

Deutsche Kälte- und Klimatagung 2014

Düsseldorf

19. – 21. November 2014

Kurzfassungen

Veranstalter:

**Deutscher Kälte- und
Klimatechnischer Verein e.V.**
Striehlstraße 11, 30159 Hannover
T. +49 (0) 511 897 0814
F. +49 (0) 511 897 0815
E. info@dkv.org
H. www.dkv.org


MARITIM Hotel Düsseldorf

Maritim-Platz 1
40474 Düsseldorf
T. +49 (0) 211 5209-0
F. +49 (0) 211 5209-1006
E. info.dus@maritim.de
H. www.maritim.de

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsabteilung I	4
Kryotechnik	
Arbeitsabteilung II.1	17
Grundlagen und Stoffe der Kälte- und Wärmepumpentechnik	
Arbeitsabteilung II.2	37
Anlagen und Komponenten der Kälte- und Wärmepumpentechnik	
Arbeitsabteilung III	54
Kälteanwendung	
Arbeitsabteilung IV	70
Klimatechnik und Wärmepumpenanwendung	
Studentenvorträge.....	88

I.01

Wärmeübertragung in suprafluidem Helium für supraleitende Hohlraumresonatoren

Benedikt Peters^{1,2,*}, Torsten Koettig³, Tobias Junginger², Steffen Grohmann¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für technische Thermodynamik und Kältetechnik
Engler-Bunte-Ring 21, D-76131 Karlsruhe, Deutschland
benedikt.peters@gmx.net

² European Organisation for nuclear research (CERN), Radiofrequency Group
Gebäude 252, Route de Meyrin 385, 1217 Meyrin, Schweiz

³ European Organisation for nuclear research (CERN), Cryogenics Group
Gebäude 165, Route de Meyrin 385, 1217 Meyrin, Schweiz

* Korrespondenzautor

Supraleitende Hohlraumresonatoren werden weltweit genutzt um die Energie in Teilchenbeschleunigern zu erhöhen. Der maximale Beschleunigungsgradient dieser Resonatoren liegt jedoch häufig unterhalb der theoretischen Materiallimitierung. Eine Ursache dafür sind kleine Defektstellen auf der Oberfläche der Struktur, die einen Übergang zur Normalleitung auslösen. Dieser Quench genannte Effekt macht sich unter anderem durch einen Wärmeeintrag bemerkbar. Die Lokalisierung von Defektstellen ist relevant zur Qualitätssicherung in Beschleunigerprojekten. Dies kann durch „Oscillating Superleak Transducer“ (OSTs) geschehen, die sich die besonderen Wärmeleitungseigenschaften von Helium unterhalb einer Temperatur von 2,17K zunutze machen. Die hier vorgestellten Ergebnisse führen theoretische Betrachtungen des Wärmetransportes und experimentelle Untersuchungen zusammen um die Lokalisierung der Defekte zu verbessern.

Stichwörter:

Kryotechnik, Helium II, second sound, Oscillating Superleak Transducer, Superconducting Cavity, Quench

I.02

Cooling system based on a peltier element and heatpipes for the cooling of a silicon drift detector in vacuum environment

A. Krüger^{1,*}, M. Davenport², F. Haug²

¹ University of Applied Sciences Karlsruhe, Postfach 2440, 76012 Karlsruhe

² European Organization for Nuclear Research CERN

*Corresponding author

In the CAST experiment at CERN a silicon drift detector (SDD) is used in order to find hypothetical particles which are called axions and chameleons. The SDD is installed in a vacuum environment and must be cooled to a stable temperature lower than 30 °C. While in operation, the total heat load of the SDD system is about 5 W. Furthermore the SDD works in a compact and hermetic shielded environment, which complicates the cooling. The SDD in the CAST experiment is mounted onto a holder. This holder is part of a custom made ISO-K DN 100 vacuum flange, where the holder and the flange built a hermetic unit.

In order to guarantee a reliable cooling, a cooling system based on two heatpipes and a peltier element is used. The two heatpipes are inserted into two blind holes which are drilled through the vacuum flange into the holder and as close as possible to the SDD, without breaking the vacuum. The heatpipes are connected to a heatcoupler, which is cooled with a peltier element. For the temperature control of the system, a temperature probe is installed in the vacuum nearby the SDD and provides the actual temperature. A peltier controller unit compares the actual temperature with the set-point temperature and regulates the peltier element. The advantage of such a cooling system is the low price, the flexibility, the maintenance-free operation, the easy installation and that no coolant is needed.

I.03

Study of Fiber Bragg Grating sensors for current measurement in High temperature superconducting tapes

Rajinikumar Ramalingam

Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
rajni-kumar.ramalingam@kit.edu

In this work a current sensor will be tested which utilizes the Magnetostrictive force/temperature sensitivity to modulate the wavelength of the light reflected by an optical fibre Bragg grating (FBG). The Strain due to magentostrictive force/temperature change and consequently, the wavelength change, is accomplished by passing electric current through a thin conductive coating on the surface of a short length of the fibre where the fibre grating is located. The measurement of the Bragg wavelength shift produced by the Strain/ heating effect is obtained using a Bragg meter. In this paper, the design and technology requirements to adapt the FBG sensor concept for HTS conductors is presented. Initial experiments, which demonstrate the current measurement at room temperature is reported.

Keywords:

Current measurement, FBG sensors, high temperature superconductor and Cryogenic temperature

I.04

Isolationskonzept für einen modularen Magnetkryostaten für das EU-Projekt: SUPRAPOWER

H. Neumann*, J. Sun

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) , Institut für Technische Physik,
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
holger.neumann@kit.edu

*Korrespondenzautor

Die Windenergie soll einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Einer Leistungssteigerung derzeitiger Offshore-Windkraftanlagen steht das steigende Gewicht immer größerer Generatoren in der Naßzelle entgegen. Mit supraleitenden Spulen könnten leistungsfähigere und leichtere Generatoren gebaut werden. Das große Potential der Supraleitung für den Ausbau der Windkraft zu nutzen, ist Ziel des von der EU geförderten Projektes SUPRAPOWER (SUPerconducting, Reliable, light-weight, And more POWERful offshore wind turbine). Zum einen soll das Konzept für einen supraleitenden Generator mit einer Leistung von ca. 10 MW erarbeitet werden und weiterhin sollen für eine

Demonstration die wesentlichen Elemente, wie z. B. die Spulen mit Kühlung gebaut und unter Rotationseinfluss getestet werden

Die supraleitenden MgB₂-Spulen sollen über Gifford-McMahon-Kühler indirekt, also durch Wärmeleitung gekühlt werden. Hierbei sollen die Kaltköpfe der Kühler auf einem rotierenden Kühlring angebracht und mehrere Spulen, die mit diesem Kühlring wärmeleitend verbunden sind, kühlen. Aufgrund der begrenzten Kühlleistung und Effizienz solcher Gifford-McMahon-Kühler kommt der thermischen Isolation eine besondere Bedeutung zu, welche die Anzahl der Kühler und damit die Effizienz der Gesamtanlage wesentlich beeinflusst.

Für die Demonstration der supraleitenden, rotierenden Spulen werden für jede Spule einzelne Kryostaten benötigt. Für die Entwicklung wurde eine Dummy-Spule aus Kupfer gebaut, die, versehen mit elektrischen Heizern und Temperatursensoren, die Verluste der Spule simulieren und das Temperaturprofil aufzeichnen soll. Die Spule soll auf ca. 20 K gekühlt werden. Der Kryostat besteht aus einem thermischen Schild, gekühlt auf 80 K, mehreren Superisolationslagen und einem äußeren Vakuummantel. Wesentlich bei dem Kryostaten ist das Stützsystem der Spule im Schild und im Vakuummantel, welches die Rotationskräfte und Magnetkräfte aushalten und gleichzeitig möglichst wenig Wärme aus der Umgebung in das System leiten soll.

Stichwörter

Kryotechnik, Kryostat, thermische Isolierung, Superisolation, Wärmeeintrag, Wärmeleitung

I.05

1.8 K Helium-Kälteanlage für den Test von SRF Kryomodulen

P. Treite^{1,*}, U. Nüsslein¹, Yi Jia², A. Klebaner³, J. Theilacker³

¹ Linde Kryotechnik AG, Daettlikonerstrasse 5, 8422 Pfungen, Switzerland
philipp.treite@linde-kryotechnik.ch, uwe.nuesslein@linde-kryotechnik.ch

² Linde Cryogenics, Linde Process Plants, Inc., 6100 S. Yale Ave., Suite 1200, Tulsa, OK 74136, USA
yi.jia@lppusa.com

³ Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL, 60510, USA
klebaner@fnal.gov, theilacker@fnal.gov

* Korrespondenzautor

Die Fermilab Cryomodule Test Facility (CMTF) bietet die Möglichkeit, die Leistung supraleitender Radiofrequenz Kryomodule (SRF) zu testen. Linde Kryotechnik AG und Linde Cryogenics haben zu diesem Zweck eine maßgeschneiderte Helium-Kälteanlage ausgelegt, gebaut und in Betrieb gesetzt.

Die Betriebsweise der Kälteanlage ist gekennzeichnet durch unterschiedliche Anforderungen der Verbraucher, die bei Temperaturen im Bereich von 40 K bis 1.8 K und Drücken im Bereich von 13 mbar bis 17 bar gekühlt werden müssen. Weiterhin ist die Anlage in der Lage als Heliumverflüssiger betrieben zu werden. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, verfügt die Anlage über fünf Gaslagerturbinen (in 3 Turbinensträngen), einen 3-stufigem Kaltverdichterstrang und warme Vakuumpumpen.

Dieser Vortrag gibt einen Überblick über den Kühlbedarf, die Auslegung, Fertigung und Inbetriebnahme der bei Fermilab installierten Helium-Kälteanlage.

Stichwörter:

Helium, Kälteanlage, Kaltverdichter

I.06

Flüssigluftenergiespeicher: ein flexibles System für großtechnische Anwendungen

A. Alekseev^{*1}, Ch. Stiller¹, Ch. Bergins², B. Stöver²

¹ Linde AG, Dr.-Carl-von-Linde-Str. 6-14, 82049 Pullach, Germany

² Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH, Duisburg, Germany

* Korrespondenzautor

Der schnelle Ausbau von Wind- und Solarenergie mit volatiler Energieerzeugung führt in vielen Ländern zu großen Beeinträchtigungen der Stabilität des bestehenden Stromnetzes. Energiespeicherung wird somit für die Sicherheit der elektrischen Infrastruktur und für den zukünftigen Ausbau der erneuerbaren Energien unverzichtbar. Allerdings fehlt es an Speicheranwendungen im großtechnischen Maßstab (50 M – 300 MW +): die verschiedenen Batterietechnologien sind aufgrund der Modulgröße, Kosten und Lebensdauer meistens nur im Bereich Kilowattsunden bis zu einigen Megawattstunden einsetzbar. Pumpspeicherkraftwerke haben sich im GWh-Bereich als bewährte Technologie erweisen und finden in der Energieindustrie weite Verbreitung. Allerdings sind der Ausbau und die Genehmigung von neuen Projekten durch Umweltbedenken und die geologischen Gegebenheiten vor Ort beschränkt.

In Anlehnung an diese Notwendigkeit einer flexiblen, skalierbaren und langlebigen Speicheroption haben Mitsubishi Hitachi Power Systems und Linde AG einen Flüssigluftenergiespeicher (LAES) für großtechnische Anwendungen entwickelt. Der MHPS-Linde LAES ähnelt vom Prinzip der Druckluftspeicherung. Allerdings findet bei LAES eine Umwandlung von Druckluft in flüssige Luft statt, die in Tanks gelagert wird, so dass die Bedingung einer luftdichten Kaverne entfällt.

In diesem Artikel werden typische LAES–Verfahrensvarianten beschrieben, die auf derzeit verfügbaren Technologien der Luftverflüssigung und des Stromerzeugungssektors basieren. Die untersuchten Verfahren, wie beispielsweise das adiabatische System, ein vollständig und ein teilweise integriertes LAES-Gasturbinensystem werden hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und des Entwicklungsstandes dargestellt und verglichen.

I.07

A feasibility study on the use of a regenerator in a LIQHYSMES - LIQuid HYdrogen and Superconductive Magnetic Energy Storage (SMES) system

Flavio Brighenti*, Holger Neumann, Michael Sander

Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

* Korrespondenzautor

A new approach dealing with the fluctuating renewable energy generation, suggests the use of a combined plant where a hydrogen liquefaction/storage plant is coupled with a superconductive magnetic energy storage (SMES). Liquid hydrogen is a prime energy carrier because of its high volumetric energy density if compared with compressed hydrogen and represents an unavoidable choice for large-scale energy storage. But, since balancing loads or rapidly evolving fluctuations on the grid with only hydrogen is unrealistic because of its slow response, it is necessary to integrate it with an electrical energy storage device that enables a rapid response. The synergy obtained with a cryogenic infrastructure and a SMES, allows a steady operation mode of the hydrogen, buffering the

unpredictable requests from the electrical grid and restraining costs. Previous works dealt in assessing the characteristics of this type of plant on buffering fluctuations on time scale from seconds up to minutes. It is essential to carefully design the various components in order to address the above issues correctly. Besides, in the case of electrical generation intermittency, the operation of the liquefaction plant is expected be discontinuous therefore making conventional methods (e.g. Claude system) not a viable solution. Hence, the use of a regenerator results in an advantageous solution as it allows to recover at least partially the exergy stored in the form of liquid hydrogen, although it does not represent a standard application in cryogenics. A study is conducted to develop a regenerator for a proof of concept LIQHYSMES system. A 1D model of differential equations is implemented and the regenerator is simulated addressing parameters, such as regenerator configuration, material and fluid properties, temperature profiles, etc. Results are then analysed and discussed.

I.08

Entwicklung einer Resorptionskälteanlage mit angeschlossenem Eisspeicherverbund

Martin Grund^{1,*}, Tobias Göpfert¹, Karin Rühling², Ullrich Hesse¹

¹ TU Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik,
01062 Dresden, Deutschland
martin.grund@tu-dresden.de

² TU Dresden, Professur für Gebäudeenergetik und Wärmeversorgung,
01062 Dresden, Deutschland
karin.ruehling@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Um die Betriebszeiten von KWK-Anlagen weiter zu erhöhen, kann im Sommer die Abwärme der Stromerzeugung zur Bereitstellung von Kälte, auch unterhalb einer Temperatur von 0°C, genutzt werden. Eine Prototyp-Anlage nach dem Resorptionsprinzip, wurde hierzu an der TU Dresden zusammen mit einem Projektpartner entwickelt und aufgebaut.

Im Gegensatz zu etablierten Absorptionskälteanlage zur Kälteerzeugung von unter 0°C, ist eine dem Austreiber nachgeschaltete Rektifikation nicht notwendig. Durch den Einsatz des Arbeitsstoff-gemisches Ammoniak-Wasser kann Abwärme im Temperaturbereich von 70 - 90°C genutzt werden. Ein Verbund von Eisspeichern erlaubt die zeitliche Entkopplung von Abwärmeanfall und Kältebedarf.

Für das dargestellte Anlagenkonzept werden die im Rahmen des Projektes entwickelten und validierten Berechnungsmodelle vorgestellt. Anhand der aufgenommenen Betriebscharakteristik der Resorptionskälteanlage, können erste Aussagen über die Anwendungsfelder der Resorptionstechnologie getroffen werden. Potentielle Regel- und Steuerstrategien, sowie erste Optimierungsvorschläge werden ausgehend von gewonnenen Anlagenkenndaten dargestellt und diskutiert.

Stichwörter:

Resorption, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK), Absorption, Ammoniak-Wasser, Eisspeicher

I.09

Kryotechnische Inbetriebnahme von CuLTKa (Current Lead Test Facility Karlsruhe)

T. Richter*, R. Lietzow

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Physik,
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

* Korrespondenzautor

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist im Rahmen des „Broader Approach“ in der Fusionsforschung mit Konstruktion, Bau und Test von 26 Stromzuführungen für den Fusionstestreaktor JT-60 SA in Japan beauftragt. Dabei handelt es sich um sechs Stromzuführungen für die Stromeinspeisung von 26 kA in die Toroidalfeldspulen, sowie weitere 20 Stromzuführungen für einen Strom von 20 kA in den Solenoid- und Poloidalfeldspulen.

Mit der Stromzuführungstestanlage CuLTKa wurde eine vielseitige und flexible Testanlage für Stromzuführungen aufgebaut. Die aus fünf Kryostaten bestehende Anlage, davon zwei Testkryostate, ist über Transferleitungen mit einer 2 kW bei 4,4 K-Kälteanlage verbunden. Sie ist damit in einem Verbund mit verschiedenen Testanlagen integriert. Von der Kälteanlage kann zeitgleich Helium in zwei unterschiedlichen Temperaturen bei überkritischen Drücken bezogen werden. Es ist möglich, jeden der beiden Testkryostate mit zwei Stromzuführungen zu bestücken, die jeweils über einen supraleitenden Kurzschlussbügel miteinander verbunden sind. Für Stromtests liefert ein Netzteil maximal kA Gleichstrom. Die gesamte Anlage ist hochspannungssicher bis zu 50 kV ausgelegt.

Eine erste kryotechnische Inbetriebnahme der Anlage ohne Testobjekte erfolgte im Juli 2014. Ein Stromzuführungstest mit erstem Strombetrieb fand im Spätsommer des Jahres statt. Die weiteren Abnahmetests der verbleibenden Stromzuführungen für JT-60 SA werden bis Ende 2017 andauern.

Der Artikel beschreibt den Aufbau von CuLTKa und beleuchtet besondere technische Details. Außerdem werden die Erfahrungen während der Inbetriebnahme dargestellt.

I.10

Kryokonservierung von Pflanzen

Ihre Anwendung in der Bundeszentralen Kulturpflanzenbank Gatersleben

E. R. Joachim Keller*, Marion Grübe, Angelika Senula

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Abteilung Genbank,
Corrensstraße 3, 06466 Seeland OT Gatersleben, Sachsen-Anhalt
keller@ipk-gatersleben.de

* Korrespondenzautor

Wie allgemein bekannt, fußt die Erhaltung von pflanzlichen Genressourcen meist auf Samenlagerung. Samen sind aber nicht immer nutzbar. Viele, besonders tropische und subtropische Arten haben keine lagerbaren Samen. Zahlreiche Kulturpflanzenarten haben die Fähigkeit zur Samenbildung ganz verloren. Zudem beruht Kulturpflanzenzüchtung oft auf klonaler Vermehrung mischerbiger Typen mit zwar lagerbaren Samen, die aber nicht genetisch mutterpflanzengleich sind. In diesen Fällen muss auf vegetatives Gewebe zurückgegriffen werden, welches bei tiefkalten Temperaturen in oder über flüssigem Stickstoff lagerbar ist (Kryokonservierung). In pflanzlichen Sprossspitzen befinden sich Bildungsgewebe (Meristeme), vergleichbar den tierischen Stammzellen. Sprossspitzen werden deshalb hauptsächlich gelagert. Auch Pollen und manche Gewebe sind lagerbar, die erst nach Wiederwärmung neue Meristeme bilden. Pflanzengewebe sind wegen ihrer Zellwand und der Vakuolisierung kompliziertere Systeme als tierische Gewebe oder Einzelzellen. Der Erhaltungsfähigkeit kommt aber

entgegen, dass die Vakuolisierung und Zellwandbildung in den Meristemen noch gering sind, was bei Sprossspitzenlagerung ausgenutzt wird. Die Objekte haben eine Größe von ca. 1 – 2 mm. Langsame Einfrierverfahren sowie schnelles Abkühlen mit Vitrifikation werden angewandt. Sammlungen kryokonservierter Pflanzenorgane sind meist an große Genbanken assoziiert (USA, Deutschland, Indien, China, Südkorea, Peru). Im IPK Gatersleben werden die weltweit größte Kryo-Sammlung von Kartoffeln (ca. 1500 Akzessionen) sowie Knoblauch und Minze erhalten. Auch eine Pollenbank wird aufgebaut. Für verschiedene Arten werden jeweils spezifische Programme genutzt, die auf schnellerer Abkühlung beruhen. Das Verhalten der zellulären Lösungen wird mit Dynamischer Differenzkalorimetrie (DSC) und Kryomikroskopie untersucht. Die bessere Überlebensfähigkeit der Meristeme im Vergleich zum differenzierten Gewebe kann auch zur Virusfreimachung (Kryotherapie) genutzt werden.

Stichwörter:

Pflanzengenressourcen, Genbank, Sprossspitzenlagerung, Flüssigstickstoff, Vitrifikation

I.11

Biobanking – die Schatztruhen der modernen Medizin?

C. Brochhausen

Institut für Pathologie, Universitätsmedizin Mainz

I.12

Kryokonservierung in der Humanmedizin: Lifestyle und medizinische Notwendigkeit

Dr. Uwe Pohler

MVZ wagnerstibbe Bad Münder, IVF-Abteilung,
Hannoversche Straße 24, 31848 Bad Münder, Germany
Uwe.Pohler@amedes-group.com

Verschiedene Lebenssituationen können Ursache dafür sein, dass die spontane Zeugung eines Kindes nicht möglich ist.

Neben medizinischen Gründen können die Ursachen darin liegen, nicht den richtigen Partner oder nicht die richtigen Lebensumstände zum optimalen Zeitpunkt zu haben.

So werden im Rahmen der Fertilitätsprotektion ovarielles oder testikuläres Gewebe, Ei- oder Samenzellen, befruchtete Eizellen oder auch embryonale Entwicklungsstadien eingefroren.

Zusätzlich zu den schon seit Jahren durchgeföhrten Kryokonservierungen der im Rahmen einer Kinderwunschbehandlung erzeugten imprägnierten Eizellen sowie der Kryokonservierung vor einer Chemo- oder Strahlentherapie, hat in den letzten Jahren ein neuer Trend eingesetzt, welcher als „social freezing“ bezeichnet wird. Hierbei werden unbefruchtete Eizellen eingefroren, die zu einem späteren Zeitpunkt aufgetaut und befruchtet werden können.

Auch die fortschreitende Entwicklung genetischer Untersuchungsmethoden hat dazu geführt, dass - bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen - Untersuchungen am Embryo durchgeführt werden können, was meist mit einer Kryokonservierung des Embryos einhergeht.

Stichwörter:

Kryokonservierung von humanen Eizellen, Samenzellen, Embryonen, social freezing

I.13

Aspekte der Langzeitlagerung kryokonservierter Mausmutanten

Johannes Schenkel

Kryokonservierung W430, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ) Heidelberg

Transgene Tiere, vor allem Mäuse, sind wertvolle, einmalige Mutanten, die man nur mit großem Aufwand generieren und charakterisieren kann. Kleine Populationen, eine permanente Verlustgefahr, schlechtes Zuchtverhalten sowie die nötige Weiterzucht sind dauernde Herausforderungen. Mit der Kryokonservierung von Embryonen oder Spermatozoen ist eine Sicherung dieser Linien bei Lagerung im flüssigen Stickstoff möglich, jedoch sind Kryokonservierung und Lagerung auch aufwändig.

Transgene Technologien werden in großem Umfang seit mehr als 30 Jahren genutzt. Zunächst wurden vor allem Mutanten für eigene Vorhaben entwickelt, mit der Verfügbarkeit vieler Mutanten (-Typen) kam es zunehmend zum (sinnvollen) Austausch zwischen verschiedenen Labors. Damit veränderten sich auch die Rechte an diesen Linien: Für die selbstentwickelte Mutante hat man i.A. die vollen, bei importierten meistens nur eingeschränkte Rechte. Entsprechend ist es auch nötig, die „eigenen“ Mutanten gegen Verlust zu schützen, zu archivieren und gleichzeitig eine Ressource zur Weitergabe zu haben. Bei „externen“ Mutanten ist es nur sinnvoll diese gegen einen möglichen hausinternen Verlust zu schützen. Folglich sind völlig unterschiedlich viele Proben zu kryokonservieren. Hierzu haben wir Mindestmengen kalkuliert.

Für Kryokonservierung und Lagerung selbst entwickelter Mutanten sind hohe Standards zu stellen:

- Zuverlässigkeit der Qualität der Proben
- Zuverlässigkeit der (Langzeit-) Lagerung
- Transportsicherheit (mögliche Temperaturschwankungen)
- Physikalische Überwachung
- Datenmanagement
- Protokolle.

Nach der Revitalisierung von ca. 4000, bis zu 13 Jahren gelagerten Embryonen aus dem eigenen Haus zeigte sich keine signifikante Abnahme der Vitalität in Abhängigkeit von der Einlagerungszeit. Die Revitalisierungsausbeute importierter Embryonen war jedoch signifikant niedriger.

In diesem Beitrag werden Gründe für den Vitalitätsverlust sowie sinnvoller (Langzeit-) Lagerungsstrategien mit Probengrößen diskutiert.

I.14

KAIT (Kryostress – Anpassungsmechanismen der Zelle an Tiefsttemperaturen): ein Verbund-Projekt zur Analyse von Kryostress in Bakterien, Pilzen, Pflanzen und tierischen Zellen

S. Eberth^{*1}, F. Bajerski¹, E. Heine-Dobbernack¹, M. A. Siegesmund³, M. Lorenz³, J. Stock², B. Hanf⁴, O. Kniemeyer⁴, H.-P. Mock², T. Friedl³, J. Keller², R. MacLeod¹, M. Schumacher¹, H.G. Drexler¹, J. Overmann¹

¹ Leibniz Institut DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, Braunschweig
sonja.eberth@dsmz.de

² Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Gatersleben

³ Experimentelle Phykologie und Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen (EPSAG)

⁴ Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie e. V., Hans-Knöll-Institut (HKI), Jena

* Korrespondenzautorin

Während der Kryokonservierung werden Zellen verschiedenen Formen von Kryostress ausgesetzt, dazu gehören Eiskristallbildung, osmotischer Stress, Dehydrierung und toxische Nebenwirkungen durch den Einsatz von Kryoprotektoren. Abhängig vom Organismus oder Zelltyp werden unterschiedliche Techniken und Protokolle zur Kryokonservierung angewendet. Die durch das Einfrieren und Auftauen in der Zelle verursachten Prozesse und Schädigungen sind dabei jedoch noch wenig verstanden. So ist es teilweise unklar, warum manche Zelllinien nach Kryokonservierung gut anwachsen, andere den Kryostress hingegen kaum oder gar nicht überleben.

Das Ziel, des von der Leibniz Gemeinschaft geförderten KAIT-Pojekts, ist eine organismenübergreifende, systematische Analyse von Kryostress in Bakterien, Pilzen, Pflanzen und tierischen Zellen. Als Modelle dienen jeweils Organismen mit bekannter Kryosensitivität und solche mit vergleichsweise hoher Kryostresstoleranz. Als Parameter zur Analyse des Kryostress', sowie der Konsequenzen aus Einfrier- und Auftau-Prozessen, werden das Ausmaß der Eiskristallbildung, Bestimmung des Glasübergangs, Effekte auf die Zellphysiologie und –Metabolismus, sowie Veränderungen der Genexpression (auf RNA- und/oder Proteinebene) und des (Epi-)Genoms herangezogen.

I.15

Herausforderungen einer Keimzellbank für Wildtiere

Karin Müller*, Jennifer Zahmel, Katarina Jewgenow

Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) im Forschungsverbund Berlin e. V.,
Abteilung Reproduktionsbiologie, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin, Germany
mueller@izw-berlin.de

* Korrespondenzautorin

Zell- und gewebetypische sowie individual- und artspezifische Besonderheiten stellen nach wie vor eine Herausforderung für die Kryokonservierung von Keimzellen und -geweben dar. Diese ermöglicht als essentieller Bestandteil von Erhaltungszuchtpogrammen die langfristige Anlage von Zellbanken (z. B. Cryo-Brehm: Deutsche Zellbank für Wildtiere, Felid Gamete Rescue Project am IZW). Neue Ansätze wie die Kryokonservierung von Eizellen in der Ovarrinde in Kombination mit der (Xeno)transplantation sind durchaus vielversprechend. Die Generierung von induzierten pluripotenten Stammzellen aus diversen nicht-reproduktiven Zelltypen nach deren Kultur und Kryokonservierung stellt ebenfalls eine

neue alternative Methode im Dienste der Arterhaltung dar. Die Rekrutierung des zu konservierenden Materials erfolgt häufig unter Feldbedingungen und erfordert feldtaugliche Konservierungsverfahren oder längere Transporte des biologischen Materials bis zur Bearbeitung im Labor. Solche Methoden müssen ständig entwickelt und optimiert werden. Das gilt auch für die erforderlichen Techniken der assistierten Reproduktion wie z. B. die künstliche Besamung oder den Embryotransfer, inklusive der notwendigen hormonellen Stimulation, die wiederum artspezifische Herausforderungen beinhalten.

Stichwörter:

Kryokonservierung, Keimzellen, Embryonen, Zellbank, Arterhaltung

I.16

Vorstellung des Entwurfs der DIN SPEC 4683: Flüssighelium-Druckbehälter - Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

C. Heidt^{1,2,*}, L. Blum³, S. Grohmann^{1,2}, Ch. Haberstroh⁴, M. Lau⁵, W. Otte⁶,
A. Raccanelli⁷, M. Reinhardt⁸, C.H. Schröder⁹, M. Süßer¹, O. Schulenberg¹⁰

¹ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Physik (ITEP)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, Gebäude 410, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

² Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Thermodynamik
und Kältetechnik (ITTK)

³ TU Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik

⁴ Linde Kryotechnik AG, Pfungen, Schweiz

⁵ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Normenausschuss Druckgasanlagen, Berlin

⁶ Air Liquide Deutschland GmbH, Krefeld

⁷ Forschungszentrum Jülich, Peter Grünberg Institut 3

⁸ Herose GmbH, Bad Oldeslohe

⁹ Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI, Darmstadt

¹⁰ Götze KG Armaturen, Ludwigsburg

* Korrespondenzautorin

Die bisherigen Regelwerke (z. B. DGRL, DIN) decken die Absicherung von Flüssigheliumbehältern gegen Drucküberschreitungen in vielen Fällen nicht ausreichend ab. Daher wurde der DIN-Arbeitsausschusses NA 016-00-07AA (Überdruck-Absicherung von Heliumkryostaten) ins Leben gerufen, welcher den nun veröffentlichten Normentwurf „DIN SPEC 4683: Flüssighelium-Druckbehälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“ erarbeitet hat.

In diesem DIN-Normentwurf werden die spezifischen Bedingungen und Verhältnisse für die Druckabsicherung von Speicherbehältern, Experimentiereinrichtungen, Verteilerleitungen sowie Ventilboxen für tiefkaltes Helium, wie sie in Technik und Wissenschaft eingesetzt werden, betrachtet. Diskutiert werden die Auswahl der Sicherheitseinrichtungen, die Berechnung der erforderlichen Abblasequerschnitte, die Festlegung von Einstell- bzw. Berstdrücken sowie die spezifische Eignung von Sicherheitsarmaturen zur unmittelbaren Druckbegrenzung.

Ziel dieses Beitrags ist es, einen Überblick über die Motivation und den Inhalt der „DIN SPEC 4683: Flüssighelium-Druckbehälter - Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“ zu geben.

Stichwörter:

Kryostat, Helium, Überdruck, Sicherheit, Regelwerke

Eigenschaften von Transportbehältern für tiefkalt verflüssigtes Helium

Bernd Gottschlich, Fillipo Carovani*

Cryotherm GmbH & Co. KG, Projektengineering,
57074 Kirchen (Sieg)

* Korrespondenzautor

Die Versorgung von NMR-Tomographen und LHe-Cryostaten mit flüssigem Helium stellt eine besondere Herausforderung dar. Die spezifische Auslegung der He-Transportbehälter erleichtert die Handhabung und verhindert das Auftreten von Risiken.

1. Integrierte elektrische Druckaufbauregeleinrichtung

Ein integriertes, elektrisches Druckaufbau-System und ein Regelungssystem ersetzen die schwere und teure He-Gasflaschen und Entspannungsstationen. Der Druckaufbau kann über den Anschluss an eine Steckdose erfolgen.

2. Integrierter LHe-Entnahmehuber

Der integrierte Entnahmehuber ersetzt die Montage oder Demontage von Hebbern. Weiterhin bleibt das Entnahmerohr immer kalt. Eine Anti-Oszillationseinrichtung sorgt für noch geringere Abdampfraten. Der superisolierter Transfer-Schlauch mit integriertem Abschlussventil und LHe-Kupplung ist durch sichere und schonende Aufbewahrung am Behälter immer einsatzbereit. Kundenspezifische Adapter-Systeme erlauben das Füllen in unterschiedliche Verbraucher.

3. LHe – Kapazität

Die Maximierung der LHe-Kapazität bei vorgegebenen baulichen Gegebenheiten hat zu einer Designoptimierung für die Versorgung von großen Verbraucher geführt.

4. Gewicht

Gewichtsoptimierung für Transportbehälter zur Verbesserung der Handhabung

5. Experimente, direkt am Transportbehälter

Direkter Zugang am Kopf des Behälters ermöglicht den Einbau von Apparaten zur Ausführung von Cryo-Experimenten.

6. He-Abgaskühlung

Ein optimierter Abdampfgaskanal kühlte den Hals, die Einbauten, die Strahlungsschilder und die Superisolation.

7. Sicherheit

Die Gefahr eines Eis-Blocks im Hals wurde umgangen durch eine spezielle Maßnahme, die den Halsquerschnitt erweitert. Die Erweiterung ist mit einem separaten Sicherheitsventil ausgestattet und verhindert dass Luftfeuchtigkeit einströmt.

Stichwörter:

Helium-Transportbehälter, Druckaufbauregeleinrichtung, Entnahmehuber, He-Abgaskühlung

I.18

Thermohydraulische Optimierung flexibler Transferleitungen für Flüssighelium

N. Dittmar^{1,*}, Ch. Haberstroh¹, U. Hesse¹, M. Wolfram², M. Krzyzowski², A. Raccanelli²

¹ Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik, 01062 Dresden, Deutschland
nico.dittmar@tu-dresden.de, christoph.haberstroh@tu-dresden.de

² CryoVac Gesellschaft für Tieftemperaturtechnik mbH, 53842 Troisdorf, Deutschland
info@cryovac.de

* Korrespondenzautor

Alle Kühlssysteme und -anwendungen nahe dem absoluten Nullpunkt basieren auf der Verwendung von Flüssighelium als Kältemittel, da Helium mit 4,2 K die niedrigste Siedetemperatur besitzt. Aufgrund begrenzter ökonomischer Fördermöglichkeiten und einem hohen energetischen Aufwand bei der Heliumverflüssigung ist ein effizienter und nachhaltiger Umgang mit dieser Ressource angeraten.

Bei universitären Anlagen wird Flüssighelium meist in einem Vorratsbehälter gelagert, von wo aus es mittels einer kryogenen Transferleitung in mobile Transportkannen abgefüllt und zur eigentlichen Verbrauchsstelle transportiert wird. Allein bei diesem Transfer können bis zu 30 % des verflüssigten Heliums durch vermeidbaren Wärmeeinfall und Reibungsdruckverlust verdampfen. Das nunmehr gasförmige Helium muss abgeführt und unter hohem energetischem Aufwand erneut verflüssigt werden. Es steht zunächst nicht mehr für die eigentliche Anwendung zur Verfügung.

Das eingereichte Paper zeigt auf, wie mittels systematischer Messungen und thermohydraulischer Berechnungen ein optimiertes Transferleitungsdesign entwickelt wurde. Mit Hilfe dessen kann sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Effizienz bestehender Heliumtransfersysteme gesteigert werden kann.

