

**Deutsche Kälte-
und Klimatagung**



Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2012

Würzburg

21. – 23. November 2012

Kurzfassungen


MARITIM Hotel Würzburg

Pleichertorstraße 5
97070 Würzburg
T. +49 (0) 931 3053-0
F. +49 (0) 931 3053-900
E. info.wur@maritim.de
H. www.maritim.de

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

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsabteilung I	4
Arbeitsabteilung II.1	17
Arbeitsabteilung II.2	35
Arbeitsabteilung III	51
Arbeitsabteilung IV	68
Studentenvorträge	85

Vorstellung des DIN-Arbeitsausschusses NA 016-00-07AA (Überdruck-Absicherung von Heliumkryostaten)

**L. Blum¹, S. Grohmann^{2,3}, Ch. Haberstroh⁴, M. Lau⁵, W. Otte⁶,
M. Reinhardt⁷, C.H. Schröder⁸, M. Süßer³**

¹ Linde Kryotechnik AG, Pfungen, Schweiz,

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

³ Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie

⁴ Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik

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

⁶ Air Liquide Deutschland GmbH, Krefeld

⁷ Herose GmbH, Bad Oldeslohe

⁸ Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI, Darmstadt, Germany

Das Regelwerk zur Auslegung druckbeaufschlagter Bauteile ist die Druckgeräterichtlinie (DGRL) 97/23/EG. Darin wird folgendes festgelegt: „Diese Richtlinie gilt für die Auslegung, Fertigung und Konformitätsbewertung von Druckgeräten und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck (PS) von über 0,5 bar“. Des Weiteren ist entsprechend Abschnitt 2.11.2 eine vorübergehende Drucküberschreitung auf 10 % des höchstzulässigen Drucks zu begrenzen.

Die technischen Regeln zur Absicherung von Druckbehältern sind die harmonisierte Normen DIN EN ISO 4126 und EN 13648. Andere Regelwerke können auch zur Anwendung kommen, allerdings müssen bei deren Anwendung die grundlegenden Sicherheitsanforderungen der DGRL eingehalten werden. Die AD 2000-Merkblätter sind überarbeitet und es gilt die sogenannte Konformitätsvermutung.

Die harmonisierte Norm EN 13648: „Kryobehälter-Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“ ist eine Norm für die spezifischen Verhältnisse der Kryotechnik. Der Schwerpunkt dieser Norm ist allerdings die Druckabsicherung von Kryospeicherbehältern. Kryostatbehälter mit Einbauten, wie sie in der Kryoverfahrenstechnik und beim Betrieb von supraleitenden Magneten zum Einsatz kommen, werden dagegen ungenügend berücksichtigt. Die Ursachen für Drucküberlastung sind in diesem Fall vielfältiger und das Schadenspotential, z. B. beim Betrieb supraleitender Magnete aufgrund der im Magnetfeld gespeicherten Energie, wesentlich größer.

Es wurde ein Arbeitsausschuss eingerichtet, der die spezifische Gefährdungslage von Helium-Tieftemperaturkryostaten in einer DIN SPEC (Fachbericht) zusammenstellt. Der Beitrag stellt die Arbeitsgruppe vor und diskutiert deren Aufgaben im Detail.

I.02

Modellierung des Druckanstiegs in einem Flüssighelium-Behälter bei Zusammenbruch des Isoliervakuum

C. Heidt¹, S. Grohmann^{1,2}, M. Süßer²

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

¹ Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK)

² Institut für Technische Physik (ITEP)

Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe

Der sicherheitstechnischen Auslegung von Flüssighelium-Kryostaten, welche zum Betrieb supraleitender Magnete eingesetzt werden, kommt auf Grund der besonderen Bedingungen (niedrige Temperaturen, geringe Verdampfungsenthalpie des flüssigen Heliums) eine besondere Bedeutung zu. Der maximale Störfall für die Auslegung der Sicherheitseinrichtungen solcher Systeme ist oft durch den plötzlichen Verlust des Isoliervakuum gekennzeichnet. Zwar existieren für die sicherheitstechnische Auslegung von Druckbehältern nach 97/23/EG (DGRL) bereits etablierte Regelwerke (z. B. AD-2000, DIN); die in der Kryotechnik auftretenden Bedingungen sind darin aber gar nicht oder nur unzureichend erfasst. Die Auslegung der Sicherheitseinrichtungen basiert daher i.d.R. auf Erfahrungen und einer sehr begrenzten Auswahl experimenteller Daten.

In dieser Arbeit wurde auf Basis grundlegender theoretischer Überlegungen ein weitgehend analytisches Modell entwickelt, mit welchem das sehr dynamische Verhalten des Helium-Druckanstiegs während eines solchen Störfalls abgebildet werden kann. Da nicht alle Teilaspekte des Wärme- und Stofftransports analytisch beschrieben werden können, enthält das Modell eine Reihe von Parametern, die im weiteren Verlauf durch gezielte experimentelle Untersuchungen bestimmt werden sollen.

I.03

Robuste Pt1000-Temperaturfühler für kryogene Anwendungen in der Prozessmesstechnik

Rajini Kumar Ramalingam, Oliver Langhans, Manfred Süßer

Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Es besteht in der Prozessmesstechnik ein großer Bedarf an robusten Temperaturfühlern für den Temperaturbereich von 20 - bis 500 K. Das Einsatzgebiet ist z. B. die Wasserstofftechnologie oder der Einsatz von Neon zur Kühlung von Hochtemperatursupraleitern. Für diesen großen Temperaturbereich wurden Pt1000-Temperaturfühler im Kalibrierlabor des Instituts untersucht. Die Pt1000-Sensoren wurden vom Hersteller bereitgestellt. In einem komplexen Fertigungsvorgang werden Pt1000-Dünnschichtsensoren nahezu vollautomatisch und mit hoher Qualität in Kappen montiert und mit einem Mantelleiter versehen.

Für eine Charge von 21 Fühlern wurden die spezifischen Kennlinien bestimmt. Des Weiteren wurde die thermische Stabilität durch mehrmalige Temperaturzyklen zwischen 78 und 525 K untersucht und zur Bestimmung des optimalen Speisestromes wurde der thermische Widerstand der Fühler bei unterschiedlichen Temperaturen gemessen.

