophysikalischer Eigenschaften von Kälteträgern und Kältemitteln bestehen naturgemäß Überschneidungen, so dass mit Einschränkungen gleiche Funktionssätze für Kältemittel und Kälteträger eingesetzt werden können. Das Bibliothekskonzept wird in der Version 3.0 nun auch auf Kälteträger angewendet. REFLIB hat sich somit zu einer universellen Software für Arbeitsstoffe der Kältetechnik gewandelt.

Im Vortrag werden Motivation, Softwarekonzept und diverse Berechnungsansätze erläutert sowie Vor- und Nachteile im Vergleich zu anderer Software diskutiert.

II.1.14

Ionische Flüssigkeiten als Sorbens

Michael Radspieler, Christian Schweigler

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching
Radspieler@muc.zae-bayern.de

In thermisch getriebenen Kältemaschinen und Wärmepumpen werden unterschiedliche Arbeitsstoffpaare, bestehend aus Kältemittel und Sorbens (Lösungsmittel) eingesetzt. Die bisher kommerziell verwendeten Arbeitsstoffpaare weisen jedoch Einschränkungen auf, die bei der Konzeption der Anlagen und beim Betrieb beachtet werden müssen: Die Effizienz von Anlagen mit dem Lösungsmittel wässrige Lithiumbromid-Lösung wird durch die Kristallisationsgrenze des Salzes und die begrenzte thermische Stabilität der Korrosionsinhibitoren beschränkt. Anlagen, welche Ammoniak als Kältemittel verwenden, erfordern aufgrund der Eigenschaften des Kältemittels einen erhöhten Aufwand hinsichtlich der mechanischen Auslegung der Apparate sowie hinsichtlich der Betriebssicherheit. Als Alternative zu den bisher etablierten Arbeitsstoffpaaren werden in der Literatur nun Ionische Flüssigkeiten – organische, bei Raumtemperatur flüssige Salze mit vernachlässigbarem Dampfdruck – als Sorbens für Absorptionskältemaschinen bzw. -wärmepumpen vorgeschlagen und experimentell untersucht. Am ZAE-Bayern wurde hierfür eine vollständige Absorptionskältemaschine als Versuchsanlage ausgelegt und aufgebaut, welche die grundsätzliche Eignung Ionischer Flüssigkeiten als Sorbens nachweisen soll. Im Hinblick auf die besonderen Stoffeigenschaften des Sorptionsmittels wurde eine Prozessführung mit adiabater Absorption und Desorption gewählt. Im Beitrag werden die ersten Versuchsergebnisse mit einem Arbeitsstoffpaar bestehend aus Wasser und 1-Ethyl-3-Methylimidazolium-Ethylsulfat dargestellt und diskutiert.

Stichwörter:

Absorption, Kältemaschine, Wärmepumpe, Ionische Flüssigkeiten, Lösungsmittel

II.1.15

Auswirkungen variiertes Stoffparameter des Absorbens in Absorptionskälteprozessen

Thomas Meyer, Oliver Buchin, Felix Ziegler

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2, Marchstraße 18, 10587 Berlin
oliver.buchin@tu-berlin.de, thomas.meyer@tu-berlin.de

Obwohl in den letzten Jahrzehnten viele Arbeitsstoffpaare für Absorptionskälteanlagen vorgeschlagen wurden, werden hauptsächlich $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ und $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ eingesetzt. Bei Klimaanwendungen dominieren LiBr-Anlagen, da sie gegenüber Ammoniak-Anlagen eine bessere Effizienz aufweisen, weniger Eigenstrom verbrauchen und kompakter gebaut werden können. Eingeschränkt ist der Einsatz von LiBr-Lösung bei hohen Kühlwasser- oder hohen Antriebstemperaturen aufgrund der Kristallisationsgefahr der Lösung, insbesondere wenn gleichzeitig das Kaltwassertemperaturniveau niedrig ist.

Da zunehmend mehr Trockenkühler in Verbindung mit Absorptionskälteanlagen eingesetzt werden und die thermischer Kühlung auch vermehrt in heißen, trockenen Regionen nachgefragt wird, bietet sich ein interessantes Einsatzgebiet für Lösungsmittel, die nicht durch Kristallisation in ihrem Einsatz begrenzt sind, aber trotzdem die Vorteile der LiBr-Anlagen bieten.

Die Diskussion neuer Absorbentien, beispielsweise ionischer Flüssigkeiten, für thermisch getriebene Kälteanlagen führt zu der Frage, welche Einflüsse die einzelnen Stoffeigenschaften des Absorbens auf die Thermodynamik des Absorptionskälteprozesses und weiterführend auf anlagenspezifische Fragestellungen haben.

Es werden die Einflüsse der Variation einzelner Stoffparameter auf den Wärme- und Stofftransport am Beispiel des Rieselfilms aufgezeigt. Weiterhin werden Auswirkungen unterschiedlicher Dampfdruckdaten in Hinblick auf das zu erwartende Wärmeverhältnis des endoreversiblen Prozesses im Dühring-Diagramm betrachtet und die dadurch veränderten Temperaturverhältnisse diskutiert.

Stichworte:

Absorptionskälteanlage, neue Arbeitsstoffe, neue Absorbentien, ionische Flüssigkeiten, Wärme- und Stoffübergang, Stoffparameter, Stoffeigenschaften

II.1.16

Solare Kühlung – Dynamische Rechnerimulationen und DoE-unterstützte Parametervariationen

BEng Sandra Lohmann, BEng Mario Thesing, Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (E²), Fachhochschule Düsseldorf
Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf
sandra.lohmann@fh-duesseldorf.de

Systeme zur Solaren Kühlung sind aufgrund Ihrer zahlreichen Komponenten komplex und vorhandene Regelstrategien von thermischen Solaranlagen nicht ohne Erweiterung nutzbar.

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt „Solare Kühlung im Hardware-in-the-Loop-Test“, kurz SoCool-HIL, beschäftigt sich zunächst mit der Modellierung einer Pilotanlage zur Solaren Kühlung des Projektpartners Vaillant mit der 17,5 kW Absorptions-Kältemaschine der Firma Yazaki unter der Simulationsumgebung Matlab/Simulink. Die Regelungstechnik wird mit der Toolbox Stateflow abgebildet und die Komponenten-Toolbox Carnot um eigene Modelle erweitert, insbesondere um Rückkühltechniken für die Kältemaschine und zur Kälteübergabe in den Räumen.

Anschließende dynamische Jahressimulationen und Parametervariationen dienen der Vorauswahl bezüglich sinnvoller Systemkonfigurationen, Regelstrategien und Dimensionierungen der Komponenten. Die Rechneranalysen werden unterstützt durch die arbeitseffiziente Methodik Design of Experiments (DoE).

Die Ergebnisse dieser Simulationen werden vorgestellt und ein Ausblick auf die Nutzung des gewonnenen Wissens für die nachfolgend geplanten Labor-Feldtests an einem neuen Hardware-in-the-Loop-Prüfstand gegeben.

Stichwörter:

Solare Kühlung, Absorptionskältemaschine, Systemanalyse, Simulation, Design of Experiments

II.1.17

Entwicklung einer Ammoniak/Wasser-Kälteanlage zur solaren Kühlung – abschließende Bewertung

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

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

Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart hat in den Jahren 2006-2010 eine Ammoniak/Wasser-Kältemaschine für die Anwendung zur solaren Kühlung entwickelt. Es wurde ein Gebäudekühlsystem installiert, um die Kältemaschine im realen Betrieb zu testen und zu optimieren. Ein wesentlicher Bestandteil des Kühlsystems ist ein Eisspeicher. Die Rückkühlung der Kältemaschine erfolgt mit Trockenkühlern.

Die Kältemaschine wurde im Laufe des Projekts unter Laborbedingungen vermessen und optimiert. In Kombination mit dem Eisspeicher wurde sie über drei Jahre hinweg in verschiedenen Konfigurationen auch im Realbetrieb vermessen. Mit den Betriebserfahrungen und den Messdaten aus dieser Zeit erfolgt eine umfassende Bewertung des Systems. Dabei wird sowohl der energetische Aufwand als auch der erzielte Komfortgewinn in den Räumen analysiert. Mit Hilfe von Simulationen können diese Aussagen auch auf künftige Anlagen angewendet werden. Es wurden äußere Rahmenbedingungen (Solarstrahlung, Lastprofil, Strompreis) für den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage ermittelt und analysiert.

Weiterhin wird ein Ausblick über künftige Weiterentwicklungen an der Anlage gegeben.

II.1.18

Energieeffiziente Naturumlaufabtauung einer CO₂-Wärmepumpe

Kai Kosowski, Jürgen Köhler

TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik, Hans-Sommer-Str. 5, D-38106 Braunschweig
k.kosowski@tu-bs.de

Ein energieeffizientes Abtauverfahren für eine CO₂-Wärmepumpe auf Basis eines aus der Kraftwerks- und Verfahrenstechnik bekannten gravitationsbedingten Naturumlaufsystems wird hier vorgestellt. Ziel ist es, den Verdampfer im Vergleich zu den herkömmlichen, dominierenden Verfahren (Heißgasabtauung und Prozessumkehrabtauung) energetisch effizienter abzutauen. Das neuartige Verfahren wird als Naturumlaufabtauung bezeichnet.

Die zur Abtauung erforderliche Wärme wird allein aus dem Pufferspeicher des Heizsystems entnommen und über den Naturumlauf zum vereisten Verdampfer geführt. Der Verdichter bleibt beim Abtaubetrieb ausgeschaltet. Dies stellt den wesentlichen energetischen Vorteil sowie den innovativen Aspekt im Vergleich zu den herkömmlichen Abtauverfahren dar.

Basierend auf einer CO₂-Wärmepumpe mit Luft als Wärmequelle wird ein Wärmepumpenkreislauf entwickelt, in dem sich ein selbsterhaltender Naturumlauf einstellt. Im Rahmen der Untersuchungen wird die Funktionsfähigkeit des Naturumlafs zur Abtauung des Verdampfers sowohl experimentell als auch mit Simulationsrechnungen demonstriert.

Eine abschließende energetische Bewertung unter Berücksichtigung des Zeitraums eines Jahres zeigt, dass die Wärmepumpe mit der Naturumlaufabtauung im Vergleich zu den beiden Abtauverfahren mit Prozessumkehr und Heißgas energieeffizienter ist.

Stichwörter:

Wärmepumpe, Verdampfervereisung, Naturumlauf, Abtauung, R744

II.1.19

Energieeffizienzverbesserungen für die Kompressions- und Absorptionskältetechnik durch optimale Prozessführung

Dr.-Ing. H. Förster

Ing.-Büro IFM Dr.-Ing. H. Förster, Bahrendorfer Str. 4, 39112 Magdeburg
dr.foerster-kaelte@web.de

Die Bemühungen um höhere Energieeffizienz sind zum Dauerthema geworden. Der Vortrag gibt eine Übersicht darüber, welche prozesstechnischen Maßnahmen diesem Ziel dienen.

In der **Kompressionskältetechnik** geht es vorwiegend darum, die Entspannungsdampfmenen für Kältemittel mit geringer Verdampfungsenthalpie durch Unterkühlung des Kältemittels zu reduzieren. Dazu stehen der ECO, der Sauggas-Wärmeübertrager und Kombinationen aus beiden zur Verfügung. Es wird über Ergebnisse an ausgeführten Anlagen incl. Nachrüstungen berichtet. Die besondere Rolle des Schraubenverdichters wird diskutiert.

In der **Absorptionskältetechnik** mit dem Arbeitsstoffpaar Ammoniak und Wasser ist die volle energetische Nutzung des aus dem Verdampfer ausgekreisten Kältemittels ein wichtiges Thema. Ferner sind die Lösungsrückführung im Desorber, die Minimierung des Wärmebedarfs durch innovative Dampfkonzentrierung und die Nutzung von Wärmeangeboten in einem breiten Temperaturintervall von entscheidender Bedeutung. Durch ein modifiziertes Verfahren der Absorptionskältetechnik kann die Motorwärme zusätzlich zur Abgaswärme für die Kälteerzeugung genutzt werden.

II.1.20

Wechselwirkungen zwischen Heiz- und Kühlkreislauf bei einem geothermischen Direktverdampfer-Sondenfeld

**Dipl.-Ing. Thomas Grab¹, Dipl.-Ing. Thomas Storch¹,
Prof. Dr. rer. nat. habil. S. Wagner², Prof. Dr.-Ing. habil. U. Groß¹**

¹ Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (IWTT)

² Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau (IBF)

TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Str. 7, D-09599 Freiberg

Thomas.Grab@iwtt.tu-freiberg.de

In Deutschland sind ca. 48 % der installierten Heizungswärmepumpen erdreichgekoppelte Ausführungen. Das heißt, dem Erdreich wird zum Heizen mittels vertikaler Sole- oder Direktverdampfersonde Wärme entzogen. Auch die Möglichkeit einer Kühlung mit Hilfe von Solesonden nimmt einen immer größeren Stellenwert ein, wobei Wärme an das Erdreich abgegeben und folglich die Regeneration des Erdreichs beschleunigt wird. Gegenüber herkömmlichen Kälteanlagen besteht hierbei der große Vorteil in dem geringen Verbrauch an elektrischer Energie für Umwälzpumpen und elektrische Kleinverbraucher.

Auf dem Betriebsgelände der TU Bergakademie Freiberg ist eine derartige Geothermie-Direktverdampfer-Sondenanlage (zum Heizen) mit zusätzlichen Solesonden (zum Kühlen von Laborräumen) installiert. Für Langzeituntersuchungen wurden die Geothermiesonden mit entsprechender Messtechnik, u.a. ein faseroptisches Temperaturmesskabel, ausgerüstet und ein Monitoring seit 2007 betrieben.

Aufbau und Funktionsweise des geothermischen Sondenfeldes werden in diesem Beitrag vorgestellt, ebenso wie die ersten Ergebnisse des Monitorings zu den Wechselwirkung zwischen dem Heiz- und Kühlkreislauf.

Stichwörter:

Geothermie, Propan-Erdwärmerohr, Verdampfung, DVD-Sonde/ Solesonde, Heiz- und Kühlbetrieb

II.1.21

CO₂-Expander-Kompressor-Einheit: Erste Erfahrungen zum Betrieb und Regelung sowie Versuchsergebnisse an einer Anlage der Gewerbekälte

M. Wenzel, U. Hesse, J. Nickl

Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte- und Kompressorentchnik

Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

Mario.Wenzel@tu-dresden.de

Für eine Supermarktanlage wurde eine Schaltungsvariante zur Integration in den Prozess und Verfahren zur Regelung einer Expander-Kompressor-Einheit (ECU) erarbeitet. Diese Einbindung wurde im Zuge eines AiF-Projektes in einer Versuchs- und Demonstrationsanlage realisiert. In dieser kann das Verhalten der ECU bei differierenden Prozessbedingungen untersucht und mit dem herkömmlichen Drosselbetrieb verglichen werden. Diese Anlage ist neben einem weiteren Feldversuch die erste „reale“ Anlage in der die aktuelle Generation der, an der TU Dresden entwickelten, Maschine zum Einsatz kommt. Die Expander-Kompressor-Einheit ersetzt ein Hochdruck- und Mitteldruckregelventil und nutzt die bei der Expansion gewonnene Energie zur Verdichtung des Kältemittels. Es ist möglich, die ECU unter nahezu praxiskonformen Bedingungen zu untersuchen. Ebenfalls besteht die Möglichkeit zum Vergleich, einen herkömmlichen Drosselbetrieb zu betreiben. In der vorliegenden Arbeit werden erste Erfahrungen und Versuchsergebnisse vorgestellt.

Primärenergieeinsparung, CO₂-Emissionen und Wirtschaftlichkeit der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Matthias Schicktanz¹, Jeannette Wapler², Dr. Hans-Martin Henning¹

¹ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Abteilung Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, 79110 Freiburg, Deutschland
matthias.schicktanz@ise.fraunhofer.de

² PSE AG, 79110 Freiburg, Deutschland

* Korrespondenzautor

Dieser Beitrag befasst sich mit dezentraler Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) kleiner Leistungsklasse. In einem solchen System liefert ein Blockheizkraftwerk (BHKW) neben Wärme zur Heizung und Warmwasserbereitung zusätzlich Strom, der vor Ort genutzt oder in das Stromnetz eingespeist wird. Im Sommer, wenn kaum Wärmebedarf besteht, wird die Wärme des BHKWs genutzt um eine thermisch angetriebene Kältemaschine (Ab-/Adsorptionskältemaschine) mit Energie zu versorgen, die damit Kälte zur Gebäudekühlung erzeugt. Mit Hilfe einer einfachen Kostenfunktion, in der die wichtigsten Kennzahlen zur Beschreibung des Systems eingehen (elektrische und thermische Effizienz des BHKWs, Wärme- und Stromverbrauch der Kältemaschine, usw.) werden der Primärenergieverbrauch, die CO₂-Emissionen und die Energiekosten der KWKK mit der Referenztechnologie Heizkessel und Kompressionskältemaschine verglichen.

Es zeigt sich, dass Kühlen mit KWKK in Deutschland kaum zur Primärenergieeinsparung führt aber zur CO₂-Emissionssenkung führen kann. Des Weiteren wird für eine fiktive KWKK-Anlage gezeigt, bei welcher Anlagengröße wie viele Betriebsstunden im Jahr erforderlich sind, damit KWKK wirtschaftlicher als eine Referenzanlage ist.

Stichwörter:

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Primärenergieeinsparung, Wirtschaftlichkeit, Absorption, Adsorption

II.2.01

Effiziente elektronische Überhitzungsregelung für Kälte- und Wärmepumpenanlagen

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Küpper

Honeywell GmbH, Cooling Solutions, Hardhofweg, 74821 Mosbach
hans-dieter.kuepper@honeywell.com

Kälte- und Wärmepumpenanlagen werden in zunehmend erweiterten Betriebsbereichen eingesetzt. Durch den Einsatz von regelbaren Anlagenkomponenten wie drehzahl geregelter Verdichter, Pumpen und Lüfter genügt man den erhöhten Anforderungen an das Nutzungsprofil der Anlage durch die Anwendung selbst. Entsprechend hohe Forderungen ergeben sich daraus auch für den Stellbereich der Expansionsorgane. Der Regelbereich thermostatischer Expansionsventile ist konstruktionsbedingt beschränkt und kann unter Umständen den erweiterten Anforderungen nicht genügen. In dem Fall kommen elektronische Expansionsventile zum Einsatz, die aufgrund ihres elektrischen Antriebes hohe Stellverhältnisse realisieren. Die Effizienz der Arbeitsweise ist jedoch von dem eingesetzten elektronischen Überhitzungsregler abhängig, der das Ventil ansteuert.

Ein neuartiger elektronischer Überhitzungsregler ermittelt selbsttätig die Stabilitätsgrenzen des zu regelnden Verdampfers und adaptiert sich selbst entsprechend der gelernten Charakteristik, so dass in jedem Arbeitspunkt nur die mindest notwendige Kältemittelüberhitzung eingeregelt wird, die zum stabilen Betrieb des Kältemittelkreislaufs notwendig ist. Eine bedarfsgerechte Abtauregelung reduziert zusätzlich den Energieaufwand während des Abtauvorganges. Dies führt zu einer energieeffizienten Betriebsweise der Anlage.

Die charakteristischen Eigenschaften thermostatischer Expansionsventile und verschiedener elektronischer Konzepte der Überhitzungsregelung werden dargestellt und im Hinblick auf energieeffiziente Regelung verglichen.

Stichwörter: Überhitzung, Energieeffizienz, Regelung, Expansionsventil

II.2.02

An electronic expansion valve with automatic refrigerant distribution control

Gunda Mader, Claus Thybo, Henrik Rasmussen

Danfoss A/S, Nordborg, Dänemark
gunda.mader@danfoss.com

In air-conditioning systems typically multi-circuit evaporators are used which allow for optimizing the velocity of the refrigerant by adapting the number of circuits to achieve high heat transfer at low pressure drop. A challenge characteristic for this design is the equal distribution of the gas-liquid refrigerant mixture to the individual circuits. This becomes especially precarious for capacity controlled systems where the refrigerant mass flow varies strongly. Next to a possible refrigerant maldistribution there also occurs air side maldistribution with unequal air flow or air temperature distribution over the evaporator circuits. Both types of maldistribution cause different dry-out zone lengths in the circuits. This leads to a decrease in evaporation pressure and thereby to a reduction of energy efficiency of the air-conditioner.