Stichwörter:

Flüssighelium, Transferleitung, Druckverlust, Wärmeeintrag

I.19

Neuartige Probleme durch Wasserstoff-Kontaminationen in Flüssighelium

Ch. Haberstroh

Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte- Kryo- und Kompressorentechnik, TU Dresden, 01062 Dresden
christoph.haberstroh@tu-dresden.de

Seit einigen Jahren wird im Bereich der Flüssighelium- (LHe-)Nutzung von neuartigen Schwierigkeiten berichtet: Bei bestimmten Arten von Durchflusskryostaten kommt es nach einigen Stunden Betriebszeit zu einer Verstopfung der Kapillarleitung bzw. des Einlassventils. Vielerorts führt dies zu massiven Einschränkungen im Versuchsbetrieb. Sowohl Nutzer von kommerziell bezogenem LHe als auch Betreiber eigener Rückverflüssigungsanlagen sind z.T. betroffen.

Zwischenzeitlich konnten minimale H₂-Kontaminationen im bereitgestellten LHe als mutmaßliche Ursache ausgemacht werden. Die beobachteten Blockaden gehen offensichtlich einher mit der Akkumulation von Wasserstoff in fester Phase in den betreffenden LHe-Verdampfungspassagen.

Der Beitrag illustriert die bisherigen Rechercheergebnisse und die vorgefundene Phänomenologie. Überdies wird gezeigt, wie sich durch Einsatz eines Katalysatorelements deutliche Verbesserungen erreichen lassen.

Notizen

II.1.01

Effect of fin pitch, fin height, and bundle depth on condensation of R134a, R1234yf, and R1234ze in bundles of integral finned tubes

Alaa Ruhma Al-Badri^{1,2}, Alfred Leipertz¹, Andreas Paul Fröba^{1,*}

¹ Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LT), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Am Wechselgarten 8, D-91058 Erlangen, Germany

² College of Engineering, University of Wasit, Wasit, Iraq

* Corresponding author

The influence of fin pitch, fin height, and number of tube rows (bundle depth) is investigated for the condensation of refrigerants 1,1,1,2-tetrafluoroethane (R134a), 2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf), and trans-1,3,3,3-tetrafluoroprop-1-ene (R1234ze) in bundles of integral finned tubes. An analytical model is developed to predict the condensation heat transfer coefficient (HTC) in the tube bundles. The present model is based on an element-by-element prediction model for the condensation heat transfer on single tubes. A new method is derived for the condensate distribution on the tube surface. This allows the determination of the condensation HTC tube by tube in the bundle. Thus, the bundle effect can be ascertained. The fin pitch, fin height, and bundle depth have been optimised with the three refrigerants. For the verification of the present model, experiments were conducted for the condensation of R134a in bundles of copper integral finned tubes at a saturation temperature of 37°C. For the condensation on single tubes, it could be shown that the optimum fin pitch is weakly dependent on the fin height, which ranges between 0.8 and 2.4 mm. In contrast, the optimum fin pitch is dependent on the fin height in tube bundles with more than 10 tube rows. For tube bundles, the difference in the optimum fin pitch among the three refrigerants is insignificant. The optimum fin pitch and fin height increase as the flow rate of condensate is increased. The refrigerants R1234yf and R1234ze show a lower heat transfer performance in comparison to R134a for the condensation on integral finned tubes.

Keywords:

R1234yf, R1234ze, R134a, fin pitch, fin height, bundle depth, condensation, finned tube.

II.1.02

Transientes Wärmetauschermodell für Kältekreislaufsimulationen

Erwin Berger*, Martin Heimel, Stefan Posch, Raimund Almbauer, Martin Eichinger

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz,
Inffeldgasse 19, 8010 Graz, Österreich
berger@ivt.tugraz.at

* Korrespondenzautor

Die Anpassung zwischen bereitgestellter Kälteleistung und tatsächlichem Kältebedarf, unter Berücksichtigung einer entsprechenden Kälteleistungsreserve zur Abdeckung von Spitzenlasten, erfolgt bei gegenwärtig angebotenen und weltweit millionenfach eingesetzten Haushaltsschlüsselgeräten durch einen diskontinuierlichen Betrieb des hermetischen Kältemittelkompressors. Diese Betriebsweise mit unterschiedlich langen Ein- und Ausschaltzeiten und eventueller Drehzahlregelung des Kältemittelkompressors führt zu stark zeit- und raumabhängigen Zustandsänderungen des gesamten Systems. Das transiente thermische Verhalten des Gesamtkältekreislaufs wird wesentlich von den beiden Wärmetauschern, nämlich Verdampfer sowie Verflüssiger, bestimmt. Physikalisch betrachtet

liegt in den Wärmetauschern eine komplexe 3-dimensionale Kältemittelströmung mit stark nicht-linearen Phasenübergängen, die von einem kombinierten Wärmetransport, bestehend aus Wärmeleitung, Wärmestrahlung und konvektivem Wärmeübergang, bestimmt sind, vor.

Um die auftretenden physikalischen Vorgänge in den Wärmetauschern und die Wechselwirkungen mit den angrenzenden Komponenten besser zu verstehen, hat sich in den vergangenen Jahren der Einsatz von numerischen Simulationsmethoden als vielversprechender Ansatz herausgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Herausforderungen in der transienten Wärmetauschermodellierung, als auch auf die Anforderungen an ein derartiges Modell im Kontext einer Gesamtsystemsimulation eingegangen. Weiters wird ein möglicher 1-dimensionaler Modellierungsansatz, der für transiente Gesamtkreislaufuntersuchungen eingesetzt werden kann, vorgestellt. Das mathematische Grundgerüst basiert auf der Finiten-Volumen-Methode und es kann sowohl für die Simulation von Verdampfer als auch Verflüssiger verwendet werden. Die unterschiedlichen Effekte, die während der Verdampfung oder Kondensation des Kältemittels auftreten, werden mit Hilfe von speziellen empirischen Modellen, die in der einschlägigen Literatur vorgeschlagen werden, berücksichtigt. Schließlich werden berechnete und gemessene transiente Verläufe ausgewählter Zustandsgrößen am Beispiel eines Verflüssigers einander gegenübergestellt.

Stichwörter:

Haushaltstiegelgerät, Wärmetauschermodell, transient, Kältekreislauf, R600a

II.1.03

Auslegung und Untersuchung von Lamellenrohr-Wärmeübertragen mit verbesserter Wärmeübertragung

Dipl.-Ing. Diala Karmo^{*1}, Prof. Dr.-Ing. habil. Salman Ajib²

¹ Technische Universität Ilmenau, Institut für Thermo- und Fluidodynamik,
98693 Ilmenau, Deutschland
diala.karmo@tu-ilmenau.de

² Hochschule Ostwestfalen-Lippe, FG Erneuerbare Energien & dezentrale Energieversorgung,
37671 Höxter, Deutschland
salman.ajib@hs-owl.de

* Korrespondenzautorin

Lamellenrohr-Wärmeübertrager werden in unterschiedlichen Kälte- und Klimaanlagen oder sogar in Kraftfahrzeugen eingesetzt. Traditionell konnte die Wärmeübertragung durch die Vergrößerung der Wärmeübertragungssoberflächen bzw. der Abmaßen des Wärmeübertragers erhöht werden. Zunehmende Anforderungen, beispielsweise an den Umweltschutz und an Energieeffizienz, führen in diesem Zusammenhang dazu, dass Wärmeübertrager effizient auszulegen sind.

In diesem Beitrag werden die Wirkungen wesentlicher Parameter (z. B. Kontakt zwischen Rohren und Lamellen, Luftgeschwindigkeit) auf die Wärmeübertragung dargestellt. Aufbauend darauf werden zwei neue effektive Auslegungen vorgestellt. In der ersten Auslegungsalternative werden die Rohre in eine Zickzackform umgestellt, wobei der Lamellenblock ebenfalls einen Zickzack bildet. In der zweiten Auslegungsalternative werden die Lamellen versetzt. Durch die Bestimmung der Anzahl der Rohrreihen, Lamellenhöhen und Lamellenabstände erfolgt in den neuen Auslegungen keine Erhöhung des Materialverbrauchs oder der Dimensionen der entwickelten Wärmeübertrager.

Ausgehend von einem handelsüblichen Wärmeübertrager wird eine Zickzackform entwickelt und anschließend mithilfe der Software „SolidWorks“ konstruiert. Weiterhin wird der entwickelte Wärmeübertrager mit Unterstützung der numerischen Strömungsmechanik (CFD) simuliert und untersucht. Dabei sind die Werte der Wärmeübertragung, Druckverluste und des Materialverbrauchs von Rohren und Lamellen in den beiden Konstruktionen zu vergleichen.

Bereits durchgeführte Simulationsrechnungen zeigen bei geringer Erhöhung des Druckverlustes eine Erhöhung der Wärmeübertragung um bis zu 50 % oder eine Reduzierung des Materialeinsatzes bzw. Volumen um ca. 40 % bzw. 35 %.

Stichwörter:

Lamellenrohr-Wärmeübertrager, Auslegung, Wärmeübertragung, Druckverluste, CFD, SolidWorks.

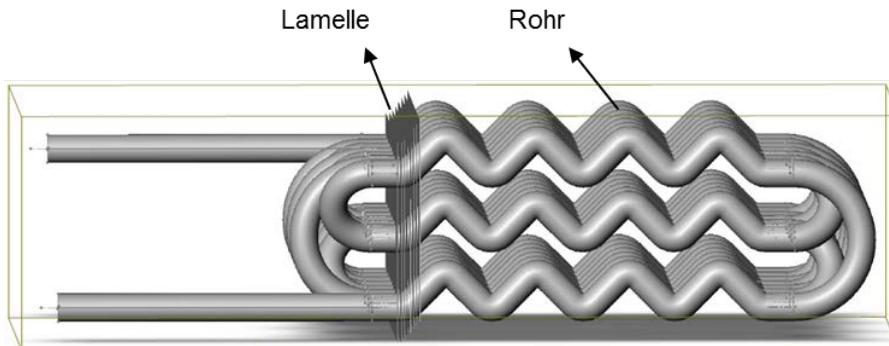


Abbildung 1: Beispiel für die Anordnung von Rohren und Lamellen im entwickelten Modell

II.1.04

Phasenverteilung in Plattenwärmeübertragern bei Absorptionsanwendungen

Gerwin Schmid*, Pinar Sayin

AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department,
Giefinggasse 2, 1020 Wien, Österreich
gerwin.schmid@ait.ac.at

* Korrespondenzautor

Eine Schlüsselkomponente bei Absorptionswärmepumpen und -kälteanlagen ist der Absorber. Hierbei spielt unter Anderem die Verteilung des zu absorbierenden Kältemittels eine wichtige Rolle. Ziel ist es möglichst kompakte und damit kostengünstigere Maschinen beziehungsweise Komponenten zu entwickeln.

Diese Arbeit befasst sich mit der Optimierung der Verteilung des Kältemittels in einem Plattenwärmeübertrager (=Absorber), wobei Ammoniak als Kältemittel und Ammoniak-Lithiumnitrat als Lösung verwendet wurden. Der Absorber wurde dabei im Blasenmodus betrieben, das heißt Lösung und Kältemittel treten unten in den Absorber ein.

Zunächst wurde eine Patent- und Literaturrecherche durchgeführt, um den Stand der Technik zu ermitteln. Um die Anzahl der möglichen Eintrittsgeometrien vor den experimentellen Arbeiten mit Ammoniak-Lithiumnitrat zu reduzieren, wurden mögliche Varianten mittels einphasiger CFD (computational fluid dynamics) simuliert und mit Experimenten verglichen. Dabei wurden die Blasenströmungen mittels Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet und analysiert. Die Versuche mit dem Arbeitsstoffpaar Ammoniak-Lithiumnitrat wurden mit insgesamt neun verschiedenen Geometrien in einem Kreisprozess durchgeführt, wobei die Massenströme variiert wurden.

Es hat sich gezeigt, dass die Verteilung des Kältemittels in der Tat einen großen Einfluss auf den Wärmeübergangskoeffizienten hat.

Stichwörter:

Absorption, Ammoniak, Lithiumnitrat, Absorber

II.1.05

Experimentelle Untersuchung von Fallfilmrohrbündelwärmeübertragern für Absorptionskältemaschinen

Christian Wuschig*, Alexander Linbrunner, Florian Menhart

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern),
Bereich: Energiespeicherung, Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching, Deutschland
christian.wuschig@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Die Wärmetauscher der Hauptkomponenten einer Absorptionskältemaschine oder -wärmepumpe stellen einen wesentlichen Faktor für die Herstellkosten dar. In der Regel sind diese Wärmetauscher als (Fallfilm-)Rohrbündelwärmeübertrager ausgeführt. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurde das gängigste Arbeitsstoffpaar Wasser / wässrige Lithiumbromidlösung verwendet.

Ziel der Experimente war es, den Einfluss der Variationsparameter für einen klassischen Aufbau des Rohrbündels (keine Oberflächenbehandlung, keine Einbauten) zu untersuchen und die Ergebnisse zu analysieren. Variationsparameter sind der Durchmesser der Rohre, der Abstand der Aufgabestellen für das Arbeitsmedium und der Aufgabemassenstrom. Mithilfe der Ergebnisse wird ein in Hinsicht auf die Thermodynamik (maximierter Wärmeübergangskoeffizient, möglichst wenig notwendige Fläche) optimaler Parametersatz ermittelt und ebenso eine Bewertung in Hinsicht auf die Herstellungskosten (Material- und Fertigungskosten) durchgeführt.

Hierfür wurden Rohrbündel aus Rohren mit unterschiedlichen Durchmessern (12, 18, 22 mm) und gleicher Wärmeübertragungsfläche gefertigt. Diese wurden als Verdampfer/Kondensator- bzw. Absorber/Generator-Paar in einer Versuchsanlage unter Bedingungen, wie sie auch in einer realen Absorptionskälteanlage auftreten (Druck, Temperatur, Konzentration) vermessen. Die Benetzung der Rohrbündel erfolgt über ein Aufgabesystem mit definierten Abtropfstellen, deren Abstand variiert wird (17, 20, 25, 30, 34 mm). Der Aufgabemassenstrom kann mittels eines Ventils über einen weiten Bereich eingestellt werden. Um die Ergebnisse in Hinsicht auf die Einflüsse der Variationsparameter auf die Wärmeübertragung auf der Seite des Fallfilms vergleichbar zu machen, wurde die Durchströmung der Rohrbündel so eingestellt, dass die Wärmeübertragungskoeffizienten auf der Innenseite der Rohre nahezu gleich sind.

Das Benetzungsverhalten wird anhand von thermografischen Aufnahmen bewertet. Der Einfluss der einzelnen Parameter wird anhand der übertragenen Leistungen bzw. den daraus ermittelten Wärmedurchgangskoeffizienten identifiziert und diskutiert. Mithilfe von realistischen Kennzahlen für die Herstellkosten wird ein ökonomisch optimaler Parametersatz abgeleitet.

Stichworte:

Fallfilmrohrbündelwärmeübertrager, Wärmeübergangskoeffizient, Rohrdurchmesser, Aufgabemassenstrom, Benetzung

II.1.06

Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf die benötigte Wandüberhitzung zum Blasensieden in Austreibern von kompakten Wasser-/LiBr Absorptionskälteanlagen

Florian Menhart*, Stefan Natzer, Manuel Riepl

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), Bereich Energiespeicherung,
Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching, Deutschland
florian.menhart@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Eine mögliche Bauform des Austreibers einer Absorptionskältemaschine stellt der Poolaustreiber dar. Die Vorteile eines Poolaustreibers gegenüber einem Rieselfilmastreiber treten allerdings erst dann ein, wenn das Regime des Blasensiedens erreicht wird. Dies erfordert Übertemperaturen (Differenz zwischen Heizflächen- und Flüssigkeitstemperatur direkt an der Wand) von etwa 14 K, was die Einsatzmöglichkeiten dieser Bauform für manche Anwendungen einschränkt. Eine Möglichkeit diese Übertemperatur zu reduzieren, die nötig ist um den Prozess des Blasensiedens zu aktivieren, stellt eine mechanische oder beschichtende Behandlung der Heizoberfläche dar.

In diesem Zusammenhang wurden am ZAE Bayern im Rahmen eines Forschungsprojektes Experimente zur Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit auf die nötige Übertemperatur zum Beginn des Regimes des Blasensiedens durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass durch einfach zu realisierende Oberflächenbehandlung eine Reduktion der Übertemperatur und damit eine Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten von ungefähr 10 % erreicht werden kann.

Des Weiteren wurden mit den erzielten Messergebnissen die Koeffizienten der Gleichung des Blasensiedens für wässrige Lithiumbromidlösung im subatmosphärischen Bereich ermittelt, da die Datenlage hierzu in der Literatur keine ausreichende Tiefe zur Vorhersage der Phänomene hergibt.

Stichwörter:

Absorptionskältemaschine, Poolaustreiber, Blasensieden, Oberflächenbehandlung

II.1.07

Wärme- und Fluidtransportmechanismen in vertikalen Siederohren für Hochtemperaturaustreiber mehrstufiger Absorptionskälteanlagen

Manuel Riepl*, Volker Mertel, Manuel Kausche

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), Bereich Energiespeicherung,
Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching, Deutschland
Manuel.Riepl@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Für mehrstufige Absorptionskälteanlagen (AKA), die exergetisch hochwertige Antriebswärme beispielsweise aus Rauchgasen oder auch direkter Gasfeuerung beziehen, sind spezielle Wärmeübertrager notwendig, die die Hochtemperaturwärme in den Kälteprozess einkoppeln. Dabei existieren generell zwei Bauformen, die als Rauchrohraustreiber- oder Siederrohraustreiber bezeichnet werden. Erstere Bauform führt das Rauchgas innerhalb der horizontalen Rohre, die außen von der Sorptionslösung umgeben sind (Prinzip des Behältersiedens). Ein hohes Bauvolumen aufgrund des vergleichsweise beschränkten rauchgasseitigen Wärmeübergangs hat ein ebenso hohes Sorptionsmittelvolumen zur Folge. Diese Nachteile können mit der alternativen Bauform „Siederrohraustreiber“ umgangen werden. Diese Bauform zeichnet sich durch vertikale, im Bündel stehende, Rohre aus, die

auf der Außenseite von Rauchgas beheizt werden. Der Wärmeübergang auf der Rauchgasseite ist stark verbessert. Auf der Innenseite strömt die Sorptionslösung aufwärts; der Austreiber ist nach dem Prinzip des Naturumlaufverdampfers konzipiert. Ein weitaus geringeres Lösungsvolumen und damit geringere Kosten und ein dynamischeres Lastwechselverhalten sind erreichbar.

Die Bauform wurde in mehreren Forschungsvorhaben des ZAE Bayern hinsichtlich des Einsatzes in mehrstufigen AKA untersucht und als sehr vielversprechend bewertet. Die Entwicklung von Rechenmodellen zur Auslegung der Austreiber ist dabei in einem weiten Maße abgeschlossen; die rauchgasseitige Abbildung hinsichtlich Wärmeübertragung und Fluidodynamik konnte experimentell validiert werden. Eine gewisse Unsicherheit liegt allerdings noch auf der exakten Vorhersage der sorptionsseitigen Wärme- und Fluidtransportmechanismen. Die Kenntnis dieser Parameter ist für eine sichere und zuverlässige Auslegung für diese thermisch hochbelasteten Wärmeübertrager unabdingbar.

Zum Zwecke der Ermittlung der lokalen lösungsseitigen Wärmeübergangskoeffizienten und des Naturumlaufverhaltens in der Zweiphasenströmung im Siederohr wurde ein eigens dafür konzipierter Teststand aufgebaut. Dieser erlaubt die Ermittlung der oben genannten Parameter in Abhängigkeit einer Vielzahl variierender Parameter wie Heizbelastung, interne thermische Prozessbedingungen und Geometrie des Siederohres.

Dieses Papier zeigt die ersten Ergebnisse des experimentellen Betriebs und die Entwicklung eines für die künftige Vorhersage der relevanten Parameter geeigneten Softwaremodells.

Stichwörter:

Hochtemperaturgenerator, mehrstufige AKM, Naturumlaufverdampfer, Siedekorrelationen, Wärmeübergang in Zweiphasenströmung

II.1.08

Untersuchungen zum Förderverhalten einer Thermosiphonpumpe

Thomas Brendel*, Klaus Spindler

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik,
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0049-711-685-63552, Fax: 0049-711-685-63503
E-mail: brendel@itw.uni-stuttgart.de

* Korrespondenzautor

Thermosiphonpumpen werden in Diffusions-Absorptions-Kälteanlagen zur Realisierung des Lösungsumlaufes eingesetzt. Sie pumpen die arme Lösung auf Höhe des Absorbers, die reiche Lösung gelangt durch ein natürliches Gefälle wieder in den Austreiber. Mit steigendem Interesse an solarem Kühlen wurde auch der Diffusions-Absorptions-Kälteprozess zur Realisierung von Anlagen im Leistungsbereich von 2 - 5 kW Kälteleistung eingesetzt. Da solar angetriebene Kälteanlagen häufig bei Teillast betrieben werden, war es nötig, das Betriebsverhalten der Thermosiphonpumpe genau zu kennen. Daher wurde am ITW eine Versuchsanlage errichtet und verschiedene Konfigurationen einer Thermosiphonpumpe untersucht. Bei einer Systemhöhe der Anlage von 200 cm wurden bei je 3 verschiedenen Niveauhöhen und je 3 verschiedenen Rohrdurchmessern mit zwei Arbeitsstoffen Messungen durchgeführt. Als Niveauhöhen wurden 1/3, 1/4 und 1/5 der Höhe also 66,6 cm, 50 cm und 40 cm gewählt. Die verwendeten Rohrdurchmesser betrugen 6 mm, 8 mm und 10 mm. Als Arbeitsstoffe wurden Wasser und Ethanol bei Atmosphärendruck verwendet. Die Arbeitsstoffe wurden durch einen kompakten elektrischen Heizstab am unteren Ende des Pumprohres teilweise verdampft. Es werden die Ergebnisse der Messungen vorgestellt und diskutiert. Ergänzt wurden die Messungen durch Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera unter Verwendung eines Pumprohres aus Glas. Dabei konnten grundlegende Erkenntnisse über das Verhalten einer Thermosiphonpumpe im Betrieb gewonnen werden. Abschließend werden Möglichkeiten für einen verbesserten Berechnungsansatz für Thermosiphonpumpen vorgestellt.

Stichwörter:

Thermosiphonpumpe, Diffusions-Absorptions-Kälteanlage, Zweiphasenströmung

II.1.09

Erhöhung der Lebenszeit von LiBr - Absorptionskälteanlagen – Entwicklung eines Testverfahrens für neuartige Korrosionsinhibitoren

Steffen Feja^{1*}, Björn Pätzold², Lutz Richter¹, Udo Steiner²

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
steffen.feja@ilkdresden.de

² Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Maschinenbau/Verfahrenstechnik,
Bereich Chemieingenieurwesen, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

* Korrespondenzautor

Durch Absorption eines Kältemittels, beispielsweise Ammoniak oder Wasser, in einer Absorptionslösung, hier wässrige Ammoniaklösung bzw. konzentrierte Lithiumbromidlösung, wird Wärme verbraucht. Kehrt man den Prozess um und führt das Kältemittel in einem Kreislauf zwischen Absorption und Verdampfen, kann somit Wärme, speziell Abwärme oder regenerative Wärme, sehr effizient in Nutzkalte umgewandelt werden.

Der thermodynamische Vorteil, der durch die Verwendung solcher anorganischen, wässrigen Systeme aufgrund Ihrer hohen Effizienz entsteht, bildet jedoch chemisch gesehen auch den entscheidenden Nachteil einer solchen Absorptionskälteanlage. Die genannten Arbeitsstoffpaarungen sind äußerst aggressiv gegenüber den verwendeten metallischen Werkstoffen und führen naturgemäß zu einer erhöhten Korrosionsproblematik.

Speziell für das Stoffpaar Wasser/LiBr sind daher im letzten Jahrhundert Inhibitierungen mit verschiedensten Chemikalien entwickelt worden, welche für eine lange Lebensdauer, die Wirtschaftlichkeit der Anlage und die Anlagensicherheit sorgen.

Aufgrund der erhöhten gesetzlichen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Gesundheit der Anlagenbetreiber und erhöhter Umweltauflagen für die eingesetzten Chemikalien, ist es notwendig, neue Inhibitoren zu entwickeln und realitätsnah zu testen. Die derzeitig verfügbare Literatur verweist jedoch auf kein allgemein gültiges Testverfahren für Korrosionsinhibitoren.

Der Vortrag beschäftigt sich vergleichend mit der Darstellung verschiedener Testverfahren für Korrosionsinhibitoren in LiBr - Absorptionslösungen und stellt ein in Entwicklung befindliches Verfahren vor, welches auf der für wässrige Kühlsole weltweit anerkannten ASTM D 1384 – 05 (2012) „Standard Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware“ basiert.

Erste Ergebnisse, welche mit diesem Verfahren innerhalb einer Bachelorarbeit mit zwei neuen potenziellen Inhibitoren für LiBr – Anlagen durchgeführt wurden, werden exemplarisch vorgestellt.

Stichwörter:

Absorptionskälteanlagen, Inhibierung, Molybdat, Korrosionsschutz, Testverfahren

II.1.10

Betriebserfahrungen mit einer Absorptionskältemaschine mit 5 kW Kälteleistung

Michael Olbricht*, Andrea Luke

Universität Kassel, Fachgebiet Technische Thermodynamik, 34125 Kassel, Germany
ttk-absorption@uni-kassel.de

* Korrespondenzautor

Zur energieeffizienten Deckung des steigenden Klimatisierungsbedarfs von Wohngebäuden können Absorptionskältemaschinen einen Beitrag leisten. Der Großteil der derzeit kommerziell erhältlichen Anlagen ist jedoch aufgrund zu großer Leistungen und Bauvolumina nicht für die Klimatisierung von Wohngebäuden geeignet. Da häufig ein Bedarf zur Klimatisierung einzelner Räume, wie beispielsweise Aufenthaltsbereichen in Altenheimen, besteht, sind grade Aggregate im Leistungsbereich bis 5 kW Kälte von großem Interesse. Entsprechend dieses Bedarfs ist eine Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/LiBr entwickelt und unter Laborbedingungen über einen weiten Parameterbereich untersucht worden. Die Anlage wurde an den Betrieb in Wärmenetzen angepasst. Ziel der Anpassung ist die Aufrechterhaltung des Betriebs auch bei variierenden Heißwassermassenströmen und Heißwassertemperaturen infolge von Schwankungen im Wärmenetz. Weiterhin lassen sich aufgrund der konstruktiven Gestaltung des Austreiberwärmeübertragers große Temperaturspreizungen zwischen Vor- und Rücklauf des Wärmenetzes erreichen, was bei konstanter Kälteleistung eine Verringerung des zum Antrieb der AKM benötigten Wassermassenstroms zur Folge hat. Auf diese Weise sollen die Strömungsgeschwindigkeiten und die damit verbundenen Druckverluste im Wärmenetz gering gehalten werden. Eine optimierte Anpassung der internen Prozessparameter des Absorptionskälteprozesses soll die Effizienz der Absorptionskältemaschine steigern. Grenzen und Möglichkeiten einer weiteren Effizienzsteigerung werden diskutiert.

Stichwörter:

Absorption, Absorptionskältemaschine, AKM, Wasser/Lithiumbromid

II.1.11

Solares Heizen und Kühlen mit Absorptionskälteanlage und Latentwärmespeicher

- Ergebnisse aus 4 Jahren Pilotbetrieb -

Martin Helm*, Stefan Hiebler, Kilian Hagel

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern),
Bereich: Energiespeicherung, Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching, Deutschland
martin.helm@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Das vierjährige Forschungsvorhaben umfasst die Komponenten- und Systementwicklung für ein solarthermisches Heiz- und Kühlsystem mit Latentwärmespeicher unterstützter trockener Rückkühlung der Sorptionskälteanlage für heiße Umgebungsbedingungen mit minimiertem Hilfsenergieaufwand. Dabei wird in den Rückkühlkreis der Kältemaschine nach dem trockenen Rückkühlwerk seriell ein Latentwärmespeicher zur Reduzierung der Kühlwassertemperatur installiert. Dies vermeidet den Einsatz eines Nasskühlturms nebst aufwändiger Wasseraufbereitung und die damit einhergehende Gefahr der Legionellenbildung. Besonders an sehr heißen Tagen mit maximaler Kälteleistung kann damit, im Vergleich zu Systemen mit rein trockener Rückkühlung, die Leistung der Sorptionskälteanlage erheblich gesteigert werden. Zudem erlaubt die partielle Speicherung der Abwärme während der Kältebereit-

stellung und deren zeitversetzte Abgabe an die Umgebung bei günstigeren Außentemperaturen während den Nachstunden eine Minimierung des Hilfsenergieaufwandes.

Als Phasenwechselmaterial im Latentwärmespeicher dient Calciumchlorid Hexahydrat mit einer Phasenwechseltemperatur von ca. 29°C, welches im Temperaturbereich zwischen 22 °C und 36 °C etwa 80 kWh Wärme pro Kubikmeter speichert. Während der Projektlaufzeit konnte in ausführlichen Langzeitzyklen tests die gleichbleibende Leistung und Speicherfähigkeit bestätigt werden.

Dieses innovative Systemkonzept mit Sorptionskälteanlage und Latentwärmespeicher wurde in insgesamt vier Demonstrationssystemen in Deutschland, Frankreich und Österreich installiert. Die nominale Kälteleistung der trocken rückgekühlten Systeme liegt dabei zwischen 7,5 kW und 90 kW. Die Speicherkapazitäten variieren zwischen 80 kWh und 240 kWh. Abhängig von den klimatischen Bedingungen wurde eine Verbesserung der saisonalen Energieeffizienz um bis zu 60 % ermittelt. Ausschlaggebend hierfür ist die, im langjährigen Anlagenbetrieb nachgewiesene, konstant niedrige Kühlwassertemperatur von 32 °C, die mittels des Latentwärmespeichers auch an sehr heißen Tagen mit Umgebungstemperaturen über 32 °C aufrechterhalten werden kann. Zudem sinkt der spezifische Hilfsenergiebedarf zur Rückkühlung der Kälteanlage durch die Entkopplung von Kältebereitstellung und Abwärmedissipation. Hierzu werden spezifische Kennwerte für die einzelnen Hydraulikkreise präsentiert, diese mit vergleichbaren Anlagen verglichen und die einzelnen Optimierungsschritte dargestellt.

Stichwörter:

Solare Klimatisierung, Solare Kühlung, SHC System, Absorptionskälteanlage, trockene Rückkühlung, Latentwärmespeicher (PCM-Speicher), Hilfsenergiemengen

II.1.12

Solar-unterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Technische und wirtschaftliche Potenziale einer neuen Systemkombination

Michael M. Becker^{1,*}, Jost Braun², Wolfgang Mayer^{1,2}

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie,
Petersgasse 18, 94315 Straubing, Deutschland
michael.becker@tum.de

² Hochschule Kempten, Bahnhofstr. 61, 87435 Kempten, Deutschland

* Korrespondenzautor

Solare Kühlung und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung erreichen hohe Primärenergieeinsparungen gegenüber getrennten Systemen mit Kompressionskältemaschine und Gaskessel. In dieser Arbeit werden diese beiden Systeme zur solar-unterstützten Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung kombiniert. Ziel ist hierbei die Nutzung der Vorteile der solaren Kühlung im Kühlbetrieb und der Vorteile der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im Heizbetrieb zu einem ganzjährigen energieeffizienten Energiesystem.

Zur Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Potenziale der neuen Systemkombination wurden Jahressimulationen mit Matlab/Simulink durchgeführt. Validiert wurden die Simulationsmodelle mit Messergebnissen einer Versuchsanlage.

Zur Beurteilung der Primärenergieeffizienz wurden die Ergebnisse denen der Vergleichssysteme solare Kühlung, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung und konventionelles System gegenübergestellt. Hierbei wurden die Komponenten, wie z. B. Kollektorfläche und Größe des BHKW, so variiert, dass bei gleicher Wirtschaftlichkeit nach VDI 2067 das jeweils effizienteste System erreicht wurde. Dies wurde für die Klimaregionen Norddeutschland, Süddeutschland und Norditalien durchgeführt.

Für Süddeutschland erzielt die solar-unterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung beispielsweise eine Senkung des Primärenergieverbrauchs von 52 % gegenüber dem konventionellen System. Die neue

Systemkombination erreicht in den betrachteten Klimaregionen stets die besten Primärenergie-nutzungsgrade gegenüber allen Vergleichssystemen.

Stichwörter:

Solar-unterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, solare Kühlung, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, dynamische Simulation, Systemvergleich

II.1.13

Pilotinstallation eines Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Systems mit einer zwei-/einstufigen Absorptionskältemaschine

Christian Wuschig*

¹ Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern),
Bereich: Energiespeicherung, Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching, Deutschland
christian.wuschig@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Dezentrale Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Systeme bestehen überwiegend aus motorischen Blockheizkraftwerken (BHKW) und einstufigen Absorptionskältemaschinen (AKM). Dabei wird die Rauchgaswärme, die auf einem hohen Temperaturniveau vorliegt, in einem Abgaswärmetauscher auf den Heißwasserkreis des BHKW übertragen und steht dann, exergetisch abgewertet, als Antriebswärme für die AKM zur Verfügung. Bei innovativeren Konzepten, die bereits vereinzelt angeboten werden, wird die Rauchgaswärme direkt zum Antrieb eines zweistufigen AKM-Anlagenteils genutzt. Die höheren Prozesstemperaturen dieses Anlagenteils ermöglichen es dessen Abwärme zum Antrieb des einstufigen Anlagenteils zu Nutzen. Die Wärme aus dem Heißwasserkreis des BHKW kann nach wie vor zum Antrieb des einstufigen Teils der AKM genutzt werden. Durch die direkte Rauchgasnutzung erhöht sich der EER von ca. 0,75 auf ca. 1,0.

Im Gegensatz zu den verfügbaren zwei-/einstufigen AKM (interne Kopplung) wird bei dem am ZAE Bayern entwickelten Anlagenkonzept die Abwärme des zweistufigen Anlagenteils auf den Heißwasserkreis des BHKW ausgekoppelt (externe Kopplung) und nicht direkt AKM intern genutzt. In Teillast besteht dadurch die Möglichkeit den effizienteren zweistufigen Anlagenteil weiter voll mit dem Rauchgas zu befeuern ohne dessen Abwärme zum Antrieb des ineffizienteren einstufigen Anlagenteils nutzen zu müssen. Dadurch steigt in Teillast das Verhältnis von Kälteleistung zu BHKW Abwärme die nicht zum Heizen zur Verfügung steht auf Werte bis ca. 2,5, wohingegen bei der internen Kopplung als höchster Wert ca. 1,3 erreichbar ist.

Zur Demonstration dieses Konzeptes wurde in einem Industriepark in Nabern im Auftrag der Danpower GmbH eine Pilotanlage errichtet. Sie besteht aus einem BHKW mit einer elektrischen Leistung von 936 kW. Die Absorptionskältemaschine stellt bei einer Antriebsleistung von 750 kW eine Kälteleistung von 750 kW bereit. Die Installation wurde 2012 in Betrieb genommen. Dieser Vortrag umfasst das Systemkonzept, die Pilotinstallation, Messdaten aus dem Betrieb und eine energetische und betriebswirtschaftliche Bewertung des Konzeptes und der Pilotanlage.