Der Beitrag stellt die im Institut vorgenommenen Untersuchungen im Detail vor und diskutiert die Messergebnisse im Hinblick auf die Eignung in der industriellen Prozessmesstechnik.

Stichwörter:

Pt 1000, Tieftemperatur-Sensoren, Messungen

Gasdurchflussmessung in der Kryotechnik

Michael Schrank, Manfred Süßer

Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Michael.Schrank@kit.edu, Manfred.Suesser@kit.edu

Die Gasdurchflussmessung wird in der Kryotechnik für vielfältige Aufgaben eingesetzt. Beispiele sind die Abdampfratenmessungen an Kryostaten oder die Messung der Isolierqualität an kryogenen Leitungen. Die Absolutmessung des Massendurchflusses stellt oftmals hohe Anforderungen an die Messunsicherheit, deshalb ist es nötig, die spezifischen Eigenschaften des Messsystems näher zu betrachten.

Thermische Durchflussmessgeräte, die nach dem Bypass-Verfahren arbeiten, sind hier am stärksten verbreitet. Bei diesem Verfahren wird ein Teil des Massenstroms durch ein Laminarflowelement abgezweigt und über eine Kapillare geleitet. Dieser Teilstrom wird aufgeheizt und der Massenstrom aus der entstehenden Temperaturdifferenz berechnet. Vorteile sind der günstige Preis und die einfache Einbindung des Messsystems. Bei Verunreinigungen im Fluid kann es jedoch zu Verstopfungen in der feinen Kapillare kommen.

Die Geräte werden üblicherweise mit Stickstoff kalibriert und mit einem Umrechnungsfaktor an das zu messende Fluid angepasst. Veränderungen im Wärmeübergang im Bypass oder der Massenstromaufteilung im Laminarflowelement werden hierbei jedoch nicht berücksichtigt. Bei höheren Ansprüchen an die Messunsicherheit kann deshalb eine Echtkalibrierung nötig sein.

Ein alternatives Verfahren ist die Differenzdruckmessung an einem Laminarflowelement. Dieses Messsystem wird nicht durch den Wärmeübergang beeinflusst, erfordert allerdings einen Mehraufwand an Messtechnik.

Der Beitrag behandelt die spezifischen Eigenschaften von thermischen Durchflussmessgeräten und vergleicht diese mit einem Laminarflowelement.

Hybrid-Energiespeicher auf Basis von flüssigem Wasserstoff und supraleitendem magnetischen Energiespeicher

Dr.-Ing. Holger Neumann

Institut für Technische Physik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Herrmann-von-Helmholtzplatz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: 0721/608-2-2625, Fax.: 0721/608-2-2849, Mobil: 0170 63 68

Die Ausweitung des Anteils von fluktuierenden regenerativen Energiequellen an der elektrischen Energieversorgung erfordert zusätzliche Maßnahmen zum Ausgleich von Einspeiseschwankungen. Neben Pumpspeicherwerken und Gas-Kavernen ist die Speicherung von flüssigem Wasserstoff als alternativer Träger für große Energiemengen eine zukunftsweisende Methode zur Integration von Wind- und Solarkraft in bestehende Stromnetze.

Ein neues Anlagenkonzept, das am Institut für Technische Physik des KIT entwickelt worden ist, kombiniert flüssigen Wasserstoff (LH₂) mit einem LH₂-gekühlten supraleitenden magnetischen Energiespeicher (SMES). Eine solche LIQHYSMES (LIiquid Hydrogen & SMES) Speicher-Einheit vereinigt die Komponenten H₂-Verflüssiger, LH₂-Tank und SMES und ist direkt angebunden an die elektrische Umrichter- und Kontroll-Einheit sowie die elektrochemische Energie-Konversion d.h. Elektrolyseur sowie Brennstoffzelle oder Gasturbine mit Generator.

Das in Simulationsrechnungen untersuchte zu erwartende System-Verhalten solcher LIQHYSMES-Hybrid-Energiespeicher wird vorgestellt: Der LH2 mit seiner hohen spezifischen Energiedichte übernimmt dabei als Hauptenergieträger die Pufferung von längerfristigen Ungleichgewichten zwischen aus erneuerbaren Energien erzeugtem Strom und dem Verbrauch. Der SMES puffert kurzzeitige Schwankungen ab und trägt so dazu bei, dass modular aufgebaute Elektrolyseure und Brennstoffzellen, Gasturbinen mit Generator oder die Weiterverarbeitung z.B. in einem Methanisierungsprozess möglichst gleichmäßig und nahe ihrer optimalen Arbeitspunkte betrieben werden können. Damit ermöglicht der Hybrid-Speicher eine Pufferung auf Zeitskalen von Sekunden bis hin zu Tagen oder Wochen. Dies wird an Hand eines vollen 24-Stunden-Zyklus gezeigt. Mit ihrer Unabhängigkeit von bestimmten geologischen Formationen könnten solche Hybrid-Großspeicher (~10-100 GWh) an beliebigen Orten in elektrischen Verteilungs- oder sogar Übertragungsnetzen eingesetzt werden und damit z. B. zentrale Pumpspeicherwerke ergänzen.

I.06

Trigeneration von Strom, Wärme und Kälte mit Resorptionsanlagen und Eisspeicher

Thomas Weimer¹, Anne Berger², Ullrich Hesse^{2*}

¹ Makatec GmbH, Siemensstrasse 3, 71149 Bondorf
weimer@makatec.eu

²TU Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik
Ullrich.Hesse@TU-Dresden.de

* Korrespondenzautor

Resorptionskälteanlagen (RKM) sind eine mögliche Alternative zu Kompressionskälteanlagen (KKM) zur Kälteerzeugung. Um die Betriebsstunden von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) weiter zu erhöhen, kann mit einer Resorptionsanlage im Sommer die Abwärme der Stromerzeugung zur Bereitstellung von Kälte auch im Bereich unter 0 °C genutzt werden. Im Verbund mit einem Eisspeicher wird die zeitliche Entkopplung von Strom- und Kältebedarfsspitzen erreicht. Der Spitzenkältebedarf kann von der Anlage in der Nacht bei vergleichsweise niedrigen Außentemperaturen und damit günstigen Bedingungen auf der Rückkühlseite erzeugt und in einem Eisspeicher gepuffert werden. Damit kann die Kälteanlage deutlich unter dem Spitzenlastbedarf Kälte dimensioniert werden, wodurch die Investitionskosten auch bei Berücksichtigung des Eisspeichers signifikant sinken und neue Freiheitsgrade für die Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit des gesamten Versorgungssystems erschlossen werden.