The objective of the presentation is to describe a control strategy for equalizing and minimizing the dry-out zone in multi-circuit evaporators by compensating for both refrigerant and air side maldistribution. The adaptation scheme is implemented in an electronic controlled distributing expansion valve and uses only one pair of conventional pressure and temperature sensors.

The presentation points out the challenges in operating a distributing expansion valve and describes a strategy to automatically obtain a refrigerant flow distribution that achieves a uniform and low superheat in the multiple circuits of the evaporator. The control strategy is demonstrated with experiments on a residential air-condition system.

II.2.03

Experimentelle Untersuchungen von R744 Ejektordüsen

Dr. Armin Hafner¹, Dr. Krzysztof Banasiak²

¹ SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

² Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Krzysztof.Banasiak@polsl.pl

Ejector systems have been applied since many decades in refrigeration systems, and this is still a very active field of research. More recently, ejector technology has been applied to trans-critical refrigeration systems. Pressure energy recovery is particularly interesting for R744 refrigeration and heat pump technologies, as a relatively large fraction of the cycle losses are related to throttling losses. Some of the Japanese heat pump water heaters do apply ejectors in transcritical units with R744 as working fluid.

The speed at the exit of the motive nozzle is the driving force of the ejector and can be calculated by measuring the reactive force and the mass flow rate. Since the velocity is equal to the enthalpy change the nozzle efficiency can be calculated and various nozzle designs can be evaluated.

With the new test facility of SUT/SINTEF it is possible to experimentally investigate a wide range of motive nozzles. Various throat diameters/designs were investigated experimentally and internal flows are modelled.

II.2.04

Experimentelle Untersuchungen von unterschiedlichen R744 Ejektorgeometrien

Dr. Krzysztof Banasiak¹, Dr. Armin Hafner²

¹ Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Krzysztof.Banasiak@polsl.pl

² SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

Ejector systems have been applied since many decades in refrigeration systems, and this is still a very active field of research. More recently, ejector technology has been applied to trans-critical refrigeration systems. Pressure energy recovery is particularly interesting for R744 refrigeration and heat pump technologies, as a relatively large fraction of the cycle losses are related to throttling losses. Some of the Japanese heat pump water heaters do apply ejectors in transcritical units with R744 as working fluid:

With the new test facility of SUT/SINTEF a wide range of ejector parameters are investigated.

- mixing chamber diameter
- mixing chamber length
- the half angle of the diffusers.

Both experimental and theoretical results will be presented.

II.2.05

Entwicklung und Auslegung eines Luftbefeuchtungssatzes für luftbeaufschlagte Wärmeübertrager

René Paatzsch¹, Stefan Kühne²

¹ ILK Dresden gGmbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
rene.paatzsch@ilkdresden.de

² Thermofin GmbH, Am Windrad 1, 08468 Heinsdorfergrund
stefan.kuehne@thermofin.de

Kältemaschinen sind aus dem zivilisierten Leben nicht mehr wegzudenken. Dabei werden technisch sehr unterschiedliche Kältemaschinen eingesetzt – allen gemeinsam ist aber, dass die dem zu kühlenden Raum zu entziehende Energie zuzüglich der Antriebsenergie der Kältemaschine an die Umgebung abgegeben werden muss. Hierbei kommen verschiedene Systeme zum Einsatz, welche bezüglich ihrer Investitionskosten, der zu erreichenden Rückkühltemperaturen und des Wasser- und Hilfsenergieverbrauchs bestimmte Vor- und Nachteile.

Im Rahmen der immer knapper und teurer werdenden Rohstoffe ist ein sparsamer Umgang mit den vorhandenen Ressourcen notwendig, weshalb ein Bauteil zur Luftbefeuchtung für trocken betriebene Rückkühlsysteme entwickelt wurde, welches diesen Anforderungen gerecht wird. Ein weiterer Vorteil des Systems besteht darin, dass es bei vorhandenen Trockenkühlern bzw. trocken betriebenen Verflüssigern nachgerüstet werden kann. Dieser Aspekt ist gerade deshalb wichtig, da in letzter Zeit in verschiedenen Medien die Diskussion geführt wird, ob die in den einschlägigen Normen hinterlegten Randbedingungen für die Auslegung von kälte- und klimatechnischen Einrichtungen noch den Anforderungen genügen. Hintergrund ist die immer häufigere Überschreitung der tatsächlichen Außenluftbedingungen im Vergleich zu den Normbedingungen und die bei fehlenden Reserven verbundene Nicht-Erreichung der geforderten Innenraumbedingungen bis hin zum Totalausfall der Kältemaschine.

Das neue System beruht darauf, mit einer temporären Luftbefeuchtung eine Leistungssteigerung der Rückkühlung bzw. auch der freien Kühlung zu erreichen oder die Kondensationstemperaturen in Kältekreisen abzusenken und somit die Energieeffizienz der Kälteerzeugung zu erhöhen. Es ist durch den Luftbefeuchtersatz möglich, auch bei trockenen Rückkühlern Kühlwassertemperaturen zu erreichen, die deutlich unter der Außenlufttemperatur liegen. Solche Systeme sind prinzipiell nicht neu, der vorgestellte Luftbefeuchtungssatz hat jedoch entscheidende Vorteile:

- Keine aufwändige Wasseraufbereitung notwendig
- geringer Wasserverbrauch
- Kein zusätzlicher Oberflächenschutz des Wärmeübertragers notwendig
- wartungsarm
- System kann relativ einfach auch bei vorhandenen (trockenen) Wärmeübertragern nachgerüstet werden.

Parallel zur Entwicklung des Luftbefeuchtersatzes wurde ein Rechenalgorithmus aufgestellt, mit welchem der Luftaustrittszustand nach dem Luftbefeuchter berechnet werden kann. Somit ist es möglich, die Lufteintrittszustände in den Wärmeübertrager zu berechnen und den Wärmeübertrager dann nach den gewohnten Regeln auszulegen. In Form eines separaten Berechnungsprogramms oder als Implementierung in eine Auslegungssoftware für Wärmeübertrager kann der Luftbefeuchtersatz als integrierter Anlagenbestandteil schon in der Planungsphase mit berücksichtigt werden.

II.2.06

Der Stand von Forschung und Entwicklung des CO₂-Erdwärmerohres für Geothermische Wärmepumpen

Hans Rüssmann¹, Horst Kruse²

¹ Früher: FKW Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH,
Hannover, Germany
ruessmann@fkw-hannover.de

² FKW Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH,
Hannover, Germany
prof.kruse@fkw-hannover.de

Nachdem der Stand der Forschung und Entwicklung eines CO₂-Wärmerohres für Erdwärmepumpen international bereits auf zwei IEA Heat Pump Konferenzen 2005 in Las Vegas und 2008 in Zürich, sowie national kontinuierlich während verschiedener Deutscher Kälte- und Klimatagungen, als auch in nationalen Zeitschriften bis zum Jahr 2008 dargestellt wurde, soll in dem vorgesehenen Vortrag während der Jahrestagung des DKV in Magdeburg 2010 über den letzten Stand der Forschung und Entwicklung auf Grund eines 2009 abgeschlossenen Forschungsvorhabens des FKW und seiner Industriepartner, das vom BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, über PTJ, Projektträger Jülich gefördert wurde, berichtet werden.

Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Ergebnisse von Vergleichsmessungen des CO₂-Wärmerohres zur herkömmlichen Solesonde mit einem Wasser-Glykol-Gemisch, wobei auch von Herstellern dieser Systeme wesentlich zum Gelingen der Messungen beigetragen haben.

Durch sehr sorgfältige Messungen an beiden Sonden verschiedener Systeme mit baugleichen Wärmepumpen konnten die unterschiedlichen Ergebnisse erklärt werden, die sich auf Grund unterschiedlicher Wärmeaustauscher zur Übertragung der Erdwärme auf den Wärmepumpenkreislauf ergaben, als auch wegen der unterschiedlichen Sondenbauart selbst.

Hierzu wurden grundsätzlich zwei Versuchsreihen durchgeführt, nämlich jeweils mit gleicher Verdampfungstemperatur bzw. gleicher Entzugsleistung beider Sonden.

Aus den Ergebnissen des Vergleichs wurden konstruktive Verbesserungen abgeleitet, die dazu führten, dass das CO₂-Erdwärmerohr seine thermodynamischen Vorzüge voll nutzen kann.

Dies wurde in einer weiteren Versuchsreihe mit einer entsprechend modifizierten Wärmepumpe bestätigt. Am Schluss des Vortrages soll ein Ausblick auf weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit dem CO₂-System gegeben werden.

CO₂-Erdwärmerohr als Monosonde aus Sicht des Grundwasserschutzes

Dirk Gebhardt^{1*}, Stephan Peters²

¹ BRUGG Rohrsysteme GmbH, Produktmanager GECO₂, 31515 Wunstorf, Deutschland
dirk.gebhardt@brugg.de

² Brugg Rohrsysteme GmbH, Geschäftsführer, 31515 Wunstorf, Deutschland
stephan.peters@brugg.de

* Korrespondenzautor

Die Nutzung des Untergrunds durch Wärmeentzug mittels einer Tiefensonde stellt zwar einerseits einen bedeutenden ökologischen Nutzen dar, birgt jedoch auch Risiken, insbesondere für eine der kostbarsten natürlichen Ressourcen, dem Grundwasser.

Die derzeit verbreitet genutzten Doppel-U-Rohr-Sonden aus Kunststoff mit Nennweite 4 x 32 mm in Verbindung mit additivierten Sole-Gemischen der Grundwassergefährdungsklasse 1 stellen aus Sicht der genehmigenden unteren Wasserbehörden ein solches Risiko dar.

Vermeidbar sind diese Risiken durch den Einsatz einer CO₂-Erdwärmesonde, bestehend aus einem einzigen Edelstahl-Wellrohr mit einem Durchmesser von 55 mm. Es bietet gegenüber der Doppel-U-Rohr-Sonde einige Vorteile im Bezug auf den Schutz des Grundwassers:

1. Das natürlich vorkommende, nicht wassergefährdende CO₂ als Wärmeträger vermeidet Verunreinigungen des Grundwassers im Havariefall.
2. Ein metallisches, voll verschweißtes Rohr widersteht besser den Einbau- und Betriebsbedingungen im Erdreich.
3. Ein dünnwandiges, spiralgewelltes Rohr verringert den Bohrlochwiderstand.
4. Der Durchmesser der Monosonde stellt eine Verpressung mit der geforderten Wandstärke von 30 mm auch bei kleinem Bohrdurchmesser sicher.
5. Die Geometrie der Monosonde im kleinen Bohrdurchmesser lässt sich ohne Lunker oder schlechte Hinterfüllung sicher verfüllen.

Die Verwendung von Kohlendioxyd, CO₂, einem natürlich vorkommenden, nicht wassergefährdenden Transportfluid, das im Havariefall im Gegensatz zu den additivierten Solen keine Verunreinigungen des Grundwassers verursachen kann, ist eine innovative Lösung für die Geothermie der Zukunft.

Das widerstandsfähige, metallische Rohr hält trotz seiner geringen Wandstärke den Belastungen beim Einbau in die klüftige Bohrung besser Stand als das PE-Rohrmaterial und der Fuß der Doppel-U-Rohr-Sonde.

Der geringe Bohrlochwiderstand des Erdwärmerohrs und seine vergrößerte Oberfläche durch die Spiralwellung ergibt zusammen mit dem 2-Phasen-Wärmeträger CO₂ bei nur einem Rohr bessere Wärmeübertragungseigenschaften als sie eine Doppel-U-Rohr-Sonde aufweisen kann.

Um die geforderten 30 mm Umhüllung um die Sonde durch die Verpressmasse sicher einzuhalten, bedarf es eines kleineren Bohrdurchmessers als bei einer Doppel-U-Rohr-Sonde.

Die kleinere Bohrung mit nur einem zentralen Rohr ist sicherer durchgängig und fehlerfrei zu verpressen als eine größere Bohrung mit einer aus 4 Rohren bestehenden Doppel-U-Rohr-Sonde.

Stichwörter:

CO₂-Erdwärmerohr, Wellrohr, Monosonde, Grundwasserschutz, nicht wassergefährdend.

II.2.08

Energieeffizienzsteigerungen an ventilatorbelüfteten Lamelleneinspritzverdampfern

Andreas Binder, Ingo Raisch

Walter Roller GmbH & Co., Lindenstr. 27-31, 70839 Gerlingen
andreas-binder@walterroller.de

Ventilatorbelüftete Einspritzverdampfer sorgen in einer Vielzahl von Kleinkälteanlagen für die Kühlung von Gütern des täglichen Gebrauchs. Als einzige Komponente der Kälteanlage stehen sie in direkter Verbindung mit dem Kühlgut.

Ansätze für die Steigerung der Energieeffizienz finden sich in den drei Hauptkomponenten des Luftkühlers: Kernrohr, Lamelle und Ventilator.

Beim Einsatz der Verdampfer im Teillastbereich kann es je nach Auslegung der Verdampferschaltung zu gravierenden Leistungseinbußen kommen.

Am Beispiel von einigen Referenzkühlern wird der Einfluss von energieeffizienten Komponenten auf die Gesamtenergieeffizienz mathematisch ermittelt.

Das theoretische vorhandene Verbesserungspotential wird im Labor durch Messungen überprüft. Basierend auf den gewonnen Erkenntnissen wird das Einsparungspotential an realen Kälteanlagen aufgezeigt.

II.2.09

Optimierung der Auslegung eines Lamellenrohrbündel-Wärmeübertragers

Janybek Orozaliev, Christian Budig, Klaus Vajen

Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel
orozaliev@uni-kassel.de, www.solar.uni-kassel.de

Lamellenrohrbündel-Wärmeübertrager werden häufig für eine Wärmeübertragung zwischen einem Gas und einer Flüssigkeit oder einem Fluid im Phasenwechsel eingesetzt, z. B. für Wasserkühlung, Luftkühlung oder -heizung etc. Bei der Auslegung der Wärmeübertrager müssen Geometrie- und Betriebsparameter festgelegt werden. Dabei werden in der Praxis viele geometrische Parameter entweder durch Standardbaureihen der Hersteller vorgegeben oder durch einen Projektierungsingenieur aus seiner Erfahrung ausgewählt. Dieses Auslegungsvorgehen mag für Standard-Anwendungen gut funktionieren. Bei Nicht-Standard-Anwendungen mit anderen Randbedingungen (z. B. keine Anforderung an die zu übertragende Leistung) sind aber oft zusätzliche Untersuchungen notwendig. In solchen Fällen erscheint eine Optimierung der Auslegung lohnenswert.

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Auslegungsoptimierung am Beispiel einer „exotischen“ Anwendung (Wasservorerwärmung für offene Fernwärmenetze in Kirgisistan mit Hilfe von Umgebungsluft) detailliert beschrieben. Die komplexen Einflüsse der Geometrie und des Betriebs des Wärmeübertragers auf dessen Leistung und Druckverluste werden energetisch sowie ökonomisch bewertet. Hierzu wurden dynamische Jahressimulationen der Leistung und eine Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten für Wärmeübertrager, Ventilator und Pumpe verwendet. Dabei ist die Kostenfunktion für den Wärmeübertrager innovativ und basiert auf den Materialaufwand. Als Zielfunktion bei der Optimierung wurden die minimalen Wärme(übertragungs)kosten gewählt. An dem Beispiel konnte gezeigt werden, dass die Wärmekosten durch die Optimierung um 30 % im Vergleich zu der installierten Referenzanlage gesenkt werden können.

II.2.10

Auslegung und Prüfverfahren von luftgekühlten Gaskühlern für das Kältemittel CO₂

J. ter Veen¹, G. Saß²

¹ Alfa Laval Groningen B.V., Niederlande

² Alfa Laval Mid Europe GmbH; Glinde
quenter.sass@alfalaval.com

In der Gewerbekälte werden zunehmend natürliche Kältemittel verwendet. Insbesondere bei den CO₂-Systemen im transkritischen Bereich werden völlig neue Systemdrücke erforderlich. Im ersten Teil des Vortrages gehen wir auf die Besonderheiten bei der thermodynamischen Dimensionierung ein, im zweiten Teil auf das Prüfverfahren und das damit zusammenhängende Korrosionsrisiko.

1. Wenn Gaskühler für CO₂-Systeme von Anlagenbauern gefordert werden, ist der gewünschte Betriebspunkt normalerweise im transkritischen Bereich. Eine typische Aufgabenstellung liegt bei 90 bar Betriebsdruck, 110 °C Gaseintritt, 33 °C Gasaustritt und einer Umgebungstemperatur der Luft von 30 °C. Der häufigste Betriebsfall, über ein ganzes Jahr gesehen, liegt jedoch im subkritischen Bereich, zumindest in den gemäßigten Klimazonen. Daher ist es sehr wichtig, das Leistungsverhalten des Wärmeübertragers auch als Verflüssiger zu bewerten, obwohl ein Gaskühler gefordert ist.

In dem typischen transkritischen Fall wird das Kältemittelgas mittels der Umgebungsluft von mehr als 100 °C auf 33 °C abgekühlt. Die Luft kann dabei, auf Grund der hohen Gaseintrittstemperatur, sehr hoch erwärmt werden. Bei einer vorgegebenen Leistung gilt: Je kleiner der Luftvolumenstrom wird, je höher wird die Luftaustrittstemperatur. Der geringe Luftstrom ist eine Folge der Forderungen nach geringen Schallemissionen und geringem Energieverbrauch der Ventilatoren. Der geringe Luftstrom ist kein Problem im Gaskühlerbetrieb, die Temperaturdifferenz zwischen Gas- und Luftseite ist hoch genug. Im Verflüssigerbetrieb ist es entgegengesetzt, der Phasenwechsel (von der gasförmigen in die flüssige Phase) und der wesentliche Energietransfer finden bei einer konstanten Temperatur statt. Diese Temperatur bestimmt die Luftaustrittstemperatur. Vorausgesetzt wir haben in etwa die gleiche Wärmelast im subkritischen Betrieb, und der Luftstrom ist gleich, muss die Temperaturdifferenz zwischen Luftaustritt und -austritt gleich bleiben. In Wirklichkeit ist die Wärmelast einige Prozent kleiner, auf Grund des geringeren Druckes auf der CO₂-Seite. Eine Temperaturdifferenz zwischen Luftaustritt- und -austritt von beispielsweise 15 K ist problematisch, wenn der „Gaskühler“ überwiegend subkritisch als Verflüssiger arbeitet. Die maximal praktisch mögliche Verflüssigungstemperatur liegt bei 28 °C. Höhere Verflüssigungstemperaturen sollen vermieden werden, ansonsten ist die Annäherung an den kritischen Punkt zu nah (T_{crit} 31,1 °C). Bei einem delta T von 15 K auf der Luftseite und bei Vollast wird der Wärmeübertrager als Verflüssiger dann nur bei Umgebungstemperaturen von 10 °C oder tiefer arbeiten können.

2. Bei der Verwendung von transkritischem CO₂ sind Betriebsdrücke von 100 bar und mehr die Folge, als Werkstoffe für die Komponenten im Kältesystem werden daher neben oft auch Eisen, Stahl oder deren Legierungen verwendet. Die häufig vorkommenden Korrosionsmechanismen sind allgemein bekannt und verstanden. Für den Einzelfall kann es aber durchaus komplex sein, viele Faktoren spielen eine Rolle und variieren je nach Metallart und Einsatzbedingungen. Die Korrosion stellt eine ernsthafte Bedrohung für CO₂-Kältesysteme dar. Einer der Gründe für Korrosion ist Kondenswasser (ausgehend von der Luftfeuchtigkeit) im Kältemittel. Die Produktions- und Prüfmethoden von CO₂-Gaskühlern werden dargestellt. Es müssen Baugrößen von 30 bis 40 m³ bei einem Druck von >170 bar geprüft werden, dabei bestimmen die Sicherheitsrichtlinien die Prüfprozedur. Die einfachste Methode wäre, mit Wasser als Prüfmedium zu arbeiten, aber dann besteht ein Korrosionsrisiko, wenn einige Randbedingungen nicht beachtet werden. Abschließend wird kurz die Prüfeinrichtung

II.2.11

Transkritisches CO₂ und Wärmerückgewinnung

Rolf Christensen¹, Günter Saß²

¹ Alfa Laval, Lund AB, Schweden

² Alfa Laval Mid Europe GmbH; Glinde, Deutschland
guenter.sass@alfalaval.com

In diesem Vortrag wird gezeigt, dass sich für viele Supermärkte der Wechsel auf CO₂-Kältesysteme lohnt; die Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten für Trinkwarmwassererwärmung und Gebäudeheizung werden deutlich erhöht. Es wird der subkritische und der transkritische CO₂-Kälteprozess dargestellt, dabei wird das beträchtliche Potenzial der Wärmerückgewinnung und die Reduzierung der Emissionen in die Atmosphäre unter Berücksichtigung von thermodynamisch korrekten Randbedingungen bei der Konstruktion und Auswahl von energieeffizienten Systemen, insbesondere von gelöteten Plattenwärmeübertragern erläutert.