Stichworte:

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, zweistufig, externe Kopplung, Pilotinstallation, Wirtschaftlichkeit

II.1.14

Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe mit dem Arbeitsstoffgemisch Ammoniak/Lithiumnitrat für Hochtemperaturanwendung – Erste Betriebserfahrungen und Ergebnisse

David Hannl*, René Rieberer

Institut für Wärmetechnik (IWT), Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Austria
david.hannl@tugraz.de

* Korrespondenzautor

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Konzept und das Funktionsmuster einer Hochtemperaturwärmepumpe im kleinen bis mittleren Leistungsbereich für die Rückgewinnung von Abwärme in der Industrie vorgestellt. Das Prinzip der entwickelten Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe beruht auf dem Osenbrück-Kreislauf und bietet die Möglichkeit, über einen breiten Bereich von Betriebspunkten, die Drücke im System anzupassen und so den Einsatz von kostengünstigen Standardkomponenten zu ermöglichen.

Für die gegebenen Rahmenbedingungen wurde - nach Vergleich unterschiedlicher ammoniakbasierter Gemische – ein Kreislauf mit dem Arbeitsstoffgemisch Ammoniak/Lithiumnitrat und zweistufiger Verdichtung mit Zwischenkühlung gewählt. Für die gewählte Anlagenkonfiguration wurde ein Simulationsmodell des Funktionsmusters zur Berechnung des Betriebsverhaltens bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen erstellt und eine Regelstrategie entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass auf Grund der Eigenschaften der verwendeten Stoffpaarung Kristallisation, Druckverluste und der Wärmeübergang im Betrieb besonders zu berücksichtigen sind. Bei der Anwendung als Hochtemperaturwärmepumpe sind die Betriebsgrenzen in Folge der zulässigen Kompressor-Austrittstemperaturen zu beachten.

Mit dem aufgebauten Funktionsmuster wurden erste Betriebspunkte vermessen. Die Messergebnisse zeigten im Vergleich zu den Simulationswerten bei annähernd übereinstimmenden Leistungswerten eine niedrigere Leistungszahl. Dies ist größtenteils auf eine ungenügend übereinstimmende Modellierung der verwendeten Kompressoren zurückzuführen.

Der Beitrag beschreibt den Aufbau der Versuchsanlage, zeigt exemplarische einige Simulationsergebnisse für die gewählte Anlagenkonfiguration und stellt diese anschließend den Betriebserfahrungen und Ergebnissen der Messungen gegenüber.

Stichwörter:

Hybride Wärmepumpe, Hochtemperaturwärmepumpe, Ammoniak/Lithiumnitrat, Versuche, Simulation

II.1.15

Vermessung des dynamischen Verdampfungs- und Kondensationsverhaltens an Wärmeübertragern für adsorptionstechnische Anlagen

Rahel Volmer*, Toni Schalling, Alexander Warlo, Lena Schnabel

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE),
Heidenhofstrasse 2, 79110 Freiburg
Tel.: +49 (0) 7 61/ 45 88-2018, Fax: +49 (0) 761/ 45 88-90 00
rahel.volmer@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

In Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen wird üblicherweise das Kältemittel Wasser im Niederdruckbereich (ca. 7-35 mbar) verdampft und kondensiert. Bisher gibt es erst vereinzelte Bemühungen, die hierfür verwendeten Wärmeübertrager speziell für die vorherrschenden Bedingungen und Anforderungen auszulegen. Bisherige Untersuchungen und Abschätzungen deuten jedoch darauf hin, dass die Verdampfer-/Kondensatorenentwicklung ein Potential zur Verbesserung der Performance der Gesamtanlage bietet.

Der bisher am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) vorhandene Verdampferteststand ermöglichte die Charakterisierung des stationären Verdampfungsverhaltens verschiedener Wärmeübertragerstrukturen im Niederdruck unter gefluteter, teilgefuteter und berieselter Betriebsweise. Bei Integration des Verdampfers/Kondensators in eine Adsorptionsanlage ist jedoch von instationären Betriebsbedingungen und Prozessen auszugehen, daher können dynamische Messungen wertvolle Informationen für die Auslegung des Wärmeübertragers liefern. Da dies mit dem bisherigen Teststandaufbau nicht abgebildet werden konnte, wurde der vorhandene Teststand baulich modifiziert.

Das Messkonzept des neuen Messstandaufbaus wurde anhand mehrerer einfacher Wärmeübertragerstrukturen (Rippenrohrmäander mit unterschiedlicher Rippengeometrie) getestet. Diese Wärmeübertrager können unter Ausnutzung von Kapillareffekten sowohl die Verdampfer- als auch die Kondensatorfunktion in einem Bauteil vereinen, was in Hinblick auf eine Steigerung der Leistungsdichte einen attraktiven Ansatz darstellt. Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass die instationären Verläufe der Kondensations- und Verdampfungsleistung mit dem neuen Messaufbau korrekt erfasst werden können. Zur Validierung der Leistungsbilanzierung wurden Versuche mit einer vergleichbaren Wärmeübertragerstruktur an einem anderen Teststand durchgeführt, bei dem ein zusätzliches Massesignal zur Bilanzierung herangezogen werden kann. Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen zeigen eine gute Übereinstimmung.

Neben der Beschreibung des neuen Messkonzeptes und dessen Validierung werden im vorliegenden Beitrag Messergebnisse zum Geometrieeinfluss der gewählten Wärmeübertragerstrukturen dargestellt. Weiterhin werden Modellvorstellungen zur Beschreibung der dynamischen Verdampfungs- und Kondensationsprozesse sowie Ansätze zur Analyse und Bewertung der Strukturen aufgezeigt.

II.1.16

Adsorptionskinetik von zeolithbeschichteten Faserstrukturen

Andreas Velte*, Ursula Wittstadt, Lena Schnabel

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE),
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, Deutschland
andreas.velte@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

Um die Leistungsdichte von Adsorptionswärmeübertragern für die Anwendung in Wärmepumpen und Kältemaschinen zu steigern, ist eine dynamische Entwicklung im Bereich Wärmeübertragerstrukturen und Sorptionsmaterialien zu verzeichnen. Eine besonders vielversprechende Entwicklung stellen zeolithbeschichtete Faserstrukturen dar, da die direkte Aufkristallisation von Zeolith auf Metalfasern einen sehr geringen thermischen Widerstand zwischen Metall und Adsorbens ermöglicht.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes ADOSO (Förderkennzeichen 03ET1127B) werden aktuell Proben mit unterschiedlichen Parametern wie Faserlänge und -durchmesser, Porosität, Faserverbunddicken und Adsorbensschichtdicken systematisch untersucht, um ein Optimum für die Anwendung von diesen Faserstrukturen in Adsorptionswärmeübertragern zu finden.

Die experimentelle Charakterisierung erfolgt vor allem durch Messung der Zustandsgrößen (Druck, Temperatur) des zeitabhängigen Adsorptionsvorgangs. Mit Hilfe eines geeigneten numerischen Modells gelingt die Identifikation physikalischer Parameter, welche die Wärme- und Stofftransportprozesse des Adsorptionsvorgangs beschreiben. Dies bildet die Grundlage für die Auslegung von effizienten Adsorptionswärmeübertragern.

Im Rahmen dieses Vortrags werden die aktuellen Forschungsergebnisse hinsichtlich Simulation und Experiment vorgestellt.

II.1.17

Thermochemische Wärmespeicherung mit wässriger Lithiumbromid-Lösung

Michael Radspieler*, Florian Menhart, Tim Martin, Manuel Frank

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern)
Bereich Energiespeicherung, Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching, Deutschland
michael.radspieler@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Man kann drei Arten der Wärmespeicherung unterscheiden: Sensibel, latent und thermochemisch.

- Bei der sensiblen Wärmespeicherung ändert sich bei der Wärmeaufnahme bzw. -abgabe die Temperatur des Speichermaterials. Die Speicherdichte hängt, neben dem verwendeten Material, somit auch von der verfügbaren Temperaturdifferenz ab.
- Bei Latenter Wärmespeicherung wird der Phasenwechsel (erster oder zweiter Ordnung) des Speichermaterials genutzt, um Wärme ohne Temperaturänderung aufzunehmen bzw. abzugeben. Die Speicherdichte hängt hier, neben dem Temperaturniveau der Wärmespeicherung, in erster Linie von den physikalischen Eigenschaften des verwendeten Materials ab.
- Thermochemische Speicher nutzen reversible chemische Reaktionen um Wärme zu speichern. Bedingt durch das temperaturabhängige chemische Gleichgewicht ist die Energiedichte dieser Speicher von der verfügbaren Temperaturdifferenz und der genutzten Reaktion abhängig. Können ein oder mehrere Reaktanten vom Rest des Speichermediums separiert werden, ist eine in erster Näherung verlustfreie Wärmespeicherung möglich, was Potential für die saisonale Wärmespeicherung bietet.

Die thermochemische Wärmespeicherung mittels wässriger Lithiumbromid-Lösung wird am ZAE Bayern an einer Versuchsanlage untersucht. Hier wird bei der Beladung des Speichers (analog zum Hochdruckteil thermisch getriebener Wärmepumpen) im Unterdruck Wasserdampf durch Wärme auf hohem Temperaturniveau aus der Salzlösung ausgetrieben und gegen eine Wärmesenke kondensiert. Die konzentrierte Lösung und das anfallende Kondensat werden separat gespeichert. Bei der Entladung findet ein Prozess analog zum Niederdruckteil von thermisch getriebenen Wärmepumpen statt. Dabei wird, wiederum bei Unterdruck, das gelagerte Kondensat durch Zufuhr von Wärme einer Niedertemperaturquelle verdampft und anschließend von der konzentrierten Lösung absorbiert. Die dabei freiwerdende Wärme kann für Heizzwecke genutzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist speziell die Untersuchung der Wärmespeicherfähigkeit wässriger LiBr-Lösung. Es werden Speicherdichte der Lösung und Leistung der Wärmetauscher ermittelt und diskutiert. Im weiteren Verlauf der Arbeiten wird die Kristallisation der Lösung im Speicherbehälter zur Erhöhung der Speicherdichte untersucht.

Diese Arbeit zeigt den Aufbau der Versuchsanlage sowie die ersten Ergebnisse der Untersuchung von Speicherfähigkeit- und Leistung der in der Versuchsapparatur realisierten Konfiguration.

Stichwörter:

Thermochemische Wärmespeicherung, Kristallisation, Lithiumbromid, saisonal

II.1.18

Modellierung und Simulation von absorptiver Lufttrocknung mit ionischen Flüssigkeiten zur Effizienzsteigerung bei der Tiefkältebereitstellung – Teil I

T. Meyer^{*1}, O. Zehnacker², R. Kühn¹, C. Ricart¹, R. Schneider²,
M.-C. Schneider³, B. Willy³, T. Zegenhagen¹, F. Ziegler¹

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2,
Marchstraße 18, 10587 Berlin,
Fon: 030/314-22933, Fax: 030/314-22253, thomas.meyer@tu-berlin.de

² Evonik Industries AG, Fluid Processing, Process Technology & Engineering,
Fon: 02365/49-19413, olivier.zehnacker@evonik.com

³ Evonik Industries AG, Advanced Intermediates, Innovation

* Korrespondenzautor

Bei der Tiefkältebereitstellung im Temperaturbereich von -20°C bis -40°C liegen die absoluten Luftfeuchten, z. B. im Kühlhaus bei unter 1g/kgtr.L. Hierbei findet die Entfeuchtung der Zuluft üblicherweise durch Unterschreitung der Taupunkttemperatur der Luft statt, so dass ein großer Anteil des Wasserdampfes kondensiert und z. T. auch vereist.

Eine separate Trocknung der Zuluft mit Sorptionssystemen auf absolute Luftfeuchten von unter 1g/kgtr.L vor der Kühlung verringert den Kältebedarf insbesondere zu Spitzenlastzeiten im Sommer und verhindert eine Vereisung der Wärmeübertrager im Kühlhaus.

Der Einsatz hygrokopischer Salzlösungen als Absorbens für die Lufttrocknung auf derart geringe absolute Luftfeuchten stellt hohe Anforderungen einerseits an die Lösung selbst und andererseits an die einzusetzende Anlagentechnik. Die simulationsgestützte Untersuchung der notwendigen Lösungseigenschaften und deren Auswirkungen auf den Lufttrocknungsprozess ist Gegenstand des ersten Teils dieser Veröffentlichung. Im zweiten Teil der Veröffentlichung werden die Anlagentechnik und erste experimentelle Messergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Das entscheidende Auswahlkriterium für die Identifizierung geeigneter Salzlösungen für den beschriebenen Anwendungsfäll ist die notwendige Dampfdruckabsenkung bei vorgegebenem Rückkühltemperaturniveau von z. B. 40°C im Sommerbetrieb.

Wässrige Lösungen anorganischer Salze wie z. B. Lithiumchlorid oder Calciumchlorid erreichen aufgrund der Kristallisationsgrenze nicht die erforderliche Dampfdruckabsenkung und haben nachteilige Korrosionseigenschaften. Glykole, die oft für die Lufttrocknung bei Tieftemperaturkühlung verwendet werden, weisen ebenfalls eine zu geringe Dampfdruckabsenkung auf. Die von der Evonik Industries AG hergestellten ionischen Flüssigkeiten können die benannten Nachteile überwinden. Neben der Dampfdruckabsenkung und den Korrosionseigenschaften spielen die jeweiligen Transporteigenschaften, wie z. B. die Wärmeleitfähigkeit, der Diffusionskoeffizient, sowie die Viskosität der Lösung eine entscheidende Rolle für die zu erwartende Leistungsdichte der Trocknungsanlage.

Die Stoffeigenschaften der für diese Anwendung geeigneten ionischen Flüssigkeiten werden präsentiert.

Unter Verwendung eines analytischen Modells für den gekoppelten Wärme- und Stofftransport wird der Lufttrocknungsprozess auf Stoffdatenebene modelliert und simuliert, um die Auswirkungen der Stoffeigenschaften der Lösung auf den Trocknungsprozess zu identifizieren.

Stichworte:

Simulation, Stoffdaten, Energieeffizienz, absorptive Lufttrocknung, Entfeuchtung, ionische Flüssigkeiten

II.1.19

Experimentelle Untersuchung von absorptiver Lufttrocknung zur Effizienzsteigerung bei der Normal- und Tiefkältebereitstellung – Teil II

T. Zegenhagen^{*1}, R. Kühn¹, T. Meyer¹, C. Ricart¹, F. Ziegler¹,
D. Hennig², J. Schneider², C. Behrle²

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2, Marchstraße 18, 10587 Berlin,
Fon: 030/314-22933, Fax: 030/314-22253, zegenhagen@tu-berlin.de

² fischer eco solutions GmbH, Im Gewerbegebiet 7, 77855 Achern-Fautenbach,
Fon: 07841-6803-474, Fax: 07841-6803-885, daniel.hennig@fischer-group.com

* Korrespondenzautor

Die Bereitstellung von Kaltluft im Normal- und Tiefkältetemperaturbereich von -40°C bis 0°C, die z. B. in der Nahrungsmittelindustrie zur Lagerung von Lebensmitteln benötigt wird, geschieht derzeitig fast ausschließlich durch elektrisch angetriebene Kompressionskälteanlagen. Ohne vorherige Trocknung der erzeugten kalten Luft werden dabei je nach Umgebungsluftzustand bis zu 50 % der erzeugten Kälteleistung für unerwünschte Kondensation der Luftfeuchte und Eisbildung auf den Wärmeübertragern benötigt. Für das Abtauhen des auf den Wärmeübertragern gebildeten Eises wird weitere elektrische Energie benötigt.

Die Effizienz der Kaltlufterzeugung kann beispielsweise durch eine mit Prozessabwärme angetriebene, absorptive Lufttrocknung, die der Luftkühlung vorgeschaltet wird, gesteigert werden. Zum Erzielen niedriger Taupunkttemperaturen bei der Lufttrocknung, die im Normal- und Tiefkältetemperaturbereich nötig sind, um die Kondensation der Luftfeuchte und das Vereisen der Wärmeübertrager zu vermeiden, bedarf es entsprechend niedrigen Gleichgewichtsdrücken des Wasserdampfes über der Lösung, wie in Teil I diskutiert.

Eine von der TU Berlin auf Basis des in Teil I beschriebenen Simulationsmodells entwickelte und von der fischer eco solutions gefertigte Lufttrocknungsanlage mit einer für den beschriebenen Anwendungsfall geeigneten ionischen Flüssigkeit als Arbeitsmittel wird an der TU Berlin betrieben und experimentell untersucht. Mit Hilfe der Experimente soll die Frage beantwortet werden, inwieweit die Lufttrocknung mit ionischen Flüssigkeiten vorteilhafter gegenüber konventionellen Lufttrocknungssystemen ist.

Es wird berichtet, wie stark die Luft in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur und Luftfeuchte durch die mit Abwärme angetriebene Anlage getrocknet werden kann.

Stichworte:

Energieeffizienz, absorptive Lufttrocknung, ionische Flüssigkeiten

II.1.20

Experimentelle Untersuchung an einer offenen Absorptionsanlage zur Heutrocknung

Joseph Addy*, Mustafa Jaradat, Ulrike Jordan, Klaus Vajen

Universität Kassel, FG Solar-und Anlagentechnik, 34125 Kassel, Deutschland

* Korrespondenzautor

In der landwirtschaftlichen Futtermittelerzeugung stellt die Heutrocknung einen sehr energieintensiven Prozessschritt dar. Die hierfür benötigte Energie wird üblicher Weise durch fossile Energieträger bereitgestellt. Ein Ersatz durch solarthermische Energie würde CO₂-Emissionen und den Einsatz von Primärenergie verringern. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde eine solarthermisch betriebene Demonstrationsanlage zur Trocknung von Heuballen mittels offener Absorption mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Lithiumchlorid entwickelt und im Feldversuch in einem Agrarbetrieb installiert. Das Trocknungssystem besteht in seinen Hauptkomponenten aus einem Absorber zur Entfeuchtung der Zuluft und einem Regenerator welcher der Aufkonzentration der Lösung dient. Absorber und Regenerator sind entsprechend neu entwickelter Designkonzepte konstruiert, um die sonst häufig auftretenden Probleme wie Strömungsmitress und Ungleichverteilung von Lösung und Luft zu vermeiden. Der Absorber ist als Plattenwärmevertrager aus Polycarbonat mit einer Fläche von 75 m² ausgeführt. Der Regenerator ist in Rohrbündelbauweise gestaltet und besteht aus pulverbeschichteten Kupferrohren. Durch die Pulverbeschichtung werden die Kupferrohre vor Korrosion durch das Sorbent geschützt. Die gewonnenen Ergebnisse aus dem Feldversuch zur Wärme- und Stofftransportcharakteristik der Apparate wird vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich gestützt durch weiterführende Berechnungen wird ein hohes Potenzial zur energieeffizienten Nutzung der solar betriebenen Sorptionstrocknungsanlage in der Heutrocknung und anderen Trocknungsprozessen aufgezeigt.

Stichwörter:

Absorber, Regenerator, Rohrbündel, Sorbens, Wärmeübertrager

II.1.21

Strömungssieden von CO₂-Öl-Gemischen im glatten und innenstrukturierten Rohr

Markus Wetzel, Benjamin Dietrich*, Thomas Wetzel

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
dietrich@kit.edu

* Korrespondenzautor

In Kompressionskältemaschinen ist aufgrund der Öl-Schmierung des Verdichters das Kältemaschinenöl ebenfalls Bestandteil des Kreislauffluids. Hierdurch werden die Stoffeigenschaften des Fluids signifikant beeinflusst. Es wurden Auswirkungen sowohl auf die Strömungsform (bspw. Schaumbildung, Wandbenetzung) als auch auf Wärmeübergang und Druckverlust beobachtet. Beim Strömungssieden kann bereits eine Eintritts-Ölkonzentration von 1 Gew.-% im Kältemittel zu einem deutlich veränderten Verhalten im Vergleich zum reinen Kältemittel führen. Dabei kann der Ölgehalt in technischen Kältesystemen bis zu 8 Gew.-% am Eintritt in den Verdampfer und lokal mit zunehmendem Dampfgehalt theoretisch bis 100 % betragen. Es zeigt sich, dass unter Verwendung aktueller Berechnungsvorschriften für den Wärmeübergang und Druckverlust bereits bei geringen Ölgehalten mit erheblichen Abweichungen zur Praxis zu rechnen und somit keine effektive Auslegung von Verdampfern möglich ist.

In diesem Beitrag werden die am Institut für Thermische Verfahrenstechnik des KIT im glatten sowie im innenberippten Rohr durchgeföhrten Versuche zum Wärmeübergang und Druckverlust beim Strömungssieden von Gemischen aus CO₂ und POE-Öl vorgestellt. Für die Versuche wurden Siedetemperaturen von -35 bis +5 °C, Massenstromdichten bis 500 kg m⁻² s⁻¹ und Wärmestromdichten bis 120 kW m⁻² gewählt. Die Konzentration des im Betriebsbereich vollständig löslichen Öls betrug nominell bis 3 Gew.-% am Eintritt in den Verdampfer. Die aus den Versuchen erzielten Ergebnisse werden diskutiert und ein Vergleich der experimentell ermittelten Daten zu bewährten Korrelationen aus der Literatur präsentiert. Auf den Untersuchungen basierend werden Vorschläge für eine präzisere Vorausberechnung dieser Auslegungsgrößen abgeleitet und somit ein Beitrag für eine effiziente Auslegung von Verdampfern geleistet.

Stichwörter:

Strömungssieden, Wärmeübergang, Druckverlust, Strömungsform, Kältemittel, Öl, Kohlendioxid, CO₂, natürliche Kältemittel, Rippenrohr

II.1.22

Wasser und Öl im CO₂-Kältekreislauf: Einfluss auf den Prozess

Dipl.-Ing. Anna Katharina Petereit*, Prof. Dr.-Ing. Rudolf Eggers

Technische Universität Hamburg-Harburg, Thermische Verfahrenstechnik (V-8),
Eißendorfer Straße 38, 21073 Hamburg

* Korrespondenzautorin

Mit dem Ersatz der fluorierten Kohlenwasserstoffe in Kältekreisläufen gewinnt CO₂ als natürliches Kältemittel zunehmend an Bedeutung. Der Einsatz von CO₂ wird dabei sowohl für industrielle Kälteanlagen als auch für Kleinanlagen im Automobilbereich verfolgt. Für den Betrieb solcher Anlagen ist es wichtig eine hohe Zuverlässigkeit des Prozesses sowie einen geringen Wartungsaufwand zu gewährleisten. Hierbei ist neben dem oft diskutierten Problem der beidseitigen Löslichkeit von Kältemittel und Kompressorenöl auch der Einfluss der Feuchte auf den Prozess nicht zu

vernachlässigen. Das Wasser kann in den Kreislauf eingetragen werden bei der Druckprüfung der Anlage, bei der Befüllung über die vorhandene Feuchte im Kältemittel, sowie beim Betrieb über den Restfeuchtegehalt des Kompressorenöls. Dieses Wasser kann sich sowohl im CO₂ lösen, als sich auch in bestimmten Anlagenteilen sammeln und so zur Verschlechterung des Betriebsverhaltens führen. Es sind dabei zwei Formen der Wasserabscheidung zu differenzieren: Die Abscheidung als Flüssigkeit oder als feste Phase (Hydrat). Zu Hydratbildung kann es insbesondere bei der Drosselung kommen. Da die Drossel in der Regel den engsten Querschnitt der Anlage aufweist, ist das Risiko einer Verblockung an diesem Bauteil hoch. Zur genauen Eingrenzung der Hydratbildungsbedingungen wurde daher zunächst das Phasengleichgewicht CO₂-Wasser sowie die Struktur und Bildungskinetik der Hydrate genau analysiert. Aufbauend auf diesen Untersuchungen wurden an einer CO₂-Kälteanlage Versuche mit verschiedenen Wasser- und Ölkonzentrationen zur direkten Analyse der Hydratbildung nach der Drossel durchgeführt, um so Wassergrenzkonzentrationen für CO₂-Kälteanlagen festzulegen.

Darüber hinaus kann das eingetragene Wasser bzw. Öl zu Veränderungen des Betriebsverhaltens in den Wärmeübertragern der Kälteanlage führen. Daher wurden gezielt verschiedene Wasser-/Ölkonzentrationen im Prozess eingestellt und der Einfluss auf den Wärmeübergang im Gaskühler und Verdampfer analysiert. Basierend auf diesen Versuchen an der Kälteanlage wurde ein Modell für Verdampfer und Gaskühler erstellt, welches die Auswirkungen sowohl von Wasser als auch von Öl auf den Wärmeübergang wiedergeben kann.

Neben den Auswirkungen auf das Betriebsverhalten können aber auch Materialunverträglichkeiten durch feuchtes CO₂ auftreten. Daher wurde das Materialverhalten verschiedener Stähle und Dichtungsmaterialien unter den realitätsnahen Bedingungen einer CO₂-Kälteanlage im Kontakt mit feuchten CO₂ und Kältemaschinenöl untersucht.

Stichwörter:

Kohlendioxid, Feuchte, Öl, Hydrat, Wärmeübergang, Elastomere, Metallwerkstoffe

II.1.23

Der dielektrische Verlustfaktor von Kältemitteln und Kältemittel-Öl Gemischen – Messung, Standardisierung, Interpretation und Aussagekraft

Steffen Feja^{1,*}, Christian Hanzelmann¹, Dennis Zimmermann²

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
steffen.feja@ilkdresden.de

² Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Maschinenbau/Verfahrenstechnik
Bereich Chemieingenieurwesen, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

* Korrespondenzautor

In Kältemaschinen mit halb oder ganz geschlossenen elektrischen Verdichtern kann es zu direktem Kontakt zwischen dem Kältemittel-Öl Gemisch und den elektrischen Leitungen kommen. In zunehmendem Maße sind daher die elektrischen Eigenschaften der Arbeitsstoffgemische von Interesse. Zum einen geht es hierbei um die Verhinderung der Schädigung der Arbeitsmaschine durch Kurzschlüsse und Durchschläge, aber auch der Verhinderung von Stromverlusten bzw. unerwünschten Spannungsabfällen. Auch auf dem Gebiet der Sensoren, insbesondere der Ölzustands-sensoren, ist die Tendenz zur Verwendung der elektrischen Eigenschaften der Arbeitsstoffe zu beobachten.

Sind eventuell noch die entsprechenden Daten für die Kältemittel bei Raumtemperatur bekannt, fehlt es fast immer an Daten bezüglich der eingesetzten Öle und der daraus resultierenden Gemische. Ein idealer Zusammenhang der elektrischen Eigenschaften der Gemische darf jedoch nie vorausgesetzt werden. Daten über die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Eigenschaften und zum Verhalten im mischbaren und entmischteten Gebiet sind kaum zugänglich. Aus diesen Gründen sind Messungen

unumgänglich. Jedoch fehlt es in der Praxis an einer einheitlichen Messstrategie und Interpretation der Messergebnisse.

Trotzdem wurden gerade auf diesem Gebiet in den letzten Jahren viele neue Erkenntnisse in Forschungsprojekten gewonnen, auf welche im Vortrag hingewiesen wird. Von besonderem Interesse sind hierbei der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$, die Dielektrizitätskonstante (Permittivität) ϵ_r , der Gleichstromwiderstand und die Durchschlagsspannung.

Anhand von eigenen Messungen mit einer neu entwickelten Messzelle und Messstrategie werden die elektrischen Eigenschaften von Kältemitteln, Ölen und ausgewählten Gemischen vorgestellt und mit neuesten Literaturdaten verglichen. Dabei werden der Messaufbau und die verwendeten Messbedingungen näher erläutert.

Im Vortrag wird speziell auf den dielektrischen Verlustfaktor eingegangen. Dieser wird zum Beispiel durch Additivierungen, Wasser, Korrosionsprodukte und Verschmutzungen, aber auch durch die Messmethode selbst beeinflusst. Es wird gezeigt, ob die gewonnenen Ergebnisse für Kältemittel, Öle und deren Gemische, mit den Werten, welche standardmäßig bei anderen Bedingungen nach DIN EN 60247 erzeugt werden, vergleichbar sind.

Des Weiteren wird im Vortrag darauf eingegangen, inwieweit sich der Verlustfaktor als Gütekriterium für die Arbeitsfluide in Kälteanlagen, Wärmepumpen und Wärmekraftmaschinen, zum einen bei Tief-temperatur, als auch bei Hochtemperatur, eignet.

Stichwörter:

Elektrischer Verdichter, Verlustfaktor, Dielektrizitätskonstante, Kältemittel, Kältemaschinenöl

Arbeitsabteilung II.1

Notizen

II.2.01

Kälteanlagen mit Wärmerückgewinnung - Regelung, Leistungsberechnung und Prozessbewertung -

Lukas Patryarcha

Wurm GmbH & Co. KG Elektronische Systeme - Forschung/Systementwicklung,
Morsbachtalstraße 30, D-42857 Remscheid
patryarcha@wurm.de

Seit mehreren Jahren werden Kälteanlagen mit Einheiten zur Wärmerückgewinnung (WRG) ausgestattet, um die sonst freie Abwärme einer Kälteanlage zu nutzen. In vielen Fällen können laufende Wärmerückgewinnungsprozesse aufgrund fehlender Betriebsparameter jedoch nicht bewertet werden. Bereits bei der Auslegung können wichtige Aspekte zur Wärmerückgewinnung unberücksichtigt und nach Inbetriebnahme unentdeckt bleiben. Ein Betreiber hat meistens nur über Umwege oder durch zusätzliche Geräte die Möglichkeit, die Regelung, die Leistung und den Wärmerückgewinnungsprozess analysieren und bewerten zu können.

Im Zuge einer Forschungs- und Entwicklungsarbeit konnte ein sinnvolles Regelungs- und Anlagenkonzept entwickelt und technisch umgesetzt werden, welches eine Leistungsberechnung und Prozessbewertung beinhaltet. Dadurch ist es möglich, die gewonnene Wärmemenge und das Anlagenlaufverhalten zu jedem Zeitpunkt nachzuverfolgen. Dies gelingt ohne zusätzliche Geräte wie beispielsweise Wärmemengenzähler oder Massenstrommessgerät.

Seit Herbst 2013 sind mehrere Geräte der Produktfamilie zur Wärmerückgewinnung erfolgreich im Einsatz. Die Messergebnisse bestätigen die theoretischen Grundlagen zur Regelung und Bewertung von Wärmerückgewinnungsprozessen.

Stichwörter:

Wärmerückgewinnung, Kälteanlagen, Prozessregelung, Prozessbewertung, Leistungsberechnung

II.2.02

Energierückgewinnung mittels Brüden-Kompression in Trocknungssystemen mit überhitzten Dampf

Michael Bantle^{1,*}, Ignat Tolstorebrouv², Armin Hafner¹, Bartosz Kus¹, Trygve M. Eikevik²

¹ SINTEF Energy Research, Kjolbjorn Hejes vei 1D, 7465 Trondheim, Norwegen
Michael.Bantle@sintef.no

² Norwegian University of Science and Technology, 7049 Trondheim, Norwegen

* Korrespondenzautor

Die industriell genutzte Trocknungsenergie wird auf 15 - 25 % des gesamten, industriellen Energiebedarfs der entwickelten Länder veranschlagt, wobei die Effizienz der Prozesse speziell im Nahrungsmittelbereich teilweise nur 10 % beträgt, im Mittel jedoch mit 35-45 % angegeben wird (Mujumdar, 2007). Diese Energiemenge ist im Zusammenhang mit einem relativ großen CO₂-Fußabdruck zu sehen und birgt in sich ein enormes Einsparungspotential. Die meisten Trocknungsprozesse benutzen Luft als Trocknungsmittel, welche sowohl für den Wärme- als auch den Massentransport genutzt wird (Konvektionstrocknung).

In vielerlei Hinsicht ist überhitzter Dampf (= Brüden) ein besseres Trocknungsmittel, da sowohl der Wärmeübergang als auch der Massentransport besser als in Luft vonstatten geht. Kombiniert mit offenen Bandtrocknern ergibt sich hierbei meistens eine Trocknungseffizienz von 0.7 kWh per Kilogramm ausgetrocknetem Wasser, was gegenüber herkömmlichen Lufttrocknern bereits eine Verbesserung der Trocknungseffizienz von 20-30 % darstellt. Der bei der Trocknung entstehende Brüden

wird zumeist aus dem System abgeleitet, da herkömmliche Energierückgewinnung mittels Kompression mit sehr hohen Investitionskosten für den Kompressor verbunden ist.

In dieser Studie wird die Möglichkeit der Energierückgewinnung mittels Turbolader untersucht. Kompressoren basierend auf dieser Technologie verursachen deutlich geringere Investitionskosten. Die Trocknungseffizienz für die überhitze Dampftrocknung kann hierbei auf unter 0.3 kWh per Kilogramm ausgetrocknetem Wasser verringert werden, welches einem Einsparpotential zwischen 50-70 % entspricht. Speziell in der Nahrungsmittelindustrie eröffnen sich damit neue Möglichkeiten zur kostengünstigen Trocknung von Massenprodukten. Die Turbolader Technologie kann auch für andere Zwecke, wie beispielsweise zur Herstellung von Niederdruckdampf, benutzt werden.

Stichwörter:

R718 (Wasser), offene Wärmepumpensysteme, Turbolader

II.2.03

Füllmengenreduzierung an NH₃-Anlagen

Alternativ: Sichere DX-Anlagen für NH₃

J. H. Engelhardt

Kreutzträger Kältetechnik GmbH & Co. KG
Theodor-Barth-Str. 21, 28307 Bremen

Gegenstand des Vortrags soll sein

- Vorstellung einer alternativen Anlagenkonzeption
- Reduzierung Anlagenfüllung in NH₃-Anlagen
- Wiedervorstellung DX – Anlagentechnik für NH₃
- Beleuchtung Vor- und Nachteile
- Theorie und Praxis
- Wirtschaftlichkeit

Vorgestellt wird aus der Praxis des Kälteanlagenbaus eine innovative Lösung für eine Anlage mit reduzierter Füllmenge.

Die Anlagendesign ist erprobt, sicher und in Betrieb. Im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und die Reduzierung von Gefahrstoffen bietet dieses System eine robuste Alternative.

Es werden kurz die Vor- und Nachteile zu alternativen Konzeptionen mit indirekter Kühlung, CO₂ und Pumpenbetrieb gezeigt und verglichen.

II.2.04

Theoretische Untersuchung von CO₂-Kältemittelkreisläufen

Stefan Buffler*, Volker Siegismund, Alexander Floß

Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme
Karlstraße 11, 88400 Biberach, Germany
buffler@hochschule-bc.de

* Korrespondenzautor

Natürliche Kältemittel sind aufgrund der angekündigten Änderungen in der F-Gase-Verordnung heutzutage stark gefragt und werden in der Zukunft eine sehr bedeutende Rolle spielen. Dem Kältemittel R744 (CO₂) wird dabei ein hohes Potenzial für die Ablösung der halogenierten Kohlenwasserstoffe

zugetraut. Neben der guten Umweltverträglichkeit (geringes Global Warming Potential GWP, chemisch reaktionsträge, nicht brennbar) werden dem Kältemittel auch gute thermodynamische Eigenschaften zugesagt.

Der energetische Vergleich von mit R744 und mit konventionellen Kältemitteln befüllten Anlagen fällt recht unterschiedlich aus. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden deutlich voneinander abweichende Aussagen gefunden. Im vorliegenden Beitrag werden daher unterschiedliche Anlagenkonstellationen mit dem Kältemittel R744 und R134a simuliert. Für verschiedene Auslegungs- und Betriebsbedingungen wird die Effizienz berechnet, um die Aussagen aus der Literaturrecherche bewerten zu können.