In einer ersten Demonstrationsanlage konnte die Eignung der Makatec Resorptionsanlagen für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit Eisspeicher an einem konkreten Beispiel demonstriert werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergeben, dass die Anlagen auch aus ökonomischer Sicht realistische Chancen haben, in dem von Kompressionskältemaschinen dominierten Markt Fuß zu fassen. Wie die Abschätzung der damit verbundenen CO₂-Einsparung zeigt, wäre dies auch aus ökologischer und klimatechnischer Sicht ein Gewinn. In einem neuen Projekt der Autoren wird an der TU Dresden eine Versuchsanlage aufgebaut und die Regelung des Gesamtsystems weiter optimiert.

Stichwörter:

Trigeneration, Resorptionsanlagen, Eisspeicher

Erzeugung hoher Magnetfelder Normalleitung versus Supraleitung

Theo Schneider, Marion Kläser*

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Physik (ITEP),
Postfach 3640, 76046 Karlsruhe, Deutschland
theo.schneider@kit.edu, marion.klaeser@kit.edu

* Korrespondenzautorin

Weltweit werden unterschiedliche Strategien bei der Erzeugung hoher Magnetfelder ($B > 1$ T) verfolgt. Abhängig vom Forschungsgebiet werden normalleitende Kupfersolenoiden oder Bitter-Spulen, eine Kombination aus normalleitenden Bitter- und supraleitenden Spulen (Hybrid-Systeme) oder rein supraleitende Magnetspulen eingesetzt. Supraleiter besitzen im Gegensatz zu Normalleitern wie Kupfer keine Resistivität und generieren somit keine ohmschen Verluste. Magnetsysteme für den Dauerbetrieb können nur mit Supraleitern hergestellt werden und erreichen heute maximale Flussdichten von 23,5 T. Gepulste Kupferspulen erzeugen Feldstärken bis zu 90 T, wobei der Puls auf den Millisekunden-Bereich beschränkt ist.

Wesentliche Merkmale der verschiedenen Konzepte sind daher die Dauer des Magnetfeldes, die Standzeiten der Spulensysteme und die anfallenden Betriebskosten. Vorgestellt werden die unterschiedlichen Arten der Magnetfelderzeugung und ihr Energieaufwand mit dem Hauptaugenmerk auf dem supraleitenden Magnetbau. Dabei werden die aktuellen, kommerziellen technischen Supraleiter und ihre Einsatzgebiete, sowie die Schlüsseltechniken zum Spulenbau präsentiert.

Stichwörter:

Hochfeldspulen, Magnetfelderzeugung, Supraleitung, Normalleitung

MOF-Materialien zur Kryoadsorption von Wasserstoff

Alexander Jahn¹, Lars Röntzsch², Christoph Haberstroh¹

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, 01062 Dresden

² Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM,
Institutsteil Dresden, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

E-Mail: Lars.Roentzsch@ifam-dd.fraunhofer.de; Tel.: +49 (0) 351 / 2537-411

* Korrespondenzautor

Die Energiewende erfordert technische Lösungen zur Speicherung von Energie, da es häufig zu einem Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage an regenerativ erzeugter Energie kommt. Eine attraktive Möglichkeit bietet der Sekundärenergieträger Wasserstoff. Dieser kann im Falle eines Überangebots an elektrischer Energie beispielsweise mittels Elektrolyse erzeugt, gespeichert und später in Verbrennungsprozessen oder mittels Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt werden. Neben den konventionellen H₂-Speichermethoden der Druckgas- und Flüssiggasspeicherung bietet die feststoffbasierte H₂-Speicherung vielversprechende und praxisrelevante Alternativen.

In diesem Beitrag werden neuartige MOF-Graphit-Verbundmaterialien zur Kryoadsorption von H₂ bei 77 K vorgestellt. Diese zeichnen sich durch hohe volumetrische und gravimetrische H₂-Speicherdichten aus. Dazu wurden Gemische aus Cu-BTC, einer hochporösen metall-organischen Gerüstverbindung (MOF), und hochwärmeleitfähigem Naturgraphit über eine pulvertechnologische Prozessroute zu einem kompakten Verbundwerkstoff vereinigt. Dieser wurde in Form von

zylindrischen Pellets in einen Rohrreaktor integriert, der – eingebunden in eine speziell entwickelte Teststandumgebung – für zyklische H₂-Be- und Entladeversuche genutzt wurde. Spezielles Augenmerk wurde auf die Temperaturentwicklung innerhalb des Reaktionsbettes gelegt, um Rückschlüsse auf den Grad und die Dynamik der Erwärmung des Speichermaterials aufgrund der exothermen H₂-Adsorption zu ziehen. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Erhöhung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Speichermaterials aufgrund des Graphitanteils sehr positiv auf die Speichergeschwindigkeit des MOF-Graphit-Verbundmaterials auswirkt, was einen deutlichen Vorteil gegenüber reinen MOF-Pulverschüttungen darstellt. Im Rahmen des Beitrags werden neben den erzielten Ergebnissen auch der existierende Prüfstand vorgestellt sowie Anwendungsbeispiele diskutiert.

I.09

Hintergrundinformationen zur weltweiten Heliumverknappung

Christoph Haberstroh

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

Aufgrund seiner vorteilhaften Eigenschaften wird das Edelgas Helium (hier: ⁴He) in vielfältiger Weise genutzt – u.a. in flüssig-tiefkalter Form als Kälteträger zum Betrieb supraleitender Apparaturen. Andere Anwendungen betreffen die Verwendung als Inertgas, zur Glasfaserproduktion, als Traggas, zur Lecksuche oder als Schweißgaszusatz. Insgesamt war über die letzten Jahrzehnte ein kontinuierlicher Anstieg des weltweiten Heliumbedarfs zu verzeichnen.