Die thermodynamischen Eigenschaften von CO₂ in der transkritischen Phase und der sich daraus ergebende Einfluss auf die Ausführung der Wärmeübertrager sowie die Auswahl des optimalen Betriebsdruckes werden gezeigt. Weiterhin gehen wir auf den Zusammenhang von Betriebsdruck und die minimale CO₂-Austrittstemperatur am Gaskühler ein. Diese Parameter haben einen entscheidenden Einfluss auf die gesamte Systemeffizienz.

Ein kurzer Überblick über die Grundanforderungen an die Aufgabenstellungen von verschiedenen CO₂-Wärmeübertragern im gesamten System bildet den Abschluss, die technischen Daten der gelöteten Plattenwärmeübertrager für CO₂ werden ebenfalls dargestellt.

II.2.12

Experimental and numerical investigation of real world dimpled heat exchanger

Stefan Preibisch*, Matthias H. Buschmann

Institut für Luft und Kältetechnik Dresden, Hauptbereich Luft- und Klimatechnik,
Bertolt-Brecht Allee 20, 01309 Dresden
stefan.preibisch@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

This study is motivated by the observation that recent investigations of dimpled surfaces rarely go beyond single plates or channels. Here, we explore a real world cross flow heat exchanger (400×400×100 mm³). It is found that in any dimpled configuration the exchanged heat is larger than in the reference case (smooth walls). The enhancement of the specific heat transfer per unit area can exceed 40%. Reasonable agreement of global parameters with numerical simulations (FLUENT) is obtained when the whole heat exchanger considering each individual structure is modelled. Based on that finding we analyse the numerical results in order to obtain information on local flow situation and in order to find physical explanations for the different enhancement found in different geometrical configurations.

Keywords:

heat exchangers, dimples, experiment, numerical simulation

II.2.13

Optimierte Verdichter für Supermarkt-Systeme mit niedrigem TEWI

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Riesch

Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Eschenbrunnlestr. 15, D-71065 Sindelfingen
andreas.riesch@bitzer.de

Um die Ökoeffizienz von Supermarktsystemen zu verbessern, ist der Einsatz von CO₂ in der Tiefkühlstufe zwischenzeitlich schon weit verbreitet.

Nachdem für die Normalkühlstufe durch Einführung der ECOLINE-Baureihe für das Kältemittel R134a seit 2009 bereits spezielle Verdichter zur Verfügung stehen, werden nun auch die in der Tiefkühlstufe eingesetzten subkritischen CO₂-Verdichter in dieser Hinsicht weiter optimiert.

Der Einsatzbereich der neuen Baureihe wurde zu höheren Kondensationstemperaturen und damit hin zu universellerem Einsatz erweitert. Gleichzeitig konnte eine erhebliche Verbesserung der Kälteleistung und der Leistungszahl erreicht werden.

Neben dem geringen direkten Einfluss auf den Treibhauseffekt hat die Wahl des Kältemittels CO₂ einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf der Kälteanlage. Ein Lösungskonzept mittels effizienter Kaskadensysteme, in der Tiefkühlstufe mit dem umweltneutralen CO₂, in der Normalkühlstufe z.B. mit R134a oder künftigen HFO's sind aus heutiger Sicht neben einer reinen CO₂-Technik die beste Lösung im Hinblick auf einen geringen TEWI-Wert sowie eine gute Ökoeffizienz.

Die Überlegungen und Gründe zur Entwicklung der neuen Baureihe, die Umsetzung und die Entwicklungsschritte werden aufgezeigt und erläutert.

Stichwörter:

TEWI-Wert, Ökoeffizienz, CO₂/R134a Hybrid-Technik, optimierte CO₂-Verdichterbaureihe für subkritische Anwendungen

II.2.14

Entwicklung einer transkritischen CO₂-Verdichterbaureihe für mittlere bis große Kälteleistungen

Manuel Fröschle

Bock Kältemaschinen GmbH, Benzstr. 7, 72632 Frickenhausen
Manuel.Froeschle@bock.de

Speziell im Supermarkt- und Wärmepumpenbereich ist eine wachsende Nachfrage an CO₂-Anlagen für subkritische und transkritische Anwendungen zu beobachten. Eine Erweiterung der CO₂-Komponenten besonders im transkritischen Bereich ist deshalb zwingend notwendig. Aus diesem Grund wurde eine vollständig neue transkritische Verdichterbaureihe für Drücke bis 130 bar und erweiterten Hubraumstufen entwickelt und speziell auf die Anforderungen von CO₂ ausgelegt.

Der Bericht soll einen Einblick in die Entstehung dieser Verdichter geben und die Anforderungen für die speziell für CO₂ entwickelte Baureihe beleuchten. Die langjährige Erfahrung aus dem Feld zeigt sich hierbei besonders in der Konstruktion dieser CO₂-Verdichter. Somit flossen zum Beispiel diese Erfahrungen in die Konstruktion des Öl- und Kältemittelmanagement ein. Darüber hinaus lag ein Hauptaugenmerk auf dem Gebiet der Energieeffizienz verbunden mit einer möglichst variablen Drehzahlregelung.

II.2.15

Optionen für Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotential und Auswirkungen auf die Verdichtertechnologie

Dr.-Ing. Norbert Kämmer, Dr. Thomas Tomski

Emerson Climate Technologies Europe, Aachen

Der europäische Kältemittelmarkt ist nach wie vor im Umbruch und europaweit ist von einer weiteren Diversifizierung der Kältemittel auszugehen. Dies ist sowohl in unterschiedlichen regionalen und anwendungsspezifischen Gegebenheiten, als auch in abweichenden Prioritäten und Ansichten zur Erreichung umweltrelevanter Zielsetzungen begründet. Ein weiterer gewichtiger Einflussfaktor ist der mögliche Einsatz von Kältemittelalternativen als direkter Ersatz in bestehenden Anlagen. Für die Neuentwicklung von Kältemittelverdichtern bedeutet dies für Verdichterhersteller eine besondere Herausforderung in Bezug auf einzusetzende Ressourcen und erfordert eine genaue Analyse kommerzieller Gesichtspunkte.

Der Vortrag gibt zunächst einen Ausblick auf die mögliche Entwicklung des europäischen Kältemittelmarktes. Potentielle Kältemittelalternativen sind gemäß ihrem Treibhauspotential (GWP) von Standard-GWP bis zu natürlichen Kältemitteln mit vernachlässigbarem GWP eingestuft. Die verdichterrelevanten Konsequenzen und der Stand der Entwicklung werden für jede Kategorie erläutert. Auf die spezielle Kategorie der HFO-Blends wird detailliert eingegangen. Die heutigen von Kältemittelherstellern propagierten HFO-Blends für stationäre Kälteanlagen haben zumeist R-134a-ähnliche Kältemittelleigenschaften und stellen einen Kompromiss zwischen erreichbarer Kälteleistungszahl, GWP, Brennbarkeit und Gleit dar. Diese zeigen bei Verdichterbetrieb im Nennpunkt auch mit R-134a vergleichbare Eigenschaften und Leistungsdaten, außerhalb des Nennpunktes zeigen sich jedoch deutliche Abweichungen. Bei HFO-Blends, die den Eigenschaften des Kältemittels R-404A angenähert sind, sind diese Unterschiede nochmals gravierender. Erste Testergebnisse für ein bestimmtes dieser HFO-Blends werden präsentiert.

Die Präsentation schließt mit einem Ausblick auf weitere Verdichterentwicklungen zur Unterstützung neuer Kältemittel.

II.2.16

Energieeffizienz von Kältemittelverdichtern

Dr.-Ing. Matthias Böhm

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

Matthias.Boehm@ilkdresden.de

Der Verdichter bestimmt wesentlich die Energieeffizienz der gesamten Kompressionskälteanlage. Deshalb ist es bei der Auswahl wichtig, die Unterschiede der Bauarten und der bevorzugten Einsatzbedingungen zu kennen.

Die Katalogangaben der Hersteller sind dafür nur bedingt geeignet. Deshalb wurden die langjährigen Prüfergebnisse des ILK statistisch ausgewertet. Die Messungen erfolgten unter Normbedingungen, insbesondere im Rahmen des Marktüberwachungsprogrammes der ASERCOM. Die Ergebnisse zeigen beispielsweise eine starke Streuung zwischen den Herstellern und keine wesentliche Steigerung der Leistungszahl über die letzten Jahre.

Die Leistungsmessungen der Kältemittelverdichter sind genormt und erfolgen nach der EN 13771-1. In dieser Norm ist ein Korrekturverfahren für die Messwerte hinterlegt. Das Verfahren ist sehr einfach. Das führt zu hohen Anforderungen für die zulässigen Regelabweichungen während der Messung im Beharrungszustand.

Mit einem verbesserten Korrekturverfahren wäre es möglich, den Aufwand für die Leistungsmessungen zu senken. Dafür sind gezielte Messungen mit unterschiedlichen Verdichtern notwendig. Dafür wurde ein Messprogramm aufgestellt und abgearbeitet. Die Auswertung zeigt den aktuellen Stand der normativen Parameterkorrektur im Vergleich zu grundlegenden Referenzwerten in den Temperaturbereichen L, M und H.

Die Prüfung möglicher Korrekturparameter wird zeigen, ob auf diesem Weg eine Optimierung der Vorgehensweise nach EN13771-1 möglich und eine Überarbeitung der europäischen Norm der Leistungsprüfung in diesem Sinn zweckmäßig ist.

II.2.17

Erfahrungsbericht mit automatisch arbeitenden Kalorimeterprüfständen für Verdichterleistungsmessungen nach EN13771-1

Andreas Kleeberg

ILK Dresden eGmbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
andreas.kleeberg@ilkdresden.de

Verdichterprüfstände des ILK werden mit Regel-/Messgenauigkeiten nach EN13771-1 betrieben. Beginnend mit der Eingabe des Messprogramms bis zur Ausgabe der Prüfergebnisse arbeiten diese Prüfstände zum Teil vollautomatisch.

Die stabile Regelung eines solchen Leistungsprüfstandes im gesamten Kennfeldbereich und mit verschiedenen Kältemitteln ist eine herausfordernde Aufgabe, besteht doch der Kältekreislauf aus 3...5 zum Teil vermaschten Regelkreisen. Durch den geschlossenen Kältekreislauf beeinflussen sich die Regelkreise teilweise stark. Erschwerend kommt die thermische Trägheit eines Kalorimetergefäßes, insbesondere beim Regelverhalten kleiner Leistungen, zum Tragen. Der Lösungsansatz des ILK soll vorgestellt werden.

II.2.18

Comparison of R134a, R410A, R1234yf and R1234ze Performance in Air-Conditioning Applications via Simulation

Pamela Reasor^{1*}, Vikrant Aute², Reinhard Radermacher³

¹ Center for Environmental Energy Engineering
Department of Mechanical Engineering, University of Maryland
College Park, MD 20742 USA
Tel: 301-405-8726, Fax: 301-405-2025, Email: preasor@umd.edu

² Center for Environmental Energy Engineering
Department of Mechanical Engineering, University of Maryland
College Park, MD 20742 USA
Tel: 301-405-8726, Email: vikrant@umd.edu

³ Center for Environmental Energy Engineering
Department of Mechanical Engineering, University of Maryland
College Park, MD 20742 USA
Tel: 301-405-5286, Email: raderm@umd.edu

*Corresponding author

Due to environmental concerns, refrigerants with a low global warming impact are gaining importance in the refrigeration industry. Refrigerant R1234yf has a low global warming potential of 4, compared to 1430 for R134a, and has thermodynamic properties similar to R134a, making it a desirable choice for future automotive refrigerants. R1234yf has a significant potential to be a drop-in replacement for R134a in the near future. Furthermore, R1234ze, which is still being developed, is also expected to have a low global warming potential, and may also be a suitable replacement for R134a. R410A is another commonly used refrigerant, and comparisons can be made between R1234yf, R1234ze, and R410A to determine whether the more environmentally friendly refrigerants have any drop-in potential for systems designed for R410A. Comparisons are made between R1234yf, R1234ze, R134a, and R410A, and simulations are conducted to determine the feasibility of using R1234yf or R1234ze as a replacement for R134a or R410A. This paper will present a comparison between the thermophysical properties of R1234yf, R1234ze, R134a and R410A, and will present the results of simulations using the four refrigerants in tube-fin and microchannel heat exchangers.

II.2.19

EuP-Mindestwirkungsgrade für Ventilatoren und deren Auswirkungen für die Kältetechnik

Dipl.-Ing. (FH) Joachim Dietle, Dipl.-Ing. (BA) Thomas Bader

Ziehl-Abegg AG, Heinz-Ziehl-Str., D-74653 Künzelsau
joachim.dietle@ziehl-abegg.de, thomas.bader@ziehl-abegg.de

Die im Juli 2005 erschienene Ecodesign- oder EuP-Richtlinie (2005/32/EC - Energy using products directive) hat zum Ziel, eine Ressourcen schonende, insbesondere energieeffiziente Produktgestaltung durch geeignete politische Instrumente zu unterstützen. Die EuP-Richtlinie wird in den EU-Ländern in nationales Recht umgesetzt. Die Rahmenbedingungen für die europäischen Gesetze sind bereits verabschiedet.

Neben der reinen Energieeffizienz für Motoren, sind für Ventilatoren im Bereich 125W bis 500kW auch leistungsabhängige Mindestwirkungsgrade vorgesehen, die in den nächsten Jahren eingeführt

werden. Danach dürfen nur noch Produkte, die diese Werte erreichen, mit dem CE-Zeichen versehen und in der EU vertrieben und eingesetzt werden.

Dies führt zu weit reichenden Änderungen an kältetechnischen Systemen. Werden heute in der Kältetechnik zur Drehzahlregelung der Ventilatoren noch vielfach Spannungsregler eingesetzt, kommen dort in Zukunft Frequenzumrichter oder Ventilatoren mit EC-Technik zur Anwendung. In geräuscharmen Anwendungen müssen hochpolige, langsam laufende Motoren durch effizientere Motoren ersetzt werden. Ziehl-Abegg zeigt die zukünftigen Anforderungen an Ventilatoren und stellt Lösungen für die Kältetechnik vor.

Stichwörter:

EuP-Richtlinie, Mindestwirkungsgrad, Ventilator, EC-Technik, Frequenzumrichter

II.2.20

Energiesparender Einsatz von EC-Ventilatoren bei Wärmetauschern

Stefano Filippini

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

Die elektronischen EC-Ventilatoren sind eine der wichtigsten Neuerungen der letzten Jahre und ein wichtiger Schritt in Richtung belüftete Wärmetauscher mit einem höheren Wirkungsgrad- und Klima, d. h. Wärme austauschen mit einem minimalen Energieaufwand für die Belüftung.

All das hat wesentliche Vorteile in Hinblick auf die Energiekostenreduzierung von Kühlanlagen. Die Axialventilatoren EC, das Forschungsergebnis einer Zusammenarbeit zwischen EBM und LU-VE, wurden weltweit das erste Mal auf der IKK-Messe 2002 vorgestellt und seitdem haben sie immer mehr den Markt erobert.

In diesem Artikel werden wir im Allgemeinen das Funktionsprinzip der EC-Technik analysieren, mit besonderer Aufmerksamkeit auf ihre Anwendung in Verflüssigern und Luftkühlern.

Die elektronischen Ventilatoren stellen heutzutage eine bedeutende technische Lösung dar. Sie ermöglichen eine wesentliche Energieeinsparung (ca. 30 %) und dazu auch eine große Flexibilität in der Anwendung; die Investitionskosten werden immer zugänglicher und zeichnen sich durch ein Pay back von etwa 2 Jahren aus. Ihre Anwendung in Luftkühlern ermöglicht nicht nur geringeren Energieverbrauch, sondern auch eine Reduzierung der auf die Ventilation zurückzuführenden Wärmelast im Kühlraum mit Verbesserung der Qualität der aufzubewahrenden Lebensmittel.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese Motoren zu steuern und in diesem Artikel werden die wichtigsten davon angesprochen.

Der neue LUV-Regler WMC stellt eine innovative Möglichkeit der Steuerung für EC-Ventilatoren dar. Er gestattet die Einstellung aller Reglerparameter und ermöglicht die optimale Ausschöpfung aller Möglichkeiten, kombiniert mit anwenderfreundlichen Eigenschaften.

Das LU-VE Auswahlprogramm schließlich ermöglicht es, die EC-Ventilatoren auf einfachste Weise zu kombinieren und dank neuer aktivierter Funktionsfähigkeiten können die Betriebsdaten bestens berechnet werden, nicht nur unter Auslegungsbedingungen, sondern auch unter Bedingungen mit veränderter Leistung oder Temperatur. Dadurch erhält man die Grundlagen für eine umfassende Abschätzung des Stromverbrauches und des Schallpegels während der gesamten Betriebsdauer.

Stichwörter:

EC-Ventilatoren – Energieeinsparung – Regelung – Verflüssiger - Luftkühler

III.01

CO₂-Gaskühler/-Verflüssiger mit microox[®]-Wärmeaustauschern Erste Betriebserfahrungen in ausgeführten Kälteanlagen

Dr. Josef Riha

Güntner AG & Co. KG, Hans-Güntner-Straße 2 - 6, 82256 Fürstenfeldbruck
josef.riha@guentner.de

Der Einsatz von microox[®]-Wärmeaustauschern in der CO₂-Technologie stellt wegen der hohen Drucklage und der hohen Kältemittel-Eintrittstemperatur eine Herausforderung dar.

Andererseits ist diese Technologie durch das geringere Füllvolumen, das geringe Gewicht und die hohe Effizienz – im Vergleich zu herkömmlichen Wärmeaustauschern – für R744-Verflüssiger und -Gaskühler optimal geeignet.

Die Firma Güntner hat bereits im letzten Jahr mit Anwendungstests dieser neuen Technologie begonnen. Seitdem wurden weitere Labortests durchgeführt und die neuartige Technologie in Feldanlagen erprobt. In dieser Veröffentlichung werden diese Feldanlagen vorgestellt und die Ergebnisse unserer Untersuchungen erläutert.

Stichworte

CO₂, CO₂ microox[®]-Gaskühler, Füllmengenreduzierung, Effizienz

III.02

Optimierung der Kälteerzeugung unter Beachtung realer Betriebsbedingungen bei offenen Kühlwasserkreisläufen

Erich Degen

Trane Deutschland GmbH, Keniastr. 38, 47269 Duisburg
Erich_Degen@trane.com

Durch die existierende Problematik der Verschmutzung der Verflüssiger von Kältemaschinen in offenen Kühlwasserkreisläufen sind Mehrenergieverbräuche für den Betrieb der Kälteerzeugungsanlagen über den Betriebszeitraum von bis zu 30 % über den zugrundegelegten Auslegungswerten existent. An einem Beispiel werden die Folgen des verschlechterten Wärmeübergangs durch Verschmutzung ermittelt und der Mehrenergieverbrauch in Abhängigkeit eines beobachtbaren Betriebsparameters quantifiziert.

Das automatisch und periodisch arbeitende Trane-Rohrreinigungssystem ermöglicht die Reinigung der Röhrenwärmetauscher bei laufendem Betrieb der Kälteerzeugung ohne jeglichen negativen Einfluss auf die Kälteerzeugung und bedarf auch für Wartungsarbeiten keinerlei Betriebsunterbrechungen. Es werden mit diesem Verfahren Verschmutzungen unmittelbar entfernt, so dass der optimale Wärmeübergang des sauberen Verflüssigers und damit die hohe Effizienz des Kälteerzeugers in einem offenen Kühlwassersystem dauerhaft erhalten bleiben. Die Voraussetzungen und Funktionsweise des Reinigungssystems werden aufgezeigt und erläutert.

Zur Bewertung verschiedener Kälteerzeugungssysteme werden die existierenden Bewertungskriterien erläutert, aufgezeigt und hinterfragt.