Über die rein energetische Bewertung hinaus wird auch eine TEWI-Betrachtung (Total Equivalent Warming Impact) für die verschiedenen Anlagen durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen klare Vorteile von R744 bei der Autoklimatisierung, zeigen aber auch auf, dass dies nicht auf den gesamten Bereich der Kälte- und Wärmepumpentechnik übertragen werden kann.

Stichwörter:

R744-Kältemittelkreislauf, TEWI, Jahresarbeitszahl

II.2.05

Entwicklung von semi-empirischen Modellen für hermetische Kühlschrankkompressoren

**Stefan Posch^{1,*}, Erwin Berger¹, Martin Heimel¹, Raimund Almbauer¹,
Anna Strasser¹, Axel Stupnik²**

¹ Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz,
Inffeldgasse 19, 8010 Graz, Österreich
posch@ivt.tugraz.at

² Secop Austria GmbH, Jahnstraße 30, 8280 Fürstenfeld, Österreich

* Korrespondenzautor

Die steigenden Anforderungen in Bezug auf die Energieeffizienz von Kühlgeräten erfordern eine detaillierte Betrachtung der Einzelkomponenten und deren Zusammenspiel im Kreislauf. Zu diesem Zweck wird ein Simulationsprogramm entwickelt, welches das transiente Verhalten eines Kühlkreislaufes abbildet. Ein Teilsystem dieses Programms stellt der hermetische Kolbenkompressor dar, dessen Modellierung einen Kompromiss zwischen Detaillierungsgrad und Rechengeschwindigkeit erfordert. Im Gegensatz zur komplexen 1-dimensionalen Abbildung, deren Vorteil in der Entwicklungsphase von Kompressoren liegt, erfüllen semi-empirische Modelle diesen Kompromiss bei gleichzeitig relativ geringem Messaufwand.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet einen Vergleich von semi-empirischen Kompressormodellen aus unterschiedlichen Literaturstellen, die das transiente Verhalten von Massenstrom und elektrischer Leistung mit Hilfe einer polytropen Kompression und durch Einführen eines volumetrischen Wirkungsgrades beschreiben. Um die Anforderungen für die Verwendung in einem Kreislaufsimulationsprogramm zu erfüllen, wird zusätzlich ein Modell für die Berechnung der Austrittstemperatur präsentiert. Die Bestimmung der erforderlichen Parameter für zwei Kompressoren unterschiedlicher Bauform erfolgt durch Anpassung an Kalorimetermessdaten bzw. an Daten aus einem hauseigenen Kühlschrankprüfstand. Die Vorhersagefähigkeit der Modelle wird durch Messungen im zyklischen Betrieb an einem Kühlkreislauf validiert.

Ziel dieser Studie ist es, Modelle für die Beschreibung des Massenstroms, der elektrischen Leistung und der Austrittstemperatur von hermetischen Kühlschrankkompressoren zu finden, die sich durch geringen Messaufwand auszeichnen und eine ausreichend hohe Genauigkeit aufweisen um in einem Kreislaufsimulationsprogramm verwendet werden zu können.

Stichwörter:

Semi-empirisch, Kühlschrankkompressor, Kreislaufsimulation, transient

II.2.06

Drehzahlgeregelter Schraubenverdichter mit verbesserter Teillasteffizienz

Julian Pfaffl

Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Eschenbrünnlestr. 15, 71065 Sindelfingen

Für den Einsatz in Klima-Wasserkühlsätzen hat BITZER seit zwei Jahren einen Kompaktschraubenverdichter mit integriertem Frequenzumrichter im Programm. Die meisten Wasserkühlsätze in diesem Anwendungsbereich in Europa haben luftgekühlte Verflüssiger. Die für diese Anwendung optimierte Maschine lieferte in den Wasserkühlsätzen mit wassergekühltem Verflüssiger nicht die gewünschten Jahresleistungszahlen, da die Betriebsbedingungen dort, insbesondere im unteren Teillastbereich zu weit außerhalb des Optimierungsbereiches liegen.

Für diese Anwendungen mit niedrigeren Verflüssigungstemperaturen und niedrigeren Lasten im Teillastbereich wurde ein neuer Typ Kompaktschraubenverdichter mit dafür optimierter Mechanik und einer neuen Motortechnologie entwickelt.

Das Konzept wird vorgestellt und die in dieser Anwendung erreichten Ergebnisse werden diskutiert und mit anderen Technologien verglichen.

II.2.07

Einsatz eines CO₂ Ejektors in einer 1 MW Hochtemperaturwärmepumpe

Andreas Schröder*, Jürgen Köhler

TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik
Hans-Sommer-Straße 5, D-38106 Braunschweig
an.schroeder@tu-bs.de

* Korrespondenzautor

Ejektoren werden zur Steigerung der Effizienz von CO₂ Kältemittelkreisläufen anstatt eines Expansionsventils eingesetzt. In dieser Arbeit soll die Integration eines Ejektors in eine 1 MW Hochtemperaturwärmepumpe mit CO₂ als Kältemittel vorgestellt werden. Die Effizienz eines zweiphasigen CO₂ Ejektors ist im starken Maße von den geometrischen Verhältnissen im Inneren des Ejektors abhängig. Für diese Verhältnisse gibt es bis jetzt nur für kleine Ejektoren Erfahrungswerte. Die Herausforderung bei der Auslegung eines Ejektors für Wärmepumpen von Heizleistungen von

1 MW stellt die Extrapolation der Ejektorgeometrie von einem kleinen auf einen großen Ejektor dar. Des Weiteren bietet der verbaute Ejektor auf Grund der Größe die Möglichkeit der Vermessung der Strömung im Inneren des Ejektors, unter anderem des axialen und des radialen Strömungsverlaufs im Mischrohr. In diesem Paper werden erste Messergebnisse der Ejektorwärmepumpe und ein Kreislaufmodell in der Modellierungs- und Simulationssprache Modelica zur Vorausberechnung der COP Steigerung der Wärmepumpe werden vorgestellt.

Stichwörter:

R744, Ejektor, messtechnische Untersuchung, Wärmepumpe

II.2.08

Entwicklung und Erprobung von regelbaren Ejektoren für CO₂-Kälteanlagen

Sascha Hellmann^{1,*}, Christoph Kren¹, Christoph Brouwers²

¹ Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH, Mainz-Research & Design Center,
Am Mainzer Weg 7, 55246 Mainz-Kostheim, Deutschland
sascha.hellmann@carrier.utc.com, christoph.kren@carrier.utc.com

² Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH,
Sürther Hauptstraße 173, 50999 Köln-Sürth, Deutschland
christoph.brouwers@carrier.utc.com

* Korrespondenzautor

Durch die neu verabschiedete EU F-GaseVO wird die Nutzung von fluorierten Kohlenwasserstoffen als Kältemittel in den kommenden Jahren zunehmend eingeschränkt und signifikant teurer. Bereits heute sind HFKW-Kälteanlagen in weiten Teilen Europas mit hohen Steuern belegt und nicht zuletzt dadurch ist eine stetig steigende Marktdurchdringung von gewerblichen Kälteanlagen mit dem Arbeitsstoff CO₂ zu beobachten.

Derzeit sind in Mittel- und Nordeuropa bereits mehrere Tausend transkritisches betriebene CO₂-Kälteanlagen in Betrieb, die in diesem Klima deutliche Vorteile hinsichtlich des Jahresstrombedarfes zeigen. Hier überwiegen die Vorteile von CO₂ bei kalten Umgebungsbedingungen aufgrund der Jahresstundenhäufigkeit im Vergleich zu den Nachteilen bei hohen Außentemperaturen.

Um die CO₂-Technologie auch für südliche Länder Europas bei hohen Umgebungstemperaturen attraktiv zu machen, bedarf es weiterer Anstrengungen, um die derzeit noch geringere Effizienz des transkritischen CO₂ Kreislaufes im Betrieb bei entsprechend hohen Drucklagen zu verbessern. Eine Ursache sind die Drosselverluste, bedingt durch die vollständige Dissipation der Strömungsenergie des beschleunigten Kältemittels unter Erzeugung von Flashdampf bei der Expansion in den Hochdruckregelventilen. Durch den Einsatz von regelbaren Ejektoren, an Stelle der Expansionsventile, können diese Verluste minimiert werden. Gleichzeitig wird in den Ejektoren das dampfförmige Kältemittel aus den Verdampfern vorverdichtet, wodurch sich die in den Verdichtern zu leistende Verdichtungsarbeit weiter reduziert.

Carrier entwickelt bereits seit mehreren Jahren einen regelbaren Ejektor der auch im Betrieb bei kalten Umgebungstemperaturen und unter Teillast optimale Ergebnisse liefern kann. In diesem Vortrag werden der derzeitige Stand der Entwicklung vorgestellt und praktische Ergebnisse präsentiert.

Stichwörter :

CO₂, Effizienz , Ejektor, Supermarktkälteanlage, R744

II.2.09

Versuchsstand für Multiejektor R744 Kälteanlagen

A. Hafner*, K. Banasiak

SINTEF Energy Research, 7465 Trondheim, Norwegen
Armin.Hafner@sintef.no

* Korrespondenzautor

Eine Testanlage für experimentelle Untersuchungen eines neuen Multiejektor R744 Kältesystem wurde entwickelt und im Labor bei SINTEF installiert. Eine Multiejektorblock, bestehend aus mehreren Ejektoren wurde in eine R744 Kälteanlage mit Parallelverdichtung integriert, welcher das klassische

Hochdruckregelventil ersetzt. Die Ejektoren werden sowohl für Dampf- und Flüssigkeitsvorverdichtung eingesetzt. Entweder parallel oder einzeln saugen die Ejektoren Kältemittel aus dem Niederdrucksammler (28 bar – 32 bar) und transportiert dieses in den Zwischendruckbehälter (34 bar – 38 bar). Erste Versuchsergebnisse zeigen Ejektorwirkungsgrade von bis zu 33 %, abhängig von Betriebsbedingungen (Förderdruck und Temperatur, Druckhub, Verdampfungsdruck).

Stichwörter:

R744/CO₂, Ejektor, Multiejektor, Supermarktkältetechnik

II.2.10

Experimentelle und numerische Methoden für die Untersuchung von Vereisung und Abtauverhalten von Verdampfern in Luftwärmepumpen

**Christoph Reichl*, Sandra Seichter, Mirza Popovac,
Peter Benovsky, Thomas Fleckl**

AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department,
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich
christoph.reichl@ait.ac.at

* Korrespondenzautor

Eine große Herausforderung für Wärmetauscher in Luftwärmepumpen ist die Vereisung des Verdampfers bei niedrigen Temperaturen. Methoden zur Verhinderung oder Reduktion der Vereisung beziehungsweise Verbesserung der verfügbaren Enteisungsstrategien sind daher äußerst wichtig für die weitere Optimierung und den ökonomischen Einsatz der Luftwärmepumpen-Technologie. Ein Laborwindkanal für die qualitative und quantitative Untersuchung des Wärme- und Massentransfers unterschiedlicher Wärmetauscherelemente (wie Röhrenverdampfer oder Aluminium-Mikrokanal-Verdampfer) während Vereisung und Abtauung wurde am AIT aufgebaut. Der offene Windkanal ist leicht transportabel und wird innerhalb geeigneter Klimakammern betrieben, um unterschiedliche Klimabedingungen nachzustellen. Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Drucksensoren sind stromauf- und abwärts der Wärmetauscher positioniert. Volumenstrom der einströmenden Luft und des Kühlmediums, sowie die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslass des Kühlmediums werden simultan aufgezeichnet und ermöglichen eine energetische Bilanzierung des Systems. In der Testsektion wird die Eismasse mit Hilfe eines Waagensystems zeitaufgelöst registriert. Die Wände des Windkanals sind transparent aus Acrylglass gefertigt und erlauben die visuelle Analyse der Vereisungs- und Abtauprozesse mit Bildbearbeitungstechniken beruhend auf Einzelbildanalysen. Particle Image Velocimetry (PIV) wurde für die Bestimmung des Luftströmungsfeldes sowohl für Randbedingung als auch zur Validierung der numerischen Strömungssimulationen (CFD) durchgeführt. Für die Simulationen kommt dabei ein Modell von Hermes et al. für die Berechnung von Eiswachstum und Eisverdichtung zum Einsatz. Das Modell wurde als Erweiterung des Navier Stokes Solvers OpenFoam umgesetzt. Der parallele Einsatz numerischer und experimenteller Techniken ermöglicht die Optimierung von Wärmetauschern hinsichtlich Wärmetransfer und Vereisungsverhalten.

Stichwörter:

Luftwärmepumpe, Wärmetauscher, Verdampfer, Vereisung, Strömungssimulation, Particle Image Velocimetry, Vereisungswindkanal, Wärmeübertragung

II.2.11

Entwicklung eines Mini-Channel-Verdampfers (vor dem Hintergrund der Nutzung von Propan als Kältemittel)

Dr.-Ing. Peter Röllig

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH,
Hauptbereich Kälte- und Wärmepumpentechnik,
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Telefon (0351) 40 81 645, Telefax (0351) 40 81 605
E-Mail peter.roellig@ilkdresden.de

Im ILK Dresden ist ein Forschungsprojekt bearbeitet worden mit der Zielstellung, Propan als Kältemittel in Haushaltgeräten, wie Wärmepumpen-Wäschetrocknern, einzusetzen. Wegen der Brennbarkeit dieses Kältemittels ist eine wichtige Voraussetzung dafür, die maximale Füllmenge auf 150 g zu begrenzen, ohne die Geräteleistung dadurch einzuschränken.

Da die Wärmeübertrager im Kältekreislauf (Verdampfer und Verflüssiger) den Großteil der Kältemittel-Füllmenge beinhalten, wurde vor allem dort an Reduzierungsmöglichkeiten gearbeitet und ein neuartiger Mini-Channel-Verdampfer als ein wesentliches Projektergebnis entwickelt.

Mit dem neu entwickelten Verdampfer werden gleichmäßige Kältemittelverteilung und gute Wärmeübertrager-Leistungen erreicht. Der Verdampfer hat eine geringe Bautiefe, kleines Innenvolumen und eine relativ geringe Kältemittel-Füllmenge. Die kreisrunde geometrische Form des Verdampfers entspricht etwa dem Abmaß der Trommel eines Wäschetrockners.

Im Versuch wurde messtechnisch nachgewiesen, dass der Prototyp des entwickelten Verdampfers die für einen Wäschetrockner erforderliche Trocknungsleistung erbringt.

Der neue Verdampfer würde sich aber auch für den Einbau in Bauwerkstrocknern, Kleinklimaanlagen, Luftkanälen u. a. eignen.

Mit dem Forschungsprojekt konnte insgesamt nachgewiesen werden, dass Propan als Kältemittel für Anwendungen, wie Wärmepumpen-Wäschetrockner, einsetzbar ist und wegen der erreichbaren Kältemittel-Füllmenge von weniger als 150 g keine besonderen Anforderungen an die Aufstellbedingungen gestellt werden müssen.

II.2.12

Schäden an Kupfer-Wärmetauschern in Kälteanlagen durch Ameisennest-Korrosion

Dipl.-Ing. Rolf Gaedicke^{1,*}, Michael Steinkraus², Dr.-Ing. Yves Wild³

¹ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Institut für Materialprüfung- ETW7-HH
Große Bahnstraße 31, 22525 Hamburg, Deutschland
rgaedicke@tuev-nord.de, www.tuev-nord.de

² Caverion Deutschland GmbH, Niederlassung Hamburg
Sportallee 2, 22335 Hamburg, Deutschland
michael.steinkraus@caverion.de, www.caverion.de

³ Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbüro GmbH
Klopstockstraße 21, 22765 Hamburg, Deutschland
ywild@drwild.de, www.DrWild.de

* Korrespondenzautor

Im Zusammenhang mit multiplen Kältemittelleckagen am luftgekühlten Kondensator eines Kaltwassersatzes wurde bei der metallurgischen Untersuchung der Leckstellen festgestellt, dass es sich hierbei

um sogenannte Ameisennest-Korrosion (engl. „ant's nest corrosion“ oder „formicary corrosion“) handelte.

Diese Art der Korrosion, die im deutschsprachigen Raum nach Literaturrecherchen weitgehend ungebannt ist, tritt an reinem schwefelarmem Kupfer, wie es im Wärmetauscherbau verwendet wird, in Anwesenheit von kurzkettigen Carbonsäuren (insbesondere Ameisensäure und Essigsäure) auf. Dabei reichen in Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff (Luft) bereits sehr kleine Konzentrationen von unter 50 ppm aus, um in relativ kurzer Zeit das Bauteil bis zum Versagen zu schädigen. Die Quelle für entsprechende Säuren können z. B. Reaktionsprodukte von Glykolen, die als Frostschutzmittel verwendet werden, oder Schmiermittel, sein.

Ameisennest-Korrosion ist dadurch gekennzeichnet, dass es sich um einen tunnelartigen, die Bauteilwand perforierenden Angriff mit winzigen nadelstichartigen Anfressungen an der Oberfläche handelt, die mit bloßem Auge nicht erkennbar sind, sondern erst bei stärkerer Vergrößerung sichtbar werden. Eine Leckortung ist daher nicht ohne weiteres möglich. Gemäß Literaturangaben werden – bezogen auf Japan – etwa 10 % aller frühzeitigen Versagensfälle von Lamellenwärmetauschern, wie sie für Klima- und Kühlanlagen eingesetzt werden, auf diese Art der Korrosionsschädigung zurückgeführt, wobei nach einer dort durchgeföhrten Auswertung etwa 60 % der Schäden von der Rohraußoberfläche und ca. 34 % von der Innenoberfläche ausgegangen sind, wobei etwa 66 % der Fehler an glatten Rohrabschnitten außerhalb von Biegungen auftraten. Es ist daher davon auszugehen, dass auch in Deutschland ein nicht unerheblicher Teil von Schäden an solchen Wärmetauschern auf diese Korrosionsart zurückzuföhren sein dürfte, ohne dass diese erkannt wird.

Im Rahmen des Vortrages sollen die Umstände des konkreten Schadensfalls, die Ergebnisse der metallurgischen Untersuchungen sowie theoretische Hintergründe zur Ameisennest-Korrosion dargestellt werden. Außerdem werden Empfehlungen zur Vermeidung entsprechender Schäden gegeben.

Stichwörter:

Ameisennest-Korrosion, formicary corrosion, Lamellen-Wärmetauscher, Kupfer, Glykol, DKV-Tagung 2014, Düsseldorf

II.2.13

Leckagen an Cu/Al-Wärmeübertragern und Korrosion

Andreas Binder*, Ingo Raisch, Jörg Neumeister

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

* Korrespondenzautor

Mit einem laut Schlag barst der Verdampfer einer Kälteanlage. Kältemittel strömt in den Kühlraum, und kontaminiert die gelagerten Lebensmittel. Die Kälteerzeugung steht still, Waren verderben. Treibhauseffekt und Globale Erwärmung sind die langfristigen Folgen dieser Havarie.

Wir fertigen Wärmeaustauscher aus den Werkstoffen Kupfer und Aluminium. Korrosion der eingesetzten Werkstoffe ist ein möglicher Auslöser des skizzierten Szenarios. Erst nachdem die Kälteanlage Schaden genommen hat, werden die Fragen gestellt: Hätten wir vielleicht bei der Geräteauswahl Luftverunreinigungen berücksichtigen müssen? oder auch: Mit welchen Mittel wird der Wärmetauscher gereinigt?

Aufwendige Analysen, Berichte bis hin zu Gutachten folgen.

Wir stellen die häufigsten Schadensmechanismen vor. Nachfolgend zeigen wir Möglichkeiten auf, wie Wärmetauscher über ihren gesamten Lebenszyklus sicher und vor allem dicht betrieben werden können.

Stichwörter:

Luftkühler, Korrosion, Hygiene, Reinigung, Wärmetauscher

II.2.14

Neueste Entwicklung im Bereich luftgekühlter Wärmetauscher für CO₂-Anwendungen

S. Filippini^{*}, U. Merlo

LU-VE Group, Via Caduti della Liberazione 53, Uboldo, 21040, Italien
stefano.filippini@luve.it

* Korrespondenzautor

Für viele kältetechnische Anwendungen scheint CO₂ eine ausgezeichnete und umweltfreundliche Lösung zu sein; LU-VE konnte hier dank des Einsatzes seines modernen Prüfrings, der die Leistung von CO₂-Rippen-Wärmetauschern sowohl bei Luft- als auch bei Gaskühlern prüfen kann, bedeutende Entwicklungsfortschritte erzielen.

Die neue Prüfanlage ermöglichte den Start eines spezifischen Projekts für CO₂-Rippenrohr-Wärmetauscher mit dem vorrangigen Ziel, das Wissen über Wärmeaustauschvorgänge bei Verdunstung, Kondensation und während transkritischer Kühlung mit Gas zu erweitern. Der Einfluss von Öl auf den internen Wärmeaustauschkoeffizienten wird in diesem Forschungsbereich ebenfalls berücksichtigt. Das Dokument beschreibt die Prüfvorgänge, die Einstellung von Software, die die Produktleistung berechnet, sowie mögliche Produktverbesserungen.

Insbesondere war es möglich, eine spezielle Methode anzupassen, die das Verhalten von Flüssigkeit während der transkritischen Kühlung berücksichtigen kann, indem sie genau all diejenigen Parameter, die die tatsächliche Leistung beeinflussen, in Betracht zieht.

Schlüsselwörter:

CO₂, Leistungsberechnung, transkritische Kühlung, Wärmeaustauschkoeffizient, Öl-Einfluss

II.2.15

Numerische Berechnung des luftseitigen Druckverlustes von lamellierten Wärmeübertragern

Andreas Zürner

Güntner GmbH & Co. KG, Abteilung Grundlagen, 82256 Fürstenfeldbruck
andreas.zuerner@guentner.de

Eine entscheidende Eigenschaft von luftbeaufschlagten, lamellierten Wärmeübertragern ist der Druckverlust, der entsteht wenn die Luft das Lamellenpaket durchströmt. Dieser steigt mit zunehmender Luftgeschwindigkeit an und lässt sich mittels einer charakteristischen Kennlinie (Druckverlust gegen Luftgeschwindigkeit) beschreiben.

Die Kenntnis dieser Kennlinie ist nicht nur für die korrekte Auslegung von Wärmeübertragern essentiell, sondern spielt bereits bei der Entwicklung neuer Lamellengeometrien eine wichtige Rolle. Hier gilt es meist einen möglichst hohen Wärmeübergang bei möglichst geringem Druckverlust zu erreichen. Die große Anzahl an Prototypen, die dafür prinzipiell nötig ist und deren Herstellung normalerweise hohe Kosten verursacht, lässt sich signifikant reduzieren, wenn bereits im Vorfeld der Druckverlust numerisch berechnet werden kann.

Freie CFD-Software in Kombination mit Cloud-Computing ermöglicht die Berechnung von Druckverlustkennlinien in verhältnismäßig kurzer Zeit und zu vertretbaren Kosten. Durch Vergleiche mit Messdaten verschiedenster Lamellen sollen die erreichbare Genauigkeit der numerischen Simulationen, sowie deren Grenzen aufgezeigt werden. Darüber hinaus lassen sich den Ergebnissen weitere nützliche Informationen, wie beispielsweise lokale Strömungsgeschwindigkeiten, entnehmen (siehe Abbildung 1).

Die hier präsentierten isothermen und inkompressiblen Strömungssimulationen verstehen wir dabei als einen ersten wichtigen Schritt hin zu Modellen, die zukünftig routinemäßig eingesetzt werden sollen, um komplexe numerische Berechnungen verschiedenster Lamellen inklusive des Wärmeübergangs durchzuführen.

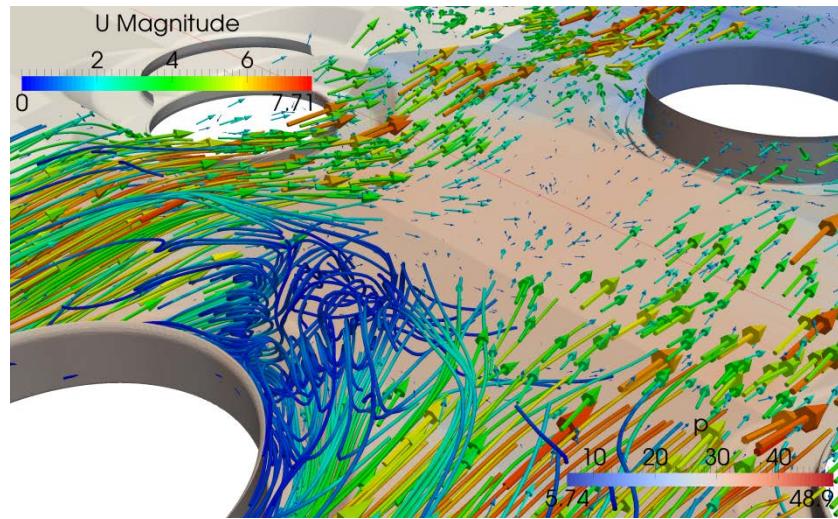


Abb. 1: Beispiel für Ergebnisse aus numerischen Strömungssimulationen: Strömungslinien und -vektoren, sowie Druckverteilung in bzw. auf einer Lamelle.

Stichwörter:

Numerische Strömungssimulation, CFD, isotherme Strömung, Druckverlustberechnung, Lamelle

II.2.16

FlowGrid – Die innovative Art der Geräuschreduktion bei Axial- und Radialventilatoren

Dipl. Ing. Jens Müller, Dipl. Ing. (FH) Michael Strehle*

ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Entwicklung ES-FE, Bachmühle 2,
74635 Mulfingen, Deutschland

Jens.Mueller@de.ebmpapst.com, Michael.Strehle@de.ebmpapst.com

* Korrespondenzautor

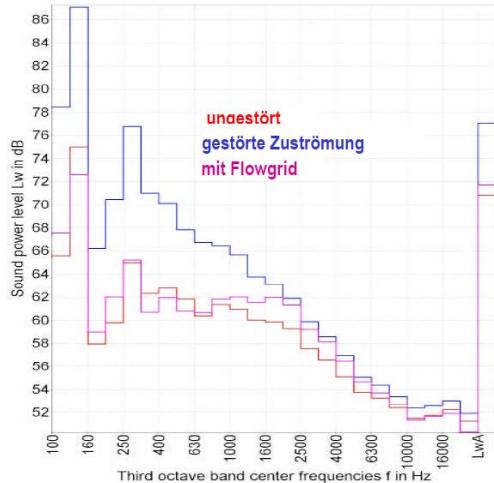
In Kälteanlagen werden häufig Ventilatoren auf der Verdampfer- oder der Verflüssigerseite angeordnet. Das vom Ventilator abgestrahlte Geräusch beeinflusst in vielen Fällen die Dimensionierung und die Bewertung einer solchen Anlage. Der folgende Beitrag beschreibt eine Maßnahme zur Reduzierung des Ventilatorgeräusches.

Werden die Produktdaten (Kennlinien) eines Ventilators festgelegt, geschieht dies unter Laborbedingungen im Prüfstand. Diese sind durch eine annähernd ungestörte Zuströmung des Ventilators gekennzeichnet. Ungestört heißt, ein sowohl zeitlich als auch örtlich gleichmäßiges Geschwindigkeitsfeld der Zuströmung, welche weiterhin einen geringen Turbulenzgrad besitzt. Unter Labor- oder Prüfstandsbedingungen werden die höchsten Wirkungsgrade und die niedrigsten Geräuschwerte erreicht.

In der Realität werden nahezu alle Ventilatoren in ein kundenspezifisches Gerät eingebaut, wodurch sich die Situation für den Ventilator entscheidend verändert. Der typische Einbau eines Ventilators in einem Kundengerät sieht dabei wie folgt aus: Der Ventilator saugt die Luft zum Beispiel über einen Wärmetauscher an. Zwischen Wärmetauscher und Ventilator befindet sich ein freier häufig rechteckiger Ansaugraum. Durch den Einbau hat der Ventilator eine „gestörte“ Zuströmung. Das heißt, der Ventilator sieht ein zeitlich und örtlich ungleichmäßiges Geschwindigkeitsfeld der Zuströmung. Außerdem erhöht sich die Turbulenz der Zuströmung gegenüber dem ungestörten Fall stark.

Durch die gestörte Zuströmung erhöht sich das abgestrahlte Geräusch des Ventilators deutlich. Vor allem bei den tiefen Frequenzen ist ein deutlicher Anstieg zu beobachten, dieser geht dann bei höheren Frequenzen zurück. Ursache ist eine Interaktion der Schaufelvorderkante mit dem ungleichmäßigen Geschwindigkeitsfeld und der erhöhten Zuströmturbulenz.

Durch den Einsatz eines Vorleitgitters FlowGrid wird die eigentlich gestörte Zuströmung wieder gleichmäßiger und die Turbulenz geht deutlich zurück. Dies wirkt sich drastisch auf das Geräusch aus. Gegenüber der ungestörten Zuströmung sind nur noch minimal Differenzen vorhanden (siehe Bild). Der Gleichrichter in Verbindung mit einem Ventilator bringt also deutliche Geräuschvorteile.



II.2.17

Intelligentes Monitoring System für Hubkolbenverdichter

Andreas Riesch

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, Eschenbrünnlestr. 15, 71065 Sindelfingen

Herkömmliche Geräte, die die Motoren von Hubkolbenverdichtern absichern, bieten meist nur einen thermischen Wicklungsschutz und lediglich eine optionale Überwachung der Druckgastemperatur. Entscheidende Vorteile haben dagegen Schutzgeräte mit einem erweiterten Funktionsangebot: Sie erlauben zum Beispiel eine zusätzliche Begrenzung der Verdichter-Starts. Moderne Elektronik-Komponenten für Hubkolbenverdichter ermöglichen darüber hinaus den Einsatz von zusätzlichen Schutz- und Monitoring-Funktionen. Integrierte Schnittstellen bieten weitere Vorteile bei der Kommunikation mit der übergeordneten Steuerung und alternative Analyse-möglichkeiten im Servicefall. Der vereinfachte Aufbau sowie die schnelle Inbetriebnahme der Anlagen sind weitere Vorteile des intelligenten Monitoring Systems für Hubkolbenverdichter.

II.2.18

Universelle Laborkälteanlage für Untersuchungen zu verbesserten Regelungsverfahren und optimierten Betriebsführungsstrategien

M. Sc. Daniel Rettich*, M. Sc. Thomas Köberle, Prof. Dr.-Ing. Martin Becker

Hochschule Biberach (HBC), Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE),
Karlstraße 11, D-88400 Biberach

rettich@hochschule-bc.de; koeberle@hochschule-bc.de; becker@hochschule-bc.de

* Korrespondenzautor

Die Automatisierung von Kälteanlagen nimmt im Kontext der zunehmenden Anforderungen an eine optimierte Betriebsführung und verbesserte Energieeffizienz von Kälteanlagen einen immer höheren Stellenwert ein. Um neben Simulationsuntersuchungen auch unter praktischen Bedingungen Untersuchungen zu verbesserten Regelungsverfahren und optimierten Betriebsführungsstrategien systematisch durchführen zu können, wurde an der Hochschule Biberach eine universelle Laborkälteanlage für experimentelle Untersuchungen konzipiert und aufgebaut.

Der Versuchsstand wurde modular und flexibel konstruiert und ermöglicht vielfältige Anlagenvarianten, zwischen diesen umgeschaltet werden kann. Die Anlage kann z. B. sowohl als typische Gewerbe-kälteanlage mit Verdampfer, Kühlraum und luftgekühlten Verflüssiger betrieben werden, als auch als Kaltwassersatz mit Hydraulik, Kaltwasserspeicher und wassergeführtem Rückkühlwerk wie dies üblicherweise in der Klimatechnik eingesetzt wird. Sowohl die thermische Last im Kühlraum als auch die Verbraucher im Kaltwasserkreislauf können mittels elektrischen Heizungen beaufschlagt werden und so reproduzierbare Randbedingungen für die Versuche geschaffen werden. Der Kühlraum dient des Weiteren zur Untersuchung von Störeinflüssen, wie z. B. Eisbildung am Verdampfer, die auf den Energieverbrauch und die Energieeffizienz der Gesamtanlage Einfluss nehmen. Die Hydraulik ermöglicht es, Anlagenbetriebszustände, die an Kaltwasserverbrauchern in Feldanlagen in der Praxis gemessen wurden, im Labor nachzubilden und gezielt verschiedene Optimierungsmaßnahmen zu testen.. Zu den variablen Schaltungsvarianten ist die Anlage mit hochgenauer Messtechnik für die Bestimmung der Energieströme ausgestattet, welche z. B. für Energieeffizienz-Bewertungsverfahren benötigt wird.

Die komplexe MSR-Technik erlaubt es, unterschiedliche Regelungskonzepte zu testen und eigene Regler zu entwickeln. Auch Untersuchungen von Anlagen-Betriebszuständen, die z. B. auf Grund fehlerhafter Reglereinstellungen entstehen können, können gezielt durchgeführt werden. Die Erkenntnisse aus den Versuchen erleichtern die Abschätzung des Einsparpotentials in Feldanlagen und dienen als Grundlage für systematische Untersuchungen zur Optimierung des Gesamtsystems. Die experimentellen Untersuchungen basieren u. a. auf dem VDMA-Einheitsblatt 24247, das die Energieeffizienz-Bewertung von Kälteanlagen während der Planung und des Betriebs beschreibt. Ausgehend von den praktischen Erfahrungen der Laboruntersuchungen, werden die Erkenntnisse anschließend auf Feldanlagen übertragen und dort getestet. Dabei sollen insbesondere die Möglichkeiten und Grenzen der vorhandenen Messtechnik aufgezeigt, sowie die Anwendbarkeit der Effizienzkennzahlen im realen Betrieb untersucht werden.

Stichwörter: Laborkälteanlage, kältetechnischer Versuchsstand, experimentelle Untersuchungen, Energieeffizienzbewertung, Regelungstechnik, Automatisierungstechnik, VDMA 24247

II.2.19

Mobile Systemdiagnose mit Visualisierung und Auswertung in Echtzeit

Vilim Mergl

CoolTool Technology GmbH, Kruppstr. 184, 47229 Duisburg
info@cooltool-technology.com

Der Einfluss der einzelnen konstruktiven Elemente auf die gesamte Betriebsweise einer Kälteanlage stellt ein sehr komplexes Gebilde dar. Durch die starke Individualisierung des Anlagenbaus in den Bereichen Industrie, Gewerbe, Logistik und Einzelhandel sind vielfältige Systemlösungen entstanden, die mit unterschiedlichen thermodynamischen Prozessen arbeiten. Einzelne Bauteile beeinflussen durch ungünstige Betriebspunkte häufig die Gesamtbilanz der Systeme. Eine umfassende Messwerteerfassung zur Bewertung der Betriebsparameter ist sowohl im Anlagenbestand sowie bei Neuanlagen in der Regel nicht vorhanden. Eine belastbare Beurteilung der Energieeffizienz und der Leistungsdaten der Anlagen ist daher nur schwer durchführbar.