Andererseits ist Helium ein auf der Erde relativ seltenes Element, welches nur an wenigen Stellen wirtschaftlich gewonnen werden kann. Vor einigen Jahren kam es erstmals zu kurzzeitigen Engpässen bei der Heliumbereitstellung. Eine extreme Verschärfung der Situation ist seit Ende 2011 zu verzeichnen: die nachgefragte Heliummenge übersteigt systematisch die weltweit bereitstellbaren Quantitäten. In diesem Bereich tätigen Gasefirmen können z. T. bestehende Lieferverträge nur noch teilweise erfüllen und müssen sich auf höhere Gewalt berufen. Erst für Ende 2012 / Anfang 2013 ist wieder eine grundlegende Verbesserung der Versorgungslage zu erwarten.

Der vorliegende Beitrag geht auf die Hintergründe dieser gegenwärtigen Heliumknappheit ein. Erläutert werden Vorkommen und Gewinnung, die derzeitige Flüssighelium-Logistik und –Bereitstellung sowie sinnvolle Konsequenzen aus der augenfällig gewordenen begrenzten Verfügbarkeit irdischen Heliums.

I.10

Möglichkeiten und Grenzen der Kryokonservierung in der Reproduktionsbiologie

Martina Dorsch

Institut für Versuchstierkunde und Zentrales Tierlaboratorium der
Medizinischen Hochschule Hannover, Carl-Neuberg-Straße 1, 30625 Hannover

Mit Hilfe der Kryokonservierung werden Zellen und Gewebe auf sehr tiefe Temperaturen (-150°C bis -196°C) abgekühlt und für unbestimmte Zeit gelagert. Ziel ist, die Funktionalität der Zellen und Gewebe zu erhalten. Dabei geht man davon aus, dass ab Temperaturen von unter -130°C biologische Systeme ihre Stoffwechselfvorgänge einstellen. Alterungsprozesse, Zellwachstum- oder –teilung finden nicht statt. Dennoch „leben“ die eingefrorenen Zellen.

Für jeden Zelltyp gibt es eine optimale Einfrier- und Auftaugeschwindigkeit. Das optimale Verfahren hängt z. B. von der Zellgröße und -form ab, sowie vom Wassergehalt, den im Zytoplasma gelösten Elektrolyten und vielem mehr. Da Gewebe und Organe aus mehreren Zelltypen bestehen, ist hier die Kryokonservierung noch immer eine Herausforderung.

Kryokonservierungsmethoden wurden zunächst in der Nutztierzucht eingesetzt, mittlerweile kommen diese Verfahren auch in der Reproduktionsmedizin, der Forschung und seit einigen Jahren im Artenschutz zum Einsatz. Heute werden in sog. Kryobanken Eizellen, Samenzellen, Gewebe von Ovarien, Embryonen in der frühen Entwicklungsphase und embryonale Stammzellen eingefroren und aufbewahrt. Die Kryokonservierung in der Forschung dient dabei, neben der Sicherung von Versuchstierstämmen, der Erforschung möglicher schädlicher Folgen und der Suche nach Möglichkeiten Risiken zu minimieren.

Der Vortrag stellt Beispiele aus den genannten Einsatzbereichen vor und stellt dem Nutzen mögliche Probleme gegenüber.

I.11

Qualitätskontrollen kryokonservierter Mausmutanten

Johannes Schenkel

Kryokonservierung W430, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ) Heidelberg

Transgene Tiere, vor allem Mäuse, sind wertvolle, einmalige Mutanten, die man nur aufwändig generieren und charakterisieren kann und deren Zahl kontinuierlich steigt. Kleine Populationen, eine permanente Verlustgefahr, schlechtes Zuchtverhalten, die nötige Weiterzucht sowie ein häufiger Austausch zwischen Haltungen sind Probleme der transgenen Tierhaltungen. Tierverbrauch, Platzbedarf und Kosten steigen, man muss Alternativen finden, z. B. mit der Kryokonservierung von Embryonen oder Spermatozoen. Eine Lagerung ist im flüssigen Stickstoff bei -196 °C nahezu unbegrenzt möglich.

Da nach einer ausreichenden Kryokonservierung die jeweiligen Linie nicht mehr weitergezüchtet werden muss, muss sichergestellt werden, dass das Material korrekt kryokonserviert wurde und zuverlässig revitalisiert werden kann. Da Qualitätskontrollen aufwändig sind und zwangsläufig zu Materialverlust führen, werden möglichst Ressourcen sparende Techniken angewendet. Neben einer (Re-) Genotypisierung der Spendertiere überprüfen wir die Qualität der eingefrorenen Proben stichprobenweise:

Embryonen: Einzelne Proben werden revitalisiert, zumindest ein qualitativer Embryotransfer wird vorgenommen und die Nachkommen genotypisiert. Zusätzlich werden *in vitro*-über-Nacht-Kulturen angelegt.

Spermatozoen: Neben dem Nachweis der *in vitro*-Fertilisationskapazität der jeweiligen Linie muss jedes Spendertier analysiert werden. Wir verwenden hierzu eine fluoreszenzmikroskopische Technik.

Die Konsequenzen eines nicht zufriedenstellenden Ergebnisses werden diskutiert.

Darüber hinaus sind thermische und hygienische Stabilität der Proben sowie ein Schutz gegen einen (unfallbedingten) Verlust erforderlich.

I.12

Warum Svalbard nicht genügt - pflanzengenetische Ressourcen im flüssigen Stickstoff

Heinz Martin Schumacher

DSMZ- Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen,
Inhoffenstraße 7b, 38124 Braunschweig