III.03

Ein Online-Managementsystem mit ganzheitlichem Ansatz Erfahrungsbericht und Ausblick

Dipl.-Ing. Martin Wenzel

Hörburger AG, NL Erfurt, In den Weiden 3, 99099 Erfurt
martin.wenzel@hoerburger.de

Steigende Anforderungen an das technische Management von Handelsfilialen benötigen ganzheitlich konzipierte Managementsysteme. Der Begriff ganzheitlich bezieht sich in diesem Zusammenhang auf mehrere Aspekte:

- Für eine breite Marktakzeptanz sollte der Einsatz in unterschiedlichen Marktsegmenten möglich sein, wie Food, Nonfood, Tankstellen u. a., aber auch in der Größe ist eine Skalierbarkeit erforderlich, so dass für einen Minishop ebenso wie für einen Supermarkt wirtschaftlich interessante Lösungen möglich sind.
- Das Managementsystem sollte auch auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Anwendergruppen angepasst werden können. Das Management eines Filialisten benötigt andere Funktionen als der Anlagenbauer oder ein Serviceunternehmen. Dabei wird eine echte Webfähigkeit heute als Standard vorausgesetzt.
- Im Hinblick auf die verschiedenen technischen Ausrüstungen einer Filiale ist die Möglichkeit zur Einbindung aller relevanten technischen Systeme notwendig, sowohl hinsichtlich der Technik verschiedener Gewerke wie auch unterschiedlicher Fabrikate und Datenprotokolle.
- Der sicherlich wichtigste Aspekt betrifft die für den Anwender zur Verfügung stehenden Funktionen. Die Aufzeichnung von Betriebsdaten und die Fernparametrierung der Anlagentechnik sind dabei elementar. Verantwortliche für mehrere Hundert oder auch Tausend Filialen benötigen aber Funktionen auf Basis automatischer Datenanalysen noch dringender als einen riesigen „Datenfriedhof“. Die Unterstützung von Systemen zur Qualitätssicherung nach HACCP runden die Funktionen des Managementsystems ab.
- Ein ganzheitlicher Ansatz bezieht sich aber auch auf den Lebenszyklus einer Filiale. Damit ist nicht nur die funktionelle Unterstützung von der Anlageninbetriebnahme bis zum Service gemeint. Auch die systemtechnische Offenheit und Flexibilität für spätere Erweiterungen, Anbindungen zusätzlicher Technik und auch für Software-Updates mit neuen Funktionen ist für eine akzeptable Investitionssicherheit notwendig. Der Vortrag berichtet über die Erfahrungen der Hörburger AG mit dem System „ShopInsight“, welches europaweit bereits für viele Hundert Filialen unterschiedlichster Kunden angewendet wird.

Stichworte:

Managementsystem; Energiemanagement; Webportal; Online-Optimierung; Betriebskosten; Herstellerneutralität; Gewerbekälte; Haustechnik; ShopInsight

III.04

Ein SCADA-System - nicht nur für Gewerbekälteanlagen

Dipl.-Ing. David Lippmann, Dipl.-Ing. Gunter Schill

Dresdner Kühlanlagenbau GmbH, Werdauer Str. 1 - 3, 01069 Dresden
d.lippmann@dka-dd.de, g.schill@dka-dd.de

Mittels Datenfernübertragung diagnostiziert der Kältetechniker den Zustand einer Kälteanlage, parametriert Sollwerte und behebt Störungen möglichst aus der Ferne. Dienstleistungsunternehmen für Kälteanlagen beschränken sich wegen der Wettbewerbsfähigkeit jedoch nicht auf einen Hersteller für Kältetechnik und der dafür eingesetzten Regelungstechnik. Der Kältetechniker ist so gezwungen, je nach Anlage mit verschiedenen Leitsystemen zu arbeiten.

Die Tatsache, dass die Leitsysteme ähnliche Grundfunktionen realisieren, sowie die Vorteile einer zentral verwalteten Software greift das vorgestellte Webportal auf. Als SCADA-Anwendung verfügt es über die Funktionen des Steuerns, Regelns und Überwachens von Kälteanlagen, die für die Diagnose und Wartung aus der Ferne bedeutend sind.

Eine herstellerunabhängige Oberfläche ermöglicht die Interaktion mit den Automatisierungskomponenten der verschiedenen Systeme. Die zentrale Verwaltung sichert die Qualität der Fernüberwachung im Vergleich zu dezentral installierten Systemen.

Da das Webportal für die Diagnose und Wartung von Anlagen konzipiert ist, sind spezielle Parameter für die Inbetriebnahme nicht implementiert. Dafür sind die herstellereigenen Systeme für die Inbetriebnahme unersetzbar.

Das Webportal ist vorerst für die Komponenten von drei Herstellern für Gewerbekälteanlagen vorgesehen. Es erweitert sich zukünftig auf andere haustechnische Anlagen, die über standardbasierte Schnittstellen integriert werden.

Stichwörter: Fernüberwachung, SCADA, Webportal

III.05

Vergleichsmessung von R134a mit DR-11 im Discountmarkt

Dr.-Ing. Kahtan Salem¹, Dr.-Ing. Frank Rinne²

¹ tebeg, Liebigstr. 21a, 97080 Würzburg
kahtan.salem@tebeg.de

² DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Hugenottenallee 173-175, 63263 Neu-Isenburg
frank.rinne@deu.dupont.com

Das Kältemittel R404A ist das meist eingesetzte Kältemittel im Lebensmittelhandel und trägt erheblich zu den direkten Emissionen bei. Eine signifikante Reduzierung durch Verbesserung des Anlagenwirkungsgrad (COP) und Verringerung der Leckageraten werden mit dem Kältemittel R134a erzielt. DuPont hat das Kältemittel DR-11 mit einem Treibhauspotential von kleiner 600 entwickelt, das als R134a Ersatz entwickelt wurde. Dieses azeotrope und nicht brennbare Kältemittel wird in einer Discountfiliale in Mönchengladbach im Rahmen einer Felderprobung untersucht. Die ersten Ergebnisse der durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass der Energieeffizient der Anlage mit beiden Kältemitteln (DR-11) und (R134a) als erste Abschätzung etwa gleichwertig ist.

Im Vortrag werden die folgenden Punkte vorgestellt:

- DR-11 Kältemitteldaten
- Anlagentechnik in Discountfiliale
- Basismessdaten R134a
- Vergleichsdaten DR-11
- Zusammenfassung und Ausblick

III.06

Messung und Vergleich eines neuen Kältemittels als Alternative für R134a in der Normalkühlung von Supermarktanwendungen

Simon Ahlers, Alexander Wirsching

TEKO Gesellschaft für Kältetechnik mbH, Carl-Benz-Str. 1, 63674 Altenstadt
sahlers@teko-kaeltetechnik.de, awirsching@teko-kaeltetechnik.com

Durch die Diskussionen rund um die Effizienz von Kälteanlagen und die Umweltaspekte durch den Kältemittel- GWP verbreitet sich auch in der Supermarkt- Kältetechnik die Anwendung so genannter „Hybrid“- Anlagen. Üblicherweise ist hierbei eine CO₂-Tiefkühlanlage in eine R134a-Normalkühlanlage kaskadiert. Die signifikanten Vorteile, hauptsächlich bestehend aus Energieverbrauch und Treibhauseffekt, gegenüber typischen und weitverbreiteten R404A- Anwendungen liegen auf der Hand.

Ein nicht brennbares, azeotropes Kältemittelgemisch auf Basis von R1234yf als Alternative für das Normalkühl- Kältemittel R134a soll bei gleichem Anlagenaufbau mindestens dieselbe Effizienz erreichen und dabei mit einem deutlich geringerem GWP eine ökologische Verbesserung bieten.

In diesem Vortrag werden neben dem theoretischen Ansatz die Erkenntnisse durch Laborvergleichsmessungen und die Validierung in einem Feldtest aufgezeigt und diskutiert.

Schlüsselwörter:

Kältemittel, GWP, CO₂- Kaskade, R134a, R744, R1234yf

III.07

ENERGIE - TEWI - LifeCycleCosts Supermarkt Kälteanlage CO₂/HFO Hybrid im Vergleich zu R404A und CO₂ transkritisch

Andi Schauer

HAUSER GmbH, Hartmayrgut 4-6, A-4040 Linz, Austria
schauer@hauser.com

Welches Kältemittel ist wirklich das Richtige für die Zukunft?

Eine Frage mit der sich derzeit sowohl die Betreiber als auch die Hersteller von Supermarktkälteanlagen intensiv beschäftigen. Nach einem ausführlichen Feldtest mit einem neuen „Low GWP“ Kältemittelgemisch können Daten und Fakten weiter gegeben werden, die für die Entscheidung hilfreich sind.

Über einen Zeitraum von 3-4 Monaten werden in 2 bestehenden Kälteanlagen Tests mit einem neuen Kältemittelgemisch auf Basis des HFO1234yf durchgeführt. Zusätzlich erfolgt bei einer Anlage ein Kühlmöbeltest in Norm-Klimaraum nach EN-23953. Der zweite Test läuft bei einem Supermarkt mit einer CO₂ Hybrid Anlage.

Das neue Kältemittelgemisch ist nicht brennbar und wird als A1 klassifiziert. Der GWP Wert liegt mit 600 - 700 aber immer noch im ein vielfaches höher als bei natürlichen Kältemittel.

Ziel der Testreihe ist, die Vor- und Nachteile des neuen Gemisches zu analysieren sowie einen detaillierten Energie-, TEWI- und LifeCycleCosts-Vergleich zu R404A und/oder CO₂transkritisch Anlagen zu erstellen.

Der Vortrag stellt die Testanlagen und die Resultate betreffend Kühlmöbel und Kälteanlage vor und liefert mit dem Energie-, TEWI und LCC Vergleich zusätzliche Entscheidungshilfen für die Betreiber von Supermarkt-Kälteanlagen.

Stichworte:

Supermarkt Kälteanlagen, Low GWP Kältemittel, Energievergleich, TEWI Vergleich, LifeCycleCosts Vergleich, HFO

III.08

Höhere Energieeffizienz für LEHs durch Einbindung der Transkritischen CO₂-Anlage in ein Gebäudegesamtkonzept

**Kombination von CO₂-Anlage und Geothermie bietet
weitere Einsparpotentiale**

Joachim Dallinger

Epta Deutschland GmbH, Ludolf-Krehl-Str. 7-11, 68167 Mannheim

Wird ein neuer Supermarkt geplant oder umgebaut, stellt sich die Frage nach einer möglichst sinnvollen energetischen Lösung für den Bereich der Lebensmittelkühlung. Denn es sollen Kosten eingespart und die Umwelt geschont werden. Das Kältemittel CO₂ bietet unter den genannten Aspekten erhebliche Vorteile. Durch die Integration der Kältetechnik in ein Gebäudegesamtkonzept unter Einbeziehung der Geothermie sind darüber hinaus weitere Effekte in diese Richtung möglich.

Der Vortrag zeigt anhand eines tatsächlichen Lebensmittelmarktprojekts, bei dem das natürliche Kältemittel CO₂ für die umweltfreundliche Kühlung der Normal- und Tiefkühlprodukte verwendet wird, welche konkrete Einsparungen und Verbesserungen durch ein entsprechendes Gesamtkonzept möglich sind. Dabei stand die Kälteanlage schon während der Projektierung nicht als losgelöste Einheit im Markt, sondern wurde als Teil des gesamten Gebäudekonzepts betrachtet. Das Konzept regelt jetzt den gesamten Energieeinsatz im Beispielmarkt. Die Abwärme der CO₂-Kälteanlage wird dabei komplett zur Brauchwassererwärmung und Gebäudeheizung eingesetzt. Reicht diese Wärmemenge bei sehr kalten Wintertagen nicht aus, wird das Gebäude zusätzlich über eine Wärmepumpe geheizt. Als Wärmequelle dient hierbei eine Geothermie-Grundwasseranlage.

Bei hohen Außentemperaturen würde diese CO₂-Anlage transkritisch betrieben. Dieser ist aber weniger effizient als der subkritische Betrieb. Im Sommer kann die Geothermie hier sinnvoll zum Einsatz kommen. Denn durch die Kühlung mit der kalten Sole aus der Geothermieanlage wird in dieser warmen Jahreszeit der transkritische Betrieb umgangen. So wird über das ganze Jahr ein energetisch effizienter Betrieb sichergestellt mit den entsprechenden monetären Vorteilen.

III.09

Arbeitstitel: Propan im Lebensmitteleinzelhandel

A. Schwarz

Lidl Dienstleistung GmbH & Co. KG

III.10

Verringerung des CO₂-Ausstoßes durch Optimierung von Pkw-Klimaanlagen

Dipl.-Ing. Rico Baumgart, Prof. Dr.-Ing. Peter Tenberge

Technische Universität Chemnitz, Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik
Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz
rico.baumgart@mb.tu-chemnitz.de

Die Mehrheit der heutigen Automobile ist bereits serienmäßig mit einer Klimaanlage ausgestattet. Allerdings führt deren Benutzung mitunter zu einem erheblichen zusätzlichen Kraftstoffverbrauch.

An der TU Chemnitz wurde ein geometrie- und prozessbasiertes Simulationsmodell entwickelt, welches die gesamte Klimaanlage einschließlich der Fahrgastzelle abbildet. Mit Hilfe dieses Simulationsmodells werden derzeit verschiedene Optimierungsansätze hinsichtlich der erreichbaren Kraftstoff- und CO₂-Einsparungen untersucht. Hierbei werden auch Maßnahmen in Betracht gezogen, welche bisher in wissenschaftlichen Untersuchungen noch keine Berücksichtigung fanden.

Im Vortrag wird zunächst detailliert auf die Wirkungsweise der untersuchten Optimierungsansätze eingegangen. Anschließend werden die Einsparpotentiale für verschiedene Umgebungsbedingungen und Fahrzyklen dargestellt und miteinander verglichen. Hierbei wird auch verdeutlicht, dass es nicht ausreichend ist – wie in den meisten bisherigen Veröffentlichungen – nur einzelne Betriebszustände für die Bewertung von Modifikationsmaßnahmen heranzuziehen. Stattdessen sind, wie im Vortrag gezeigt wird, auch stets die Verbesserungen zu betrachten, die sich innerhalb eines gesamten Jahres erzielen lassen.

Für die Automobilindustrie sind u.a. die im gesetzlich festgelegten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) erreichbaren Kraftstoff- und CO₂-Einsparungen von besonderem Interesse. Obwohl in diesem Zyklus die Klimaanlage ausgeschaltet ist, bewirken dennoch einige der untersuchten Modifikationen eine Kraftstoffverbrauchsreduzierung. Aus diesem Grund soll auch dieses Thema im Vortrag entsprechend behandelt werden.

III.11

Senkung des Kraftstoffverbrauchs durch Optimierung der Leerlaufklimatisierung eines PKW mittels Hybridkühlung

**Dipl.-Ing. Nils Christian Strupp¹, Dipl.-Ing. Roland Kossel²,
Dr.-Ing. Wilhelm Tegethoff², Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler¹**

¹ TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik,
Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig
n.strupp@tu-bs.de

² TLK-Thermo GmbH, Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig

Der Ausstattungsgrad heutiger Neufahrzeuge mit einer Klimaanlage liegt bei über 90 %. Der daraus entstehende Komfortgewinn wird allerdings je nach Lastfall mit einem nicht unwesentlichen Kraftstoffmeherverbrauch erkauft. Insbesondere im Fall des Fahrzeugleerlaufs ist dieser hoch, da weder Motor noch Klimaanlagekomponenten hierfür ausgelegt sind.

Der Verflüssiger als eine dieser Komponenten bietet im Stillstand das wesentliche Optimierungspotential; aufgrund der niedrigen Luftgeschwindigkeit und eventuell auftretender Luftrezirkulationen kann die Wärme auf der Hochdruckseite nur schlecht abgeführt werden, was zu einem Anstieg des

Kondensationsdruckes, im Extremfall zu einer hochdruckbedingten Abschaltung des Verdichters führen kann.

In der Publikation wird ein neuartiges System zur Leerklimatisierung mit Hybridkühlung vorgestellt. Bei der Hybridkühlung wird neben dem rein konvektiven Wärmeübergang auch die Verdunstung eingespritzten Wassers zur Wärmeabgabe des Kältekreislaufes an die Umgebung genutzt. Durch den Verdunstungsprozess können dabei weit tiefere Kondensationstemperaturen erreicht werden, was sich günstig auf die Energieeffizienz der Anlage auswirkt und eine Hochdruckabschaltung auch bei auftretender Luftzirkulation verhindert.

Das Gesamtsystem eines automobilen Kältekreislaufes wird mit Hilfe validierter Modelle aufbauend auf der Modelica Bibliothek TIL abgebildet. Der hybrid-gekühlte Verflüssiger wird detailliert auf der Basis der finiten Differenzenmethode modelliert. Dabei werden Wärme- und Stoffübergänge auf der Basis experimenteller Untersuchungen und wissenschaftlicher Recherche beschrieben. Abschließend wird das Kraftstoffeinsparpotential eines automobilen Kältekreislaufes mit einem optional hybrid betriebenen Verflüssiger unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen bei Fahrzeugleerlauf diskutiert.

III.12

PKW-Klimaanlage mit Wärmepumpenmodus für Elektrofahrzeuge. Vergleich der Kältemittel R 1234yf und R 134a

Prof. Dr.-Ing. Lutz Mardorf, Dipl.-Ing. Peter Menger

Fachhochschule Osnabrück, Labor für Angewandte Thermodynamik,
Postfach 1940, 49009 Osnabrück
L.Mardorf@fh-osnabrueck.de, P.Menger@fh-osnabrueck.de

Im Zweizonenklimaraum des Labors für Angewandte Thermodynamik wurde der Komponentenprüfstand eines Kältemaschinenkreislaufes für die Klimatisierung eines Mittelklasse-Pkws so gestaltet, dass zum Heizen der Fahrgastzelle der im Kältemaschinenkreislauf übliche Kondensator als Verdampfer und der übliche Verdampfer als Kondensator betrieben werden. Die Umschaltung zwischen Kühlbetrieb und Heizbetrieb erfolgt mit einer Ventilschaltung, wobei in beiden Kreisläufen ein innerer Wärmetauscher zum Einsatz kommt. Als Kältemittelverdichter wird ein elektrischer Scrollverdichter eingesetzt.

In experimentellen Untersuchungen werden die COP's der beiden Betriebsarten in Abhängigkeit der Außentemperatur im Sommer- und Winterbetrieb für unterschiedliche Fahrgastzellentemperaturen dargestellt. Besonderer Beurteilung findet der wechselseitige Hoch- und Niederdruckbetrieb der Kondensator- und Verdampfer-Komponenten mit den Luftströmungen im Sommer- und Winterbetrieb. Da die Gesetzesformulierung der Europäischen Kommission das Kältemittel R 134a ab dem 01.01.2017 für alle Neufahrzeuge nicht mehr gestattet, wurde in diesem Prüfstand ein Vergleich mit dem alternativen Kältemittel R 1234yf vorgenommen. Hierbei werden sowohl die Auswirkungen auf die COP's im Kältemaschinenkreislauf und im Wärmepumpenmodus als auch die Auswirkungen auf die Betriebsdaten des elektrischen Scrollverdichters gezeigt.

Stichwörter:

Klimaanlage mit Wärmepumpenmodus, elektrischer Scrollverdichter, Kältemittel R 1234yf

III.13

Elektrofahrzeuge – neue Perspektive für die Klimatisierung

Marc Graaf , Florian Wieschollek

Visteon Deutschland GmbH, Visteonstr. 4-10, D-50170 Kerpen
fwiescho@visteon.com

Elektrofahrzeuge bieten, auf Grund des elektrifizierten Antriebsstrangs und der damit einhergehenden elektrischen Anbindung des Kältemittelverdichters, gute Voraussetzungen zur Umsetzung von bauraum-optimierten Komponenten. Der bei mechanisch angetriebenen Verdichtern eingesetzte Trend des „Downsizing“ kann z.B. weiter geführt werden und das Hubvolumen des Verdichters kann aufgrund der frei regelbaren Verdichterdrehzahl deutlich reduziert werden.

Andererseits stellt der deutlich effizientere Antriebsstrang eines Elektrofahrzeugs große Herausforderungen an das Heizsystem. Auf Grund der höheren Effizienz fällt nicht nur weniger Verlustwärme an, das Temperaturniveau dieser Abwärme ist außerdem deutlich geringer. Derzeit übliche Zuheizmaßnahmen, wie z. B. der Einsatz von elektrischen Zuheizern, sogenannten PTCs, werden die Reichweite des Elektrofahrzeugs bei niedrigen Umgebungstemperaturen für den Endkunden spürbar verringern. Um dies zu vermeiden ist der Einsatz von alternativen Heizkonzepten unvermeidbar.