Mit einem auf einem Auslegungstool basierenden System CoolTool DiaGnostics wurden über 100 unterschiedliche Kälteanlagen im Bestand aufgenommen, analysiert, bewertet und die aktuellen Leistungsdaten ermittelt. Ferner wurde der Energiebedarf einschließlich der Nebenaggregate für die Anlagen im „Ist“ - Zustand und im optimalen „Soll“ - Zustand simuliert. Um eine einheitliche Erfassung und Beurteilung von unterschiedlichen Systemlösungen mit vertretbarem Zeitaufwand vornehmen zu können, wurden dabei die Betriebsdaten zentral in dem Diagnosegerät erfasst, visualisiert und in Echtzeit ausgewertet. Je nach Prozessart wurden dabei bis zu sechs Drücke, zwanzig Temperaturen sowie weitere Daten wie die elektrische Leistungsaufnahmen von Verdichtern, Lüftern, Pumpen oder Regelorganen erfasst und anschließend statistisch ausgewertet. Basierend auf den Ergebnissen wurden Empfehlungen für eine gezielte energetische Sanierung erstellt. Durch die Prozessvisualisierung konnten auch konstruktive Vorschläge für den Austausch einzelner Komponenten gemacht werden.

II.2.20

Einsatz von Überwachungsgeräten und Sensoren bei der Verwendung brennbarer Kältemittel

Joerg Alber

KRIWAN Industrie-Elektronik GmbH,
Allmand 11 D - 74670 Forchtenberg
Joerg.Alber@kriwan.de

Die Bedeutung von natürlichen bzw. „grünen“ Kältemitteln und auch neuer Kältemittel, welche mindestens brennbar sind, steigt derzeit stark an. Bedingt durch die prinzipielle Zündfähigkeit ist es bei nennenswerten Füllmengen erforderlich, bei der Anlagenplanung, bei der Installation und dem späteren Betrieb gewisse Regeln ein zu halten.

In Bereichen außerhalb der Kältetechnik wie der Chemie / Petrochemie / Laborabzügen etc. werden seit vielen Jahren ähnliche Anforderungen erfolgreich umgesetzt.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten auch in der Kältetechnik mit dieser neuen Herausforderung um zu gehen. Schon bei der Komponentenauswahl ist es entscheidend das angestrebte Schutzkonzept der Anlage „im Auge“ zu haben. Neben der Frage der „zündfähigen Energie“ rückt in diesem Zusammenhang auch mehr und mehr die Frage nach der Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile in den Fokus.

In dem Vortrag werden ausgehend von Lösungsansätzen aus anderen Branchen, die traditionell elektrisch angetriebene Maschinen in Explosionsgefährdeten Bereichen betreiben, mögliche Lösungsansätze vorgestellt.

II.2.21

Strömungsakustische Effekte in Drosselkapillaren an Haushaltskältegeräten

Thomas Tannert*, Ullrich Hesse

Technische Universität Dresden,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik,
01062 Dresden, Deutschland
thomas.tannert@tu-dresden.de, ullrich.hesse@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Die Kälteerzeugung in Haushaltskühlgeräten erfolgt üblicherweise durch einen Kaltdampfprozess mit Isobutan (R600a) als Kältemittel. Als Drosselorgan werden zumeist Kupferkapillarrohre zur Expansion des Kältemittels von Hoch- auf Niederdruck angewendet. Geräteabhängig erfolgt diese Entspannung adiabat (isenthalp) oder diabat (mit zusätzlichem internen Wärmeübertrager), in jedem Falle aber so, dass das Kältemittel innerhalb der Drosselkapillare in den zweiphasigen Zustand (gas-flüssig) übergeht. Weiterhin führt der prozessbedingte Phasenwechsel des Kältemittels in Verdampfer und Verflüssiger, abhängig vom Betriebspunkt des Gerätes, zu einem variierenden Dampfgehalt bereits am Eintritt der Drosselkapillaren. Zudem können im Kreislauf enthaltene Fremdgase (Inertgase) die Ausbildung einer Gasphase am Drosselintritt hervorrufen.

Ein veränderlicher Dampf- bzw. Gasgehalt des zweiphasigen Kältemittels am Drosselintritt bedingt die Ausbildung charakteristischer Strömungsformen innerhalb der Drosselkapillare und an deren Austritt in den Verdampfer. Diese Strömungsformen wechseln zyklisch abhängig vom eintretenden Phasenzustand des Kältemittels in die Drosselkapillare. Einhergehend mit dem Wechsel der Strömungsform des Kältemittels treten in gleicher Periodizität Strömungsgeräusche mit nennenswerten Schallpegelschwankungen auf.

Der vorliegende Beitrag zeigt die Untersuchungen an geeigneten Versuchsaufbauten mit dem erforderlichen Messaufbau zur zeitsynchronen Erfassung der Strömungsformen und Strömungsgeräusche sowie die messtechnischen Ergebnisse, die den kausalen Zusammenhang zwischen Strömungsform und Strömungsgeräusch belegen.

Stichwörter:

Zweiphasenströmung, Strömungsformen, Drosselkapillare, Haushaltskältegerät, Strömungsgeräusche

II.2.22

Vergleich von Kapillarwärmetauschermodellen für Haushaltsanwendungen

Martin Heimel*, Stefan Posch, Erwin Berger, Martin Eichinger, Raimund Almbauer

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz,
Inffeldgasse 19, 8010 Graz, Österreich
heimel@ivt.tugraz.at

* Korrespondenzautor

Kapillarrohre dienen im Bereich Haushaltskühlgeräte als Drosselorgane und ermöglichen im Zusammenspiel mit einem Kompressor zwei unterschiedliche Druckniveaus zu realisieren. In fast allen heutigen Ausführungen ist aus Gründen erhöhter Kreislaufeffizienz die Kapillare durch, vom Verdampfer kommendes Kältemittel gekühlt. Dieser Wärmetauschaus führt gegenüber einer adiabaten Kapillare zu einem veränderten Betriebsverhalten. Um dieses Verhalten numerisch abbilden zu können, existieren verschiedene Ansätze welche in dieser Arbeit untersucht werden sollen. Die

transiente Betrachtung von Kältemaschinen ist zum Erkennen von Verlustmechanismen sowie zum besseren Verständnis der Betriebs- und Funktionsweise unerlässlich. Das Ziel ist es, ein Modell zu finden, welches den Anforderungen an eine Kreislaufsimulation genügt, die transiente An- und Abschaltvorgänge erfassen kann.

Die dabei untersuchten Modelle umfassen 1d-Modelle, semi-empirische Korrelationen sowie Neuro-nale Netzwerke. Als Testumgebung dienen stationäre Messungen aus bekannten Literaturstellen sowie zyklische Randbedingungen aus einer bereits existierenden Kältekreislaufsimulation, welche zuvor mit Messungen an einem realen Gerät abgestimmt wurde.

Vorteile und Nachteile einzelner Korrelationen sind in Bezug auf Anwendbarkeit, Randbedingungen und Genauigkeit beschrieben. Das Ergebnis zeigt, dass viele Korrelationen nur für eingeschränkte Bedingungen anwendbar sind (unterkühlter Eintritt, Beschränkungen in der Geometrie, usw.) und anwendbare Korrelationen eine große Streuung in Bezug auf die berechneten Massenströme und Wärmetauscherleistungen aufweisen.

Stichwörter:

Kapillare, Wärmetauscher, Modellierung, zyklischer Betrieb, Korrelationen

II.2.23 a)

EU-EPEP – Online-Tool zur Überprüfung des Kompetenzprofils für Energieberater

Karsten Beermann^{1,*}, Attila Zoltan²

¹ Informationszentrum für Kälte-, Klima- und Energietechnik gGmbH (IKKE), DE-Duisburg

² Hungarian Coordination Association for Building Engineering (HCABE), HU-Budapest

* Korrespondenzautor

Am 19. Mai 2010 wurde die EU-Verordnung EPBD 2002/91/EC überarbeitet, speziell für Gebäude mit einer Kühlleistung von >12 KW. Diese EPBD beinhaltet Richtlinien, Methoden und Anforderungen für regelmäßige, periodische Inspektionen, Tests und Zertifizierung von Energieeffizienz von alten und neuen Gebäuden. Aufgrund dieser Verordnung gibt es jetzt einen dringenden Handlungsbedarf auf dem Arbeitsmarkt für gut qualifizierte Personen, um Installationen für den Komfort von Personen (> 12 KW) zu inspizieren, zu zertifizieren und zu warten. In der EU entsteht ein wachsender Bedarf von zertifizierten Inspektoren, um die Anforderungen der EPBD zu erfüllen. Gleichzeitig gibt es einen Mangel an aktuellen Trainingskursen, Kompetenzprofilen und Prüfungen in diesem Bereich.

An diesen Erfordernissen knüpft das EU-Projekt "European Partners for Energy Performance (EPEP)" an. Als Partner sind IKKE (DE), HCABE (HU), PETROC (UK), Pro-Work (NL) und Synta West (BE) beteiligt. Hauptziel dieses EPEP-Projektes ist die Entwicklung eines Online-Kompetenz-Screening-Tools, das als Unterstützung für die Weiterbildung und Prüfung zukünftiger Inspektoren eingesetzt werden soll. Im Vortrag wird das entwickelte Online-Tool zur Überprüfung des Kompetenzprofils für die Kältetechnik, die direkten und indirekten Systeme vorgestellt.

II.2.23 b)

EU-REAL-Alternatives – Innovatives “blended learning“ für natürliche Kältemittel

Karsten Beermann^{1,*}, Marco Buoni²

¹ Informationszentrum für Kälte-, Klima- und Energietechnik gGmbH (IKKE)

² Airconditioning Refrigeration European Association (AREA)

* Korrespondenzautor

In einem neuen europäischen Lernprogramm "REAL Alternatives" wird auf den Fachkräftemangel bei den Technikern, die im Kälte-, Klima - und Wärmepumpensektor arbeiten und mit natürlichen Kältemitteln umgehen, reagiert. Auch im Hinblick auf die Konsequenzen der europäischen Umweltpolitik und der neuen F-Gase-Verordnung leistet dieses EU-Projekt einen Beitrag.

Der Schwerpunkt dieses Programmes liegt dabei auf den natürlichen Kältemitteln, wie Kohlendioxid, Ammoniak und Kohlenwasserstoffen sowie auf den neuen HFO-Kältemitteln. Es soll das Know-How in den Bereichen Wartung und Instandhaltung dieser Kältemittel in neuen Systemen unter den Gesichtspunkten Sicherheit, Effizienz, Zuverlässigkeit und Lagerung verbessern.

Dieses Programm bringt Industriewissen und Know-How aus ganz Europa zusammen durch die Erstellung von innovativem Blended Learning - eine Mischung aus E-Learning, face-to-face-Schulungsunterlagen, praktischen Übungen, Fragenkatalogen und E- Bibliothek von Lernressourcen.

Eine Vielzahl von Stakeholdern begleitet das Programm und beeinflusst somit den Inhalt des entwickelten Lernmaterials und stellen wichtige technische Informationen zur Integration zur Verfügung.

Im Vortrag werden Ergebnisse des E-Learning-Programms, das mit besonderen features ausgestattet ist, vorgestellt. Letztendlich werden die Ergebnisse in 6 Sprachversionen vorliegen.

Dieses zweijährige Projekt wird von einem Konsortium aus sieben Partnern aus ganz Europa durchgeführt und ist durch das EU-Programm für lebenslanges Lernen mitfinanziert. Das Konsortium besteht aus anerkannten Institutionen der Forschung und Ausbildung sowie aus Wirtschaftsverbänden der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche:

- AREA - Verband der europäischen Kälte- und Klima-Fachbetriebe, Belgien
- Associazione Tecnici del Freddo (ATF), Italien
- Informationszentrum für Kälte-, Klima- und Energietechnik gGmbH (IKKE), Deutschland
- Institute of Refrigeration (IOR), UK
- Limburg Catholic University College (KHLim), Belgien
- London South Bank University (LSBU), UK
- PROZON Recycling-Programm, Polen

Notizen

III.01

Entwicklung eines Tieftemperaturkältemittels auf Basis von Kohlendioxid

Tobias Göpfert*, Ullrich Hesse

Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-,
Kryo- und Kompressorentechnik, 01062 Dresden, Deutschland
tobias.goepfert@tu-dresden.de, ullrich.hesse@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Zur Kälteerzeugung unterhalb von -50°C sind nur wenige Arbeitsfluide vorhanden, welche entweder brennbar sind oder einen hohen GWP aufweisen. Ein solcher Stoff ist z. B. R23, welcher einen besonders tiefen Normalsiedepunkt von -82°C hat und der Sicherheitsklasse A1 zugeordnet werden kann. Aufgrund seines hohen GWP von 12.300 wird er durch die steigenden rechtlichen Anforderungen an fluorierte Gase auf lange Sicht nicht mehr einsetzbar sein. Es bietet sich daher an in diesem Temperaturgebiet neue Kältemittel zu entwickeln, welche geringe GWP aufweisen. Aufgrund der Tripeltemperatur von Kohlendioxid von -56,6°C ist es für Verdampfungstemperaturen unterhalb von ca. -50°C ungeeignet. Durch Beimischen von tiefer siedenden Komponenten lässt sich die Gefriertemperatur und weitere negative Eigenschaften von Kohlendioxid korrigieren.

Auf Basis von bekannten Stoffeigenschaften und abgeleiteten Berechnungskorrelationen wurden Gemische auf Basis von R744 identifiziert welche sich als Tieftemperaturkältemittel eignen. Es wird eine Prognose und Abschätzung der Eignung der Stoffgemische vorgenommen und es werden die noch benötigten Stoffeigenschaften dargestellt, welche zur genauen Bewertung benötigt werden.

Stichwörter:

Ersatzkältemittel, Kohlendioxidgemische, Tieftemperaturkältemittel, Gefrierpunkt, Stoffdaten

III.02

Neue Kältemittel ermöglichen Reduzierung der Umweltbelastung

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

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

* Korrespondenzautor

Im Rahmen der gesamtgesellschaftlichen Bemühungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen wird auch die Reduktion der Umweltbelastungen durch Kälte- und Klimaanlagen angestrebt.

Der Einfluss dieser Anlagen ist jedoch nicht nur abhängig von den direkten Erderwärmungspotentialen (GWP) der Kältemittel, sondern auch von deren Stoffeigenschaften und der dadurch bedingten Energieeffizienz der Anlagen im Betrieb.

Vorgestellt werden Untersuchungen des Verhaltens von Kombinationen aus sogenannten „Low-GWP“-Fluiden mit anderen etablierten Kältemitteln wie R-744 und HFKW. Die Beispiele umfassen Kältemitteloptionen für die Lebensmittelkühlung und für die Gewerbekälte, für Gebäudeklimaanlagen, und für Wärmepumpen.

III.03

R404A-Ersatzkältemittel mit Niedrig-GWP Versuchsergebnisse aus Labor- und Feldtests

Joachim Gerstel

DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Opteon® Kältemittel,
Hugenottenallee 175, 63263 Neu- Isenburg, Deutschland

Die am 01.01.2015 in Kraft tretende Europäische F-Gase-Verordnung wird im ersten Schritt den Ausstieg von R404A/ R507A forcieren. Beim Neu- bzw. Umbau von Lebensmittel-Supermärkten werden bereits transkritische CO2- sowie subkritische R134a/CO2-Anlagen installiert. Viele Handelsketten beschäftigen sich zusätzlich mit der Reduzierung ihrer „CO2-Emissionen, in dem R404A in bestehenden Anlagen durch Kältemittel mit niedrigerem Treibhauspotential (GWP) ausgetauscht werden.

DuPont hat ein neues auf HFO-basierendes Niedrig-GWP Sicherheitskältemittel mit einem GWP von 1397 als R404A-Ersatz entwickelt und getestet. Dieses neue Kältemittel ist in der Sicherheitsklasse A1 (nicht-toxisch, nicht-brennbar) unter der Bezeichnung R449A eingestuft. Im Vortrag werden die thermodynamischen Eigenschaften dieses neuen Produktes mit R404A, R407A und R407F verglichen und Ergebnisse aus Laborversuchen dargestellt. Dabei wird insbesondere auf die Kälteleistung, die Leistungszahl und die Verdichtungsendtemperatur eingegangen.

Weiter werden Testergebnisse aus verschiedenen Feldversuchen erläutert und eine Kostenanalyse für den Betreiber nach Umrüstung auf Opteon®XP40 (R449A) vorgestellt.

Stichwörter:

Niedrig-GWP Sicherheitskältemittel, Opteon®XP40, R449A, Ersatz für R404A,

III.04

Was bedeutet die Verwendung von Niedrig-GWP- Kältemitteln für die Schmierstoffauswahl?

Christian Puhl*, Wolfgang Bock

FUCHS Europe Schmierstoffe GmbH, Friesenheimerstr. 19, 68169 Mannheim

* Korrespondenzautor

Niedrig-GWP-Kältemittel stehen gerade nach der Verschärfung der F-Gase-Verordnung immer stärker im Mittelpunkt des Interesses. Es existieren mittlerweile eine ganze Reihe von fluorierten Niedrig-GWP-Kältemitteln und –Kältemittelgemischen; jedoch werden darüber hinaus in zunehmendem Maße natürliche Kältemittel eingesetzt.

Auch für die Schmierstoffauswahl ergibt sich so zwangsläufig eine größere Anzahl von möglichen Fluiden, die als Kältemaschinenöl eingesetzt werden können. Der Vortrag beschäftigt sich im Überblick mit den möglichen Öltypen für das jeweilige natürliche oder synthetische Kältemittel in der spezifischen Anwendung.

Neben diesem Überblick liegt der Schwerpunkt des Vortrages auf den charakteristischen Eigenschaftsprofilen der jeweils zu empfehlenden Kältemaschinenöle. Neben der grundsätzlichen Forderung nach einem verlässlichen Öltransport durch alle Bauteile des Kältekreislaufs (mit Ausnahme von NH₃-Kälteanlagen) ergibt sich eine Reihe von weiteren Anforderungen. Thermochemische Stabilität, Löslichkeitseigenschaften, sowie nicht zuletzt der Verschleißschutz der Kältemaschinenöle sind wichtige Einflussfaktoren für die Auswahl des geeigneten Schmierstoffes und werden daher eingehend beschrieben.

III.05

Praxiserfahrungen mit FlowIce-Anlagen für die Kühlung von Speisen in Großküchen

Dr.-Ing. Yves Wild

Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbüro GmbH, Klopstockstraße 21, 22765 Hamburg, Deutschland
ywild@drwild.de, www.DrWild.de

In Großküchen, wie sie beispielsweise in Krankenhäusern existieren, sind zum Teil FlowIce-Anlagen (auch als „Binär-Eis“, „Smart-Eis“, „Eis-Brei“, „Eis-Slurry“ u. a. bezeichnet) zum Herunterkühlen von vorgekochten Speisen installiert. Die in doppelwandigen Kochkesseln zubereiteten Speisen werden nach dem Kochvorgang durch das in den Mantelraum eingebrachte FlowIce sehr schnell abgekühlt.

Das Betriebsverhalten einer solchen Anlage ist stark vom Eisanteil des Gemisches abhängig. Eine kontinuierliche Bestimmung der Eiskonzentration kann derzeit noch nicht erfolgen und wird daher nur über die aktuelle Temperatur und den vorgegebenen Ethanol-Gehalt des Gesamtsystems ermittelt. Aufgrund der immer wieder auftretenden lokalen und zeitlichen Entmischungsvorgänge des Wasser-Ethanol-Eis-Gemisches, treten häufig Betriebsstörungen auf.

Bei zu hohem Ethanol-Gehalt im Gemisch kann durch die niedrige Schmelztemperatur nicht genügend Eis erzeugt werden. Das führt in der Folge auf eine unzureichende Kühlung der Speisen, da die Schmelzwärme nicht zur Verfügung steht. Ist im Gegensatz hierzu der Ethanol-Gehalt zu niedrig, wird zu viel Eis erzeugt und es kommt zum starken Anwachsen der Eisschicht in den Eiserzeugern. An schabenden Eiserzeugern folgen dabei oftmals erhebliche mechanische Beschädigungen.

Praktischen Erfahrungen aus verschiedenen Schadensfällen und insbesondere die Schwierigkeiten des Anlagenbetriebs sollen im Rahmen des Vortrages dargestellt werden.

Stichwörter:

FlowIce-Anlagen, Schmelzwärme, Eiskonzentration, Entmischung, Praxiserfahrung, Kochkessel

III.06

Eine kompakte Kälteanlage mit Wasser als Kältemittel

Dr.-Ing. Jürgen Süß

Efficient Energy GmbH, Hans-Riedl-Str. 5, 85622 Feldkirchen

Der Einsatz von Wasser als Kältemittel ist von Absorptionsprozessen her bekannt und seit langem industriell umgesetzt. Die Verwendung in Kompressionskälteanlagen ist hingegen noch nicht in einem nennenswerten Umfang erfolgt. In diesem Beitrag werden die Eigenschaften von Wasser als Kältemittel dargestellt und ein technisches Konzept zur Nutzung von Wasser erläutert. Grundlage der Technik ist die Direktverdampfung und die anschließende Verdichtung mittels eines kleinen, direkt angetriebenen Turboverdichters.

Das Verfahren macht sich die exzellenten Wärmeübertragungseigenschaften von Wasser gezielt zunutze und erreicht so hohe thermodynamische Wirkungsgrade.

III.07

The successful use of Ammonia systems in industrial applications

Niels P Vestergaard

Danfoss A/S, Industrial Refrigeration, Global Application Kolding, Denmark
Niels_Vestergaard@danfoss.com

This paper describes how the need for ammonia refrigeration plants will be growing due to an expanding cold chain and the need for environmental benign refrigerants. The usage of ammonia is not trivial and high attention must be given to ensure energy efficient and safe solutions. Technology development has been considerable during the last decade and will be described as well as the precautions to be considered when installing and running an ammonia plant. A suggestion for a methodology for ensuring the best solutions will be given. The method contains an overview on parameters and standards for the system but also considers safe design solutions, as well as effect of external surrounding factors as location and population density. The method is backed up by examples of implementation of these solutions.

III.08

Dezentrale Kältetechnik - Fallstudie und Betriebserfahrung

Joachim Dallinger

Epta Deutschland GmbH, Ludolf-Krehl-Straße 7-11, 68167 Mannheim, Deutschland
joachim.dallinger@epta-deutschland.com

Die Klimaerwärmung erfordert auch im Lebensmitteleinzelhandel ein Umdenken. Durch die F-Gas-Verordnung der EU bringt ab Januar 2015 noch striktere Vorgaben für die Nutzung umweltschädlicher Kältemittel mit sich. Doch wie lassen sich im Markt die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen reduzieren? Für größere Supermärkte hat sich die CO₂ Technik mit Zentraler Kälteanlage etabliert. Für kleinere und mittlere Märkte bietet die Dezentrale Kältetechnik den Vorteil der Füllmengenreduzierung. Im Vortrag wird über das System sowie in Fallstudien über die Betriebserfahrung mit solchen Systemen berichtet.

Stichwörter:

Epta, EptaBlue, LEH, Waterloop, Energieeffizienz

III.09

The ambient temperature effect on operating characteristics of a low-temperature Linde refrigerating machine

A. V. Rozhentsev, V. A. Naer., M. V. Rybnikov*

Odessa National Academy of Food Technologies
Dvoryanskaya str., 1/3, 65082 Odessa, Ukraine
E-mail: dolphin@te.net.ua

* Korrespondenzautor

The object of this experimental research is a low-temperature refrigerating machine operating on the Linde cycle by use of a nonazeotropic mixture of refrigerants as a working fluid. The purpose of the refrigeration machine was to produce 140 W of cold at the temperature level of -80 °C (the evaporator outlet temperature). The cooling capacity corresponded with the value of heat influx into the cooling chamber of the system at the ambient temperature of +30 °C and the temperature of air in the chamber of -70 °C.

A two-component mixture of hydrocarbons (n-butane and ethylene) optimized both by compositions and mass charge was used as the machine working fluid. To compress the working fluid a single stage, hermetic, lubricated compressor was applied. An efficient Hampson bundle-type counter flow heat exchanger was used as the internal recuperative heat exchanger.

The study was conducted to investigate the effect of ambient temperature on operating characteristics of the refrigerating machine. For this purpose the whole system (the machine and the cooling chamber) was deployed in a climate chamber capable of maintaining the ambient temperature within the range of (-5 ... +43) °C. The power, hydraulic and temperature operating parameters of the machine with the ambient temperature were investigated and discussed.

III.10

Eine einfache Wärmepumpe für Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeuge

Dr. Werner Hünemörder

DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH, Freisinger Str. 21, D-85386 Eching

Im Elektrofahrzeug steht keine Motorabwärme zum Heizen des Innenraums zur Verfügung. Diese Fahrzeuge müssen mit elektrischer Energie aus der Batterie beheizt werden. Da nun ein Teil der elektrischen Energie für die Beheizung des Innenraums und nicht mehr zur Fortbewegung verwendet wird, reduziert sich die Reichweite des Elektrofahrzeugs. Um die Reichweite so groß wie möglich zu halten ist ein effizientes Heizsystem erforderlich, das den Innenraumkomfort mit geringer elektrischer Leistungsaufnahme herstellen kann. Die Wärmepumpe ist ein effizientes Heizsystem, das mehr Heizleistung erzeugt als es elektrische Leistung aufnimmt.

DENSO hat ein einfaches, robustes Wärmepumpensystem für Elektro- und Plug-In –Hybridfahrzeuge entwickelt.

Die Anforderungen an derartige Wärmepumpensysteme im Fahrzeug bezüglich des thermischen Komforts sowie der Vermeidung von Fensterbeschlag werden dargestellt. Die hierzu erforderliche Anlagenkonfiguration sowie die verschiedenen Betriebsmodi – Heizen, Kühlen und Entfeuchten werden erläutert.

Stichwörter:

Wärmepumpe, Elektrofahrzeug, Hybridfahrzeug, thermischer Komfort

III.11

Reduktion der Kältemittelfüllmenge im Pkw durch kompakte Kältemittelkreisläufe

Jan Christoph Menken^{1,*}, Thomas A. Weustenfeld^{1,*}, Jürgen Köhler²

¹ AUDI AG, 85045 Ingolstadt, Deutschland

jan-christoph.menken@audi.de, thomas.weustenfeld@audi.de

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Thermodynamik

Hans-Sommer-Straße 5, 38106 Braunschweig, Deutschland

juergen.koehler@tu-bs.de

* Korrespondenzautoren

Bei der Entwicklung energieeffizienter Klimatisierungs- und Thermomanagementkonzepte für Elektro- und Hybrid-Fahrzeuge stellen Sekundärkreislaufsysteme mit kompaktem Kältemittelkreislauf und sekundären Fluidkreisläufen eine Alternative zur Sicherstellung der thermischen Rahmenbedingungen dar. Neben der Möglichkeit einer modularen Bauweise und einer crashsicheren Kapselung ist die Reduktion der Kältemittelfüllmenge ein wesentlicher Vorteil. Dies ist möglich, da die Kältemittelleitungslängen zwischen den Komponenten des Kältemittelkreises reduziert werden können. In dieser Arbeit wird der Einfluss der Füllmenge auf den Kreisprozess experimentell an einem Prüfstand untersucht. Der Kältemittelkreislauf besteht aus einem elektrischen Scrollverdichter, einem elektrischen Expansionsventil, zwei Plattenwärmeübertragern sowie einem Sammler auf der Niederdruckseite. Verwendet wird das Kältemittel R134a. Zunächst wird die erforderliche Kältemittelfüllmenge in einem Auslegungspunkt experimentell bestimmt und das Betriebsverhalten einzelner Komponenten unter verschiedenen, definierten Randbedingungen betrachtet. Anschließend werden die Versuche mit verschiedenen Kältemittelmengen wiederholt und die Effizienz des Gesamtsystems sowie der Einfluss auf den optimalen Betriebspunkt bewertet und untereinander verglichen. Dabei wird die Unterkühlung jeweils optimal durch das elektrische Expansionsventil eingestellt.

Stichwörter:

Primärkältemittelkreislauf, Sekundärkreissystem, Kältemittelfüllmenge, optimale Unterkühlung, R134a

III.12

Energetische Untersuchung zur Kühlung und Beheizung von insassennahen Flächen im Pkw

B. Sc. Maximilian Göpel*, Dipl.-Ing. Jörg Aurich, Dr.-Ing. Rico Baumgart

IAV GmbH, Kauffahrtstraße 25, 09125 Chemnitz

Tel.: 0371/237-34917, Email: maximilian.goepel@iav.de

* Korrespondenzautor

Sowohl die Kühlung als auch die Beheizung des Innenraums führt bei Elektrofahrzeugen zu einer erheblichen Verkürzung der erzielbaren Reichweite. Aus diesem Grund stellt die Entwicklung von energieeffizienten Klimatisierungskonzepten derzeit eine sehr große Herausforderung für die Automobilindustrie dar.

Ein häufig diskutiertes Konzept ist die Beheizung von insassennahen Flächen. Hierdurch lässt sich im Winter die vom Insassen abgegebene Wärmestrahlung reduzieren. Damit kann wiederum die für die Behaglichkeit erforderliche Lufttemperatur im Innenraum gesenkt und somit der Leistungsbedarf für die Luftheizung verringert werden. Dies führt zumindest bei winterlichen Umgebungsbedingungen zu einer Steigerung der Reichweite. Allerdings sind die bisher vorgestellten Konzepte ausschließlich für die Beheizung der Flächen geeignet. Mit Hilfe eines Systems, welches auch die Kühlung von Innenraumflächen ermöglicht, könnte aber auch im Sommer eine Reichweitensteigerung erzielt werden.

Um derartige Ansätze bereits in einer frühen Konzept- und Ideenphase zu untersuchen und zu bewerten, wurde bei IAV ein detailliertes Fahrgastzellenmodell mit integriertem Behaglichkeitsmodell entwickelt.

Im Beitrag wird beschrieben, wie mit Hilfe dieses Modells anhand eines beispielhaften Elektrofahrzeuges sowohl für sommerliche als auch für winterliche Umgebungsbedingungen untersucht wurde, welche Reichweitensteigerungen sich durch die gezielte Temperierung insassennaher Flächen erreichen lassen. Die Betrachtungen wurden für unterschiedliche Flächenkombinationen und für verschiedene Oberflächentemperaturen durchgeführt. Im Vortrag werden aus den Ergebnissen dann die technischen Anforderungen an mögliche Heiz- und Kühlsysteme für Interierelemente abgeleitet.

III.13

Sicherheitskonzept und Risikoanalyse für Kühl-Container mit brennbaren Kältemitteln

Dipl. Ing. Holger König^{1,*}, M.Sc. Marius Bararu², Dipl.-Ing. Lars Langfeldt³

¹ ref-tech engineering, Berger Halde 26, 88079 Kressbronn, Deutschland
Holger.Koenig@ref-tech.de

² Maersk Container Industry

³ DNV-GL

* Korrespondenzautor

Die Möglichkeit brennbare Kältemittel in der Containerkühlung einzusetzen, wurde in verschiedenen Veröffentlichungen bereits untersucht und besprochen [1, 2, 3].

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wird ein Sicherheitskonzept für Kühl-Container mit brennbaren Kältemitteln vorgestellt. Hierbei wurden vor allem die verschiedenen Betriebsbedingungen für intermodale Container berücksichtigt.

Das Sicherheitskonzept basiert einerseits auf dem Stand der Sicherheits-Technik und normativen Anforderungen für Kältetechnik, andererseits auf den Anforderungen des Betriebes, wie auf Schiffen, Terminals, landbasierenden Transporten, Lagerung, Service und Wartung und damit vor allem auf den Erkenntnissen einer vorgängigen Risikoanalyse.

Der hier angewendete HAZOP Evaluationsprozess zur Ermittlung von Risiken wird besprochen und deren Ergebnisse dargestellt. Exemplarisch werden weiterhin Fälle einer FTA Analyse besprochen. Die sich hieraus ergebenden Änderungen für das Design und die Konstruktion der Kälteanlage sowie für den Kühlcontainer werden erläutert. Weiterhin wurden die Anforderungen aus der Risikoanalyse für den Betrieb und die Wartung analysiert.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass der Betrieb von Kühl-Containern mit brennbaren Kältemitteln gut technisch beherrscht werden kann, obwohl aufgrund der brennbaren Eigenschaften ein gewisses Restrisiko vorhanden sein kann. Dennoch sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten - mit den Design-Änderungen am Kühlcontainer und der Kälteanlage - so klein, dass von einem akzeptablen Restrisiko bei der Verwendung von brennbaren Kältemitteln in Kühlcontainern ausgegangen werden kann.

- [1] König, H., Enkemann, T.: Risk Assessment and Standards survey for use of flammable refrigerants in transport refrigeration application, 2nd IIR int. Conf. Cold Chain, Paris, France, April 2.-4., 2013
- [2] König, H., Enkemann, T.: Einsatz von brennbaren Kältemitteln in der Containerkühlung: Stand der Normung und Risikobewertung, DKV Jahrestagung 2013, Hannover
- [3] König, H., Bararu, M., Langfeldt, L.: Risk Assessment for Reefer Containers with Flammable Refrigerants, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, August 31-September 2, 2014, Hangzhou, China

III.14

Minimierung der Füllmenge eines R134a/CO₂-Bordkühlsystems für Verkehrsflugzeuge

Johannes Chodura*, Prof. Frank Thielecke

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Flugzeug-Systemtechnik,
Neßpriel 5, 21129 Hamburg, Deutschland
johannes.chodura@tuhh.de, frank.thielecke@tuhh.de

* Korrespondenzautor

Am INSTITUT FÜR FLUGZEUG-SYSTEMTECHNIK der TECHNISCHEN UNIVERSITÄT HAMBURG-HARBURG wird in Zusammenarbeit mit der AIRBUS OPERATIONS GMBH ein fortschrittliches Bordkühlsystem für Großraum-Verkehrsflugzeuge entwickelt und experimentell untersucht. Dieses wird mit dem natürlichen Kälteträger Kohlenstoffdioxid (CO₂ / R744) betrieben. Bordkühlsysteme werden in Ergänzung zur Flugzeug-Klimaanlage genutzt und stellen ein gesondertes Temperaturniveau zur Kühlung von Speisen und Getränken sowie von Unterhaltungselektronik und Avionik-Komponenten bereit. Wesentlicher Entwicklungstreiber sind das hohe Potential zur Gewichtseinsparung sowie die kompakte Bauweise.

Im Fokus der Veröffentlichung steht die Beschreibung eines indirekten Kühlsystems mit dem sekundären Kälteträger CO₂, welches der Kälteverteilung innerhalb des Flugzeugs dient. Die Kälteerzeugung wird mit dem primären Kältemittel R134a umgesetzt. Das zweiphasige CO₂ ersetzt die aktuell verwendeten Flüssigkeiten Galden® HT135 bzw. Propylen-Glykol-Wasser. Abgesehen von den erwähnten Vorteilen besitzt CO₂ den Nachteil hoher Systemdrücke, die sich insbesondere im Stillstandsfall und umso stärker bei hoher spezifischer Anlagenfüllmenge negativ auswirken. In dieser Schrift wird ein Ansatz vorgestellt, um das System mit minimaler Anlagenfüllung und möglichst geringer Systemkomplexität betreiben zu können.

Stichwörter:

Verkehrsflugzeug, R744, CO₂, Anlagenfüllmenge, Luftfahrt

III.15

Klimatisierungskonzepte für den Einsatz in Elektrobussen-Systematischer Vergleich von Klimatisierungskonzepten vor dem Hintergrund der Verbrauchsminimierung

Tu-Anh Ly^{1,*}, Dietmar Göhlich²

¹ Technische Universität Berlin, Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Deutschland
tu-anh.ly@tu-berlin.de

² Technische Universität Berlin, Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Deutschland
dietmar.goehlich@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der zunehmenden Verknappung fossiler Energieträger werden zunehmende Anstrengungen unternommen, um die Elektrifizierung von Fahrzeugen voranzutreiben. Ein Ansatz zeigt die Elektrifizierung des ÖPNV.