Die Möglichkeit Pflanzensamen über mittlere bis längere Zeiträume lagern zu können, war eine der Voraussetzungen für die Entwicklung der Landwirtschaft. Auch für die Erhaltung genetischer Ressourcen von Agrarpflanzen greift man meist auf die Lagerung getrockneter Samen bei reduzierter Temperatur zurück. In Svalbard wurde eine Genbank eingerichtet, in der auch ohne menschliches Eingreifen solche Samen vielleicht sogar über Jahrhunderte lebensfähig bleiben. Wenig bekannt ist aber, dass die meisten tropischen Nutzpflanzen rekazitrannte Samen bilden, die man weder trocknen noch lagern kann. Einige produzieren gar keine lebensfähigen Samen mehr, weil sie seit eh und je vegetative vermehrt wurden. Ein Beispiel hierfür ist die Banane. Das gleiche trifft auch auf biotechnologisch erzeugte Pflanzen zu. In solchen Fällen ist die Kryokonservierung die einzige Möglichkeit der Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen. Kryokonservierung von Pflanzenzellen ist aber ein besonders schwieriges Problem wegen der sub-zellulären Struktur von Pflanzenzellen, die große intrazelluläre wassergefüllte Vakuolen enthalten. Diese Vakuolen erschweren eine Entwässerung der Zellen. Trotzdem existieren heute verschiedene Methoden um eine erfolgreiche Kryokonservierung von Pflanzenzellen und -geweben zu erreichen. Solche Methoden können auf pflanzliche Zellkulturen angewendet werden und ebenso auf verschiedene differenzierte Strukturen, die die Regeneration ganzer Pflanzen gestatten. Folgerichtig gewinnt die Lagerung pflanzengenetischer Ressourcen bei der Temperatur flüssigen Stickstoffs auch praktisch immer mehr an Bedeutung.

I.13

Einfrier- und Lagerprozesse in Biobanken - Qualitätsanforderungen und deren Umsetzung

D. Niehardt

ASKION GmbH, Gewerbepark Keplerstraße 17-19, D-07549 Gera
Diana.niehardt@askion.com

Bei der Kryokonservierung von kritischen oder empfindlichen Zellen werden besonders hohe Anforderung an den Einfrier- und Lagerungsprozess gestellt, weil für diese Zellen hohe Zellüberlebensraten und eine uneingeschränkte Zellaktivität nach dem Auftauen extrem wichtig sind. Nach der Aufbereitung der Zellen ist eine möglichst homogene Temperaturverteilung über alle Proben beim Einfrierprozess im Freezer und ein präzises Einfrieren mit einem spezifischen Temperaturgradienten in Anlehnung an die Temperatur des sensiblen Probeninhaltes eine wichtige Voraussetzung für hohe Zellüberlebensraten.

Die Konstanz der Temperatur über die gesamte Zeit der Lagerung ist eine weitere Voraussetzung für den Erhalt der Lebensfähigkeit der Zellen. Viele der gegenwärtig eingesetzten Systeme können eine dauerhafte Kühlung ohne große Temperaturschwankungen nicht lückenlos garantieren, da aufgrund von Ein- und Auslagerungsvorgängen unkontrolliert und uneingeschränkt Wärme in das Lagersystem eingetragen wird, was für die Proben kritisch sein kann, weil oberhalb bestimmter Temperaturen Umkristallisierungsvorgänge stattfinden.

Ausgehend von den biologischen Grundlagen werden die Anforderungen an eine qualitativ hochwertige Kryokonservierung biologischer Proben und Möglichkeiten zur technischen Realisierung erläutert.

Stichworte:

Kryokonservierung, Qualitätsanforderungen, Biobank

Auslegung und Aufbau von Cryobanken für die Cryokonservierung von organischen Proben

Dipl.Ing. (FH) Wolfgang Flohr

Cryotherm GmbH & Co. KG, Produktentwicklung, 57074 Kirchen (Sieg)
wolfgang.flohr@cryotherm.de

Die *Cryokonservierung* ist gegenwärtig die einzige Möglichkeit tierische, pflanzliche und vor allem menschliche Zellen und Zellverbände über nahezu beliebige Zeiträume lebensfähig abzulegen und zu gegebener Zeit zu reanimieren. [1]

Sie eröffnet neue Perspektiven für die Lebens- und Umweltwissenschaften. [2]

Cryobanken bewahren in Zukunft die mit Abstand wichtigsten nationalen „Bioressourcen“. [3]

Bei der Auslegung einer *Cryobank* sind neben Art, Größe und Anzahl der Proben-Lagerbehälter im Wesentlichen noch folgende Kriterien zu beachten:

- Versorgung mit Kältemittel (i.d.R. tiefkalter, flüssiger Stickstoff)
- Lüftungsmaßnahmen (Mindestanforderungen: TRB 610)
- Sicherheitskonzept (Sauerstoffmangelüberwachung, Redundanz, zentrale Schaltorgane, Alarmerfassung und -weiterleitung, Fernüberwachungssysteme)
- Datenerfassung (Netzwerke auslegen, Meldungen an GLT, Probenverwaltungssysteme)
- Unterstützung bei der Durchführung von Installationsqualifizierung (IQ) und Funktionsqualifizierung (OQ) gemäß DIN EN ISO 13485: 2003
- von der Zweckbestimmung der eingesetzten Produkte abhängige Einhaltung der anzuwendenden Richtlinien und Normen wie z. Bsp. MDD 93/42/EWG , DIN EN ISO 13485 : 2003

Anwendungsbeispiele für *Cryobanken*:

- Lagerung von Samenzellen für die Reproduktionsmedizin
- Lagerung von aus der Natur entnommenen Proben in Umweltprobenbanken
- Lagerung von Stammzellen, Präparaten aus Nabelschnurblut
- als Dienstleistung: für den Patienten, Backuplagerung und Auslagerung von anderen Cryobanken.

Stichwörter:

Cryokonservierung, Cryobank, Probenverwaltungssysteme, Sauerstoffmangelüberwachung, Fernüberwachung, Installationsqualifizierung, Funktionsqualifizierung

I.15

"Ice Age - Die Gefriertoleranz von Bärtierchen"

PD Dr. Ralph O. Schill

Biologisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart

ralph.schill@bio.uni-stuttgart.de

muster@email.de

Kurzfassung

Um Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu überleben, nutzen kältetoleranten Organismen entweder die Fähigkeit, das Gefrieren zu vermeiden, oder bereits bei geringen Minustemperaturen zu Gefrieren. Tiere, die das Gefrieren vermeiden, versuchen dabei, die Temperatur des spontanen Gefrierens (supercooling point, SCP) herabzusetzen, indem sie Gefrierschutzproteine oder andere Gefrierschutzsubstanzen, wie beispielsweise Zucker und Polyole, einlagern. Die Bärtierchenart *Milnesium alpigenum* Ehrenberg, 1853 scheint sowohl die Fähigkeit der Gefriervermeidung bis -20°C zu besitzen, toleriert jedoch auch das extra- und intrazelluläre Gefrieren bei tieferen Temperaturen. Dabei zeigen sich deutliche, nicht lethale DNA-Schäden im Zellkern, die vermutlich durch den Gefrierprozess mechanisch verursacht werden. Weiterhin zeigt sich bei verschiedenen Bärtierchenarten, dass die Überlebensraten bei sehr schnellen und sehr langsamen Abkühlungsraten am besten sind. Dabei beruht die Überlebensfähigkeit bei schnellen Abkühlungsraten von 9°C/h und mehr wohl auf einem physikalischen Effekt. In der Natur vorkommende Abkühlungsraten von 1°C/h und weniger ermöglichen hingegen, dass die Tiere sich durch die Synthese von Gefrierschutzmolekülen auf den Gefrierprozess vorbereiten können.