Die Entwicklung von Elektrofahrzeugen stellt somit neue Herausforderungen an die Nebenaggregate wie zum Beispiel die Fahrzeugklimatisierung. Für die Zulieferindustrie gilt es, diese Herausforderungen als Chance für die Entwicklung innovativer und effizienter Produkte und Systeme zu nutzen.

III.14

Hybridkühlung, Energiesparer mit extremer Leistungsreserve

Dr. Franz Lürken

Air Liquide Deutschland GmbH, Fütingsweg 34, 47805 Krefeld
franz.luerken@airliquide.com

Ausgehend von der LKW-Kühlung mittels direkter Eindüsung von Stickstoff in den Laderaum wurde im Jahr 2004 die indirekte Kühlung mit Stickstoff – Wärmetauschern entwickelt. Die Vorteile der indirekten Wirkung des Stickstoffs über Wärmetauscher:

- Schnelle Kälte!
- Keine Sicherheitstechnik für den Laderaum!
- Kälterückhaltesysteme sparen Energie während der Entladung!
- Das System kann auch heizen!

Beiden Systemen ist allerdings gemeinsam, dass die Kühlung auf die Reichweite des mitgeführten flüssigen Stickstoffs begrenzt ist. Aus dieser Beschränkung führt die seit 2007 in Erprobung befindliche Hybridkühlung: Ein direkt vom LKW-Motor angetriebener Kompressor sorgt während der Fahrt für eine äußerst energieeffiziente Kühlung und die zusätzlich vorhandenen Stickstoff-Wärmetauscher sorgen für extreme Leistungsreserven, wie sie beispielsweise nach einer Türöffnung gebraucht werden.

Häufig werden Generatoren direkt an den LKW-Motor gekoppelt, um mit dem erzeugten Strom den Kühlkompressor zu betreiben. Vorteilhaft ist dabei - wie bei einem direkt getriebenen Kompressor - die günstige Energiequelle: Nur 0,2 l Diesel schlagen als Mehrverbrauch zu buche, wenn an einen großvolumigen Motor eine zusätzliche Last von 1 kW Drehmoment abgegriffen wird. Ebenfalls günstig wirkt sich die Bremsenergieerücknahme bei solchen Systemen aus. Ungünstig ist bei der Generatorlösung allerdings der Wirkungsgrad der zweimaligen Energieumwandlung Drehmoment in Strom und dann zurück in Drehmoment: Verluste von bis zu 40 % sind die Folge.

Hochinteressant ist die Kombination mit einer Stickstoff – Kühlanlage. Analgentechnisch können Steuerung, Lüfter, Heizleistungen sowie die Statik der Wärmetauschermodule für beide Anlagen gleichermaßen genutzt werden. Spezifisch bleiben die Wärmetauscher und die Kältequellen. Während die Kompressorkühlung auf eine hinreichende Motordrehzahl angewiesen ist, steht die Stickstoffkälte immer sofort zur Verfügung. So wird beispielsweise während jeder Türöffnung der Stickstofftauscher auf etwa -100 °C kalt gefahren. Sobald die Türe schließt laufen die Lüfter an und eine Kältewolke sorgt sofort für den gewünschten Temperaturabfall – auch bei Umgebungstemperaturen über +35 °C! Sobald die Solltemperatur erreicht ist, schaltet der Stickstoff ab. Sollte vorher der LKW - Motor drehen, so arbeiten kurzzeitig beide Systeme parallel.

Diese Fahrweise garantiert, dass mit einer im üblichen Sinne unterdimensionierten Maschine ein minimaler Kraftstoffverbrauch (unter 0,5 l/h) erreicht und gleichzeitig die Qualität der Kühlkette in besonderer Weise garantiert wird.

III.15

Energie-Einspar-Software bei Kühlcontainern – Funktionsweise, Potential, Auswirkungen

Dr.-Ing. Yves Wild

Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbüro GmbH, Elbchaussee 1, 22765 Hamburg
YWild@DrWild.de

Seit etwa zwei Jahren setzt sich der Einsatz von Energie-Einspar-Software beim Betrieb von Kühlcontainern immer mehr durch, auch wenn dies vielen Beteiligten (Spediteuren, Versicherungen, Sachverständigen u. a.) gar nicht bekannt ist. So setzt die Großreederei Maersk, die im Kühlcontainertransport einen Marktanteil von ca. 25 % hat, das System QUEST (QUality and Energy efficiency in SStorage and transport of agro materials), inzwischen standardmäßig ein. Alle Kühlcontainerhersteller bieten entsprechende Systeme an, deren genaue Funktion in der Regel aber nicht offen gelegt wird.

Die Grundidee aller Energie-Einspar-Software ist es, die mittlere Umwälzung der Luft im Container zu reduzieren, und die Teillastregelung der Kältekompressoren möglichst als An-/Aus-Regelung auszuführen, da die Anlagen im Vollastpunkt normalerweise einen wesentlich besseren COP aufweisen als im niedrigen kontinuierlichen Teillastbetrieb. Je nach Umgebungstemperatur lassen sich gegenüber der bisher üblichen Regelung Einsparungen des mittleren Energieverbrauchs der Container von bis zu ca. 70 % realisieren. Da es sich bei den Änderungen nur um eine Änderung der Regelungssoftware handelt, lassen sich die Systeme in der Regel wesentlich leichter nachrüsten als dies z. B. bei Hardware-Änderungen der Fall wäre.

In dem Beitrag soll dargestellt werden, wie die Regelung bisher erfolgte und welche Energieverbräuche üblich waren, und wie die neuen Energie-Softwares arbeiten. Das Einsparpotential wird beispielhaft rechnerisch demonstriert. Darüber hinaus soll dargestellt werden, welche Auswirkungen die neuen Regelungen auf die Ware haben (können).

III.16

Batterieklimatisierung und Energiemanagement von hybriden Nutzfahrzeugen

Gerald Pichler¹, Gregor Breuer¹, Martin Ackerl²

¹ MAGNA Powertrain, ECS GmbH & Co. KG, Steyrer Str. 32, 4300 St. Valentin, Austria
gregor.breuer@ecs.steyr.com, office@ecs.steyr.com

² TU Graz / Institute of Automotive Engineering
martin.ackerl@tugraz.at

In der Automobilindustrie hat die hybride Antriebstechnologie ein hohes Einsparungspotential hinsichtlich Treibstoff und CO₂-Emission. Gerade für Nutzfahrzeuge beruht die Erfolgsaussicht von Hybridlösungen primär in Kostensenkung durch Verbrauchssenkung.

Ein sehr wichtiger Aspekt dieses Energiemanagements ist die Klimatisierung der hybriden Hochvolt-Batterie. Nur ein Betrieb im optimalen Temperaturbereich garantiert die Langlebigkeit und eine hohe Leistungsausbeute des Hybridsystems. Bei niedrigen Außentemperaturen muss die Batterie beheizt werden, bei hohen Temperaturen muss sie gekühlt werden, fallweise auch unter Einbindung der Klimaanlage.

Dieser Vortrag präsentiert das Computersimulationsmodell eines hybriden LKW-Kühlsystems. Um transiente Effekte abzubilden, wird das System mit der Simulation der Fahrzeuglängsdynamik gekoppelt. Diese Kopplung der Thermal- und der Fahrsimulation erlaubt eine realistische Betrachtung des Energieverbrauchs.

Schließlich werden Simulationsergebnisse für verschiedene Standardfahrzyklen (HUDDS, JE05,...) präsentiert, welche den Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Treibstoffeinsparungspotential verdeutlichen.

III.17

Adsorption technology for automotive air conditioning driven by the engine waste heat

**Robert de Boer^{1*}, Simon Smeding¹,
Daniela Magnetto², Abdelmajid Taklanti³**

¹ ECN, Efficiency & Infrastructure, PO BOX 1, 1755 ZG Petten, The Netherlands
r.deboer@ecn.nl

² Centro Ricerche Fiat, Strada Torino 50, I-10043 Orbassano (TO) Italy

³ Valeo Climate Control, 8 rue Louis Lormand, F-78321 la Verriere, France

* Corresponding author

The international scenario and the Regulation scenery show an increased need of devices and systems able to improve the vehicle fuel economy and to reduce the CO₂ emissions. Depending on the vehicle/engine type, on the driving condition and on the system efficiency, the A/C can increase the car fuel consumption up to the 50 %. In addition the refrigerant fluid R134A is responsible for global warming and is going to be phased out for automotive application in the EU.

This paper describes the development of an air conditioning system based on adsorption cooling technology with very low environmental impact. The potential advantages of such a system are a drastic reduction of the fuel overconsumption and the CO₂ emission associated to the A/C usage, the use of water as the refrigerant compliant with the new EC regulation. A prototype adsorption cooling

system was developed for the purpose of on-board test of mobile air conditioning driven by waste heat recovered from the engine coolant circuit. The system was designed, constructed and first tested in the laboratory of ECN. It produces 2 kW of chilling power with a COP of 0,4. The prototype was afterward installed in the Fiat Grande Punto demonstration car. The system was connected to the engine coolant system of the car and tested under various conditions. The system performances in the car were comparable to the performances in the lab, indicating that the adsorption cooling system integration was successful.

Following this experimental work a system redesign and car integration study was undertaken. This study showed the potential to reduce the volume and weight of the adsorption cooling system to the extent that the system can be integrated in the engine compartment.

The adsorption cooling technology shows interesting application potential for comfort cooling purposes in a car. The amount of waste heat that is freely available in the engine coolant circuit as well as its temperature level is sufficient to drive the adsorption cooling system and to produce enough cold to keep comfortable interior temperatures.

III.18

Komplexe chemische Wechselwirkungen von Low GWP Kältemitteln mit Konstruktionswerkstoffen bei mobilen Anwendungen

Ulrich Grimm, Siegfried Römer

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

Das bisher in Kraftfahrzeugen eingesetzte Kältemittel R134a wird ab dem 01. Januar 2011 schrittweise durch Low-GWP-Kältemittel ersetzt. Als Ersatzkältemittel wird voraussichtlich HFO-1234yf mit einem GWP von 4 verwendet. Aufgrund der geringeren chemischen Stabilität des neuen Kältemittels ist mit bisher unbekanntem chemischen Wechselwirkungen in Klimakreisläufen zwischen Arbeits- und Werkstoffen zu rechnen.

Insbesondere zur Beurteilung der thermochemischen Stabilität im Zusammenwirken mit Kältemaschinenölen und Werkstoffen in Kreisläufen sind deshalb neue Untersuchungsmethoden und zusätzliche Bewertungskriterien notwendig.

Im Vortrag werden neue Aspekte einer ganzheitlichen Betrachtung möglicher chemischer Wechselwirkungen in Klimakreisläufen vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der Analytik von Reaktions- und Zersetzungsprodukten der beteiligten Arbeits- und Werkstoffe. Darüber hinaus werden die mögliche Verteilung von Wechselwirkungsprodukten in Kreisläufen gezeigt und mögliche Hinweise für die Optimierung von Werkstoffen und Arbeitsstoffen gegeben.

III.19

Neue Kältemittelgemische mit niedrigem GWP besonders für mobile Anwendungen

Dr. Robert E. Low, Dr. Karsten Schwennesen

Mexichem Fluor, The Heath Technical & Business Park, Runcorn, UK
karsten.schwennesen@mexichem.com

Im Rahmen der umfassenden Bemühungen die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren wird auch die Reduktion des Einflusses von Kälte- und Klimaanlage angestrebt.

Dabei ist klar, dass der Einfluss dieser Anlagen nicht nur vom direkten Erderwärmungspotential (GWP) des jeweiligen Kältemittels, sondern auch von den Kältemittelleigenschaften und der daraus resultierenden Energieeffizienz im Betrieb abhängt.

Durch die gezielte Entwicklung von Gemischen können die technischen Eigenschaften von Kältemitteln mit sehr niedrigem GWP sowohl im Hinblick auf Sicherheit (zum Beispiel Entzündlichkeit) als auch durch Anpassung der thermophysikalischen Eigenschaften verbessert werden.

Beispiele für diesen Entwicklungsansatz werden diskutiert und Entwicklungsergebnisse für Kältemittel zur zukünftigen Anwendung in Kälte- und Klimaanlage werden dargestellt. Dadurch wird deutlich, dass die vermeintlichen technischen Nachteile von Kältemittelgemischen durch deutliche Verbesserungen bei Leistung und/oder Sicherheit aufgewogen werden können.

Die Anwendung in mobilen Klimaanlage dient als Beispiel für die vielfältigen Sachzwänge bei der Auswahl und Optimierung von Kältemitteln.

III.20

Klimaservice an Fahrzeugklimaanlagen Heute und Morgen

Michael Beer

Product Manager Workshop Equipment, Dometic WAECO International GmbH
Hollefeldstr. 63, D-48282 Emsdetten
beer@waeco.de

Der heutige Klimaservice ist nicht mehr wie früher einfach Kältemittel Absaugen und Auffüllen. Ein modernes Klimaservicegerät überwacht heutzutage den ganzen Service vollautomatisch. Der integrierte Sensor steuert den Verdichter in der Nachverdampfungsphase an und leitet die einzelnen Zyklen vollautomatisch ein.

In der heutigen Zeit der steigende Kältemittelpreise werden an das Servicegerät verschiedene Ansprüche gestellt. Es muss das Kältemittel in der Klimaanlage nahezu komplett recyceln (SAE J 2788) und zudem auch nach der internen Reinigung den Reinheitsgrad garantieren (SAE J 2099). Der Kältemittelverlust während des Klimaservices muss so gering wie möglich gehalten werden.

Durch die spezielle Softwaresteuerung der WAECO Servicegeräte ist dieser Verlust auf 10 g reduziert.

Für die neue Generation der Servicegeräte muss dieser Wert noch weiter sinken. Da das neue Kältemittel (R1234yf) als leicht entflammbar eingestuft wurde, werden vollkommene neue Sicherheitsrichtlinien für das Servicegerät entstehen. Es sollten keinerlei brennbare Gase in das Servicegerät gelangen. Außerdem muss das Servicepersonal neue Schulungen besuchen.

Lebenszykluskosten von Pumpen in Kaltwasseranlagen

Dipl.-Ing. Frank Räder

Grundfos GmbH, Schlüterstr. 33, 40699 Erkrath
fraeder@grundfos.com

Mit einem Anteil von über 10 Prozent am gesamten weltweiten elektrischen Energieverbrauch trägt der Betrieb von Pumpen erheblich zur CO₂-Emission bei, denn nach wie vor wird für die Erzeugung elektrischer Energie auf fossile Brennstoffe zurückgegriffen. Allein im gewerblichen Umfeld sind derzeit weltweit über 110 Millionen Pumpen im Einsatz. Dies zeigt, wie wichtig es ist, elektrisch angetriebene Pumpen hinsichtlich ihrer Energieeffizienz genauer unter die Lupe zu nehmen, wenn nach wirksamen Möglichkeiten der Emissionsreduzierung gesucht wird. Dieser Tatsache wird durch die politischen Institutionen mittlerweile Rechnung getragen, indem striktere Vorschriften hinsichtlich der Energieeffizienz von Pumpen erlassen wurden und werden. Besonders hervorzuheben sind hier zwei neue EU-Richtlinien: die EuP-Motorenrichtlinie (EG640/2009) und die EuP-Richtlinie für Umwälzpumpen (EG641/2009) 640. Von diesen Richtlinien erwartet man ab dem Jahr 2020 eine Energieeinsparung in der Größenordnung des gesamten Haushaltsstroms Spaniens. Bedeutung und Konsequenzen dieser EU-Richtlinien sind für Anlagenbauer und -betreiber von erheblicher Tragweite, denn es erfolgt in diesem Zusammenhang auch eine völlig neue Klassifizierung von Elektromotoren und damit von Pumpen (IE-Klassifizierung).

Sowohl die genannten EU-Richtlinien als auch das genannte neue IE-Klassifizierungssystem für Motoren wird in diesem Vortrag erläutert.

Wendet man sich von der globalen Betrachtungsweise der lokalen, objektbezogenen Betrachtung der Energieeffizienz von Pumpen zu, wird schnell deutlich, dass neben Umweltschutzaspekten der Kostenaspekt in den Fokus rückt. Um ein ganzheitliches Bild bei der Bewertung von Investitionskosten und Betriebskosten von Pumpen zu erhalten, ist eine Lebenszykluskostenanalyse erforderlich. Diese gibt Aufschluss über Amortisationszeiten und Kapitalverzinsung einer Investition und stellt so echte Entscheidungshilfe für Investitionen in Energiesparmaßnahmen dar. Wie bereits oben im Zusammenhang mit den neuen EU-Richtlinien aufgezeigt, steht der Wirkungsgrad von Pumpen bei der energetischen Bewertung im Fokus. Führt man an bestehenden Anlagen jedoch Untersuchungen durch, zeigt sich, dass neben dem Pumpen-/Motorwirkungsgrad weitere Parameter über die Effizienz eines Systems entscheiden: in vielen Anwendungen laufen Pumpen mit einer konstanten Drehzahl, obwohl weniger als 5 Prozent ihrer Betriebszeit nur tatsächlich Volllast erforderlich ist. Der Grund hierfür ist, dass viele Anlagen als volumenstromvariable Systeme ausgeführt sind, die naturgemäß häufig in Teillastbetriebszuständen arbeiten. Während dieser Teillastbetriebszeiten wäre eine Absenkung der Pumpendrehzahl ohne Nachteile für den Prozess ohne weiteres möglich. Die Energieeinsparungen, die sich aus einer solchen Drehzahlregelung ergeben, können erheblich sein. Bei Bestandsanlagen ist es in der Praxis allerdings häufig nicht möglich, Aussagen über Einsparpotenzial durch Drehzahlregelung zu treffen, denn das Lastprofil, also die zeitliche Verteilung des hydraulischen Leistungsbedarfs ist schlicht und einfach nicht bekannt. Abhilfe schafft in einem solchen Fall eine Messdatenerfassung an der Anlage. Hierbei wird über einen Zeitraum von einem Tag bis hin zu mehreren Wochen das tatsächliche Anlagen- und Nutzerverhalten erfasst (PumpAudit). Das bei diesen Messungen ermittelte Lastprofil erlaubt dann eine Aussage darüber, welches Potenzial durch die Drehzahlregelung genutzt werden kann. Natürlich kommt man bei diesen Messungen auch einem weitverbreiteten Phänomen auf die Spur: die Überdimensionierung von Pumpen bei der Auslegung.

Der Vortrag zeigt die Vorgehensweise bei einem solchen sog. „PumpAudit“ auf und zeigt anhand konkreter Zahlen am Beispiel einer Kaltwasseranlage die Einsparmöglichkeiten auf.

Rolle Natürlicher Kältemittel in Entwicklungsländern im Rahmen sich ändernder Klima- und Ozon-Regime

Dr. Volkmar Hasse¹, Dipl.-Ing. Bernd Kaltenbrunner²

¹ GTZ Proklima
volkmar.hasse@gtz.de

² KWN Engineering GmbH, Sommerweg 13, 5201 Seekirchen, Austria
office@kwn.at

Der vorgezogene Ausstieg aus HFCKW und wachsendes Klimabewusstsein in Entwicklungsländern eröffnen neue Möglichkeiten für natürliche Kältemittel in Bereichen in denen dies bisher Tabuthemen waren.

Die GTZ, im Auftrag von BMZ (Bundesministerium für Entwicklung und Wirtschaftliche Zusammenarbeit) und BMU (Bundsumweltministerium), unterstützt ca. 30 Partnerländer bei der Erfüllung der Verpflichtungen im Rahmen des Montrealer Protokolls. In 16 Ländern werden HFCKW-Ausstiegspläne erarbeitet und implementiert. Dies ist eine ausgezeichnete Chance innovative deutsche Technologie verstärkt auch in Entwicklungsländern zu verankern. In verschiedenen Fällen werden diese Ausstiegspläne durch innovative Demonstrationsprojekte komplementiert, bspw. Supermarktkälte (Kaskade NH₃/CO₂) in Südafrika, zentralisierte Klimatisierung (NH₃) in Mauritius, Raumklimageräte (R290) in China, (solarbetriebene) Kühlschränke (R600a) in Swasiland.

Dieser Beitrag wird die unterschiedlichen Projekte hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher und umweltrelevanter Aspekte kurz darstellen und in die internationalen Klima- und Ozon-Diskussionen einordnen.