Klimatisierung und Beheizung von Elektrobussen im öffentlichen Stadtverkehr können unter Extrembedingungen 50 % des Gesamtenergiebedarfs ausmachen. Ferner sind aktuell verbaute Heiz- und Kühlaggregate auf Fahrzeuge mit konventionellen Diesel-Antrieben ausgelegt und damit für Elektrobusse nur beschränkt geeignet. Die benötigte Energie muss durch den Energiespeicher bereitgestellt werden und führt zu Abstrichen in der Reichweite oder Behaglichkeit. Durch den Betrieb eines Elektrofahrzeugs im ÖPNV mit höherer Betriebszeit vervielfacht sich die Bedeutung der Klimatisierung für den Verbrauch zusätzlich.

Im Rahmen des Projekts E-Bus-Berlin im Schaufenster Elektromobilität wird untersucht mit welchem Klimatisierungskonzept die Behaglichkeit der Insassen mit weniger Energieeinsatz erreicht werden kann. Die Untersuchung basiert auf einem Simulationsmodell, welches in Matlab/SIMULINK und Modelica/Dymola aufgebaut und mit Hilfe von Messungen verifiziert wurde.

Es zeigte sich, dass der Einsatz einer CO₂-Wärmepumpe bei moderaten Umgebungstemperaturen effizient ist, jedoch bei extremen Umgebungstemperaturen nicht ausreicht, um die erforderliche Behaglichkeit herzustellen.

Stichwörter:

Elektromobilität, ÖPNV, Klimatisierungskonzepte, Simulation

III.16

Zum Einfluss von Türöffnungszeiten auf die Kühl- bzw. Heizlast in Fahrzeugen des ÖPNV

Ingwer Ebinger

HAW Hamburg, Department für Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau,
Berliner Tor 9, 20099 Hamburg
ingwer.ebinger@haw-hamburg.de

Kennzeichnend für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) sind kurze Haltestellenabstände und somit häufige Türöffnungsphasen. Um einen raschen Fahrgastwechsel auch bei großem Personenaufkommen zu ermöglichen, sind in den Fahrzeugen sehr große, oft zweiflügelige, Türen installiert. Während die Türen an den Haltestellen geöffnet sind, findet ein ungewollter Luftwechsel zwischen dem Fahrgastrum und der Außenluft statt. Infolge der dadurch auftretenden Wärme- und Feuchtigkeitsströme wird die Kühl- bzw. Heizlast im Fahrgastrum beeinflusst. Um den gewünschten Raumluftzustand aufrecht zu erhalten, muss die Klimaanlage so dimensioniert sein, dass sie in der Lage ist, die auftretenden Lasten zu kompensieren.

In dem Vortrag werden die allgemeinen theoretischen Zusammenhänge beim Luftwechsel durch große Öffnungen infolge von Temperaturunterschieden erläutert und diverse Einflussparameter vorgestellt. Die Gegenüberstellung der mithilfe unterschiedlicher Berechnungsansätze, die sowohl aus der Gebäudetechnik als auch aus dem Gebiet der Kühlagerung bekannt sind, ermittelten Luftvolumenströme zeigt eine enorme Streubreite. Eine Möglichkeit zur Beeinflussung des Luftwechsels bietet der Einsatz von Türluftschleiern. Stehen der erwartete Nutzen und der notwendige technische und energetische Aufwand für eine solche Lösung in Fahrzeugen in einem vertretbaren Verhältnis?

Bei Kenntnis der Türöffnungszeiten und des dadurch zu erwartenden Luftvolumenstromes kann das Verhältnis dieser temporären Störgröße auf die gesamte Kühl- und Heizlast und somit auf die erforderliche Leistungsfähigkeit der Klimaanlage bewertet werden.

Stichwörter:

Kühl- und Heizlast, Türöffnung, ÖPNV

III.17

Vergleich und Bewertung von CO₂-Prozessvarianten zur Kälte- und Wärmeerzeugung für Supermärkte

Uwe Sievers*, Viktor Balko

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Department Maschinenbau und Produktion,
Fachgebiet Technische Thermodynamik, Anlagenbau, Kältetechnik, Berliner Tor 21, 20099 Hamburg
uwe.sievers@haw-hamburg.de

* Korrespondenzautor

Für die Normal- und die Tiefkühlung in Supermärkten werden CO₂-Kälteanlagen eingesetzt. Der von einer solchen Anlage abgegebene Wärmestrom kann während der Heizperiode (teilweise) zur Beheizung des Supermarkts genutzt werden. Obwohl diese Möglichkeit der Kälte-Wärme-Kopplung schon lange bekannt ist, wird sie erst seit kurzem verstärkt eingesetzt. Wenn der von der Kompressionskälteanlage unter den für Normal- und Tiefkühlung optimalen Betriebsbedingungen abgegebene Wärmestrom für die Supermarktbeheizung nicht ausreicht, werden in der CO₂-Anlage andere Betriebsparameter eingestellt, die zu einem größeren an den Supermarkt abgegebenen Heizwärmestrom führen. Auf diese Weise wird der direkte Einsatz fossiler Energieträger für die Supermarktbeheizung reduziert und evtl. ganz vermieden. Dieses kann jedoch zu Lasten der Energieeffizienz der Kälteerzeugung gehen und einen erhöhten Bedarf an elektrischer Antriebsenergie für die CO₂-Anlage erfordern.

Verschiedene Prozessvarianten von CO₂-Anlagen zur Kälte- und Wärmeerzeugung für einen Supermarkt werden vorgestellt. Sie werden hinsichtlich des erforderlichen Energie- und Exergiebedarfs bei verschiedenen Umgebungstemperaturen für vorgegebene Anforderungen an Normal- und Tiefkühlung unter besonderer Beachtung der Wärmeerzeugung mit einander verglichen. Zur Bewertung der gekoppelten Kälte- und Wärmeerzeugung werden für die einzelnen Prozessvarianten geeignete Kenngrößen angegeben. Optimierungsmöglichkeiten für die CO₂-Anlage werden vorgestellt.

III.18

Erfahrungen aus dem Monitoring eines energieeffizienten Supermarkts

Dipl.-Ing. Nicolas Réhault

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg

Im Rahmen des EnOB-Programms vom BMWi wurde 2010 ein neues Energiekonzept für eine Filiale der Lebensmittelhandelskette ALDI SÜD erarbeitet und realisiert. Mit der Kombination zahlreicher Einzelmaßnahmen in den Bereichen Kälteerzeugung, Kühlmöbel, Gebäudehülle und Haustechnik sollte der Primärenergiebedarf um 29 Prozent gegenüber einer Standardfiliale gesenkt werden. Im Kern des Konzepts steht ein geothermisch gestützter CO₂-Kälteverbund, der alle Energiedienstleistungen im Bereich Kälte und Wärme abdeckt. Bis Ende Juni 2013 wurde der Supermarkt einem intensiven wissenschaftlichen Monitoring unterzogen, das eine detaillierte Auswertung und eine Optimierung des Betriebs und der Effizienz des Konzepts lieferte. In diesem Artikel zeigen wir die Grundlagen des Energiekonzepts, die Ergebnisse aus dem intensiven Monitoring sowie die gewonnenen Erfahrungen für die Planung und die Betriebsführung energieeffizienter Supermärkte.

III.19

Effiziente Kälteerzeugung im Supermarkt mittels CO₂-Booster-Kälteanlage und Ejektor

Erik Wiedenmann^{1,*}, Jonas Schönenberger¹,
Armin Hafner², Krzysztof Banasiak², Sergio Girotto³

¹ FRIGO-CONSULTING AG., CH-3073 Gümligen, Switzerland.
j.schoenenberger@frigoconsulting.ch

² SINTEF Energy Research, 7465 Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

³ Enex srl, Via Veneto 12, 31038 Padernello di Paese (TV) – Italy
sergio.girotto@enex-ref.com

* Korrespondenzautor

Die transkritischen CO₂-Kälteanlagen erleben in der gewerblichen und industriellen Kältetechnik eine Renaissance. In Kombination mit Ejektoren gelten sie unter Kältefachleuten als eine der zukünftigen Technologien, insbesondere in der gewerblichen und industriellen Kältetechnik. Die Einbindung der Ejektoren führt zu einer markanten Effizienzsteigerung. Diese trägt dazu bei, dass die CO₂-Kälteanlage auch in südlichen Regionen vermehrt zum Einsatz kommen wird.

Seit Anfang Juli 2013 wird die modernisierte Supermarkt-Verkaufsstelle Migros Bulle, Schweiz mit einer transkritischen CO₂-Kälteanlage betrieben, welche in Sachen Energieeffizienz neue Massstäbe setzt. Dank der Einbindung von mehreren Ejektoren in eine transkritische CO₂-Kälteanlage können interne Verluste reduziert und eine Energieeinsparung erzielt werden. Die Messdatenerfassung liefert seit Sommer 2013 hilfreiche Informationen um den Betrieb der CO₂-Kälteanlage zu optimieren sowie die Ejektor-Technologie weiter zu entwickeln.

Zum Zeitpunkt der DKV-Tagung liegen Betriebsdaten von rund einem Jahr vor, insbesondere von Sommer 2014. Das System und die Einbindung der Ejektoren wird vorgestellt. Aktuelle Messdaten und deren Auswertung sowie daraus gewonnene Erkenntnisse werden präsentiert. Chancen und Risiken werden aufgezeigt und weitere Anwendungsgebiete dargestellt.

Stichwörter:

Transkritische CO₂-Booster-Kälteanlage, Parallelverdichtung, R744-Ejektor, Supermarkt- und Gewebekälte, Effizienzsteigerung

III.20

Analyse und Simulation eines Supermarkt-Gesamtsystems in Norwegen

Maren Titze^{1,*}, Nicholas Lemke¹, Armin Hafner², Jürgen Köhler¹

¹ Technische Universität Braunschweig, Institut für Thermodynamik,
Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig, Deutschland
M.Titze@tu-bs.de

² SINTEF, Energy Research, Kolbjørn Hejes vei 1d, 7465 Trondheim, Norwegen

* Korrespondenzautor

Der Anteil des Energieverbrauchs von Supermärkten am Gesamtenergieverbrauch in Europa liegt zwischen 1,4 % und 4 %. Davon werden zwischen 30 % und 70 % für die Kälteanlage benötigt. Circa 13 % werden von der Lüftungs- und Klimaanlage verbraucht. Eine generelle Einteilung dieser Größen

ist allerdings schwierig, da diese von vielen Faktoren, wie Wetterbedingungen, dem Verhalten von Angestellten und Kunden und der Beleuchtungssituation abhängen. Darüber hinaus ist eine Bewertung der Einzelsysteme wenig aussagekräftig, da sie keine Information über die Effizienz des Gesamtsystems beinhalten. In einem Supermarkt mit Wärmerückgewinnung kann der Verbrauch für die Kälteanlage sehr hoch liegen, während die Lüftungsanlage kaum elektrische Energie verbraucht. Eine genaue Analyse der Verbräuche der Einzelsysteme ist oft nicht möglich, da nicht genügend oder keine Messdaten zur Verfügung stehen.

Das norwegische Forschungsinstitut SINTEF und das Institut für Thermodynamik der Technischen Universität Braunschweig haben ein Gesamtsystem für einen Supermarkt in Norwegen entwickelt. In dem Supermarkt wurde ein CO₂-booster System eingebaut, welches neben der Funktion als Kälteanlage zusätzlich als Wärmepumpe genutzt werden kann. Wärmerückgewinnung wird sowohl über die Nutzung der Abwärme durch die Lüftungsanlage als auch über Fußbodenkreisläufe realisiert. An kalten Wintertagen kann eine Erdwärmesonde als zusätzliche Wärmequelle für das Wärmepumpensystem. Im Sommer, kann die Abwärme aus der Kälteanlage an die Sonden abgegeben werden. Der Supermarkt ist seit August 2013 in Betrieb. Etwa 600 Messwerte, wie Wärmeströme, Temperaturen und Drücke werden kontinuierlich geloggt. Dadurch konnte eine detaillierte Analyse des Systems durchgeführt werden. Zusätzlich wurde das System in einem dynamischen Modell abgebildet. Verschiedene Regelungsstrategien und Verschaltungen wurden getestet, um somit die Einsparpotentiale der verschiedenen Betriebsmodi zu vergleichen.

Stichwörter:

Supermarkt, Wärmerückgewinnung, CO₂ System

III.21

Transient Modeling of Heat Pump Systems under Frosting and Defrosting Conditions

Jiazen Ling, Hongtao Qiao, Vikrant Aute, Reinhard Radermacher*

Center for Environmental Energy Engineering
4164 Glenn Martin Hall, University of Maryland
College Park, Maryland 20742

*Corresponding author

Most of the existing work on transient modeling of vapor compression cycles has been carried out with the aim of developing controls. Such an application does not warrant a detailed transient model as long as the model can reproduce the trends and the effect of control actuators. There are other operating conditions such as frosting and defrosting deserving a more comprehensive transient analysis. Under the frosting conditions, heat pump systems often experience a degradation in performance due to air-flow blockage in the evaporator which leads to the decrease in heat transfer on both air-side and the refrigerant-side. During the defrosting process, refrigerant-side experiences radical flow regime changes resulting from the sudden switch in the system operating mode. Furthermore, the system performance may be penalized by additional energy consumption such as the one required for defrosting. Modeling these transient characteristics under frosting and defrosting conditions is demanding because it requires not only a thorough understanding of the underlying complex physical phenomenon but also a sound foundation in numerical analysis. A heat exchanger model which reflects the physics behind the frosting and defrosting phenomenon is the key to robust transient simulation of heat pumps. In this paper, a first-principles model for predicting frost growth and accumulation on tube-fin heat exchangers is presented. A novel scheme is proposed to solve the air flow redistribution by linearizing the system of non-linear air pressure drop equalization equations, which can significantly accelerate the simulation. Unlike the existing defrosting models which separate the analyses for tubes and fins, the proposed defrost model unifies them to maintain model consistency. The frosting and defrosting heat exchanger models developed in this research allow for a more realistic assessment of heat pump systems.

III.22

Energetische Optimierung von NH₃-Kälteanlagen mittels Simulation

Sven Försterling^{1*}, Hans-Heinrich Prohl², Ralf Lehner², Jürgen Köhler³

¹ TLK-Thermo GmbH, Hans-Sommer-Str. 5, 38106 Braunschweig
s.foersterling@tlk-thermo.de

² Volkswagen AG, 38436 Wolfsburg
hans-heinrich.proehl@volkswagen.de, ralf.Lehner@volkswagen.de

³ TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik, 38440 Braunschweig
juergen.koehler@tu-bs.de

*Korrespondenzautor

Die Strategien „Think Blue. Factory.“ der Marke Volkswagen sowie „Think Blue. Engineering“ der Technischen Entwicklung von Volkswagen sind neue Managementansätze zur konsequenten Umsetzung des „Think Blue.“-Konzepts, eines ganzheitlichen Ansatzes zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Fertigungsstandorten. Verfolgt wird eine Strategie, die Ökologie und Ökonomie im Produktionsprozess in Einklang bringt. Ziel ist Umweltbelastungen durch den Produktionsprozess bis 2018 um 25 % pro Fahrzeug zu senken. Damit diese Absicht zum Erfolg führt, sollen bestehende Werke im Sinne von „Think Blue.“ systematisch zu ökologischeren Fabriken entwickelt werden.

Für die Erzeugung von Prozess- und Raumkälte benötigt Volkswagen an seinen Standorten eine Vielzahl von stationären Kälte- und Klimaanlagen. Für die Konzeption und Planung neuer Kälteanlagen mit NH₃ als Kältemittel, dessen Einsatz in Zukunft für die Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden geplant ist, wird daher eine energetische und ökologische Optimierung angestrebt.

Im Rahmen dieser Publikation werden Ergebnisse einer begleitenden Studie dargestellt, deren Ziel die energetische Untersuchung und Optimierung der geplanten Kälteanlagen (TEWI) mittels einer Simulationsrechnung ist.

Stichwörter:

Chiller, NH₃, energetische Optimierung, Modellierung

III.23

Die neue IEC 82079-1 Konkrete Anforderungen an die Technische Dokumentation

Dagmar Schwarz

fourpeople® gmbh, Krummgasse 6, 88131 Lindau, Deutschland
schwarz@fourpeople.de

Mit der neuen internationalen Norm IEC 82079-1:2012-08 liegt ein überarbeitetes Regelwerk zum Erstellen von Anleitungen vor, das allgemeine Prinzipien und detaillierte Anforderungen bündelt. Die Anforderungen der Norm zu Gliederung, Inhalt und Darstellung sind eindeutig und gelten uneingeschränkt für kleine sowie große und komplexe Produkte. Verständlichkeit, Inhalt, Struktur, Aussehen und Gestaltung, sowie die verwendete Sprache werden konkreter definiert als zuvor.

Für alle, die an der Erstellung der Technischen Dokumentation beteiligt sind (Technische Redakteure, Produktmanager, Softwareentwickler, Übersetzer und Illustratoren) bietet die Norm Hinweise.

Den Marktüberwachungsbehörden wurde empfohlen sich bei der Umsetzung des Produktsicherheitsgesetzes an der IEC 82079-1:2012-08 zu orientieren. Ein Augenmerk verdient auch der neue Bußgeldkatalog für fehlerhafte Informationen in Technischen Dokumentationen.

Die Präsentation gibt einen grundlegenden Überblick zur Norm und ihre Bedeutung in der Technischen Dokumentation. Die wichtigsten Inhalte werden erläutert und Möglichkeiten zur praxisgerechten Umsetzung dargelegt.

Stichwörter:

Technische Dokumentation, Anleitungen, Betriebsanleitungen, Gebrauchsanweisungen, Handbücher

III.24

Wie dicht sind Kälte- und Klimaanlagen in Deutschland? Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes

**Barbara Gschrey^{1*}, Thomas Kimmel¹, Bastian Zeiger¹, Winfried Schwarz¹
Thomas Bader², Sonja Popp², Michael Kauffeld³**

¹ Öko-Recherche GmbH, Münchener Str. 23, 60329 Frankfurt

² Coneer GmbH, Liebigstrasse 21A, 97080 Würzburg

³ Hochschule Karlsruhe, FB. Maschinenbau, Postfach 24 40, 76012 Karlsruhe

*Korrespondenzautor

Europäische und deutsche Klimaschutzziele sehen signifikante Emissionseinsparungen vor und wurden in Deutschland parteiübergreifend angenommen. Laut dem Energiekonzept der Bundesregierung sollen Treibhausgas-Emissionen in Deutschland bis 2020 um 40 % und bis 2050 um mindestens 80 % reduziert werden. Die Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung (ChemKlimaschutzV) ist ein wichtiges Instrument der Bundesregierung um Treibhausgas-Emissionen durch Kältemittelverluste aus Kälte- und Klimaanlagen zu verringern.

Das Forschungsvorhaben „Konzept zur Bewertung der technischen Innovationen zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben bei stationären Kälte- und Klimaanlagen“ wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und unter Anleitung des Umweltbundesamtes zwischen Mai 2013 und Oktober 2014 durchgeführt. Ziel des Vorhabens war unter anderem, zu klären, welche technischen Innovationen für die Einhaltung der Grenzwerte der ChemKlimaschutzV notwendig waren und in welchem Umfang sie bereits realisiert sind.

Als Datengrundlage dienten Begehungen von über 300 Kälteanlagen in neun Bundesländern, die zum Teil in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden durchgeführt wurden. Während dieser Begehungen erfassten zertifizierte Kältetechniker Ursachen für Emissionen, Nachfüllmengen von Kältemitteln, Reparaturen oder konstruktive Veränderungen an den Anlagen sowie die Qualität der Dokumentation seit Inkrafttreten der Verordnung. Weiterhin wurden Daten aus elektronischen Erfassungssystemen ausgewertet. Hierfür standen durch Zusammenarbeit mit dem VDKF auch Daten von knapp 35.000 Anlagen aus dem VDKF-Lec System zur Verfügung. Außerdem wurden Daten einer führenden deutschen Discounter-Kette ausgewertet.

Im Vorhaben wurden auch ein Katalog von relevanten technischen Neuerungen und Verbesserungen sowie ein Handbuch für Dichtheitskontrollen erarbeitet.

III.25

Die neue EU F-Gase VO: Eine Revolution für die Branche

Andrea Voigt

EPEE, Avenue des Arts 46, 1000 Brüssel, Belgien
a.voigt@epeeglobal.org

Die neue EU F-Gase VO 517/2014 ersetzt die bisher gültige EU VO 842/2006 und wird für eine Umwälzung des Marktes sorgen. Neben den begleitenden GWP Grenzwerten für bestimmte Anwendungen ist die mit Abstand spektakulärste, aber auch komplexeste Maßnahme der neuen Verordnung der Phase-down der HFKWs um 79 % bis 2030. Wie funktioniert er und welche Auswirkungen wird er für die Branche und die Verbraucher haben? Unsere Branche trägt eine hohe Verantwortung, denn mit den neuen F-Gas Regeln hat sich Europa definitiv in eine Vorreiterrolle im weltweiten Kontext katapultiert. Sollten wir scheitern, dann wird dies globale Folgen haben – insbesondere in Bezug auf die Verhandlungen um einen weltweiten Phase-down der HFKWs. Und dies wäre wiederum fatal für die europäische Industrie. Wir haben alle Trümpfe in der Hand – Technische Innovation, Kompetenz, Energieeffizienz – jetzt heißt es, sie richtig auszuspielen.

Dieser Vortrag stellt die neue F-Gase VO in Kürze vor mit Schwerpunkt auf dem neu eingeführten Phase-down und den Anforderungen, die damit auf die Branche zukommen.

Stichwörter:

Kältemittel, HFKWs, Phase-Down, GWP, F-Gase Verordnung

Notizen

IV.01

Plus-Energie-Gebäude: Konzept mit Zukunft – Demonstrationsprojekt Berghalde

Dipl.- Ing. Franziska Bockelmann*, Prof. Dr.-Ing M. Norbert Fisch,
M Sc. Christian Kley

Technische Universität Braunschweig, Institut für Gebäude- und Solartechnik,
Mühlenpförtstraße 23, 38106 Braunschweig
Tel. 0531 / 391-3557, Fax. 0531 / 391-8125,
bockelmann@igs.tu-bs.de

* Korrespondenzautorin

Nachhaltige Energiekonzepte spielen im energieeffizienten Bauen eine übergeordnete Rolle. Dabei stellt das realisierte Plus-Energie-Wohnhaus mit einer hohen solaren Eigenstromnutzung eine der Antworten auf die Herausforderungen unserer zukünftigen Energieversorgung dar. Das Projekt ist ein vorbildliches Beispiel für die integrale Planung und ermöglicht die Erforschung zukunftsorientierter Technik- und Energiekonzepte schon heute.

Im Rahmen des von der Forschungsinitiative ZukunftBau und vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung geförderten Forschungsprojekts wird ein ganzheitliches Monitoring- und Optimierungsprogramm durchgeführt, um gesicherte Kenntnisse über die Performance des Gebäudes und der Anlagen zu erlangen sowie zu dokumentieren. Ein weiterer Schwerpunkt sind die Optimierungsmaßnahmen zur Steigerung des Eigenstromanteils.

Das integrale Gebäudekonzept vereint das Zusammenspiel von architektonischen Überlegungen zu Ausrichtung und Gebäudeform, eine hochwertige und luftdichte Gebäudehülle mit niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten sowie eine energieeffizienten Gebäudetechnik zur Wärme- und Stromversorgung.

Neben der regenerativen Energieerzeugung über eine erdgekoppelte Wärmepumpe sowie der PV-Anlage (15 kWp) steht eine hohe solare Eigenstromnutzung im Mittelpunkt des Projekts, wodurch das öffentliche Stromnetz entlastet wird. Erreicht wird dies durch eine entsprechend abgestimmte Gebäudetechnik, ein Batteriesystem (7 kWh und 20 kWh) und ein intelligentes Stromlast-Management.

Um den Eigenstromverbrauch zu maximieren, werden verschiedenste Maßnahmen umgesetzt, u.a. Optimierung des Wärmepumpenbetriebes, vorzugsweiser Betrieb der Haushaltsgeräten tagsüber, Nutzung der thermischen Speichermasse, etc.

Der Schwerpunkt des Vortrages liegt auf dem ganzheitlichen Energiekonzept und den Ergebnissen zur Anlagen- und Gebäudeperformance sowie den Energiebilanzen über mittlerweile drei Betriebsjahre. Die jährlich aus der PV-Anlage erzeugte Energie liegt bis zu 80 % höher als der Gesamtjahresstromverbrauch des Hauses. 2012 und 2013 konnten ca. 30 % des selbst produzierten Stroms direkt im Haus genutzt werden, die restlichen 70 % wurden in das öffentliche Netz eingespeist. Der Stromverbrauch Gebäudes wurde somit zu rd. 30 – 50 % direkt von der PV- Anlage gedeckt.

Stichwörter:

Energieplus, Optimierung, Eigenstromverbrauch, Energiekonzept

IV.02

Kaltluftabfall im Treppenhaus des „Effizienz-Plus-Hauses“ in Berlin

Klaus Fitzner*, Florian Bräuer

Klimakonzept Ingenieurgesellschaft, 14052 Berlin
Klaus.fitzner@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Das „Effizienzhaus“ hat zwei Etagen, die mit einem innenliegenden weitgehend offenen Treppenhaus verbunden sind, das nur zum Teil beheizt wird, obwohl das Treppenhaus auf einer Seite vollkommen verglast ist. Das Gebäude wird mit einer Wärmepumpe mit Fußbodenheizung beheizt.

Es strömt ein großer Volumenstrom aus dem Treppenhaus in den Wohnraum, selbst wenn in beiden Geschossen geheizt wird. Eine messtechnische Untersuchung sollte die Ursache klären.

Der Volumenstrom stimmt gut überein mit den Ergebnissen einer früheren Arbeit von Bernd Kriegel. Bei fehlender Heizung im Obergeschoss addiert sich zu dem Volumenstrom eine weitere Strömung, die zur teilweisen Beheizung des Obergeschosses beiträgt.

Weil heute oft angenommen wird, dass die Wärmedämmung moderner Glasfassaden so gut ist, dass kein Kaltluftabfall mehr auftritt, werden frühere Kenntnisse nicht beachtet. Das wirkt sich nachteilig auf die thermische Behaglichkeit der Nutzer und die Leistungszahl der Wärmepumpe aus.

Stichwörter:

Kaltluftabfall, thermische Behaglichkeit, offenes Treppenhaus, Glasfassade, Wärmepumpe

IV.03

Netzdienlicher Betrieb von Gebäuden Messdaten- und simulationsgestützte Untersuchung von Lastverschiebungsstrategien

Konstantin Klein*, Doreen Kalz, Sebastian Herkel

Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, Abteilung für Solares Bauen,
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Deutschland
konstantin.klein@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

Durch den weiter steigenden Anteil an fluktuierenden erneuerbaren Energien im deutschen Strommix wird neben der Höhe des Stromverbrauches der Bezugszeitpunkt in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Ein Ansatz zur Entlastung des Energiesystems besteht darin, den Strombezug von elektrischen Wärmepumpen und Kältemaschinen unter Nutzung thermischer Speicher in günstigere Zeitbereiche, z.B. mit hoher PV-Einspeisung, zu verschieben.

Im ersten Teil der Untersuchung wird der Strombezug zur Wärmeerzeugung auf Basis von zeitlich hochauflösten Langzeit-Messdaten von 8 Nichtwohngebäuden mit Wärmepumpen-Nennleistungen zwischen 22,5 und 180 kW_{therm} sowie 20 Wohngebäuden (unter 20 kW_{therm}) ausgewertet. Der Kühlfall wird anhand von 4 Nichtwohngebäuden mit reversiblen Wärmepumpen und Kältemaschinen mit Leistungen zwischen 60 und 246 kW_{therm} analysiert. Die Gebäude zeigen deutliche Unterschiede in der Strombezugscharakteristik, lassen sich jedoch grob in zwei Gruppen einteilen. Zur Bewertung der Netzdienlichkeit dient eine dimensionslose Kennzahl R , welche den Strombezug unter Berücksichti-

gung einer zeitaufgelösten netzbasierten Referenzgröße (z.B. EEX-Preis oder Residuallast) mit dem Strombezug unter Annahme einer zeitlich gemittelten Referenzgröße vergleicht.

Im zweiten Teil wird in einem Quervergleich ausgewertet, welche Wärmespeicher im Gebäudebestand typischerweise für eine Lastverschiebung zur Verfügung stehen. Die mittlere auf die nominelle Leistung bezogene Speichergröße liegt bei Wohngebäuden mit ca. $40 \text{ l/kW}_{\text{therm}}$ etwa doppelt so hoch wie bei Nichtwohngebäuden.

Im dritten Teil wird in dynamischen Simulationsstudien für ein Beispielgebäude untersucht, wie sich ein möglichst netzdienliches Verhalten erzielen lässt. Zunächst werden auf Basis der gemessenen Heiz- und Kühllasten verschiedene Regelstrategien unter Einbezug thermischer Speicher verglichen. Darauf aufbauend werden die entwickelten Strategien an einem detaillierten Gebäudemodell getestet und um die Nutzung der thermischen Gebäudemasse als Wärme-/Kältespeicher erweitert. Die Simulationsergebnisse zeigen eine starke Abhängigkeit zwischen Lastverschiebungspotential und Raumkomfort.

IV.04

Evaluative and comparative estimations of the integration ways of a micro household tri-generation/ cogeneration plant powered by low-temperature solar energy

Muhsen Habka*, Salman Ajib

Hochschule Ostwestfalen-Lippe/Höxter, University of Applied Science
muhsen.hapka@hs-owl.de

*Corresponding author

Operation characteristics of micro tri-generation/cogeneration unit powered by low-temperature solar energy for the local uses have been presented and discussed, where the system is based on Organic Rankine Cycle (ORC), Compression Chiller (CC) and eventually an extra heat exchanger. In this study, influence of the integration type on all performances has been also focused, where five scenarios have been analyzed and compared for selecting the optimum one. The unit should concurrently supply the heated and chilled water at specific conditions as main household demands and/or the power as byproduct in summery operation modus according to Germany weather or the like. The investigation results have revealed that the configuration way has significant impact when utilizing a solar energy captured by a pre-installed flat collectors or when designing new one. Moreover, not the thermal efficiency of ORC but the net power gain of the whole plant or coefficient of performance (COP) is the crucial factor when deciding the optimal pattern of such installations. Finally, the optimal connection (**Sc.5**) of the ORC-CC tri-generative/co-generative concept seems to be a promising thought compared with the sorption technology for the mini solar applications.

IV.05

Betriebsoptimierung eines Heizsystems mit Gasabsorptionswärmepumpe

José Luis Corrales Ciganda*, Rupert Graf, Annett Kühn, Felix Ziegler

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2, Marchstraße 18, 10587 Berlin,
Fon: 030/314-28482, Fax: 030/314-22253, jose.l.corralesciganda@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

In einem Berliner Kindergarten wurde 2010 zur Deckung des Wärmebedarfs eine Gasabsorptionswärmepumpe vom Typ Robur GAHP-GS HT installiert, wobei Erdsonden als Wärmequelle dienen. Unterstützt wird die Heiz- und Trinkwarmwasserproduktion durch eine thermische Solaran-

lage. Seit Ende 2011 führt die TU Berlin im Rahmen eines durch die Europäische Union und das Land Berlin im Umweltentlastungsprogramm II mit der Fördernummer 11320UEPII/2 finanzierten Projektes ein Monitoring des Heizsystems durch. Messtechnik zur Ermittlung von Kennwerten der thermischen und elektrischen Effizienz der Gaswärmepumpe war teilweise vorhanden und wurde teilweise nachgerüstet.

Der Jahresnutzungsgrad der Gasabsorptionswärmepumpe lag mit $1,25 \pm 0,1$ für den Zeitraum August 2012 bis August 2013 32 % über dem durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad von Brennwertkesseln von 0,95 (bezogen auf H_i) [1]. Die primärenergiebezogene Effizienz lag aufgrund des systembedingt höheren Stromverbrauches von Gaswärmepumpen gegenüber Kesseln immer noch ca. 20 % über der Referenztechnologie.

Nichtsdestotrotz lag der Jahresnutzungsgrad wie bei Wärmeerzeugern üblich aufgrund von Teillast- und Taktbetrieb unter dem vom Hersteller angegebenen Normnutzungsgrad. Durch eine Analyse der Installation, Verschaltung und Regelung des Heizungssystems wurden Schwachpunkte detektiert, die zu einem unnötig hohen Taktverhalten der Wärmepumpe führten. Durch die Implementierung eines neuen Regelkonzeptes konnte der Taktbetrieb deutlich verringert und der Jahresnutzungsgrad noch einmal um fast 10 % gesteigert werden.

- [1] Wolff, D., Teuber, P., Budde, J., Jagnow, K. Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln, Abschlussbericht, DBU-AZ 14133, 2004

IV.06

Modus- und speicherbasierte Regelung eines Wärmepumpensystems mit Geothermiefeld

Johannes Fütterer*, Martin Schmidt, Dirk Müller

RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center,
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate,
Mathieustraße 10, 52074 Aachen, Deutschland

jfuetterer@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Ein Lösungsansatz zur Steigerung der Energieeffizienz von gebäudetechnischen Systemen ist die exergetisch optimale Nutzung von Energie auf niedrigem Temperaturniveau. Die Entwicklung von Regelstrategien für komplexe Energiesysteme ist dabei eine Herausforderung.

Das E.ON Energieforschungszentrum verfügt über ein wegweisendes Energiekonzept unter Nutzung von Geothermie [1]. Geothermische Energie sowie Wärmeverschiebung bilden in Verbindung mit einer hocheffizienten, durch einen Turbokompressor angetriebenen, Wärmepumpe das Herz des Energiesystems. Mittels Betonkernaktivierung und Fassadenlüftungsgeräten wird Wärme und Kälte im Gebäude übergeben.

Im Energiesystem des E.ON Energieforschungszentrums bieten sich diverse Operationsmodi, als verschiedene Kombinationen aktiver Systemkomponenten, zur Versorgung des aktuellen Energiebedarfs an. Das Gebäude ist als multifunktionaler Prüfstand für Regelungstechnik weiterentwickelt worden und bietet optimale Voraussetzungen für Implementierung und Bewertung von Regelstrategien [2].

Dieser Beitrag beschreibt eine Regelungsstrategie für das komplexe Wärmepumpensystem, die auf einer energetischen Betrachtung des Speicherladezustandes beruht sowie die an exergetischen Gesichtspunkten orientierte Einbindung des Geothermiefeldes. Es werden Messergebnisse des Gebäudebetriebs unter der speicherbasierten Wärmepumpenregelung vorgestellt.