Stichwörter:

Gefrierschutz, DNA-Schäden, Gefriertoleranz

I.16

Gametenkonservierung für die Deutsche Nutztier-Genbank

D. Rath

Institut für Nutztiergenetik, Friedrich-Löffler-Institut, Mariensee

Trockener $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühler mit separater 1K-Stufe

Kurt Uhlig

Walther-Meißner-Institut der Bayerischen Akademie der Wissenschaften,
85748 Garching, Deutschland
kurt.uhlig@wmi.badw.de

In vielen Anwendungen der Grundlagenforschung werden $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühler zur Erzeugung von Milli-Kelvin-Temperaturen verwendet, weil das Verfahren der Verdünnung von ^3He in ^4He das einzige ist, mit dem sich Sub-Kelvin-Temperaturen über lange Zeiträume aufrechterhalten lassen. In den letzten Jahren haben sich in den Labors trockene Mischkühler durchgesetzt, bei denen die Vorkühlung des ^3He -Kreislaufs mit einem Pulsröhrenkühler erfolgt, der die sonst übliche Vorkühlung mit flüssigem Helium (und Stickstoff) ersetzt.

In unserem Beitrag beschreiben wir einen trockenen Mischkühler, bei dem zusätzlich zum Mischkreis noch ein ^4He -JT-Kreislauf integriert ist, der bei einer Temperatur von ca. 1K betrieben und zur Kühlung von Verstärkern und elektrischen Leitungen verwendet werden soll. Seine Kühlleistung beträgt bis zu 100 mW. Der Mischkreis ist über einen Wärmetauscher an diese 1K-Stufe gekoppelt, sodass bei der Inbetriebnahme des Kühlers die Zeit zur Kondensation des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Gasgemisches halbiert wird.

Stichwörter:

Sub-Kelvin-Temperatur, $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkühler, JT-Kühler, Pulsröhrenkühler

Verhalten von XFEL Beschleuniger während des Lastwechsels

J. Eschke, K. Jensch, B. Petersen, Dr. S. Putselyk*, T. Schnautz

MKS1 – Kryogenik, DESY GmbH, Notkestrasse 85, 22607 Hamburg, Deutschland
Tel.: +49 40 8998 3492, Fax: +49 40 8998 2858
sergiy.putselyk@desy.de

* Korrespondenzautor

Der European XFEL wird zur Zeit in Hamburg errichtet. Der Freie Elektronen Laser wird im Jahr 2015 in Betrieb genommen und laserlichtartige Röntgenstrahlung mit Wellenlängen im Bereich von 0,1 nm liefern. Damit werden einzigartige Forschungsmöglichkeiten für zahlreiche Anwendungen in Naturwissenschaft und Technik eröffnet. Als Quelle des Röntgenlasers wird ein supraleitender Linearbeschleuniger von ca. 1,5 km Länge gebaut. Supraleitende Kavitäten mit einer Arbeitsfrequenz von 1,3 GHz und Pulsen von 10 Hz beschleunigen Elektronenpakete auf eine Energie von 17,5 GeV. Zum Betrieb werden die Kavitäten mit Helium II Flüssigkeit auf eine Temperatur von 2 K gekühlt. Der störungsfreie Hochfrequenzbetrieb der Hochgüte- Kavitäten stellt sehr hohe Anforderungen an die Druckstabilität des Heliumbades. Die Steuerung der Heliumkälteanlage mit kalten Kompressoren muss Wechsel zwischen statischen und dynamischen Wärmelasten bewältigen. Zusätzlich können durch Quenche der Kavitäten weitere Störungen auftreten. Aufgrund der Erfahrungen mit dem Betrieb des supraleitenden FLASH Linearbeschleunigers beim DESY werden Konzepte für den XFEL diskutiert. Dabei wird betrachtet, wie das räumlich weit ausgedehnte 2 K Volumen auf Störungen reagiert und welche Laufzeiteffekte zu erwarten sind.

Das Kryosystem von FAIR

Marion Kauschke^{1*}, Yu Xiang¹, Claus H. Schroeder¹

¹ GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt, Germany
M.Kauschke@gsi.de

* Korrespondenzautor

In den nächsten Jahren wird bei GSI das neue internationale Beschleunigerzentrum FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) entstehen. FAIR wird Antiprotonen- und Ionenstrahlen mit bisher unerreichter Intensität und Qualität liefern. Im Endausbau besteht FAIR aus acht Ringbeschleunigern mit bis zu 1.100 Metern Umfang, zwei Linearbeschleunigern und rund 3,5 Kilometern Strahlführungsrohren. Die bereits existierenden GSI-Beschleuniger dienen als Vorbeschleuniger. Zwei der Ringbeschleuniger und mehrere der Experimente setzen supraleitende Magnete ein, die zuverlässig mit flüssigem Helium versorgt werden müssen. Durch die große Bandbreite an Experimenten in FAIR, sind die Lastanforderungen an das Kryosystem stark schwankend. Trotz dieser Schwankungen muss ein sicherer Betrieb gewährleistet sein. Das Konzept für die Kryoversorgung von FAIR wird vorgestellt.