Energetische Bewertung raumlufttechnischer Anlagen Vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599

Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg

FH Aachen, 52066, Aachen, Deutschland
hirschberg@fh-aachen.de

Die Energetische Bewertung von Gebäuden nach DIN V 18599 ist u. a. für den öffentlich rechtlichen Nachweis als Rechenverfahren vom Ordnungsgeber vorgeschrieben. Das aus derzeit 10 Teilen bestehende Normenwerk besitzt einen erheblichen, für Anwender kaum zu überblickenden Umfang.

Die sehr detaillierte Beschreibung aller Anlagenbereiche erweckt den Anschein einer Genauigkeit, die aufgrund unübersichtlicher Gliederung, ins Gegenteil verkehrt wird.

Durch den erheblichen Rechenaufwand ist die Berechnung auf die Anwendung von entsprechenden EDV-Programmen reduziert, die die Ergebnisse nicht mehr nachvollziehbar machen. Anwender und Aufsteller von Energiebedarfsausweisen haften für ihre Berechnungen, haben jedoch kaum sinnvolle Möglichkeiten Plausibilitätsprüfungen vorzunehmen. Darunter leidet die Anwendung und letztlich das eigentliche Ziel der realen Energieeinsparung.

Es wird daher ein einfaches Verfahren benötigt, das auf der Basis der in DIN V 18599 gemachten Ansätze zu nachvollziehbaren Ergebnissen führt, deren Genauigkeit sich in einem akzeptablen Toleranzband bewegen. Dieses Verfahren wird am Beispiel der energetischen Bewertung raumlufttechnischer Anlagen vorgestellt. Es stützt sich auf:

- Die konsequente Einführung von Aufwandszahlen für alle Anlagenteilbereiche, die exakt auf den Rechenansätzen in DIN V 18599 basieren.
- Die neue Abgrenzung der Anlagenteilbereiche, so dass insbesondere zwischen dem Transport von wärmeleitenden Medien (in offenen Systemen) und der Wärmeverteilung (in geschlossenen Systemen) unterschieden wird. Speichersysteme sind nach dieser Definition immer der Erzeugung zugeordnet.
- Die Einführung eines analytischen Ansatzes für die Bilanzierung von Wärmequellen oder Wärmesenken aus Komponenten der Anlagentechnik, in erster Linie Wärmeverteilung und Erzeugung.

Für Anwender bringt ein vereinfachtes Verfahren Transparenz in die energetische Bewertung, so dass die Validierung von Systemlösungen und eine einfache Bearbeitung mit vertretbarem Aufwand ermöglicht werden. Erzielte Rechenergebnisse werden reproduzierbar. Damit ist das Ziel, reale Energieeinsparungen zu erreichen, deutlich einfacher zu erreichen.

Energetische Bewertung der Wärmerückgewinnung in Fassadenlüftungsgeräten

Peter Matthes, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
Peter.Matthes@eonerc.rwth-aachen.de

Die Notwendigkeit zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit als auch des Wohlbefindens rückt mehr und mehr in das Bewusstsein der Fachwelt. Insbesondere in Räumen mit hoher Belegungsdichte, wie z. B. in Schulen, ist eine Erhöhung des Frischluftvolumenstroms notwendig. Dies soll unter Beachtung der Behaglichkeitsbedingungen geschehen und gleichzeitig soll der energetische Mehraufwand niedrig gehalten werden. Gerade die Sanierung oder Umnutzung von Bestandsgebäuden mit entsprechender Technik ist dabei das Hauptanwendungs-

gebiet. Eine kostengünstige Sanierungsmaßnahme besteht darin, dezentrale Lüftungstechnik zum Einsatz zu bringen.

Eine verbesserte Lüftung wird zunächst zu einer Erhöhung der Heizlast im Winter und einer Erhöhung der Kühllast im Sommer führen. Bei hoher Belegungsdichte kommt es zu einer zusätzlichen hohen internen Kühllast, die zu einer Verschiebung dieses Verhältnisses führt und sich auf den Energiebedarf oder die Behaglichkeit auswirkt. Weitere Effekte wie die Fassadengrenzschicht oder die Lüftungseffektivität beeinflussen das Gesamtsystem. Die Nutzung eines Wärmerückgewinnungssystems ist sinnvoll, wobei die Höhe der Rückwärmezahl von den beeinflussenden Faktoren abhängig sein sollte.

In einer Untersuchung verschiedener Lüftungssysteme, die auch hybride Lüftungstechnik einbezieht, werden die Auswirkungen verschiedener Rückwärmezahlen mit Hilfe von dynamischen Computersimulationen bewertet. Die Bewertung erfolgt in einem integralen Ansatz anhand des Energiebedarfs als auch anhand von Behaglichkeitskennwerten.

Stichwörter:

Wärmerückgewinnung, dezentrale Lüftung, Energiebedarf, Behaglichkeit, dynamische Simulation

IV.03

Weiterentwicklung exergetischer Bewertungsverfahren für die Heiz- und Raumluftechnik

Azadeh Badakhshani*, Alexander Hoh, Prof. Dr. Dipl. Ing. Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimotechnik
Azadeh.Badakhshani@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Neue Entwicklungen und Energieeinsparmaßnahmen im Gebäudesektor fordern einerseits niedrigere Vorlauftemperaturen der Heizungssysteme. In dieser Studie steht die exergetische Analyse dieser Maßnahmen im Vordergrund.

Exergie bezeichnet den Anteil an der Gesamtenergie eines Systems oder Stoffstroms, der bei einer Überführung in das thermodynamische Gleichgewicht mit der Umgebung Arbeit verrichten kann. In einer exergetischen Analyse wird nicht nur das System selbst, sondern auch seine Umgebung betrachtet.

In dieser Studie werden verschiedene Systeme zur Gebäudeheizung und Trinkwarmwasserversorgung simuliert und exergetisch bewertet. Der Vergleich umfasst einen konventionellen Brennkessel, eine erdgekoppelte Wärmepumpe und ein BHKW. In der Analyse werden die Verluste berechnet und die eingesetzte mit der erzeugten Exergie verglichen. Unabhängig vom Erzeugungssystem wird für verschiedene Vorlauftemperaturen jeweils der Pumpenexergiebedarf berechnet und verglichen. Das Gesamtsystem wird anhand exergetischer Aufwandszahlen bewertet. Hierbei werden die exergetischen Verluste für die Erzeugung, Verteilung und Übergabe ins Verhältnis zum Exergiebedarf des Gebäudes gesetzt.

Stichwörter:

Exergieanalyse, Energieanalyse, Aufwandszahlen, Heizungssysteme

Energieeffizienter Betrieb von Gasmotorwärmepumpen

Hartwig Boye¹, Franz Scheffel¹, Essam Elgendy², Jürgen Schmidt²

¹ Wärmetechnik Quedlinburg Klimabau GmbH, 06484 Quedlinburg, Am Schmöckeberg 1

² Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik,
39106 Magdeburg, Universitätsplatz 2
juergen.schmidt@ovgu.de

Wärmepumpen besitzen ein hohes Potential in Bezug auf ein ökologisches Heizen. Der Anteil der Wärmepumpen an der Neuinstallation von Wärmeerzeugern ist steigend und zunehmend kommen dabei auch gasmotorgetriebene Wärmepumpen (GWP) zum Einsatz. Diese können bivalent betrieben und auch zum Kühlen und Klimatisieren eingesetzt werden. Ein entscheidender Vorteil der GWP ist die dezentral nutzbare Kraft-Wärme-Kopplung durch Einbindung der Motorabwärme in die Versorgungsaufgaben. Die Nutzung der Motorabwärme im Linksprozess unter winterlichen Heizbedingungen ermöglicht zwar den alleinigen Betrieb der GWP als Wärmeversorger, ist aber thermodynamisch nicht sinnvoll. Höhere primärenergiebezogene Nutzungsgrade sind dagegen durch die Einbindung der Motorabwärme, die im Vergleich zur Kondensationswärme auch auf einem höheren Temperaturniveau vorliegt, in das Versorgungssystem erzielbar. Für den Vergleich unterschiedlicher Betriebsvarianten wurde ein Programm zur Prozesssimulation bei Einsatz unterschiedlicher Kältemittel, u. a. R407C und R410A, entwickelt. Für die Durchführung von Experimenten werden zwei von der Wärmetechnik Quedlinburg konzipierte Versuchsanlagen am Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik mit Wärmepumpen des japanischen Herstellers AISIN betrieben. Der Beitrag konzentriert sich auf die experimentellen Untersuchungen. Zunächst werden die Ergebnisse zur Auskopplung der Motorabwärme, die Voraussetzung für einen effizienten Anlagenbetrieb ist, in Abhängigkeit von Betriebsmodus und Betriebsparametern präsentiert. Weiterhin wird eine Pilotanlage mit Kälte-Wärme-Kopplung zur Laserkühlung und gleichzeitigen Brauchwassererwärmung für die Versuchshalle vorgestellt. Diese ist mit einer rechnergestützten Messwerterfassung mit 64 Kanälen ausgestattet und wird mit PRIVA[®] geregelt. Die Ergebnisse der energetischen Analyse werden diskutiert und weisen eine hohe energetische Effizienz für die gewählte Schaltung aus.

Akustische Behaglichkeit und energetische Effizienz von lufttechnischen Systemen

Dr. Philip Leistner

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Abteilung Akustik, 70569 Stuttgart
akustik@ibp.fraunhofer.de

Geräuschentwicklung und Energieverbrauch von lufttechnischen Anlagen und Geräten werden unterschiedlich bewertet, je nach Stand- und Zeitpunkt. Ausgehend vom eigentlichen Lüftungszweck lässt sich bei der Investitionsentscheidung eine Reduzierung des Energieverbrauches mit klarer Amortisation begründen. Der Aufwand für Geräuschminderung hingegen ist 'nur' kostenintensiv. Für die Benutzer von belüfteten Räumen oder Nachbarn von gewerblichen Lüftungsanlagen stellt sich die Situation entgegengesetzt dar. Energieeffizienz ist gut und schön, aber die Geräusche stören akut und chronisch.

Nachhaltige Lösungen müssen daher alle Aspekte, Akustik und Energie, Kosten und Einbauraum, Effizienz und Behaglichkeit in ihrer Verbindung behandeln und Gestaltungsmöglichkeiten aufzeigen. Am Beginn stehen die Ventilatoren mit neuen Entwicklungen, die Energieaufnahme und Schallentstehung minimieren. Daran schließen sich all die funktionalen, anlagenspezifischen Komponenten an, neben Filtern und Wärmetauschern insbesondere die schalldämpfenden Einbauten, deren Druckverluste das energetische Einsparpotential darstellen. Auf dem akustischen Weg zum Nutzer tragen schließlich auch die Raum- oder Umgebungsbedingungen zur Geräuschwirkung bei. Diese Zusammenhänge werden im Beitrag dargestellt und erläutert.

Stichwörter:

Lufttechnik, Akustik, Energieeffizienz

Einführung von Gütezeichen für den Geruch von Baumaterialien und deren Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden

**Birgit Müller¹, Maciej Danielak¹, Jana Panaskova¹,
Dirk Müller², Oliver Jann³, Wolfgang Horn³,**

¹Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin, Marchstr. 4, 10587 Berlin
[Birgit.mueller@tu-berlin.de](mailto:birgit.mueller@tu-berlin.de)

² RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

³ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Verschiedensten Verunreinigungsquellen in Innenräumen beeinflussen die Gesundheit und den Komfort von Personen. Unter diesen Quellen sind Bauprodukte von großer Bedeutung, da diese nicht einfach entfernt werden können und oft sind es nicht die Nutzer, die die Entscheidung über die Wahl der Baumaterialien in Wohnungen, Büros oder öffentlichen Gebäuden fällen.

In der Definition der erforderlichen Luftwechsel im Raum werden die Auslegungen auf sehr schadstoffarme, schadstoffarme und nicht schadstoffarme Gebäude bestimmt. Bisher gibt es aber keine Definition von sehr schadstoffarme, schadstoffarme und nicht schadstoffarme Gebäuden. In dem vom Umweltbundesamt geförderten Projekt wurde eine Methode entwickelt, nach der ein Baumaterial auch geruchlich geprüft und zugelassen werden kann. Diese Methode wird in diesem Beitrag kurz erläutert und deren Auswirkung auf den Energiebedarf eines Gebäudes dargestellt werden.

Stichworte:

Blauer Engel, Emissionstest von Baumaterialien, sensorische Untersuchungen, empfundene Intensität, Akzeptanz

Auswirkung von geruchsrelevanten Baustoffemissionen auf den Energiebedarf von Gebäuden

**Dipl.-Ing. Jana Panaskova¹, Dipl.-Ing. Rita Streblov¹
Dr.-Ing. habil. Birgit Müller², Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller¹**

¹RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
jpanaskova@eonerc.rwth-aachen.de

² TU Berlin, Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik

Eine gute Raumluftqualität ist neben der thermischen Behaglichkeit eine Voraussetzung für das Wohlbefinden und die Gesundheit jedes Raumnutzers. In den Innenräumen eines Gebäudes haben auf die Luftqualität, neben den Personen und Einrichtungsgegenständen, auch die eingebauten Baustoffe einen wesentlichen Einfluss. In den neuen europäischen Normen werden bereits Luftqualitätsklassen definiert und für die Auslegungsverfahren von RLT-Anlagen Lüftungsraten mit Berücksichtigung der Gebäudeschadstoffbelastung vorgeschlagen. Bei der Berechnung des Energiebedarfs werden jedoch Lüftungswärmeverluste die durch Lüftung aufgrund von Schadstoffbelastungen entstehen, nicht betrachtet.

In dieser Studie soll die Auswirkung der geruchsrelevanten Baustoffemissionen auf den Energiebedarf gezeigt werden. Jeder Baustoff kann durch eine Verdünnungskennlinie, die die Abhängigkeit der volumenspezifischen Flächenlast mit der empfundenen Intensität des Baustoffes darstellt, beschrieben werden. Erste Berechnungen verdeutlichen den Einfluss der Verdünnungskennlinienparameter auf den Energieverbrauch.

Mit dieser Studie wird deutlich, dass zur Erstellung eines energieeffizienten Gebäudes emissions- und geruchsarme Baustoffe notwendig sind.

Stichwörter:

Luftqualität, Baustoffemissionen, Gebäudeenergiebedarf, Schadstoffbelastungen, Geruch

IV.08

Strömungseffekte beim instationären Betrieb eines Luftführungssystems

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

RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
ckandzia@eonerc.rwth-aachen.de

Wachsende Anforderungen an die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität in Innenräumen erfordern Experimente, die detaillierte Aussagen über Strukturbildungsprozesse in Raumluftströmungen ermöglichen. Das Auftreten großskaliger Raumluftströmungsstrukturen kann Einfluss auf die Behaglichkeit in Innenräumen haben. Dabei können einzelne Strömungsstrukturen durch das Einstellen bestimmter Raumluftparameter angeregt und zeitlich beeinflusst werden.

In einem Experiment wird die Zuluft über zehn Schlitzdurchlässe im Deckenbereich in eine 3 m hohe, 4 m breite und 5 m lange Versuchskabine eingebracht. Die Abluft befindet sich im Bodenbereich. Volumenstromregler vor jedem Durchlass erlauben sowohl einen konstanten als auch einen instationären Betrieb des Luftführungssystems. Bei der instationären Betriebsführung wird jedem Volumenstromregler ein Sinussignal aufgeprägt und so der zugeführte Volumenstrom zeitlich variiert.

Die Untersuchungen werden für isotherme Randbedingungen und unter Zuführung thermischer Lasten durchgeführt. Diese werden mit Hilfe von elektrisch beheizten Wärmequellen bereitgestellt. Parallel zu den experimentellen Untersuchungen werden numerische Strömungsberechnungen durchgeführt und mit den Messergebnissen verglichen.

Stichwörter:

Thermische Behaglichkeit, Raumluftströmungsstrukturen, instationäre Luftführung

IV.09

Was ist eine „Klimaanlage“?

Prof. Dr.-Ing. Achim Trogisch,

HTW DD, Fakultät Maschinenbau/Verfahrenstechnik, LG TGA
trogisch@mw.htw-dresden.de

Der Begriff „Klimaanlage“ wird vielfältig bei der Raumkonditionierung, in der Fahrzeugtechnik, in gesetzlichen Regelungen (z.B. energetische Bewertung in der EnEV 2009) und Regeln der Technik (z. B. DIN EN 13779, DIN SPEC 13779, DIN EN 15251, DIN EN 15240) verwendet, ohne dass es bisher gelungen ist, diesen eindeutig zu definieren.

Auch ein kurzer historischer Abriss und ein Bezug auf den englisch sprachigen Begriff „Air Conditioning“ führen zu keinem befriedigenden Ergebnis.

Insbesondere in der Gebäude“-klimatisierung“ werden die verschiedensten Systeme als „Klimaanlage“ bezeichnet, um hygienisch bzw. technologische geforderte Raumklimaparameter zu gewährleisten.

Mit der technischen Umsetzung wie z. B. der Regelung des Volumenstromes, der Minimierung des Energieaufwandes, der Anpassung an die jeweiligen Nutzungsbedingungen, Zuführung eines Mindestaußenluftvolumenstromes, thermisch aktive Bauteile usw. gibt es zahlreiche Systeme zur Gewährleistung von Raumklimaparametern.

Es wird der Versuch unternommen unter dem Aspekt der Gewährleistung der Raumluftkonditionen eine Übersicht zu erstellen, um

- die zu planenden bzw. zu realisierenden technischen Lösungen zwischen Auftraggeber/Nutzer und Planer richtig definieren und vereinbaren zu können und
- den Intentionen einer Norm folgend, sowohl die zu realisierenden technischen Lösungen exakt und eindeutig beschreiben als auch in gesetzgeberischen Dokumentationen definieren zu können.

IV.10

Erfahrungen mit der sorptionsgestützten Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien

R. Berger, J. Röben

Menerga GmbH, 45473 Mülheim an der Ruhr, Gutenbergstr. 51
info@menerga.com

Hochrechnungen kommen zu dem Ergebnis, dass in Deutschland pro Jahr bis zu 3,5 Milliarden Kilowattstunden Strom für die Klimatisierung von Bürogebäuden aufgewendet werden. Dieser Verbrauch fällt naturgemäß geballt an den Sommertagen an. Ein bedeutender Teil des Energieaufwandes wird dabei für die Raumluftkühlung und die Außenluftentfeuchtung aufgewendet. Diese thermodynamischen Zustandsänderungen erfolgen in der Regel mit elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen, die nach wie vor den Markt beherrschen. Eine energieeffiziente Alternative stellen wärmegetriebene Verfahren zur Klimatisierung dar, sofern Wärmequellen wie die Abwärme von Blockheizkraftwerken, Überschusswärme aus Fernwärmenetzen oder aber die Sonnenenergie genutzt werden. Hier ist besonders interessant, Energie zur Klimatisierung in Form von konzentrierter Salzlösung zeitlich unbegrenzt und verlustfrei zu speichern.

Seit Anfang 1990 beschäftigt sich die Firma Menerga GmbH mit der sorptionsgestützten Klimatisierung in den verschiedensten Forschungsvorhaben mit den unterschiedlichsten Partnern. Die Ergebnisse in den bisher durchgeführten Untersuchungen und den Langzeitmessungen zeigen, dass ein System mit sorptiver Luftentfeuchtung durch wässrige Salzlösung technisch realisierbar ist. Ein sorptionsgestütztes Klimasystem ist eine gute Alternative zur konventionellen Klimatechnik, denn die thermodynamische Zustandsänderung Kühlen und Entfeuchten wird nicht über den „Umweg“

Abkühlen der Luft - Taupunktunterschreitung – Wiedererwärmen der Luft, sondern durch Absorption von Wasser in einer Sole realisiert. Als Antriebsenergie wird lediglich Niedertemperaturwärme für die Desorption benötigt. Im Vergleich zu konventionellen Klimaanlage stellt ein sorptionsgestütztes Klimasystem die gleiche Nutzenergie (Enthalpieänderung der Zuluft) mit rund einem Viertel bis zu einem Drittel – je nach Betriebszustand – des Primärenergieeinsatzes bereit. Darüber hinaus werden sorptionsgestütztes Klimasysteme ohne Kältemittel betrieben.