Stichwörter:

Wärmepumpe, Geothermie, Regelung, Regelstrategie, Regelungsstrategie, Wärmepumpenregelung

Referenzen:

- [1] Fütterer J, Constantin A, Müller D. An energy concept for multifunctional buildings with geothermal energy and photovoltaic. In: CISBAT 2011: Cleantech for sustainable buildings: from nano to urban scale: proceedings. Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne; 2011, Lausanne, Switzerland. p. 697–702.
- [2] Futterer J, Constantin A, Schmidt M, Streblow R, Muller D, Kosmatopoulos E. A multifunctional demonstration bench for advanced control research in buildings—Monitoring, control, and interface system. In: Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE; 2013, Austria. p. 5696–5701

IV.07

geo:build – Optimierung der Regelstrategien für den Kühlfall von erdgekoppelten Wärmepumpen

**Franziska Bockelmann^{1,*}, M. Norbert Fisch¹, Lars Kühl², Tim Petruszek²,
Fritz Nüßle³, Burkhard Sanner⁴**

¹ Technische Universität Braunschweig IGS – Institut für Gebäude- und Solartechnik,
Mühlenpförtstraße 23, 38106 Braunschweig
Tel: 0531-3913557, Fax: 0531-3918125, bockelmann@igs.tu-bs.de

² Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften - Fakultät Versorgungstechnik, Wolfenbüttel

³ Zent-Frenger GmbH, Heppenheim

⁴ UBeG GbR, Wetzlar

* Korrespondenzautorin

In modernen Bürogebäuden werden zunehmend geothermische Heiz- und Kühlsysteme eingesetzt, die die klassische Anlagentechnik durch den Einsatz von reversiblen Wärmepumpen und freier Kühlung ergänzen oder ersetzen und damit regenerative Energiequellen nutzen. In bisherigen Forschungsprojekten hat sich gezeigt, dass erdgekoppelte Systeme, im Hinblick auf ihre Effizienz nicht selten eine Diskrepanz zwischen geplanter und realer Betriebsweise aufzeigen.

Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsprojektes "geo:build - Systemoptimierung erdgekoppelter Wärme- und Kälteversorgung von Bürogebäuden – reversible Wärmepumpen und freie Kühlung" ist die Erarbeitung von energetisch sowie wirtschaftlich sinnvollen Kombinationsmöglichkeiten dieser Technologie. Auf Basis von Simulationen, Monitoring und Bestandsdokumentation sollen fundierte Regelungs- und Planungsstrategien für den Wechsel von passiver und mechanischer Kühlung entwickelt werden, die eine optimale Ausnutzung des Erdreiches als saisonalen Speicher ermöglichen. Im Rahmen des in der Kühlperiode 2014 durchzuführenden Feldversuchs werden die erarbeiteten Optimierungspotentiale in der Praxis umgesetzt und analysiert.

Im Fokus des Vortrages steht die Darstellung der Simulations- und Monitoringergebnisse zur Optimierung der Regelstrategien für den Kühlfall sowie die Evaluierung des Feldversuches.

Energiekosten für den Betriebsstrom können durch die optimierte Nutzung des effizienteren freien Kühlbetriebes reduziert werden. Unter der Voraussetzung der Einhaltung des Raumkomforts sowie einer ausgeglichenen Energiebilanz im Erdreich, konnten mittels erster grober Bewertungen der Änderung der Regelstrategien energetische Einsparpotenziale von bis zu 20 % erzielt werden.

Stichwörter:

Optimierung, Kühlfall, passive und mechanische Kühlung, erdgekoppelte Wärmepumpen, regenerative Kühlung

IV.08

Mathematisches Modell zur Ermittlung der Zuverlässigkeit der Kälteversorgung

Dipl.-Ing.(FH) Dennis Pfeil^{1,*}, Prof. Dr.-Ing. Olaf Streleow², Prof. Dr.-Ing. Ullrich Hesse³

¹ Bosch Thermotechnik GmbH, Entwicklung Wärmepumpen und Kältekreisläufe,
Justus-Kilian-Straße 1, 35453 Lollar

² Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Thermodynamik,
Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse, Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

³ Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und
Kompressorentechnik, 01062 Dresden

*Korrespondenzautor

Komplexe Systeme der Kälteversorgung bestehen aus einem verzweigten Rohrleitungssystem mit angeschlossenen Verbrauchern, Erzeugern und Speichern. Diese technischen Systeme sind derzeit steigenden Ansprüchen hinsichtlich ihrer Funktionalität und der damit verbundenen Komplexität unterworfen. Innovative Lösungen führen häufig zu einer Verbesserung der Anlageneffizienz, andererseits steigt mit ihnen die Anzahl möglicher Störungen des Systems. Die Zuverlässigkeit technischer Systeme beschreibt quantitativ, inwieweit diese die Qualität ihrer Funktion unter definierten Nutzungsbedingungen bewahren können. Der Zuverlässigkeit liegen stochastische Prozesse zugrunde, die mit Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung beschrieben werden können. Dazu wird die Verwendung der Theorie der Markov'schen Prozesse vorgeschlagen. Im Vortrag wird ein allgemeines mathematisches Modell zur quantitativen Bewertung der Verfügbarkeit (Versorgungssicherheit) von Kältesystemen und Rohrleitungsnetzen vorgestellt. Durch Kombination der Markov'schen Prozesse mit den Ansätzen einer allgemeinen Netztheorie ist eine vergleichende zuverlässigskeitslogische Analyse unterschiedlicher Schaltungsvarianten von Kältesystemen möglich. Das vorgestellte Modell gestattet den direkten Vergleich von Schaltungsvarianten und den involvierten Redundanzen mit ingenieurtechnisch vertretbarem Rechenaufwand. Ziel der quantitativen Zuverlässigenanalyse ist die Prognose der Zuverlässigkeit eines Systems über seine gesamte Betriebszeit. Dadurch ist es möglich, zusätzliche Kosten für Redundanzen den reduzierten Ausfall- und Wartungskosten gegenüberzustellen und somit zu optimieren.

Stichwörter:

Zuverlässigkeitstechnik, Zuverlässigenanalyse, Bedienungstheorie, Markov-Modelle

IV.09

Bionik in thermischen Verteilnetzen

M. Sc. Hossein Sagheby*, Dr.-Ing. Karsten Tawackolian, Dr.-Ing. Ivo Boblan,
Dipl.-Ing. Michael Schmid, Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel

TU-Berlin, Fachgebiet Gebäude-Energie-Systeme,
Marchstr. 4, 10587 Berlin, Deutschland

hosagheby@win.tu-berlin.de, karsten.tawackolian@tu-berlin.de
ivo.boblan@tu-berlin.de, schmid@tu-berlin.de, m.kriegel@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

In der Wissenschaftsdisziplin der Bionik werden Naturprinzipien identifiziert und abstrahiert, um technische Probleme zu lösen.

Im Rahmen des hier vorgestellten BioNet-Projektes werden bionische Lösungen vorgeschlagen und bewertet, um hydraulische Verluste in Wärme- und Kältenetzen zu reduzieren. Eine Vielzahl von

bionischen Entwicklungen wie widerstandsmindernde Oberflächen, Trägermediumzusätze, alternative Pumpen und bionische Bauteile, die noch nicht in thermischen Verteilnetzen Verwendung finden, werden dabei untersucht.

Um das Potential der bionischen Entwicklungen für die Widerstandsminderung in thermischen Verteilnetzen zu beurteilen wurde ein neuer hydraulischer Prüfstand zur Bestimmung von Druckverlusten konzeptioniert.

Neben Experimenten werden im Projekt auch numerische Simulationen (CFD) eingesetzt, um die für Wärme- und Kältenetze geeigneten Ansätze zu adaptieren, zu bewerten und um das Wirkprinzip der bionischen Entwicklungen zu erklären.

Stichwörter:

Bionik, Optimierung, CFD, Heiznetze, Kühlnetze

IV.10

Ammonia heat pump optimization at high temperature water heating

R. Christensen¹, C. Madsen^{2,*}

¹ Alfa Laval AB, Rudeboksv.1, 221 00, Lund, Sweden
Fax. +4646305090, e-mail: Rolf.Christensen@alfalaval.com

² Danish Technological Institute, Refrigeration and Heat Pump Technology,
Gregersensvej 1, 2630 Taastrup, Denmark
Tel.: 72 20 20 19, e-mail: clma@dti.dk

* Corresponding author

The market for heat pumps with high outlet water temperatures is increasing rapidly, particularly in Europe but also Asia. This interest is also reflecting the development of high pressure ammonia compressors which enables high condensation temperatures.

This paper deals with the possibilities to increase efficiency for high temperature ammonia heat pumps where a relatively large temperature rise on the water side exists. By splitting the condenser into two sections, it is possible to lower the condensing temperature and consequently increase the COP of the system. It is also possible to reach outlet temperatures higher than the condensation temperature. Using the concept, one can also achieve outlet temperatures substantially higher than the condensation temperature, and still recover much more heat than only that available by means of desuperheating.

On the other hand, it is also possible to operate at the same condensing temperature and reduce the required heat transfer area as an alternative. The split in two different sections also make it possible to optimize each condenser section differently, where each section may be optimized to the gas cooling section and the different condensation sections which is important for plate heat exchangers. This article describes the potential of splitting the condenser into two sections and under which circumstances this is possible.

Keywords

Ammonia, Heat Pump, Efficiency, Serial Condensers

IV.11

ECOP Wärmepumpe für den industriellen Einsatz mit bis zu 150°C mit rein gasförmigem Edelgaskreislauf

Bernhard Adler, Sebastian Riepl*

ECOP Technologies GmbH, Perfektastraße 73, 1230 Wien, Österreich
sebastian.riepl@ecop.at

* Korrespondenzautor

Konventionelle Wärmepumpentechnologien weisen Einschränkungen hinsichtlich Flexibilität und erreichbarer Temperaturen auf, wodurch der Einsatz im industriellen Bereich oft nicht realisierbar ist. Die innovative ECOP Hochtemperaturwärmepumpe ist ein neues Produkt für den standardisierten Einsatz bei Anwendungen von bis zu 150°C in der Industrie. Sie verwendet die Zentrifugalkraft als hocheffizienten Verdichter mit Wirkungsgraden von bis zu 99.9 %. Druck und Temperatur des Arbeitsmediums können für den jeweiligen Verwendungszweck durch die Rotationsdrehzahl angepasst werden.

Das Arbeitsmittel wird im Gegensatz zu bisherigen Systemen rein gasförmig betrieben und kann dabei bei verschiedenen Temperaturen die Wärme aufnehmen und abgeben, wodurch gemeinsam mit einem variablen Durchfluss auf der Kreislaufseite als auch auf der Quellen- und Senkenseite ein Maximum an Flexibilität erreicht wird. Die Maschine ist somit in der Lage sich Ihren Umgebungsbedingungen anzupassen. Die hohe Effizienz des Systems wird durch den hocheffizienten Verdichter erreicht und erlaubt es mit wenig (elektrischer) Energie mehr Wärme oder Kälte zu produzieren. Resultat ist eine Maschine, die sich wesentlich von bisherigen Systemen unterscheidet.

Stichwörter:

ECOP, Joule Kreisprozess, Hochtemperaturwärmepumpe, Industriewärmepumpe



IV.12

Integration einer Hochtemperaturwärmepumpe mit Direktverdampfung zur Wärmerückgewinnung in einer Rauchgaskondensationsanlage einer Biomasseverbrennungsanlage

Thomas Fleckl^{1,*}, Christian Ramerstorfer², Alfred Hammerschmid²,
Tomasz Ciepiela³, Karl Ochsner³, Thomas Lachmair⁴, Sebastian Hagn⁴

¹ Austrian Institute of Technology (AIT), Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich
thomas.fleckl@ait.ac.at

² BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Österreich

³ OCHSNER Wärmepumpen GmbH, Krackowizerstrasse 4, 4020 Linz, Österreich

⁴ Scheuch GmbH, Weierfing 68, 4971 Aurolzmünster, Österreich

* Korrespondenzautor

Rauchgaskondensationsanlagen für Biomasseverbrennungsanlagen sind eine bekannte Technologie für die Anwendung in den Bereichen Wärmerückgewinnung, Staubreduktion und Entschwadung des Rauchgases, wie sie typischerweise ab Biomassekesselleistungen von ca. 1 MW_{th} sinnvoll eingesetzt werden können. Rauchgaskondensation ist umso effizienter je stärker das Rauchgas unter den Taupunkt (zwischen 50 und 60°C) abgekühlt werden kann. In der Praxis ist die sinnvolle Nutzung der Niedertemperaturabwärme leider meist sehr eingeschränkt möglich, da der zur Kühlung des Rauchgases verfügbare Heizungsrücklauf (50 und 60°C) häufig zu hohe Temperaturen aufweist, um das Rauchgas deutlich unter dessen Wassertaupunkt abkühlen zu können und daher die Anlagen oftmals nicht ganzjährig in Betrieb sind. Aufgrund dieser Limitierung ist meist keine effiziente Nutzung der Kondensationswärme möglich. Durch die Verwendung von Wärmepumpen, die das kondensierende Rauchgas als Wärmequelle nutzen, können diese Einschränkungen erweitert werden. Um dabei hohe Leistungszahlen zu erreichen ist es notwendig, die Wärmepumpe optimal auf die Einsatzbedingungen abzustimmen. Im vorliegenden Fall wurde der Verdampfer einer Hochtemperaturkompressionswärmepumpe direkt im Rauchgasstrom einer Pilotfeuerungsanlage mit einer thermischen Leistung von 200 kW_{th} integriert. Ein spezieller Fokus wurde dabei auf das Verdampferdesign und die Kältekreiskonfiguration der Wärmepumpe gelegt. Die Anlage wurde erfolgreich in Betrieb genommen und Resultate der ersten Testläufe werden diskutiert.

Stichwörter:

Hochtemperaturwärmepumpe, Direktverdampfung, Rauchgaskondensation,

IV.13

Abwärmemenutzung des größten Klimawindkanals Europas

Michael Hartl^{1,*}, Bernd Windholz¹,
Fathalla Seif El Dine², Tim Selke¹, Anita Preisler¹

¹ AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Energy Department,
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich
michael.hartl@ait.ac.at

² École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire d'Energétique Industrielle,
Route Cantonale Station 9, 1015, Lausanne, Schweiz
seifeldine.fathalla@epfl.ch

* Korrespondenzautor

Der größte Klimawindkanal Europas, der RTA Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH, wird mit drei Verdichtern zu je 1,3 MW Antriebsleistung betrieben, um die Kälte für die unterschiedlichen Versuche bereitzustellen. Dabei fallen jährlich etwa 3,3 GWh Abwärme auf unterschiedlichem Temperaturniveau von 25 bis 85 °C an.

Im Zuge eines Neubauprojekts eines *Nearly Zero Energy* Bürogebäudes in unmittelbarer Nähe zum Klimawindkanal wurde das Abwärmepotential detailliert analysiert und ein Konzept zur optimalen Nutzung der Abwärme in einem Wärmennetz entwickelt.

Insgesamt sollen drei Bürogebäude unterschiedlichen Baustandards angeschlossen werden. Eines der drei Bürogebäude muss mit Raumwärme auf einem Temperaturniveau von rund 65 °C versorgt werden. Dafür bieten sich vor allem die vorhandenen Ölkühler der drei Verdichter und ein zusätzlicher Heißgasentheizer an. Die beiden anderen Bürogebäude haben jeweils ein Niedertemperaturheizsystem und können daher mit dem Hauptanteil der anfallenden Abwärme der Luftkondensatoren versorgt werden.

Das Energiemanagement wird durch den Einsatz eines großvolumigen thermischen Speichers unterstützt.

Die Wahl der Speichergröße und dessen Betrieb wird durch die optimale Energieintegration auf Basis von Simulationsrechnungen mit der Plattform OSMOSE der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* ermittelt.

Stichwörter:

Abwärmemenutzung, Energieintegration, Energiemanagement, Kältemaschine

IV.14

KWKK-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage am Flughafen Düsseldorf

Dr.-Ing. Bernd Schulitz

DBS Ingenieure GmbH, Alexanderstraße 50, 45472 Mülheim, Deutschland
Bernd.Schulitz@dbs-ing.de

Der Flughafen Düsseldorf GmbH FDG betreibt für die Wärmeversorgung ein zentrales Heizwerk mit einem flächendeckenden Fernwärmennetz, aus dem alle Wärmeverbraucher versorgt werden. Für die Grundlastversorgung wurde im Jahre 2010 eine erste BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 2,0 MW und einer Wärmeleistung von 2,2 MW installiert und hydraulisch als Rücklaufanhebung in die Wärmeversorgung des Fernwärmennetzes eingebunden. Die Kälteversorgung erfolgte bisher über dezentrale Kältezentralen und ist den jeweiligen Flugsteigen und dem Zentralgebäude zugeordnet.

Mit dem neuen KWKK-Konzept hat die Flughafen Düsseldorf Energie GmbH FDE nun auch die Kälteversorgung zentralisiert, durch die Schaffung eines Kälteverbundes mit dem hydraulischen Zusammenschluss aller Groß-Kältezentralen zu einem sogenannten SPK Sammel-Punkt-Kälte.

Dieser Kälteverbund verbessert die Redundanz in allen Versorgungsbereichen und mit Hilfe eines $2 \times 25 \text{ m}^3 = 50 \text{ m}^3$ Kaltwasserspeicher im SPK, können alle Kältemaschinen weitestgehend nur noch mit Volllast betrieben werden. Dies verbessert, durch den Verzicht auf Teillastbetrieb, auch die Energiebedarfseffizienz der bisherigen Kälteversorgung.

Zur Grundlastversorgung für die nun zentrale Kälteversorgung wurden 2 St. Absorptions-Kältemaschinen mit einer Kälteleistung von $2 \times 1,25 \text{ M} = 2,50 \text{ MW}$ installiert. Für die WärmeverSORGUNG der AKM-Anlage wurde eine weitere BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 2,0 MW und einer Wärmeleistung von 2,2 MW installiert.

Die BHKW II – Anlage ist in der Ausführung als sogenannte Heissgas-Maschinen mit Vorlauftemperatur bis zu 105°C und hydraulisch als Kaskade nach dem BHKW I zur Rücklaufanhebung in die WärmeverSORGUNG des Fernwärmennetzes eingebunden. Die WärmeverSORGUNG der AKM-Anlage erfolgt also zu 100 % aus der Abwärme der BHKW-Anlagen.

In dem Vortrag werden die Grundlagen für die Entscheidungsfindung zu dieser KWKK-Anlagentechnik erläutert und die wesentlichen technischen Parameter benannt. Es besteht außerdem die Möglichkeit einer Besichtigung der KWKK-Anlage, im Zuge des Besichtigungsprogramms zur DKV-Tagung 2014.

Stichwörter:

KWKK-Anlagen, BHKW, AKM

IV.15

Wärmepumpentechnologie und die Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhaus

Dipl. Ing. (FH) Jan-Christopher Müller

Vaillant GmbH & Co. KG, Berghauser Str. 40, 42859 Remscheid

Die Energiepreisentwicklung, sowie sich verschärfende Regularien, beispielsweise durch die Energieeinsparverordnung (EnEV), erhöhen einerseits die Notwendigkeit für umfassenden planerischen Aufwand beim Bau oder der Modernisierung von Gebäuden. Andererseits führt dies auch zu Innovationsdruck in der Industrie und resultiert in größerer Vielfalt, von Systemlösungen. Gerade die Veränderung des Stromfaktors in der novellierten Fassung der EnEV fördert strombasierte Systeme, so dass vermehrt auch Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern Anwendung finden. Neben der Wärmeerzeugung muss hierbei die Warmwasserbereitung betrachtet werden. Die hierfür notwendigen Temperaturen können von der Wärmepumpe häufig gar nicht oder nur mit geringer Effizienz erreicht werden, was die Beantwortung folgender Fragen erfordert:

1. Wie kann die Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen im Mehrfamilienhaus normkonform realisiert werden
2. Wie hoch sind die Investitionen und laufenden Kosten
3. Welche Lösung ist energetisch am sinnvollsten

Diese Punkte sollen in diesem Beitrag betrachtet werden.

Stichwörter

Wärmepumpe, Mehrfamilienhaus, Warmwasserbereitung, Normkonform, Ökonomisch, energetisch sinnvoll

IV.16

Potentiale der Wärmeverschiebung und -gewinnung mit VRV-Systemen

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Graupensberger

Daikin Airconditioning Germany GmbH, Inselkammerstraße 2, 82008 Unterhaching
graupensberger.t@daikin.de

Die VRV-Technologie ist mittlerweile 30 Jahre alt und hat sich vom Exoten zum festen Bestandteil in der technischen Gebäudeausstattung entwickelt. Allein in Deutschland sind in den letzten drei Jahren über 40.000 Systeme eingebaut worden. Ein Großteil der Anlagen wird in monovalenten Anwendungen betrieben. Speziell im konservativen deutschen Markt haben VRV-Systeme in Bezug auf Energieeffizienz und Komfort gelegentlich immer noch mit Vorbehalten zu kämpfen. Dabei wurden die Geräte gerade in diesem Bereich stark optimiert und brauchen den Vergleich mit der „klassischen“ Klima- und Wärmetechnik nicht scheuen.

Gegenüber den häufig verwendeten VRV-Wärmepumpen-Systemen ermöglicht die VRV Wärmerückgewinnungs-Technologie auch die Möglichkeit vorhandene interne Lasten eines Gebäudes zu verschieben und an anderer Stelle nutzbar zu machen. Dadurch wird der Anteil an Wärmeenergie, der an die Umwelt abgegeben wird, stark reduziert. Dies hat nicht nur Einfluss auf den Komfort, sondern steigert auch die Effizienz des Gesamt-Systems signifikant.

So ist die neuste Generation der VRV IV Wärmerückgewinnungs-Technologie in der Lage die Abtauenergie nicht mehr durch Kreislaufumkehr zu gewinnen sondern bezieht diese durch intelligente Methoden der wechselseitigen Abtauung der Außeneinheiten. Dadurch wird der Einfluss der Abtauung für den Nutzer kaum mehr spürbar. Durch neue, innovative Regelstrategien wird die erforderliche Leistung nicht nur durch die Inverter-Steuerung der Kompressoren erreicht, sondern auch durch die permanente Anpassung der Zieltemperaturen im Kältekreislauf, abhängig vom aktuellen Bedarf des Gebäudes. Durch diese beiden Maßnahmen werden sowohl im Kühl- als auch im Heizfall, bester Komfort sichergestellt.

Die Energiewende in Deutschland, die Klimaziele der EU und die Umsetzung der nZEB-Anforderung ab 2019 stellen für die Wärmepumpen-Branche eine große Herausforderung und Chance zugleich dar. VRV-System können dazu beitragen die zukünftigen Anforderungen zu erfüllen, insbesondere wenn Sie in der Lage sind Abwärme effizient zu nutzen.

IV.17

Beheizung einer Burg mittels Luft/Luft-Wärmepumpen

René Rieberer*, Richard Heimrath

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

* Korrespondenzautor

Um denkmalgeschützte Gebäude auch in der kalten Jahreszeit nutzen zu können, ist in Österreich eine energie- und kostenintensive Beheizung notwendig. Die Installation eines energieeffizienten Heizungssystems in historischen Gebäuden erfordert „minimal invasive“ Eingriffe. Aus diesem Grund wird typischerweise eine Stromdirektzündung eingesetzt.

Dieser Beitrag beschreibt ein alternatives Heizungssystem, das auf Burg Rabenstein installiert wurde: mehrere Luft/Luft-Wärmepumpen mit einer installierten Heizleistung von insgesamt ca. 500 kW. Die Burg umfasst eine Bruttogeschoßfläche von ca. 2500 m². Bei Bedarf (zB. vor/bei Veranstaltungen) werden Räumlichkeiten bzw. thermische Zonen auf behagliche Raumtemperatur gebracht. In diesem

Zusammenhang spielen die Absenktemperatur außerhalb der Betriebszeit sowie die Vorheizdauer und -temperatur eine wichtige Rolle, da die massiven Speichermassen erhebliche Auswirkungen auf die empfundene (operative) Raumtemperatur haben.

Zur Ermittlung der Energieeffizienz der installierten Wärmepumpenanlage wurde ein Monitoring-Konzept entwickelt, die benötigte Messtechnik installiert und im Dezember 2013 in Betrieb genommen. Die Messergebnisse werden in weiterer Folge zur Verifikation der durchgeföhrten thermischen Gebäudesimulationen verwendet, die zur Ableitung energiesparender Absenk-/Aufheizstrategien herangezogen werden sollen.

Stichwörter

Burg Rabenstein, Thermische Gebäudesimulation, TRNSYS, Monitoring, erste Messergebnisse

IV.18

Systematische Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen für Wohngebäude der 50-er und 60-er Jahre – Ergebnisse

Tanja Osterhage*, Davide Calì, Rita Streblow, Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik,
Mathieustraße 10, 52074 Aachen, Deutschland
tosterhage@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautorin

Rund 40 % des Endenergieverbrauchs und etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen entfallen in Europa im Schnitt auf den Gebäudebereich. Dreiviertel der Bestandsgebäude in Deutschland wurden vor 1979 erstellt, diese Gebäude sind gar nicht oder kaum energetisch saniert. Trotz aller politischen Bemühungen liegt die Sanierungsquote momentan im Mietwohngebäudebereich bei knapp 1,1 %. Zur Bewertung der Effizienz energetischer Sanierungsmaßnahmen wurden im Zuge des öffentlich geförderten Forschungsvorhabens drei Wohngebäuderiegel aus den 50/60er-Jahren saniert. Diese drei Gebäuderiegel haben sich besonders für eine detaillierte Analyse angeboten, da sie exakt gleich erbaut, geographisch parallel ausgerichtet und somit den gleichen äußerlichen Einflüssen ausgesetzt sind. Jeder Gebäuderiegel (R1 bis R3) umfasst drei Hauseingänge (E1 bis E3) mit jeweils fünf Geschossen und zehn Wohneinheiten.

Im Zuge der Überlegungen zur Auswahl der Sanierungsvarianten wurden energetische Berechnungen durchgeführt. Diese umfassen sowohl die Berechnungen zur Auslegung der Wärmeerzeuger inkl. der Heizflächen als auch die gesetzlich vorgeschrieben Nachweise nach EnEV, mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Die durchgeföhrten Sanierungsvarianten beziehen sich sowohl auf die baukonstruktive als auch die anlagentechnische Komponente. Um ein breites Spektrum von Sanierungsmaßnahmen umsetzen zu können, werden für Riegel 2 und 3 jeweils drei unterschiedliche Sanierungsvarianten umgesetzt. Zur Überprüfung der Effizienz der eingebauten Technik wurde ein hochauflösendes Monitoring für Räume, Wohnungen und Anlagentechnik (Wandlung, Speicherung, Verteilung und Übergabe) installiert.

Auswertungen zum Jahresenergieverbrauch zeigen deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Sanierungsvarianten. Für Eingang 1 des Riegels 2 (Fernwärme, dez. Lüftung, dez. TWW) kann ein Energieverbrauch (für TWW- und Heizwassersbereitstellung) von monatlich durchschnittlich 6 kWh/(m² * Monat) festgestellt werden. Die Verluste für die Heizung, Speicherung und Verteilung nehmen mit knapp 3 kWh/m² die Hälfte des Verbrauchs ein. Während der Trinkwarmwasserverbrauch sowie die Verteil- und Speicherverluste über das Jahr nahezu konstant bleiben, schwanken die Heizungsverluste mit dem Heizenergieverbrauch. Für Riegel 3 Eingang 1 (WP, dez. Lüftung, dez. TWW) fällt der durchschnittliche Verbrauch mit 4 kWh/(m² * Monat) deutlich geringer aus. Dies lässt sich auf die eingebaute Flächenheizung und die niedrigen Vorlauftemperaturen sowie das Nutzerverhalten zurückführen.

Die Analyse der vorhandenen Messdaten zeigt, dass die Mieter sich in schlecht gedämmten Gebäuden energiebewusster verhalten haben, als in sanierten Gebäuden. Hier steigt der Komfortanspruch. Der tatsächlich gemessene Energieverbrauch liegt über dem im Vorfeld der Maßnahme berechneten Energiebedarf. Diese Lücke kann sowohl technisch erklärt werden, etwa durch fehlerhafte Annahmen bei der Berechnung, als auch durch unterschiedliches Nutzerverhalten sowie fehlerhaft installierte Anlagentechnik. Bei der Planung der baukonstruktiven und anlagentechnischen Sanierung sollte daher der Rebound-Effekt bzw. die Performanz-Lücke Berücksichtigung finden.

Wir danken dem BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Förderkennzeichen 03ET1105A) und E.ON New Build and Technology für die finanzielle Unterstützung.

Stichwörter:

Energetische Sanierung, EnEV, Nachweisverfahren, Nutzerverhalten, Messtechnik, Rebound-Effekt

IV.19

Gebäude-Energiewende – Sanierungsstrategien für private Hauseigentümer

Katrin Ansorge*, Rita Streblow, Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik,
Mathieustraße 10, 52074 Aachen, Deutschland
kansorge@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautorin

Rund ein Drittel des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland wird derzeit genutzt, um Gebäude zu beheizen. Für eine erfolgreiche Energiewende ist es daher besonders wichtig, den Energieverbrauch und die damit verbundenen CO2-Emissionen in diesem Bereich deutlich zu reduzieren. Der Bau von neuen Niedrigenergie-, Passiv- oder „Nullemissionshäusern“ kann bei geringen Neubauquoten hierbei nur einen begrenzten Anteil haben. Die über 18 Millionen bestehenden Wohngebäude müssen auf eine nachhaltige und klimafreundliche Wärmeversorgung umgestellt werden.

Ein Großteil der Wohneinheiten in Deutschland entfällt auf Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) sowie kleinere Mehrfamilienhäuser (MFH). Diese sind oft in privatem Eigentum. Es hat sich gezeigt, dass diese Gebäudebesitzer/innen bisher nur schwer mit den bestehenden Sanierungsstrategien zu erreichen sind. Genau diese Zielgruppe untersucht deshalb das Vorhaben „Gebäude-Energiewende“.

Eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle ist ein wichtiger Baustein, aber sie wird nicht ausreichen, um die festgelegten Reduktionsziele – die Bundesregierung will bis 2050 den Primärenergieverbrauch im Gebäudebereich um 80 % reduzieren – zu erreichen. Baulich-technische und sozio-ökonomische Barrieren schränken die Effizienzpotenziale für den in diesem Vorhaben untersuchten Teil des Gebäudebestandes ein. Das Forschungsvorhaben geht deshalb von der ersten These aus, dass in einem relevanten Teil des Gebäudebestands eine Sanierung mit dem Ergebnis eines sehr geringen Heizwärmeverbrauchs nicht möglich sein wird. Daher kommt eine zweite Strategie zur CO2-Reduktion ins Spiel: die Integration erneuerbarer Energien (EE) oder von Kraft-Wärme-Kopplungslösungen in die Energieversorgung. Weiterhin geht das Vorhaben davon aus, dass es einen spürbaren Unterschied zwischen Nutzungsperspektiven von Wohngebäuden in Entleerungsräumen und Wachstumsregionen gibt. Dieser Unterschied, so die zweite These des Projektes, manifestiert sich auch in unterschiedlichen energetischen Sanierungsmustern. Dieses Phänomen untersucht das Projektkonsortium, bestehend aus dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH Berlin, RWTH Aachen – Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik und der Hochschule Lausitz, anhand von zwei Regionen im Land Brandenburg mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik in den Planungsgemeinschaften Havelland-Fläming und Lausitz-Spreewald.

In einer ersten Untersuchung werden an einem am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik entworfenem Referenzgebäude für ein Einfamilienhaus Sanierungsstrategien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen entwickelt.

Wir danken dem BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung; Förderkennzeichen 03EK3521C) für die finanzielle Unterstützung.

Stichwörter:

Energetische Sanierung, EnEV, Nachweisverfahren, Wohnhäuser

IV.20

Themengebiet: Raumluftkonditionierung in Schulen

Erstellung eines Leitfadens zur Raumluftkonditionierung in Schulen unter Beachtung ökonomischer, ökologischer und soziokultureller Aspekte

M.Eng. ¹Maxim Geier*, M.Eng. ¹Philipp Krimmel, Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin,
Wilhelminenhofstraße 75A, Gebäude C, Raum 214, 12459 Berlin
Telefon: +49 30 5019-3488, Telefax: +49 30 5019-483488

Homepage: <http://www.htw-berlin.de/> E-Mail: Maxim.Geier@HTW-Berlin.de
E-Mail: Philipp.Krimmel@HTW-Berlin.de, E-Mail: birgit.mueller@htw-berlin.de

¹ Wissenschaftliche Mitarbeiter

* Korrespondenzautor

Eine gute Luftqualität in den Klassenräumen ist notwendig, um gesundheitlich zuträgliche Atemluft zur Verfügung zu stellen und die Voraussetzungen für hohe Leistungen und Arbeitskonzentration seitens der Schüler und des Lehrpersonals zu schaffen. Die aktuelle Situation in vielen Schulen zeigt, dass aufgrund der hohen Belegungsdichte, die Fensterlüftung allein nicht ausreicht um eine akzeptable Raumluftqualität zu erreichen. Vor allem im Winter wird zu wenig oder gar nicht gelüftet, da die einströmende kalte Luft Zugerscheinungen hervorruft und als unbehaglich empfunden wird. Aus energetischer Sicht stellt die Fensterlüftung keine optimale Lösung dar, weil in den Wintermonaten beim Lüften zwangsläufig ein großer Wärmeverlust auftritt.

Aufgrund dieser Tatsache erweist sich der Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung als sinnvoll und notwendig, um eine akzeptable Luftqualität dauerhaft zu gewährleisten. Doch bringt der Einsatz von Lüftungsanlagen neue Herausforderungen mit sich. Bei Neubauten von Schulen können raumlufttechnische Systeme von Beginn an eingeplant werden. In bestehenden Schulgebäuden ist der nachträgliche Einbau häufig mit viel Aufwand verbunden und manchmal nicht möglich. Der Platzbedarf, die Investitionskosten und der Betrieb einer Lüftungsanlage sind beträchtlich und müssen im Vorfeld immer geprüft werden. Aufgrund dessen ist der Aufwand sehr groß, ein passendes Lüftungssystem für eine Bestandsschule zu finden. Außer der konventionellen Lüftungstechnik kann auch der Einsatz innovativer, intelligenter Lüftungskonzepte wie hybride Lüftungssysteme in verschiedenen Kombinationen aus energetischer und lüftungstechnischer Sicht sinnvoller sein und in Ausnahmefällen die einzige Lösung für eine gute Raumluftqualität, darstellen.

Im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit der SenStadtUm wird in gemeinsamer Arbeit mit der HTW Berlin ein Leitfaden erstellt, der möglichst für einen großen Teil der Schultypen Empfehlungen zur Raumluftkonditionierung geben soll.

Stichworte:

Raumluftqualität, Schullüftung

IV.21

HeatMap - Visualisierung von Heizenergieverschwendungen in öffentlichen Gebäuden durch eine HeatMap

Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Mathias Fraaß^{1,*}, Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller²,
M. Eng. Maxim Geier², Prof. Dr.-Ing. Joachim Schimkat¹, Dipl.-Ing. Narcisse Djakam¹,
Peter Rothmeier³, Jens Freinatis⁴

¹ Beuth Hochschule für Technik Berlin, FB IV, Architektur und Gebäudetechnik,
Labor für Elektro-, Mess- und Regelungstechnik,
Luxemburger Str. 10, 13353 Berlin
Tel.: +49 30 4504 2533, -2534, Fax: +49 30 4504 -662534
E-Mail: fraass@beuth-hochschule.de

² Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Wilhelminenhofstraße 75A, Gebäude C, Raum 214, 12459 Berlin
Tel.: +49-30-5019-3488, Fax: +49-30-5019-483488
E-Mail: birgit.mueller@htw-berlin.de

³ inhouse engineering GmbH, Köpenicker Strasse 325 / Haus 41, 12555 Berlin

⁴ Deos Control Systems GmbH, Rheine, Niederlassung Berlin

* Korrespondenzautor

Im Forschungsprojekt *HeatMap* werden Heizenergieverschwendungen im Gebäude aufgrund von Überhitzungen der Räume untersucht. Durch das Aufzeigen der Energieverschwendungen sollen die Nutzer motiviert werden sparsam und umweltbewusst mit der Energie umzugehen. Der Energieverbrauch und die ermittelte Energieverschwendungen werden in webfähigen farbigen Grundrissen, sog. *HeatMaps* visuell dargestellt. An der Beuth Hochschule und der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin werden über zwei Heizperioden hinweg ausgedehnte Untersuchungsbereiche eingerichtet. Zusätzlich wird untersucht, wie die *HeatMap* zum Bestandteil eines Energienagementsystems nach ISO 50001 werden kann und welches Mindestmaß an organisatorischem und technischem Aufwand erforderlich ist. Um die Verbreitung des *HeatMap*-Modells zu fördern, findet am Ende des Forschungsvorhabens ein Workshop in den beteiligten Hochschulen statt. In Berlin sollen die *HeatMaps* im Hochschulbereich fest etabliert und in eine regionale *HeatMap* überführt werden, die sich für das stadtweite Energiemanagement in öffentlichen Gebäuden eignet.