Stichwörter:

FAIR, neue Anlagen, Verteilsysteme

High temperature super conducting current leads – an essential component of efficient superconducting applications

Christoph Bayer, K.-P. Weiss*, Christian Barth

Institute of Technical Physics, Karlsruhe Institute of Technology,
Hermann-von-Helmholtz Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

*Korrespondenzautor

Cryogen temperatures are inevitable for superconducting applications e.g. fusion magnets or HTS current leads, since a cryogen system temperature is the precondition to reach the superconducting state. Running superconducting applications at 77 K with high temperature superconductors is not quite easy, but generating the optimum condition of 4.2 K is even more subtle.

The major problem is to keep the thermal balance between the cryogenic cooling system and the thermal energy brought into the system by the current leads via thermal conduction and ohmic heating. This equilibrium can easily be destroyed by underestimating the thermal influence of the current leads and result in a quench or even the complete destruction of the superconducting components.

One solution to avoid large heat inputs is a high temperature superconducting current lead design. To demonstrate the functionality and the advantages of this design, details are highlighted on a given cryostat with a stand-alone cryo-cooler. The desired input current is 400 A at a temperature of 4.2 K. But at that temperature the cooling power of the cryogenic cooling device is only 0.8 W, demanding a sophisticated current lead design.

Notizen

Zum Wärmeübergang beim Behältersieden an eng berippten Stahlrohren

Patrick Bujok^{1*}, Yabai Wang^{1*}, Andrea Luke¹

¹ Universität Kassel, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, 34125 Kassel, Germany
bujok@uni-kassel.de, y.wang@uni-kassel.de

* Korrespondenzautor

Prozessintegrierte Energieeffizienz in energie- und verfahrenstechnischen Anlagen wird nur mit neuen innovativen Apparatekonzepten gelingen. Da für diese noch keine hinreichenden Referenzanwendungen und Daten für die Auslegung und keine Nachweise zur Betriebssicherheit vorliegen, werden diese trotz großer energetischer Vorteile nicht angewandt. Daher haben sich in einem Verbundvorhaben Industrieunternehmen (Apparatebauer, Anlagenbetreiber und Ingenieurbüros) und fünf Universitäten zusammengeschlossen, um mit neuen Apparat- und Anlagenkonzepten nicht genutzte Potentiale zur Wärmeintegration zu erschließen. Am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der Universität Kassel werden Apparate betrachtet, die bei besonders kleinen Temperaturdifferenzen zwischen wärmeabgebender und wärmeaufnehmender Seite effektiv und sicher einen Wärmestrom übertragen. Dies sind mit strukturierten Rohren versehene Verdampfer. Rippenstrukturen sind eine der effizientesten Methoden für die Wärmeübertragung und seit langem in der Kälte- und Klimatechnik verwendet. Da jedoch in vielen Bereichen verlässliche Auslegungsdaten fehlen, sind Glattrohre immer noch technischer Standard in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie.

Das Ziel unseres Forschungsprojektes ist, Makro- und Mikrostrukturen zu betrachten, die besonders effizient hinsichtlich des Wärmeübergangs und mit relativ geringem Aufwand und in großer Stückzahl mit gleichbleibender Struktur zu fertigen sind. Eine belastbare Datenbasis für die Auslegung von Verdampfern mit solchen Oberflächenstrukturen wird aufgebaut. Daher werden im Labormaßstab einzeln und in kleinen Rohrbündeln verschieden strukturierte Verdampferrohre, die beim Projektpartner (Wieland-Werke AG, Ulm) industriell hergestellt werden, untersucht. Ausgewählte Strukturen werden anschließend im Technikum des Projektpartners (Linde AG, Pullach) eingesetzt, um die Übertragbarkeit vom Labormaßstab - Einzelrohr, Minibündel - auf technische Maßstäbe zu validieren.

Hierbei wird der Einfluss von eng berippten Stahlrohren mit trapezförmigen Rippen auf den Wärmeübergang beim Sieden in freier Konvektion in weiten Druckbereich vom beginnenden bis zum vollausgebildeten Blasensieden behandelt. Als siedende Fluide werden Kohlenwasserstoffe, z. B. Propan, n-Pentan und i-Oktan, eingesetzt, die als natürliche Kältemittel in der Prozessindustrie dienen. Die Ergebnisse an einem elektrisch beheizten, horizontal ausgerichteten Versuchsrohr aus Baustahl werden mit Korrelationen aus der Literatur verglichen. Dabei wird diskutiert, auf welche Fläche der Wärmeübergang im Falle strukturierter Rohre bezogen werden soll, da die Korrelationen in der Literatur diesbezüglich sehr unklar formuliert sind oder für den Anwendungsfall nicht geeignet sind.

Stichwörter:

Wärmeübergang, Behältersieden, Kohlenwasserstoffe, Rippenrohr, Rohrbündel

II.1.02

Auslegung überfluteter Verdampfer mit der aktualisierten Wärmeetlas-Rechenmethode

Dieter Gorenflo^{1*}, Stephan Kotthoff², Elmar Baumhögger¹, Gerhard Herres¹

¹ Thermodynamik und Energietechnik, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn

² Siemens AG, Görlitz

* Korrespondenzautor

Die möglichst genaue Vorhersage der Übertragungsleistung von Verdampfern ist im Hinblick auf eine rationelle Energienutzung seit Jahren ein aktuelles Thema. Für überflutete Verdampfer, die besonders in Anlagen der Kälte- und Klimatechnik mit hoher Leistung eingesetzt werden, wurde eine der etablierten Rechenmethoden für die diesjährige Neuauflage des VDI-Wärmeetlasses aktualisiert. Im Vortrag wird die Methode zunächst in Umrissen erläutert und danach auf die Neuerungen im Einzelnen näher eingegangen. Besonderes Augenmerk wird u.a. auf das Verhalten engsiedender und nah-azeotroper Gemische gerichtet, von denen einige z.Zt. als Kältemittel in Gebrauch sind, und dabei die Wirkung des aufsteigenden Blasenschwarms in horizontalen Rohrbündeln herausgestellt. Schließlich wird auch gezeigt, welche Verbesserungen mit einer Berippung der Heizfläche erzielt werden können.