IV.11

Mehrfachfunktionale Hochleistungs-Wärmerückgewinnungssysteme

Dr.-Ing. Christoph Kaup

HOWATHERM Klimatechnik GmbH, 55767 Brücken, Keiperweg 11-15
info@howatherm.de

Kreislaufverbund-Systeme (KV-Systeme) können bei Beachtung der konstruktiven Kriterien als Hochleistungssysteme mit bis zu 80 % Systemübertragungsgrad wirtschaftlich eingesetzt werden. Neben der primären Funktion der WRG können dann aber auch zusätzliche und sekundäre Funktionen wie Nacherwärmung, Kühlung und weitere Funktionen der Energierückgewinnung im System realisiert werden.

Der Medienstrom (Sole) eines Hochleistungs-Kreislaufverbund-Systems, dessen eigentliche Funktion der Wärmerückgewinnung dient, kann daneben auch genutzt werden, um Wärme, aber auch Kälte in das System einzuspeisen. Energie wird dabei in das WRG-System ein- oder ausgekoppelt. Dadurch, dass in einem solchen Fall kein zusätzlicher Erhitzer oder Kühler im Luftstrom notwendig wird, erhöht sich die Wirtschaftlichkeit eines Hochleistungs-KV-Systems beträchtlich, da zum einen die Investitionskosten verringert und zum anderen die Betriebskosten, verursacht durch die Druckverluste, reduziert werden können.

Dabei muss zwingend beachtet werden, dass durch das Ein- und Auskoppeln von Wärme der Gesamtübertragungsgrad des Systems sowohl negativ als auch positiv beeinflusst wird.

IV.12

Messungen an einem gewerblichen Netto-Null-Energie-Gebäude

Vorstellung von Gebäude, Haustechnik und Messaufgabe

Achim Zeller¹, Ansgar Thiemann²

¹ Athoka GmbH – Alles Klima! , 45699 Herten, Lise-Meitner-Str. 17
a.zeller@athoka.de

² DAIKIN-Europe N.V., Zandvoordestraat 300, B-8400 Oostend (B)
thiemann.a@bxl.daikineurope.com

Das 2010 in Betrieb genommene Büro- und Lagergebäude der Zeller/Athoka-Gruppe wurde zukunftsweisend als Netto-Null-Energiegebäude geplant. Neben einer zeitgemäßen Gebäudehülle bilden moderne Wärmepumpen, Klima- und Lüftungssysteme in Kombination mit einer abgestimmten PV-Anlage den haustechnischen Rahmen zur Erreichung eines Gebäudestandards, wie er zur Erreichung der EU 20-20-20-Ziele ab 2019 verpflichtend sein wird.

Daikin Europe N.V., Oostende, Belgien, nutzt dieses, für Gewerbebauten recht typische Gebäude, um mit einer internationalen Forschungsallianz den aktuellen Stand der Technik sowie zukünftige Optimierungspotentiale für Netto-Null-Energie-Gewerbegebäude zu erforschen.

Über einen Zeitraum von 12 Monaten werden konkrete Messungen vorgenommen, die aussagekräftige Ergebnisse über die tatsächlichen Energieströme, Komfortbedingungen im Gebäude, die Interaktion/das Zusammenspiel von Gebäudetechnik und Energienetzwerk, sowie Schlussfolgerungen für die Optimierung zukünftiger Projekte liefern sollen. Beteiligt sind daran das Fraunhofer Institut für Bauphysik und die Fraunhofer UMSICHT, die TU Dortmund, die University of Manchester (UK) sowie das Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques (CETIAT) aus Frankreich.

Der Vortrag stellt das Gebäude, die verwendeten Anlagentechniken, die verschiedenen Forschungsprojekte und die eingesetzte Messtechnik vor.

Stichworte:

Netto-Null-Energiegebäude, EU-20-20-20-Ziele, Wärmepumpe, Photovoltaik, Netzurückwirkung, Zusammenspiel Gebäudetechnik-Energienetzwerk

IV.13

Ergebnisse von Feldmessungen elektrisch angetriebener Kompressionswärmepumpen in Neubauten und im Gebäudebestand

Dipl.-Ing. Marek Miara

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

Einleitung

Bereits zur Deutschen Kälte-Klima-Tagung 2008 wurde das Projekt „Wärmepumpen-Effizienz“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE vorgestellt, in dem über 100 Wärmepumpen im realen Einsatz vermessen werden. Mit hoher zeitlicher Auflösung werden Volumenströme, Temperaturen, Wärmemengen und Stromverbräuche in den einzelnen Messobjekten erfasst, per Datenfernabfrage täglich ans Institut übertragen, hier gespeichert und ausgewertet. Aus den Messergebnissen werden Kennwerte, das Systemverhalten und Korrelationen zu Anlagenstammdaten abgeleitet. Die untersuchten Wärmepumpen nutzen Außenluft, Erdreich oder Grundwasser als Wärmequelle.

Wird im Projekt „WP-Effizienz“ untersucht, wie effizient die sich derzeit am Markt befindlichen Wärmepumpen in Wohngebäuden aktueller Baustandards sind, werden im Projekt „WP im Gebäudebestand“ die Wärmepumpeninstallationen in unsanierten bzw. teilsanierten Bestandsgebäuden untersucht. Die Hauptziele der beiden Projekte sind die Bestimmung der Effizienz und die Identifikation von Optimierungspotenzialen der Wärmepumpenanlagen. Die Ergebnisse aus beiden Projekten werden bis September 2010 vorliegen.

Das Projekt „WP Effizienz“ wird um weiteren Wärmepumpenhersteller erweitert und unter dem Namen „WP Monitor“ bis Mitte 2013 laufen. Dabei werden ca. 100 Anlagen vermessen. Neben den bisherigen Partnern Alpha-InnoTec, Hautech, Bosch Thermotechnik, NIBE, Stiebel Eltron, Vaillant und Viessmann werden die Firmen Glen Dimplex, Max Weishaupt, Wolf, Heliotherm, Ochsner sowie Bartl Wärmepumpen ihre Anlagen zur Vermessung bereitstellen. Das Vorhaben wird durch den Energieversorger EnBW unterstützt.

Beispiel: Arbeitszahl der Sole-Wasser-Wärmepumpen aus dem Projekt „WP-Effizienz“

Die aktuellen Auswertungen beziehen sich auf den Zeitraum Januar 2008 bis Dezember 2009. Die Darstellung zweier kompletter Jahre bietet die Möglichkeit einer zweckmäßigen Einordnung der Ergebnisse, basierend auf einer durchgehend fundierten Datenbasis.

Für die bisher bis zu 62 auswertbaren Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde eine Gesamtarbeitszahl von 3.9 für den Betrachtungszeitraum ermittelt. Die Wärmepumpen sorgen sowohl für die Bereitstellung der Heizwärme als auch der Warmwassererwärmung. Die elektrische Zusatzheizung (z. B. Heizstab) wird bei der Berechnung der Arbeitszahlen berücksichtigt. Je größer der Anteil der Heizenergie gegenüber dem der Trinkwarmwasserbereitung an der Gesamtwärmeversorgung wird, desto wirksamer wird die damit verbundene geringere Vorlauftemperatur und somit der Temperaturhub. Ein

geringerer Temperaturhub bei moderaten Vorlauftemperaturen wirkt sich positiv auf die Arbeitszahl aus. Daher können die monatlichen Arbeitszahlen in ihrer Höhe relativ eindeutig der Sommer- bzw. der Heizperiode zugeordnet werden.

Der Anteil der Wärmepumpe (Verdichter) am Gesamtstromverbrauch beträgt im Durchschnitt 91 %, für die Solepumpe 6 % und für die elektrische Zusatzheizung 3%. Eine signifikante Aktivität der Zusatzheizung wurde allerdings nur bei 6 Anlagen festgestellt. Bei den meisten Anlagen hat die zusätzliche Elektroheizung überhaupt nicht gearbeitet.

Auf der Deutschen Kälte-Klima-Tagung 2010 werden die Ergebnisse für die Luft-, Sole- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen aus beiden Projekten detailliert vorgestellt und kommentiert. Neben den Arbeitszahlen der Anlagen werden auch die Temperaturverläufe von Wärmequelle und Wärmesenke unter anderem in Verbindung zur Arbeitszahl präsentiert.

IV.14

Analyse eines Wärmepumpenfeldversuchs mittels dynamischer Berechnungsverfahren

Kristian Huchtemann*, Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
khuchtemann@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Der Feldversuch der E.ON Energie AG, durchgeführt durch das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, untersucht Wärmepumpen im Gebäudebestand. Die Feldversuchsdaten stehen für weiterführende Auswertungen zur Verfügung.

Zum einen wird anhand der Daten der Ist-Zustand von Wärmepumpensystemen abgebildet. Es wird deutlich, welche Anforderungen an Wärmepumpen im Gebäudebestand gestellt werden. Die Feldversuchsdaten dienen zudem zur Überprüfung von Simulationsmodellen. Die Simulation von Gesamtsystemen mit Wärmequelle, Wärmepumpe, Speichern und Gebäude erlaubt ein tiefgehendes Verständnis des Betriebsverhaltens von Heizsystemen mit Wärmepumpen. Einzelne Parameter können unter gleichen Randbedingungen variiert werden. Dies stellt einen Vorteil gegenüber dem Feldversuch dar, in dem Einflüsse oft nicht voneinander trennbar sind.

Bisherige Studien betrachten verschiedene Wärmequellen, Speichergrößen und Gebäude-Dämmstandards. Die Simulationen ermöglichen auch die Untersuchung von optimierten Wärmepumpensystemen. So werden bivalente Systeme analysiert, die Luftwärmepumpen mit bestehenden Gaskesseln in Wohngebäuden kombinieren. Letztere erreichen bei Gebäuden sowohl mit niedrigem als auch hohem Dämmstandard Primärenergieeinsparungen. Bei reinen Luftwärmepumpensystemen ist dies nicht der Fall.

Stichwörter:

Wärmepumpe, Systembetrachtung, Simulation, Feldversuch

IV.15

Die Luft-Wasser-Wärmepumpe: Neueste Prüfregele und Anforderungen - Auswirkung auf die Leistungsprüfung und zukünftige Planungen

Peter Schnepf

TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
Peter.Schnepf@tuev-sued.de

In 2010 werden voraussichtlich so gut wie alle europäischen Prüfnormen, die die Leistungseigenschaften von Wärmepumpen betreffen, überarbeitet und/oder zum Teil sogar neu erstellt. Zudem soll ein europäisches Regelwerk für die Ermittlung von Jahresarbeitszahlen fertig gestellt werden. Die Normvorgaben zur Leistungsbestimmung einer Brauchwasserwärmepumpe werden grundlegend geändert. Dies wird Auswirkungen auf die Leistungsprüfung und Planung haben. Die Luft-Wasser-Wärmepumpe ist seit Jahren die Bauart unter den verschiedensten Wärmepumpen, die prozentual das stärkste Wachstum aufweist.

In welche Richtung die Vorgabeänderungen dieser und weitere Bauarten gehen, welche Auswirkungen sich für die Wärmepumpe auf die Leistungsprüfungen und damit an die Planung zukünftiger Geräte ergeben, soll im Beitrag dargestellt werden.

Welche aktuellen und zukünftigen Vorgaben haben Gerätehersteller und Anlagenbauer zu beachten? Mit einem kleinen, zusätzlichen Blick auf die sicherheitstechnischen Anforderungen.

IV.16

Energetische Bewertung einer elektrischen Wandheizung

**Dipl.-Ing. Rita Strebblow, Dipl.-Ing. Sidney Baltzer,
Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

RWTH Aachen, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
ckandzia@eoner.rwth-aachen.de

Der hohe Dämmstandard von Neubauten und das stärker zum Tragen kommende individuelle Nutzerverhalten stellen neue Herausforderungen an Heizsysteme. Aus diesem Grund werden alternative Heizsysteme, einschließlich rein elektrisch betriebener, untersucht. In dem Vortrag wird die Anwendung von elektrischen Flächenheizsystemen für Wohn- und Bürogebäude unter Einbeziehung verschiedener Nutzerprofile analysiert.

Standardheizsysteme setzen sich aus dem Wärmeerzeuger, einem Wärmespeicher, dem hydraulischen Netz und den geregelten Radiatoren oder Fußbodenheizungen zusammen. Die grundlegenden Funktionen dieser Komponenten wie Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe sind an technische Verluste, wie unerwünschte Wärmeströme oder Hilfsenergiebedarf, gebunden. Heutige Gebäude brauchen ca. 30 – 50 % mehr Energie als der eigentliche Heizenergiebedarf. Aufgrund der stagnierenden Effizienz bei sehr geringem Heizwärmebedarf, steigt der Einfluss der Verluste deutlich bei energieeffizienten Gebäuden.

Auf der einen Seite leiden elektrische Heizsysteme an dem hohen Primärenergiefaktor von Strom. Unter Einbeziehung des mittleren Wirkungsgrades von Kraftwerken, beträgt der Primärenergiefaktor in Deutschland 2,6. Das legt nahe, die qualitativ hochwertige Energie Strom nicht zum reinen Heizen zu verwenden. Auf der anderen Seite besitzen elektrische Heizsysteme fast keine technischen Verluste bei der Erzeugung, Speicherung und Verteilung. Außerdem können elektrische Heizsysteme dem momentanen Heizwärmebedarf entsprechend geregelt werden.

Stichwörter:

Elektrische Wandheizung, Aufwandszahlen, EnEV

IV.17

Membranbasierte Raumklimatisierung

Dipl.-Ing. Hannes Rosenbaum

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

Raumlufttechnische Anlagen haben einen erheblichen Bedarf an Primärenergie. Vor allem Klimaanlagen auf der Basis herkömmlicher Entfeuchtungsmethoden besitzen großes Energiesparpotential, wenn es gelingt, die energieintensive Entfeuchtung der Raumluft durch die Unterschreitung der Taupunkttemperatur durch sorptionsgestützte Luftentfeuchtungssysteme abzulösen. Gerade in zentralen Klimaanlagen sind dazu sowohl feste als auch flüssige Sorptionsprozesse bereits Stand der Technik – ganz im Gegensatz zu dezentralen Klimageräten.

Eine energieeffiziente dezentralisierte Klimatisierung ist mit Hilfe eines *indirekten flüssigen Sorptionsprozesses über Membranen* denkbar, welcher zeitgleich eine Kühlung und Entfeuchtung der Luft ohne Kondensatanfall, aber mit deutlich reduzierten Oberflächentemperaturen ermöglicht. Dieses Verfahren wirkt zudem einigen Nachteilen konventioneller Systeme zur Raumklimatisierung, wie der Entstehung von Zugluft und dem Risiko der Keimvermehrung durch Ablagerung von Kondenswasser entgegen.

Im Vortrag werden Anlass, Verfahren, Stand der Entwicklung sowie die Herausforderungen der Membranbasierten Raumklimatisierung vorgestellt.

IV.18

Simulationsmodell für gebäudetechnische Anwendungen pumpfähiger Phasenwechselmaterialien

Timo Haase

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

In der Gebäudetechnik werden schon seit mehreren Jahren thermische Speicher untersucht, die durch die Ausnutzung des Phasenwechsels des Wärmespeichermediums besonders hohe Energiedichten erreichen. Ein solches Medium, dessen Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt im Temperaturbereich des Speicherbetriebs liegt, nennt man Phasenwechselmaterial (engl. *Phase Change Material*, PCM); der Speicher wird als Latentwärmespeicher bezeichnet.

Bislang lag der Fokus der Untersuchungen insbesondere auf Anwendungen, die das Phasenwechselmaterial entweder als Bauzuschlagstoff im Wandputz oder innerhalb eines wasserdurchflossenen, gedämmten Speichers einsetzen. Durch die Entwicklung pumpfähiger Phasenwechselmaterialien (engl. *Phase Change Slurry*, PCS) eröffnen sich neue Anwendungsgebiete, die auf der Substitution des allgegenwärtigen Wärmeübertragungsmediums Wasser beruhen. Eine entscheidend höhere Wärmekapazität des Mediums würde sich hier in einer Verringerung der notwendigen Pumpenergie niederschlagen.

Vorgestellt wird ein Simulationsmodell eines generischen pumpfähigen Phasenwechselmaterials in der Modellierungssprache Modelica, welches sich als reines Medienmodell mit beliebigen Modellen gebäudetechnischer Anlagen verwenden lässt. Auf diese Weise kann mithilfe der Simulationstechnik ausgelotet werden, in welchen Anwendungsbereichen besonders hohe Energieeffizienzsteigerungen zu erwarten sind.

Stichworte:

Phasenwechselmaterial, Latentwärmespeicher, Simulation, Modelica, PCM, PCS

Unterstützung von trockener Rückkühlung: Vorkühleffekt bei Installation in Tiefgeschossen

Stefan Natzer, Maximilian Walch, Christian Schweigler

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung
Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching
natzer@muc.zae-bayern.de

Setzt man ein trockenes Rückkühlwerk in Verbindung mit Sorptionskälteanlagen ein, so können sich besonders bei heißen Umgebungsbedingungen Einschränkungen für den Betrieb des Systems ergeben – in erster Linie hinsichtlich der darstellbaren Kaltwassertemperatur und der erforderlichen Antriebstemperatur. An sehr warmen Tagen, bei denen meist ein erhöhter Kältebedarf entsteht, kann die Leistung des Systems aufgrund erhöhter Kühlwassertemperatur nur eingeschränkt zur Verfügung stehen oder unter Umständen ganz ausbleiben. Daher werden üblicherweise Nasskühltürme eingesetzt, bei denen sich die bereitgestellte Kühlwassertemperatur an der Feuchtkugeltemperatur orientiert; damit ergeben sich jedoch die bekannten Nachteile wie hoher Wasserverbrauch und Schwadenbildung.

Ein neuer Lösungsansatz wurde bei einer Forschungsinstallation im Rahmen des EUProjekts PolySMART aufgezeigt, das sich mit der Kopplung von Heizkraftmaschinen mit thermisch angetriebenen Kältemaschinen kleiner Leistung (rund 10 kWth) (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) beschäftigte. Dabei wurde eine LiBr-Absorptionskältemaschine mit 10 kW Kälteleistung an ein BHKW (12,5 kWth, 5,5 kWel) gekoppelt. In einer späteren Installation in denselben Räumlichkeiten übernahm eine Adsorptionskältemaschine den Part der Kältebereitstellung. Für die Rückkühlung wurde jeweils ein trockener Rückkühler eingesetzt, welcher in der Tiefgarage unter dem zu kühlenden Gebäude installiert war.

Grundidee war, die Zuluft für das Rückkühlwerk durch das Tiefgeschoß anzusaugen und nach Durchgang durch den Trockenrückkühler durch Lichtschächte schließlich wieder aus dem Gebäude auszublasen. Dabei gibt die angesaugte Außenluft einen Teil ihrer Wärme an die Bausubstanz ab, welche diese Wärme ins Erdreich ableitet. Die Luft erhält somit eine Vorkühlung, welche auch bei Temperaturspitzen der Außenluft ausreichend niedrige Kühlwassertemperaturen ermöglicht.

Entscheidendes Kriterium für die angestrebte Wirkung ist der Wärmeübergang von der Luft zu Wand und Boden sowie die Wärmeleitung ins Erdreich. Hierzu wurden zunächst Simulationen angefertigt, welche später mit Werten aus der Praxis verglichen wurden. Die vielversprechenden Ergebnisse der Berechnung konnten in der realen Anwendung noch übertroffen werden.

Stichwörter:

Absorption, Kältemaschine, trockene Rückkühlung, Vorkühlung

“Testing and Cycle Analysis of a HFC-134a Baseline Refrigerator”

Dominik Morawetz

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, Maintal
Senefelderstraße 3, 63477 Maintal
Dominik.Morawetz@esak.de

In household refrigerators currently the two leading refrigerants are HFC-134a and HC-600a. In Europe and Asia the natural refrigerant HC-600a is preferred. In the North American market, however, the flammability of this refrigerant is of concern. This leads to the common use of the high-GWP refrigerant HFC-134a. New “Low GWP Alternative Refrigerants” (GARs) based on HFCs were proposed by Honeywell and DuPont. Among those the drop-in refrigerant HFO-1234yf garnered the most interests, due to its low GWP and very mild flammability. Based on the ease of substitution in applications and the handling in the commercial and after market of the drop-in refrigerants, demand of GARs are continually increasing. These developments call for comprehensive design guidelines for typical equipment which will be used with HFO-1234yf.