Um die gemessene Raumtemperatur beurteilen und untersuchen zu können, werden zusätzlich die Außentemperaturen, die Vor- und Rücklauftemperaturen (Leistungsabgabe der Heizflächen in Verbindung mit ihren Kennwerten), sowie die Fensteröffnungen laufend erfasst.

Aus den Messdaten der ersten Heizperiode werden Verschwendungsprofile als Häufigkeitsverteilungen der eingetretenen Überhitzungen erzeugt. Anhand der Verschwendungsprofile werden Merkmale typischer Nutzungsarten identifiziert, die *HeatMap* nach Nutzungsarten klassifiziert und geeignete Vergleichsabfragen und Übersichten entwickelt. In der zweiten Heizperiode wird die *HeatMap* für die Nutzer zur Verfügung gestellt.

Das Forschungsvorhaben *HeatMap* soll Antworten auf die Fragen geben, wie das Nutzerverhalten in den Energieverbrauch eingeht und wie es sich verbessern lässt.

Stichworte:

Energiemanagement, *HeatMap*, Nutzerverhalten, Energieeinsparung

IV.22

Methodik und technische Realisierung von Probandenuntersuchungen unter instationären Raumtemperaturbedingungen in einer praxisnahen Versuchsumgebung

Dipl.-Ing. S. Paulick*, Dipl.-Ing. A. Buchheim, Dipl.-Ing. L. Schinke,
Dipl.-Ing. M. Beyer, Dr.-Ing. habil. J. Seifert

Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik,
01062 Dresden
Sven.Paulick@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Die aktuelle und künftig zu erwartende Umstrukturierung der Energieversorgung (z. B. Dezentralisierung der Energiebereitstellung und Ausbau der Nutzung regenerativer Energiequellen) in Deutschland spiegelt sich auch im Bereich der Gebäudeenergietechnik wieder. So ist beispielsweise mit stärker auftretenden Schwankungen in Energieversorgungsnetzen zu rechnen, die sich aufgrund technischer bzw. wirtschaftlicher Restriktionen auf die Auslegung und Betriebsweise gebäudetechnischer Anlagen auswirken können. Eine so hervorgerufene Intensivierung der intermittierenden Betriebsweise dieser kann sich auf die sich einstellenden Raumtemperaturen auswirken und stellt damit insbesondere unter dem Gesichtspunkt einer wärmephysiologischen Bewertung des Raumklimas eine Herausforderung dar.

Ein aktuelles Forschungsvorhaben an der Technischen Universität Dresden widmet sich daher der Erweiterung der bisherigen Betrachtungsweise zu einer Bewertung der thermischen Behaglichkeit unter instationären Raumtemperaturbedingungen. Dazu wird die Umsetzung eines Konzepts zur Untersuchung entsprechender Einflussgrößen mittels Probandenbefragungen in einer praxisnahen Versuchsumgebung vorgestellt. Darüber hinaus werden die durch aktuelle Regelwerke (z. B. DIN EN ISO 7730, DIN EN 15251) gegebenen Möglichkeiten und Grenzen zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit unter instationären Raumtemperaturbedingungen aufgezeigt und entsprechende Potentiale zur Erweiterung bzw. Änderung der etablierten Betrachtungsweise geprüft. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen dabei die Vorstellung der methodischen Durchführung der Probandenuntersuchungen sowie die Darstellung der technischen Realisierung im Versuchsraum.

IV.23

Bewertung des thermischen Komforts von Quell- und Mischlüftungskonzepten in einem hochmodularen Prüfraum

Martin Möhlenkamp*, Sascha Behrendt, Martin Schmidt, Dirk Müller

RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik,
Mathieustraße 10, 52074 Aachen, Deutschland
mmoehlenkamp@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Die Bewertung und Vorhersage des lokalen Komforts in Raumluftströmungen wird durch neue Belüftungskonzepte und den Einsatz von Komfortmodellen immer komplexer. Am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik wurde bereits das 33 Knotenkomfortmodell (33NCM) im Rahmen früherer Projekte entwickelt, welches nun in seinen Randbereichen und mit höheren Temperaturgradienten erweitert wird. Dabei können verschiedene Innenraumkonfigurationen mit Hilfe von Probanden bewertet werden. Die Reproduzierbarkeit von unterschiedlichen Randbedingungen stellt hierbei ein Hindernis dar, um genaue Ergebnisse zu erhalten.

Die experimentellen Untersuchungen zum thermischen Komfort werden mit Hilfe eines hochmodularen Komfortkubus durchgeführt. Dieser hat eine Grundfläche von 2 m x 2 m und eine Höhe von 2,5 m. Die

Temperatur kann für jede Oberfläche separat geregelt werden. Von den vier Seitenwänden in Umfangsrichtung sind drei in Höhenrichtung feiner unterteilt. Insgesamt können 16 Flächensegmente separat temperiert werden. Die Segmentierung ermöglicht die Berücksichtigung von Einflüssen wie Strahlungsasymmetrien und Temperaturgradienten. Die Belüftung kann wahlweise durch eine Quell- oder Mischlüftung realisiert werden. Im Komfortkubus können jeweils zwei Probanden gleichzeitig den thermischen Komfort bewerten.

Im ersten Teil der Untersuchung werden Probandenversuche zur Quelllüftung durchgeführt. Die Versuche sind dabei so aufgebaut, dass drei Quellluftkonfigurationen mit unterschiedlichen vertikalen Temperaturgradienten miteinander verglichen werden. Jede Konfiguration wird dabei durch Fragebögen ausgewertet. Die mittlere Raumtemperatur wird im gesamten Versuchszeitraum konstant gehalten. Als zweiter Untersuchungspunkt werden Probandenversuche zur Mischlüftung durchgeführt. Hierbei werden verschiedene mittlere Raumtemperaturen untersucht, um die für die Probanden Behaglichste zu identifizieren. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden mit Daten aus der Literatur verglichen.

Stichwörter:

Thermische Behaglichkeit, Raumluftströmung, thermische Komfortmodelle

IV.24

OpDeCoLo

(Optimized Dehumidification Control Loop)

- Optimierung des Feuchtegehalts im Raum ohne Behaglichkeitseinbußen -

Birgit Müller, Horst Schulte, Helmut E. Feustel, Nico Goldschmidt*

Hochschule für Technik und Wirtschaft, FB1, 10318 Berlin, Deutschland

Birgit.Mueller@htw-berlin.de, Horst.Schulte@htw-berlin.de

hefeustel@tga-feustel.de, Nico.Goldschmidt@htw-berlin.de

* Korrespondenzautor

In Deutschland werden jährlich 40.000 – 50.000 GWh für die Kühlung von Bürogebäuden aufgewendet, das wiederum Energiebezugskosten von etwa 2,5 Milliarden Euro entspricht. Mit dem Blick auf Ressourcenschonung und der Reduzierung der CO₂ Emission besteht ein großes Optimierungspotential zur Minimierung des Kühlenergieverbrauchs.

Das entwickelte Regelungskonzept bildet die Umsetzung der neuen Technologie OpDeCoLo (patentiert, HTW Berlin) und zeigt dessen globale Bedeutung zur Energieeinsparung für große Kühl- und Klimaanlagen.

Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem hydraulischen Aufbau und der Regelung der Luftkühlerkomponente von raumlufttechnischen Anlagen, die mit Kaltwasserumlaufsystemen arbeiten. Erfindungsgemäß kann das System so modifiziert werden, dass unter Berücksichtigung der Behaglichkeitskriterien in einem Raum, die Kühlanlage durch die Beseitigung unnötiger Kondensationsenergieverluste deutlich weniger Energie verbraucht.

Die Regelungsstrategie basiert hierbei auf einem modell-basierten Mehrgrößenansatz, wodurch ein systematischer Entwurf durch Ausnutzung der Anlagenstruktur und der bekannten Anlagenparameter erst ermöglicht wird und die Stellgrößen wie gewünscht beeinflusst werden können.

Ziel ist es den bisherigen Stand der Technik mit dem neuen Ansatz zu vergleichen und das konservativ geschätzte Einsparpotential des Kühlenergieverbrauchs von ca. 10 % in gemäßigten Klimazonen zu belegen.

Als Versuchsanlage dient zum einen eine Prototypanlage unter Laborbedingungen und zum anderen eine RLT Anlage eines öffentlichen Gebäudes.

Stichwörter:

OpDeCoLo; Ressourcenschonung; CO₂ Emissionsreduzierung; RLT Anlagen; Modellbildung; Mehrgrößenregelung

S.01

Modifizierung der Dichte von Eispartikeln im Kälteträger Eisbrei

Yannick Friess*, Matthias Koffler, Michael Kauffeld

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Institut für Kälte-, Klimate- und Umwelttechnik,
Moltkestrasse 30, 76133 Karlsruhe, Deutschland
yannick.friess@hs-karlsruhe.de, matthias.koffler@hs-karlsruhe.de,
michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Die Mischung aus Wasser, einem umweltfreundlichen den Gefrierpunkt senkenden Zusatzstoff – wie z. B. Ethanol, Glykol oder Salz – und kleinen Eispartikeln nennt sich Eisbrei und ist ein zweiphasiger Kälteträger mit vielen positiven Eigenschaften.

Eine charakteristische Eigenschaft von Eisbrei ist der Auftrieb der Eispartikel innerhalb des Fluids. Dies führt zur Eisabscheidung an der Oberfläche, wenn der Eisbrei nicht durchmischt wird. Auf Basis dieser Problemstellung wird untersucht, ob es möglich ist, die Dichte der Eispartikel mithilfe von fremdartigen Kristallisationskeimen zu beeinflussen. Der Leitgedanke hierbei ist, dass die eingesetzten Fremdpartikel eine höhere Dichte als das Fluid besitzen und als Kern im Inneren des Eispartikels, dessen Gesamtdichte erhöhen. Hierfür werden die Fremdpartikel dem Fluid während der Eisbrei-Erzeugung zugegeben. Anschließend erfolgt eine optische Untersuchung des Auftriebsverhaltens der modifizierten Eispartikel sowie deren Analyse in einer Mikroskop-Kamera Kombination.

Als Ergebnis der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die eingesetzten Fremdpartikel nicht als Kristallisationskeim im Sinne eines Zellkerns dienen. Vielmehr lässt sich vermuten, dass mehrere Fremdpartikel unkontrolliert an einem Eispartikel anhaften bzw. mit den Eispartikeln agglomerieren. Die Dichte der Eispartikel erhöht sich zum Teil so stark, dass nahezu alle Eispartikel auf den Boden des Prüfbehälters sinken.

Stichwörter:

Eisbrei, Kristallisation

S.02

Wärmeübergang bei der Kondensation von strömendem Ammoniakdampf in Rohren

Patrik Fröhlich

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik,
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
mailbox@patrik-froehlich.de

Ammoniak hat sich als Kältemittel mit sehr guten thermophysikalischen Eigenschaften und Transporteigenschaften bewährt. Aufgrund des niedrigen Molekulargewichtes und der großen Verdampfungsenthalpie ergeben sich hohe Wärmeübergangskoeffizienten bei Verdampfung und Kondensation. Ammoniak wird bisher 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 erlaubt eine exakte thermische Auslegung und eine Optimierung dieser Wärmeübertrager.

Es gibt eine Vielzahl von Korrelationen, die den Wärmeübergangskoeffizient bei Kondensation für teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe mit tolerierbaren Abweichungen vorhersagen. Für Ammoniak sind diese Korrelationen unbrauchbar, da die Wärmeübergangskoeffizienten bis zu 300 % zu groß vorhergesagt werden.

Im Rahmen einer Studienarbeit sind Korrelationen aus der Literatur ausgewertet und verglichen worden. Ziel war es eine Korrelation zu finden, mit der Wärmeübergangskoeffizienten für die Kondensation von strömendem Ammoniakdampf in Rohren mit geringen Abweichungen berechnet werden können. Als zentrale Erkenntnis erweist sich der mittlere logarithmische Dampfvolumenanteil ϵ , der aus einem für laminare und einem für turbulente Strömungen gültigen Dampfvolumenanteil gebildet wird. Die verwendete Korrelation baut auf einer Strömungsformkarte auf, die mit in der Literatur beschriebenen Beobachtungen übereinstimmt. Ausgehend von der Strömungsformkarte können Wärmeübergangskoeffizienten mit einer Abweichung von weitgehend weniger als $\pm 20\%$ gegenüber gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten vorhergesagt werden.

S.03

Untersuchungen zum Druck- und Temperaturverhalten supraleitender Kabel

Eugen Shabagin^{1,2}

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

¹ Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK),
Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe
und

² Institut für Technische Physik (ITEP),
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

uldfw@student.kit.edu

Der Einsatz von Supraleitern ermöglicht gegenüber konventionellen Leitern eine 10- bis 100-fach höhere Stromdichte, wodurch u.a. eine deutlich erhöhte Übertragungskapazität bei gleichem Durchmesser erreicht wird. In den letzten Jahren wurden einige Prototypen für supraleitende Kabel erfolgreich entwickelt und im Netz getestet. Im Rahmen des Projekts „AmpaCity“ wurde kürzlich das derzeit weltweit längste supraleitende Energiekabel in das Stromnetz der Stadt Essen integriert. Die Kühlung supraleitender Kabel erfolgt in der Regel durch flüssigen (unterkühlten) Stickstoff, der unter Druck am Kabelanfang eingespeist wird. Bedingt durch thermische und elektrische Verluste im Kabel erwärmt sich der Stickstoff entlang des Kabels und tritt mit einer höheren Temperatur am Kabelende wieder aus.

In dieser Arbeit wurde ein thermisches und hydraulisches Berechnungsmodell für die Kabelkühlung mit flüssigem Stickstoff am Beispiel eines 10 kV Kabels mit konzentrischem Aufbau erstellt. Damit wurden die radialen und axialen Temperaturverteilungen, sowie der Druckverlust entlang des Kabels berechnet. Da bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden dürfen, wurde die maximale Kabellänge ohne Zwischenkühlung bei verschiedenen Randbedingungen bestimmt und mittels Parameterstudie optimiert.

Stichwörter:

Temperaturprofil, Wärmeleitung, Stickstoff, Supraleiter, AmpaCity

S.04

Strömung in der spiralgewellten Erdwärmesonde

Carlo Martens

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover,
Callinstr. 36, 30167 Hannover
CarloMartens@gmx.de

In den letzten Jahren werden zunehmend Erdwärmesonden in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Gebäudeheizung eingesetzt. Die Leistung der bislang verwendeten Glattrohre leidet unter einer nicht vollständigen Benetzung der Rohroberfläche durch das Fluid. Diesbezüglich versprechen spiralgewellte Rohre eine Verbesserung. Durch die Spiralform des Rohres wird dem strömenden Fluid eine Umfangskomponente aufgeprägt. Man geht davon aus, dass das Einlaufverhalten des strömenden Fluides eine große Auswirkung auf die Benetzung und das Strömungsverhalten des Fluides entlang des gesamten Rohres hat.

Um das Problem der Benetzung zu untersuchen und verschiedene Aufbringvorrichtungen zu vergleichen, wurden Versuche an einem drei Meter langen spiralgewellten Rohr durchgeführt. Zur Untersuchung des beschriebenen Problems wurden vier verschiedene Aufbringvorrichtungen konstruiert. Zur Bestimmung des Einflusses der Aufbringvorrichtung auf die ausgeprägte Strömung am unteren Ende des Rohres wurde eine Separatoreinheit verwendet. Der Separator trennt die Strömung, die innerhalb der Rinne läuft von der, die über die Rinne läuft. Zur zusätzlichen Charakterisierung der Strömung im Rohr wurden Videos mit einer Kamera angefertigt, die im Rohr herabgelassen wurde.

Die Untersuchungen lassen erkennen, dass die vier untersuchten Aufbringvorrichtungen keinen messbaren Unterschied in der ausgeprägten Strömung am Rohrende hervorrufen. Die Videos zeigen, dass sich in allen vier Fällen eine vollbenetzte Strömung nach einem Einlaufgebiet von ca. zehn Zentimetern Länge ausgebildet.

Stichwörter:

Spiralgewellt, Erdwärmesonde, Benetzung, Aufbringvorrichtung

S.05

Optimierung des Schäumprozesses von Kühlmöbeln

Ramona Nosbers

TU Dresden, 01062 Dresden

Swaziland, im Süden Afrikas, ist eine der letzten absoluten Monarchien auf der Welt. Der ansässige Külschrankproduzent The Fridge Factory produziert seit dem Jahr 2001 Külschränke für den kommerziellen und für den Hausgebrauch.

Im Jahr 2009 wurden die bisher eingesetzten Kältemittel R22 und R11 auf die umwelt-freundlicheren Kältemittel R600a und R290 umgestellt. Damit war The Fridge Factory der erste afrikanische Külschrankproduzent, der keine FCKW als Kältemittel mehr einsetzt. Die Umstellung auf vollkommen FCKW-freie Geräte erfolgte im Jahr 2012 mit dem Ersatz des Treibmittels R141-b für den Polyurethan-Isolierschaum auf den Kohlenwasserstoff Cyclopentan.

Der PUR-Schaum als wichtiger Bestandteil des Kühlgeräts, sowohl als Isolier- als auch Konstruktionsmaterial, stellt einen zentralen Aspekt der Produktion dar, da zum einen die komplette Produktionslinie auf das Funktionieren der Anlage angewiesen ist, zum anderen eine nachträgliche Änderung bei fehlerhaftem Schäumen nur sehr schwierig bis nicht realisierbar ist.

Die vorliegende Arbeit zeigt erste Schritte der Analyse des Schäumprozess in der Fabrik und schlägt erste Optimierungen für den Prozess vor, um gegenwärtig noch auftretende Probleme in der Produktion zu minimieren.

S.06

Einfluss der Oberflächenrauheit auf den Wärmeübergang beim Sieden von Propan und R134a

Devid Koch*, Andrea Luke

¹ Universität Kassel, Fachgebiet Technische Thermodynamik, 34125 Kassel, Germany
luke@uni-kassel.de

* Korrespondenzautor

Die Berechnungsmethoden für die Auslegung von überfluteten Verdampfern basieren auf einer Vielzahl von Messungen aus der Literatur, die größten Teils auf Untersuchungen an Glattrohren in einem engen Bereich von Druck und Wärmstromdichte begrenzt sind. Zudem sind oft die Daten zur Oberfläche qualitativer Natur. Daher wird die Oberfläche von Baustahlrohren, systematisch unterschiedlich sandgestrahlt, um einen großen Bereich von Rauheiten abzudecken. Die Oberflächen werden sowohl hinsichtlich der Normrauheitsparameter charakterisiert, wie sie in Berechnungsmethoden angewendet werden, als auch mit Hilfe statistischer Analysen der Verteilung der potentiellen Keimstellen. Der Wärmeübergang wird vom Bereich des konvektiven Siedens bis zum intensiven Blasensieden in siedenden Kohlenwasserstoffen (Propan) gemessen und die Blasenbildung qualitativ ausgewertet. Damit stehen der Industrie belastbare Daten für unterschiedliche Bearbeitungsverfahren zur Verfügung.

Stichworte:

Wärmeübergang, Behältersieden, Rauheit, Rauheit

S.07

Entwicklung eines Simulationsmodells zur Analyse und Konzeptionierung von Automatisierungsstrategien für Kälteanlagen

Daniel Pfeiffer

Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE),
Karlstraße 11, 88400 Biberach, Deutschland
pfeiffer@hochschule-bc.de

Nach aktuellem Stand der Technik werden in Kälteanlagen vor allem unter dem Gesichtspunkt eines sicheren Anlagenbetriebes zahlreiche Überwachungs-, Regelungs-, und Steuerungskomponenten eingesetzt. Im Bezug auf die Energieeffizienz und optimale Betriebsführung des Gesamtsystems sind allerdings kaum Automatisierungslösungen bekannt.

Als Werkzeug für die Entwicklung von übergreifenden Automatisierungsstrategien, wird im Rahmen dieser Arbeit ein bestehendes Modellabbild eines kältetechnischen Gesamtsystems (MATLAB/Simulink) hinsichtlich der inneren Wechselwirkungen des Kaltdampfprozesses detailliert.

Aufgrund der Verfügbarkeit von adäquaten thermodynamischen Komponentenbibliotheken erfolgt die Modellierung des Kaltdampfprozesses auf der Softwareplattform Modelica/Dymola. Die dadurch verteilte Modellabbildung wird über definierte Schnittstellen in den Simulationsprozess in MATLAB-Simulink eingebunden. Dabei wird die Modellkopplung (Model Exchange) durch einen ersten vereinfachten Ansatz erprobt und im nächsten Schritt mit einem detaillierteren Modell umgesetzt.

Wie die Simulationsergebnisse zeigen, führt der definierte Schnittstellenansatz, der verteilten Modellentwicklung, zu plausiblen Simulationsergebnissen hinsichtlich der äußeren Wechselwirkungen zwischen der Kälteerzeugung (vereinfachter Kaltdampfprozess) und der Kälteanwendung (Kühlraumkühlung). Darüber hinaus lassen sich sehr gute Übereinstimmungen zwischen den stationär

simulierten und experimentell ermittelten Ergebnissen einer Laborkälteanlage beobachten. Hinsichtlich der abgebildeten inneren Wechselbeziehungen des Kalt dampfprozesses bestehen, im Vergleich zu den experimentellen Untersuchungen, jedoch deutlich erkennbare Verhaltensunterschiede.

Die instationären Simulationsergebnisse werden durch die Detaillierung der Modellstruktur ebenfalls beeinflusst und führen zu deutlichen Verhaltensunterschieden im Vergleich zu den experimentellen Untersuchungen. In diesem Zusammenhang kristallisiert sich insbesondere die dynamische Berechnung des Kühlgutes als kritischer Einflussfaktor auf die Qualität, die Effizienz und die Stabilität der Simulation heraus.

Die Simulationsgeschwindigkeit wird durch den gewählten Kopplungsansatz (Model Exchange) erheblich beeinträchtigt. In diesem Zusammenhang ist in zukünftigen Arbeiten insbesondere der Einfluss von numerischen Integrationsverfahren und deren Implementation in den Simulationsprozess zu untersuchen und zu optimieren.

Stichwörter:

Gesamtsystem, Automatisierung, Modellbildung, Model Exchange, Laborkälteanlage

S.08

Kühlbox auf Basis des Kompressionskältekreislaufs

Fabian Willers

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover,
Callinstr. 36, 30167 Hannover
FabianWillers@gmail.com

Der vielseitige Anwendungsbereich von Kühlboxen reicht vom gekühlten Transport medizinischer Proben oder Produkte bis hin zur Kühlung von Lebensmitteln und Getränken. Eine aktive Kühlbox ist mit einer Kompressionskältemaschine ausgestattet, welche optional mit solarer Energie aus Photovoltaik-Zellen betrieben werden kann. Die Kältemaschine ist ausgelegt, konstruiert, montiert und bilanziert worden. Die Kühlbox soll als Schauobjekt zu Lehrzwecken verwendet werden.

Im Rahmen einer Vorauslegung wurden die notwendigen Komponenten zunächst dimensioniert und konstruiert. Eine große Herausforderung stellt das Festlegen des optimalen Verhältnisses zwischen Leistungsfähigkeit und Platzbedarf bei gleichzeitiger Gewährleistung einer Verwendung der Kältemaschine als Schauobjekt außerhalb der Kühlbox dar. Anschließend erfolgte eine ausführliche energetische und exergetische Bilanzierung der Kühlbox.

Die vier direkt beeinflussbaren Parameter sind die Verdichterdrehzahl, der Verdampfungsdruck und die von den Axiallüftern der Wärmeübertrager aufgenommene elektrische Leistung. Mit Hilfe eines Bypasses kann der Kältemittelsammler vom Kreislauf getrennt werden, wodurch sich mit Hilfe der Parameter flexibel Einfluss auf die Unterkühlung bzw. den Zustand des Kältemittels zwischen Kondensator und Expansionsventil nehmen lässt. Bei einem vorliegenden Temperaturhub von 20 K ist die Kältemaschine in der Lage, mit hoher Verdichterdrehzahl eine Kälteleistung von über 150 W zu generieren. Mit einer reduzierten Drehzahl ist es möglich, einen Betrieb mit einer Leistungszahl von annähernd zwei zu ermöglichen. Die Validierung der Vorauslegung mit Hilfe von im Netzbetrieb aufgenommenen Messdaten weist eine Abweichung der Leistungszahl von maximal zehn Prozent auf.

Stichwörter:

Kompressionskältekreislauf, exergetische Bilanzierung, Solarbetrieb

S.09

Hydraulische Verschaltungen und Effizienz von Adsorptionskältemaschinen

Angelus Dillmann^{1,*}, Michael M. Becker², Antoine Dalibard³, Ursula Eicker³

¹ Hochschule Kempten, Bahnhofstr. 61, D-87435 Kempten
angelus.dillmann@hs-kempten.de

² Technische Universität München, Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie,
Petersgasse 18, D-94315 Straubing
michael.becker@tum.de

³ Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, D-70174 Stuttgart
antoine.dalibard@hft-stuttgart.de, ursula.eicker@hft-stuttgart.de

* Korrespondenzautor

Derzeit werden beim Betrieb mehrerer Adsorptionskältemaschinen hauptsächlich Parallelschaltungen ausgeführt. Über die variable hydraulische Verschaltung von Adsorptionskältemaschinen können dagegen bei der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung wechselnde Kältelestanforderungen berücksichtigt werden. Bei dieser Ausführung ist jedoch die Effizienz der einzelnen Kältemaschinen zu beachten.

Innerhalb dieses Beitrags wird eine experimentelle Arbeit vorgestellt, welche technisch ausführbare hydraulische Verschaltungen untersucht und bewertet. Die Arbeit enthält sowohl theoretische Analysen wie auch Modelle, welche auf empirischen Untersuchungen basieren. Die Bewertung der variablen hydraulischen Verschaltungen erfolgt anhand der Leistungszahlen sowie anhand der Nennpunktabweichung *NPA*, einer Kennzahl, welche die Abweichung der Kälteleistung im Betriebspunkt zur Kälteleistung im Nennpunkt, d. h. der Kälteleistung bei optimalem Wirkungsgrad der Anlage, darstellt. Die elektrischen Hilfsenergien wurden aus dem Aufwand der Pumpen der Verschaltungsvarianten bestimmt. Zur Berechnung der elektrischen Hilfsenergien wurde eine Druckverlustberechnung für eine Reihen- bzw. Parallelschaltung der Einzelkomponenten durchgeführt. Um die Anlagencharakteristik und das dynamische Verhalten darzustellen, wurde ein Matlab-Simulink-Modell für drei Adsorptionskältemaschinen entwickelt. Die betrachteten Modelle wurden anhand von Messungen an einer Adsorptionskältemaschine mit 9 kW Kälteleistung validiert.

Stichwörter:

hydraulische Verschaltung, Adsorptionskältemaschine (AdKM), Effizienz, Nennpunktabweichung (NPA), solar-unterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

S.10

Auslegung von Matrix-Wärmeübertragern für eine Tieftemperatur-Gemischkaskade

Adrian Zimmermann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK),
Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe
mailto:uahfq@student.kit.edu

Gemischkältekreisläufe stellen eine flexible, effiziente und kostengünstige Option zur Kühlung von Hochtemperatursupraleitern (HTSL) dar. Für typische HTSL-Anwendungen soll eine zweistufige Gemischkaskade entwickelt werden, die ca. 300 W Kälteleistung bei einer Temperatur von 55 K zur Verfügung stellt. Die Tieftemperaturstufe enthält ein Gemisch aus Neon, Stickstoff und Sauerstoff; die

Vorkühlstufe wird mit einem Gemisch aus Stickstoff, Methan, Ethan und Propan betrieben. Die beiden Kreisläufe werden über einen Gegenstrom-Wärmeübertrager mit 4 Strömungswegen gekoppelt, während die Tieftemperaturstufe einen einfachen Gegenstrom-Wärmeübertrager enthält. Beide Wärmeübertrager haben einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamteffizienz der Anlage.

Matrix-Wärmeübertrager bieten in dieser Anwendung ein besonderes Potential. Sie bestehen aus jeweils alternierenden perforierten Platten mit hoher und Abstandshaltern mit niedriger Wärmeleitfähigkeit. Über die Perforierung können die Strömungsquerschnitte und die Strömungsverteilung entlang der Strömungswege geändert und optimiert werden. Im Rahmen der Arbeit wurde eine Methodik zur Auslegung dieser Wärmeübertrager entwickelt. Die Auswirkungen unterschiedlicher Geometrien auf die Leistung und die Effizienz der Wärmeübertrager wurde untersucht.

Stichwörter:

Matrix-Wärmeübertrager, Gemischkältekreislauf, Kaskade, Hochtemperatursupraleiter

S.11

Naturumlaufverdampfer als leistungsstarke Elektronikkühlung

Conrad Zimmermann

Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover,
Callinstr. 36, 30167 Hannover
ConradZimmermann@gmx.de

Bei elektronischen Bauteilen, wie beispielsweise großen Generatoren oder Elektroantrieben der neusten Generation, nehmen die Leistungsdichte und die dadurch abzuführende Wärmestromdichte kontinuierlich zu. Effiziente Kühlmethoden bei gleichzeitig geringen Abmaßen sollen für diese hohen Wärmestromdichten entwickelt werden, wodurch nicht nur der Wirkungsgrad sondern auch die Lebensdauer dieser Apparate gesteigert werden können. Die Eignung eines Naturumlaufverdampfers soll für diesen Zweck untersucht werden. In der Verfahrenstechnik wird dieser häufig zum Kühlen und Erhitzen von Gemischen in Rektifikationskolonnen eingesetzt. Die wirtschaftlichen Vorteile, d.h. geringe Investitions- und Betriebskosten durch den Verzicht auf eine Umwälzpumpe, sowie die technische Kompaktheit könnten auch für die Elektronikkühlung ausgenutzt werden.

Das Prinzip des Naturumlaufs wird somit als Kühlung an einem Verdampfer mit aufgeprägter Wärmestromdichte angewendet. Bei hohen Wärmestromdichten ist es thermodynamisch sinnvoll, Kältemittel mit großer Verdampfungsenthalpie einzusetzen. Hierzu wird Wasser im Bereich niedriger Drücke verwendet, sodass sich Höchsttemperaturen zwischen 70°C und 95°C einstellen. Die Untersuchungen werden an einem Präzisionsrohr als Verdampfer durchgeführt und mit hochpräziser Messtechnik (Durchfluss, Temperatur und Druck) aufgezeichnet. Eine Hochstromquelle beheizt das Verdampferrohr, an dem die elektrische Leistung in Form von Abwärme umgesetzt wird.

Die Versuchsreihen zeigen Erkenntnisse über das Betriebsverhalten von Naturumlaufverdampfern bei Unterdruck. Dabei können stationäre Zustände eingestellt werden. Die Leistungsgrenze dieser potentiellen Kühlung wird in den bisherigen Versuchen nicht erreicht, jedoch steigt die Wandtemperatur des Rohres auf über 120°C an. Eine Anwendung der beschriebenen Elektronikkühlung mit Wasser bei geforderten Bauteilwandtemperaturen von maximal 120°C ist somit weiterhin fraglich.

Stichwörter:

Naturumlauf, Elektronikkühlung, Verdampfungsmodellierung

S.12

Optimierung des Flüssigstickstoffverbrauchs des 500 MeV-Zyklotrons von TRIUMF

Erik Mickoleit

TU Dresden, 01062 Dresden
TRIUMF, Vancouver/Kanada.

Der 500 MeV-Zyklotron-Teilchenbeschleuniger ist die zentrale Versuchseinrichtung von TRIUMF (Tri University Meson Facility, Vancouver). Durch die Beschleunigung von Protonen auf 75 % der Lichtgeschwindigkeit und deren Kollision mit Targets unterschiedlicher Materialien können Wissenschaftler die grundlegende Zusammensetzung der Teilchen, aus denen unser Universum besteht, untersuchen. Um Protonenstrahlen höchster Energiedichten zu erzeugen und Kollisionen mit Gasmolekülen zu vermeiden, muss die Zyklotron-Kammer ein Ultrahochvakuum besitzen. Dies wird über ein Zusammenspiel von Vakuum- und Kryopumpen erzielt. Dabei frieren die Kryopumpen Restgase aus dem Vakuum bei zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus aus: Ein erstes System arbeitet mit Flüssigstickstoff (LN_2) im Temperaturbereich von 80-90 K. Noch vorhandenen Restgase werden mit einem zweiten, Flüssighelium (LHe)-gekühlten System bei ca. 4,5 K ausgefroren.

Es existieren nur wenige Daten über das LN_2 -System des Zyklotrons. Daher ist unbekannt, wieviel LN_2 das Zyklotron tatsächlich verbraucht. Da die LN_2 -Kosten von TRIUMF in den letzten Jahren signifikant gestiegen sind und durch die Inbetriebnahme weiterer Kryosysteme in den nächsten Jahren weiter steigen werden, ist eine Betrachtung der Stickstoffsysteme und deren Optimierungsmöglichkeiten notwendig. Dieses wurde im Rahmen einer Diplomarbeit vor Ort bearbeitet. In der Präsentation wird auf die unterschiedlichen Tests zur Untersuchung des LN_2 -Verbrauchs und auf die optimierte Kältemittelnutzung eingegangen.

S.13

Simulation und Bewertung der Kälteerzeugung des Campus Melaten

Marco Weber

RWTH Aachen University,
E.ON Energieforschungszentrum – Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik,
Mathieustraße 10, 52074 Aachen
marco.weber@rwth-aachen.de

Durch die dynamische Untersuchung komplexer Energiesysteme kann ein wichtiger Beitrag für wirtschaftliche und energetische Einsparungen geliefert werden. Daher wird im Rahmen dieses Vortrags am Beispiel des Campus Melaten der RWTH Aachen das Kältesystem auf Verbesserungspotenziale untersucht werden.

Die zentrale Kälteversorgung wird bisher von zwei Absorptionskältemaschinen und zwei Kompressionskältemaschinen sichergestellt, deren Rückkühlung über Nasskühltürme erfolgt. Die zum Betrieb der Absorptionskältemaschinen erforderliche Wärme wird durch ein Blockheizkraftwerk sowie einen Kessel bereitgestellt.

Zur dynamischen Analyse wird ein Modell des bestehenden Energiesystems, basierend auf der Modellierungssprache Modelica, in der Simulationsumgebung Dymola erstellt. Dabei werden ausgehend von den heutigen Betriebsbedingungen verschiedene Szenarien entwickelt und bewertet. Diese Szenarien werden auf der Basis zukünftiger Entwicklungen erstellt und beinhalten Erweiterungen und eine optimierte Regelung der Systemgrößen. Zudem wird die heutige Betriebsweise kritisch hinterfragt.