The main objective of this thesis is the testing, as well as the cycle analysis of an established HFC-134a refrigerator-freezer. The outcome of this thesis will provide a stepping stone for future component design for HFO-1234yf systems. The refrigeration system consists of a basic cycle with capillary-tube suction line heat exchanger. The cabinet type has a bottom mounted freezer cabinet. The refrigerator, which was modified for performance measurement, was tested experimentally in an environmental chamber at two ambient temperatures (20.0 °C and 32.3 °C) using HFC-134a (Leighton, D., 2010). Then the refrigeration cycle was simulated, using a transient simulation tool for vapor compression systems TransRef. Both the experimental and the simulated results were compared with each other. To get the inputs which were used in the simulation software TransRef, the needed parameters were either measured in an environmental chamber, calculated with specific correlations or utilized outputs of the heat exchanger design software CoilDesigner. Further simulations with HFO-1234yf were made to predict energy consumption of the refrigerator, using this refrigerant.

Keywords:

Baseline Refrigerator, Testing and Cycle Analysis, Transient Simulation, Energy Consumption, HFC-134a, HFO-1234yf, Comparison Simulation & Test, Prediction Energy Consumption HFO-1234yf

S.02

„Welche Wärmequelle ist für den Betrieb einer Wärmepumpe optimal – eine Gegenüberstellung der Alternativen Erdreich, Wasser und Luft“

Mira Weymann

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, Maintal
Senefelderstraße 3, 63477 Maintal
Mira.Weymann@esak.de

Zurzeit werden ca. 90 Prozent des Weltenergiebedarfs durch fossile Primärenergieträger gedeckt, wobei der Energiebedarf zum Heizen und Kühlen mit 40 Prozent den bedeutendsten Anteil innerhalb der EU ausmacht. Zur Begrenzung der schädlichen Auswirkungen des Energieverbrauches gilt es vorrangig, Energieimportabhängigkeiten zu vermeiden, die vorhandenen Ressourcen zu schonen und Klimaschutzziele umzusetzen. Vor diesem Hintergrund steigt der Anteil der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien – beispielsweise Wärmepumpen im Neubau – stark an. Insbesondere in den letzten Jahren haben technologische Fortschritte die Effizienz von Wärmepumpen, mit denen sich Umweltwärme aus dem Erdreich, dem Wasser oder der Luft nutzen lässt, nachhaltig gesteigert. Die Wärmepumpe gilt heutzutage als ein moderner Wärmeerzeuger für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung, wobei ihr historischer Ursprung bereits weit über 50 Jahre zurückliegt.

Bauherr, Planer und Installateur stehen im Rahmen eines konkreten Projektes häufig vor der Frage, welche Wärmequelle für den Betrieb einer Wärmepumpe am besten geeignet ist. Dafür müssen Vor- und Nachteile abgewogen und die spezifischen Gegebenheiten des Standortes berücksichtigt werden.

Dieser Vortrag vermittelt einen kurzen theoretischen Überblick über die prinzipielle Funktionsweise von Wärmepumpen, an dem die Komplexität einer Wärmepumpenanlage deutlich wird. Anhand einer detaillierten Planung für den Neubau eines Einfamilienhauses wird die für diesen Spezialfall optimale Wärmequelle aufgezeigt, bevor die erzielten Ergebnisse für den Allgemeinfall formuliert werden. Ziel ist, die besten Einsatzmöglichkeiten der betrachteten Wärmequellen bei gegebenen Rahmenbedingungen – wie z. B. Grundstücksgröße, hydrologische Bodenverhältnisse sowie Besiedlungsdichte (Schallpegel bei einer Luft/Wasser-Wärmepumpe) – herauszustellen.

Stichwörter:

Energiebedarf, Wärmepumpe, Energieeffizienz, Gebäudebeheizung, Klimaschutzziele

S.03

Experimentelle Leistungsbestimmung am Wärmerohr

Jannis Müller-Ebhardt

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover
Callinstr. 36, 30167 Hannover

Wärmerohre bieten die Möglichkeit Wärme mit hoher Wärmestromdichte mittels Naturumlauf zu übertragen. Mit steigenden Wärmestromdichten an elektronischen Komponenten findet diese Technologie immer häufiger Anwendung.

In modernen Großraumflugzeugen muss Wärme zur Kühlung der Elektronik abgeführt werden. Um einen möglichen Einsatz von Wärmerohren zu untersuchen wird die Leistung eines Wärmerohres für verschiedene Verdampfer-, Kondensatortemperaturen und unter verschiedenen Winkeleinstellungen experimentell untersucht.

S.04

Simulation and Comparison of Different District Heating Networks in Combination with Cogeneration Plants

Pooyan Jahangiri, Prof. Dr. Dipl. Ing Dirk Müller

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude und Raumklimatechnik
Pooyan.jahangiri@eonerc.rwth-aachen.de

The combined production of heat and electricity can have a great affect on reduction of the primary energy consumption in buildings. A possible solution to this approach is to supply medium-sized district heating networks in combination with cogeneration plants (CHP).

The behaviour of the district heating network in combination with a cogeneration plant with different configurations needs to be studied so that the most energy efficient configuration can be known.

To achieve this, a thermo-hydraulic model for the CHP which uses manufacturers' data and can be controlled by both heat and electricity demand is developed in simulation language Modelica. The model is built using standard Modelica library as well as Modelica-Fluid and the available libraries in E.ON Energy Research Center. The CHP model is then implemented in a district heating network model which contains components such as consumers, storages, boiler and various controlling units.

The complete district heating network is simulated for many conditions. These conditions include using centralized or decentralized storage(s) when the system is controlled both by electricity or heat demand, and by using heat demand for buildings with the new EnEV2009 standard or older buildings built during 70s and 80s. Other conditions include changing the insulation of the network pipes, capacity of the storages and flow temperature setpoint. The simulation results are then compared for different conditions in various times of the year.

Keywords:

Energy systems, CHP, Heating networks

S.05

Untersuchung zur Dichtheit von Luftleitungen

Philipp Heugle

DKV-Studentengruppe Esslingen

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit wurde die Dichtheit von Kanälen und Wickelfalzrohren aus Stahlblech untersucht. Für die Kanäle wurden verschiedenen Dichtbänder und Montagetechniken eingesetzt und für die Wickelfalzrohre wurden unterschiedliche Steckverbindungen verwendet. Um die Auswirkungen von Montagefehlern zu untersuchen, wurden zusätzlich Messungen mit fehlerhaft montierten Kanälen durchgeführt.

Um die Mehrkosten, die durch Leckagen entstehen, zu ermitteln, wurde anhand einer RLT-Anlage die Leckluft für die vier genormten Dichtheitsklassen A, B, C und D berechnet. Durch die berechneten Leckluftvolumenströme, die im Leitungsnetz mitgeführt werden müssen, entstehen höhere Druckverluste. Mit diesen zusätzlichen Druckverlusten und den zusätzlichen Volumenströmen wurden die gestiegenen Leistungen der Ventilatoren berechnet.

„Energieeinsparpotenzial von Kälteanlagen durch Variation des Luftvolumenstromes von Hochleistungsverdampfern“

Michael Freiherr

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, Maintal
Senefelderstraße 3, 63477 Maintal
Michael.Freiherr@esak.de

Aktuell werden in der Kältetechnik zumeist sogenannte Hochleistungsverdampfer eingesetzt. Diese zeichnen sich durch einen hohen Luftvolumenstrom und somit eine hohe Kälteleistung aus. Dadurch werden kleinere Wärmeübertragerflächen bei sonst gleichbleibender Leistung möglich, wodurch kleinere und somit kostengünstigere Geräte zur Anwendung kommen können.

Diese hohen Luftgeschwindigkeiten sind jedoch nicht in allen Kühsituationen nötig. Daher stellt sich die Frage, wie sich eine Reduktion des Luftvolumenstromes an Verdampfern oder Luftkühlern auf die Gesamtanlageneffizienz auswirkt.

Zunächst ist zu erwarten, dass durch die Reduzierung der Drehzahl der Ventilatoren die Stromaufnahme der Ventilatoren sinkt, sodass hier bereits Energie eingespart werden kann. Ein weiterer Effekt könnte durch eine reduzierte Wärmelast über die Kühlraumwände, speziell der Kühlraumdecke, entstehen. Durch eine geringere Luftgeschwindigkeit an der Kühlraumwand werden die Wärmeübergangswiderstände an der Innenseite steigen, sodass der Wärmedurchgang durch die betreffende Kühlraumumschließungsfläche insgesamt kleiner wird, was wiederum zu einer geringeren Gesamtkühlleistung führt. Diese beiden Einsparpotenziale wirken direkt auf die Laufzeit der Kälteanlage, da die Gesamtkühlleistung abnimmt. Somit ist ein insgesamt höherer Teillastanteil der Anlage und ein insgesamt effizienterer Betrieb der Anlage zu erwarten.

Die Luftgeschwindigkeit entlang der Kühlraumdecke wurde in einem Versuch für zwei Ventilatorgeschwindigkeiten ermittelt. Um die Auswirkungen auf den Wärmestrom durch die Kühlraumdecke quantifizieren zu können, wurde ein mathematisches Modell, welches sich der dimensionslosen Kennzahlen Nu , Re und Pr bedient, erstellt. Es werden die Ergebnisse dieser Betrachtung anhand eines konkreten Beispiels vorgestellt.

Stichwörter:

Hochleistungsverdampfer, Energieeinsparung, Luftvolumenstrom, Wärmelast

Modellierung des Zellverhaltens während der Kryokonservierung

M. Akhoondi, B. Glasmacher, W.F. Wolkers

Institut für Mehrphasenprozesse, Leibniz Universität Hannover, Hannover

Unter Kryokonservierung versteht man die Lagerung von biologischen Materialien im Ultra-Tiefemperaturbereich für längere Zeit. Das Einfrieren von Zellen führt zu dramatischen biophysikalischen Abläufen wie zelluläre Dehydrierung und intrazelluläre Eisbildung, die irreversible Schäden verursachen.

Erfolgreiche Kryokonservierung von Zellen erfordert ein Verständnis der biophysikalischen Reaktion der Zellen auf Temperaturen unter 0°C. Das Ziel dieser Studie ist die Optimierung der Kryokonservierung von tierischen Zellen basierend auf der Modellierung des Wassertransportes über die Membran.

Das Membran-Phasenverhalten von embryonalen Mäusebindegewebszellen (3T3-Zellen) während des Einfrierens wurde mittels Fourier-Transform Infrarot Spektroskopie (FTIR) untersucht. Diese Technik erlaubt die Zellen während des Einfrierens in Echtzeit zu beobachten, indem das temperaturabhängige Maß der Molekülschwingungen aufgenommen wird. Unsere Hypothese ist, dass die Änderungen der Membranphasen während des Einfrierens mit der zellulären Dehydrierung korrelieren.

FTIR wurde verwendet, um das Verhalten von Zellmembranen während des Gefrierprozesses (von 20°C bis -50°C) zu untersuchen. Die Eisnukleation wurde während der Abkühlung bei verschiedenen Temperaturen induziert. Eine grafische Benutzeroberfläche wurde in MATLAB für die Spektren-Analyse und Datenverarbeitung entwickelt. Um die Wirkung der Eisnukleation auf Membranen zu untersuchen, wurden die Schwingungsänderungen bei Lipid- und Wasser-Banden in den aufgenommenen Spektren analysiert. Änderungen der Membranphasen werden bei 2850 cm⁻¹ untersucht. Um die exakte Eisnukleationstemperatur zu bestimmen, bei der der Übergang von Wasser zu Eis erfolgt, wurden zwischen 2683 bis 1965 cm⁻¹ die H₂O-Molekülschwingungen überwacht. Die gewonnenen Daten aus dem Wasser Band und der Lipid-Bande wurden verwendet, um die Wirkung der Eisbildung auf den Membran-Phasen Zustand zu studieren. Schließlich wurden die analysierten Lipid-Daten in einem Arrhenius-Plot dargestellt, um die Aktivierungsenergie beim Gefrieren und Membran-Permeabilität für Wasser zu bestimmen. Diese ermittelten Parameter wurden als Input für das Wassertransport-Modell verwendet.

Literaturstudie zur Kondensation von Kohlenwasserstoffen in horizontalen Rohren

Kerstin Altenhein

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover
Callinstr. 36, 30167 Hannover

Zur Verflüssigung von Erdgas haben sich heutzutage große Kaskadenkältesysteme in Rohrbündelbauweise etabliert. Für deren Auslegung sind Korrelationen zur Berechnung der Kondensation von Kohlenwasserstoffen innerhalb der Rohre essentiell. Das Ziel dieser Projektarbeit ist daher einen Überblick über bereits vorhandene empirische Berechnungsmethoden zu erstellen und deren Potential zu erläutern.

Verbesserung der Klimaanlageeffizienz durch Optimierung der fahrzeugseitigen Frischluftansaugung für das HVAC

Andreas Michelfelder
andreas@michelfelder.net

Diplomarbeit bei
DENSO Automotive Deutschland GmbH, 85386 Eching, Deutschland

Betreuer: Dipl.-Ing. Dennis Wleklik, Prof. Dr.-Ing. Michael Arnemann

Die Klimaanlage im Pkw gehört zu den Standardkomponenten eines Neufahrzeuges. Steigerung der Klimaanlageeffizienz gewinnt in Hinblick auf die Reduzierung des gesamten Fahrzeugkraftstoffverbrauches an Bedeutung.

Das vorgestellte Projekt zur Steigerung der Anlageneffizienz im Kühlmodus befasst sich mit der Erwärmung der Ansaugluft in den Bereichen vor dem eigentlichen Klimagerät. Motorhaube, Motorraum und Wasserkasten des Automobils tragen zur Erwärmung der Frischluft bei und führen zu einer Leistungsaufnahme des Klimakompressors.

Durch Basismessungen der Bauteil- und Luft-Erwärmung an den relevanten Fahrzeugkomponenten werden die Haupteinflüsse herausgestellt. Die Verbesserungsmaßnahmen am Fahrzeug und deren Bewertung sind der Hauptinhalt des Projektes, welches im Rahmen einer Diplomarbeit bewältigt wurde.

Stichwörter:

Pkw-Klimatisierung, Klimaanlageeffizienz, Frischluftansaugung, Zuluft, Ansaugtemperatur

„Konzeption einer integrierten CO₂-Anlage für Supermärkte zur Abdeckung des gesamten Kälte-, Klima- und Wärmebedarfes“

Sascha Hellmann

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, Maintal
Senefelderstraße 3, 63477 Maintal

Carrier Kältetechnik Deutschland, Lead Design Center
Am Mainzer Weg 7, 55246 Mainz – Kostheim
Sascha.Hellmann@esak.de

Bei der Betrachtung von Anlagen zur Abdeckung des Kälte-, Klima- und Wärmebedarfes eines Supermarktes geraten die derzeit installierten Systeme, aufgrund energetischer und ökologischer Gründe, zunehmend in die Kritik. Als Alternative zu Brennstoffsystemen zur Beheizung von Gebäuden steht die bereits bekannte und bewährte Wärmepumpentechnik zur Verfügung. Gerade im Bereich der Supermärkte ist es zweckmäßig, die Wärme, welche durch die Kühlstellen zuerst dem Markt entzogen wird, wieder zur Beheizung zur Verfügung zu stellen. Kombiniert man diese Überlegung mit einem umweltfreundlichen Kältemittel wie CO₂, so kristallisieren sich aufgrund der thermischen und thermodynamischen Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid mehrere Vorteile heraus.

Dieser Beitrag behandelt die Konzeption einer Anlage, die ohne ein zusätzliches Heizsystem auskommt. Es werden somit die Funktionen der Heizung, der Kälteanlage sowie der Klimaanlage des

Supermarktes in einer Anlage integriert. Durch eine Economizerfunktion konnte der bereits vorhandene NK-Kreislauf für Außentemperaturen über 22 °C optimiert und verbessert werden. Diese sogenannte Integralanlage für Supermärkte zur alleinigen Abdeckung dieser Wärmelasten ist mit dem Kältemittel CO₂ eine Neuentwicklung, welche in dieser Weise noch nicht existent ist.

Stichwörter:

CO₂, Integralanlage, Energieeffizienz, Schadstoffreduzierung, Economizer

S.11

Übersicht an solaren Klimatisierungsanlagen in Europa und Ausblick auf die zukünftige Marktentwicklung

cand. verf. (B. Sc.) Verena Fuchs

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
fuchs.verena@arcor.de

Durch den ständigen Zuwachs von Klimageräten steigt der Strombedarf in den Sommermonaten stetig an, da die am häufigsten zur Kühlung verwendeten Kompressionsklimaanlagen elektrisch betrieben sind und viel Energie verbrauchen. Besonders für die Stromnetze stellt dies eine enorme Belastung dar. Für die nächsten zehn Jahre wird nach Untersuchungen der Internationalen Energie Agentur (IEA) eine weitere Zunahme der Klimatisierung in Europa um mehr als 10 Prozent prognostiziert. Die Grundidee Sonnenenergie zur solaren Kühlung zu nutzen, besteht darin, dass der Klimatisierungsbedarf immer dann am höchsten ist, wenn auch die Sonne am stärksten scheint.

Vorgestellt wird der aktuell am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart dokumentierte europäische Anlagenbestand solarer Kühlungs- und Klimatisierungsanlagen. Anhand von Diagrammen werden die verwendeten Kälteverfahren und Solarkollektortypen, sowie die solar gekühlten Räume bzw. Gebäude visualisiert.

Weiter werden vergangene und aktuelle europäische Programme aufgezeigt, die sich mit der Technologie zur solaren Kälteerzeugung und deren Randbedingungen, wie z.B. Kosten oder Marktchancen beschäftigen. Im Rahmen der Programme werden bereits installierte Anlagen analysiert und anhand dieser Grundlage Konzepte und Maßnahmen entwickelt, die noch notwendig sind, um die Marktentwicklung dieser neuen Technologie voranzutreiben.

S.12

Regelung der Wärmeversorgung mit einer solar unterstützten Absorptionswärmepumpe und einem Eisspeicher

cand. mach. Cataldo Galasso

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Aldo.Galasso@googlemail.com

Seit mehreren Jahren forscht das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart erfolgreich an einer solar betriebenen Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitspaar Ammoniak/Wasser. Neben der Nutzung der Maschine zur Erzeugung von Kälteleistung ist auch der Betrieb als Wärmepumpe möglich. Somit könnte die ganzjährige Versorgung eines Gebäudes mit Wärme und Kälte mit nur einer Anlage erfolgen.

Schon während der Installation der Kältemaschine wurden Maßnahmen wie die Integration zusätzlicher Leitungen und Ventile getroffen, um das System sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen verwenden zu können. Aufbauend auf diese Maßnahmen wird nun seit geraumer Zeit an der solar unterstützten Absorptionswärmepumpe geforscht.

Zur Wärmeversorgung von fünf Büroräumen am ITW sind viele Betriebsmöglichkeiten des Systems denkbar. Beispielsweise können die Solarkollektoren direkt zur Beheizung oder zum Antrieb der Absorptionswärmepumpe verwendet werden.

In diesem Zusammenhang werden die realisierbaren Schaltungen des Wärmenetzes sowie eine anhand verschiedener Prioritäten entworfene Regelstrategie vorgestellt.

Um abschätzen zu können, ob sich der durch die zusätzliche Nutzung als Absorptionswärmepumpe entstehende Aufwand lohnt, wird des Weiteren eine kurze Aufwand-Nutzen-Analyse veranschaulicht.

S.13

Optimierung der Regelung einer solar angetriebenen Absorptionskältemaschine

cand. mach. Bernd Bierling

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
bernd.bierling@gmx.net

Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart forscht seit mehreren Jahren an einer solar betriebenen Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitspaar Ammoniak/Wasser. Mittlerweile ist der zweite Prototyp der Kältemaschine in Betrieb. Die Anlage dient zur Kühlung von fünf Büroräumen. Desweiteren beschäftigt sich die Forschung auch mit der Kältespeicherung und Verteilung.

Das Betriebsverhalten sowie die Leistung der Anlage ist abhängig von Druck und Temperatur. Die Regelung erfolgt über zwei Expansionsventile, die den Massenstrom des Kältemittels und des Lösungsmittels sowie den Anlagendruck beeinflussen. Eine Funktion des Drucks in Abhängigkeit der Betriebstemperaturen dient zur Steuerung des Kältemittelventils. Das Lösungsmittelventil wird unabhängig von den aktuellen Betriebstemperaturen gesteuert.

Vorgestellt wird ein Kennfeld der Anlage, das auf Basis von Laborvermessungen erstellt wurde. Daraus wurde eine Formel für den optimalen Tiefdruck abgeleitet und in die Steuerung implementiert. Zudem wurde der Einfluss des Lösungsmittelventils auf den Betrieb untersucht. Zum Nachweis der Qualität der Regelung werden die Messungen bei realen Betriebskonfigurationen dargelegt.