II.1.03

Messungen zum Einfluss von Fluid und Heizfläche auf Wärmeübergang und Blasenbildung beim Sieden

Stephan Kotthoff¹, Dieter Gorenflo²

¹ Siemens AG, Görlitz

² Thermodynamik und Energietechnik, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn

* Korrespondenzautor

Die Entwicklung eines zuverlässigen Rechenverfahrens zur Vorhersage des Wärmeübergangs beim Blasensieden ist immer noch Gegenstand laufender Forschungsvorhaben. Ein jetzt abgeschlossenes Vorhaben hat sich mit experimentellen Untersuchungen zum Einfluss des verdampfenden Fluids und der Heizflächeneigenschaften beschäftigt. Dabei wurden in einem großen Bereich von Wärmestromdichte und Siededruck insgesamt 8 teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, die z. Zt. als Kältemittel verwendet werden, 7 reine Kohlenwasserstoffe und 3 Fluide aus anderen Stoffgruppen (Azetaldehyd, Azeton und Kohlendioxid) mit zwei horizontalen Kupferrohren untersucht, die jeweils eine sandgestrahlte Oberfläche mittlerer Rauigkeit besaßen. Im Fall des Fluideinflusses haben die neuen Messungen dazu geführt, dass die mathematische Beschreibung in einem der bekannten Ansätze deutlich vereinfacht und verbessert wurde. Dagegen konnte im Fall des Heizflächeneinflusses mit den neuen experimentellen Ergebnissen lediglich – wie schon früher – nachgewiesen werden, dass die z. Zt. vorhandenen Berechnungsverfahren erweitert werden müssen. Im Vortrag werden beide Aspekte genauer analysiert.

II.1.04

Nucleate Pool Boiling of CaSO₄ solutions on enhanced Tubes

M. Esawy, M.R. Malayeri*, D. Ackermann

Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering (ITW), University of Stuttgart
Pfaffenwaldring 6, D-70550, Stuttgart, Germany
m.malayeri@itw.uni-stuttgart.de

* Corresponding author

Finned tube heat exchangers are mainly utilized in refrigerant applications where the nucleate pool boiling is the dominant heat transfer mode. There are nevertheless potential applications for boiling processes at higher heat fluxes where the working fluids are aqueous solutions. Perhaps the most spectacular examples are pulp mills, reformer boilers, and desalination units. Nonetheless, the boiling characteristics of aqueous solutions are different from those of distilled water due to the presence of inverse solubility salts in water. The present work aims at experimentally investigating the heat transfer coefficient during nucleate pool boiling of aqueous CaSO₄ solutions on horizontal finned tubes. The test finned tubes are low finned tube type with various fins density of 19, 26 and 40 fins per inch. For the sake of comparison, the results will also be compared with plain tubes. Two types of tube materials also were used copper-nickel alloy and copper as substrate to investigate the effect of tube material in boiling characteristics. The test runs were carried out at atmospheric pressure for different heat fluxes ranging from 100 to 300 kW/m² at saturated and subsaturated CaSO₄ concentration of 1.6 and 1.2 g/L respectively. To avoid fouling during boiling of CaSO₄, the clean heat transfer coefficient was measured within the first three minutes. A set of high speed video records were taken during the experiments to observe the bubbles behaviour during boiling of CaSO₄ and distilled water. Experimental results show that: 1) for both saturated and subsaturated CaSO₄ concentrations, a significant reduction in heat transfer coefficient occurred compared with distilled water; 2) the higher the fin density is the lower reduction in heat transfer coefficients; 3) copper-nickel finned tubes showed lower reduction in heat transfer coefficient than copper finned tubes.

II.1.05

Untersuchungen zum Kristallisationsfouling in mikrostrukturierten Wärmeübertragern

Jürgen Bucko*, Walther Benzinger, Roland Dittmeyer

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT),
Hermann-von-Helmholtz Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
*juergen.bucko@kit.edu

Die Bildung von Ablagerungen an wärmeübertragenden Oberflächen ist im Betrieb von Wärmeübertragern ein großes Problem. Die Ablagerungen haben einen Einfluss auf das thermische und fluiddynamische Verhalten und können die Effizienz von Wärmeübertragern verschlechtern. Systematische Untersuchungen zum Foulingverhalten von mikrostrukturierten Apparaten sind bislang kaum erfolgt. Angesichts einer angestrebten Verbreitung mikroverfahrenstechnischer Apparate sind Kenntnisse über das Ablagerungsverhalten dieser Apparate von großer Bedeutung.

In den Untersuchungen wurde das Ablagerungsverhalten von Calciumcarbonat in Mikrokanälen mit einer Querschnittsfläche von 400 x 200 µm² untersucht und mit Hilfe einer digitalen Mikroskopkamera visualisiert. Die Abhängigkeit des Kristallisationsfouling von der Strömungsgeschwindigkeit, der Wandtemperatur und der Ionenkonzentration konnte gezeigt und quantifiziert werden. Weiterhin wurde die Ablagerungsrate vom festen Calciumcarbonat in den Mikrokanälen ermittelt. Die Kinetik der Ablagerungsbildung von Calciumcarbonat wurde mit einem Potenzansatz beschrieben. Kinetische

Untersuchungen zur Ablagerungsbildung im Mikrokanal zeigen außerdem, dass es sich hierbei um einen reaktionskontrollierten Prozess handelt.

Das Kristallisationsfouling zeigt einen signifikanten Einfluss auf das thermische und fluiddynamische Verhalten des untersuchten mikrostrukturierten Wärmeübertragers. Die Abnahme der Wärmeübertragungsleistung kann 50 % und mehr betragen. Weiterhin kann der Druckverlust bis auf das Zehnfache des ursprünglichen Druckverlustes ansteigen.

Stichwörter:

Fouling, Mikrowärmeübertrager, Kristallisation, Calciumcarbonat

II.1.06

Strömungsformen von CO₂ im horizontalen Glatt- und Rippenrohr: Ergebnisse und Vergleich mit Strömungsformenkarten

Arndt-Erik Schael^{1*}, Matthias Kind²

¹Duale Hochschule BW Mannheim, Fakultät Technik, Coblitzallee 1-9, 68163 Mannheim
aschael@web.de

²Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
matthias.kind@kit.edu

*Korrespondenzautor

In diesem Vortrag werden bisher nicht veröffentlichte Untersuchungsergebnisse von Strömungsformen von CO₂ in einem Druckbereich von 10 bar bis 40 bar und Strömungsdampfgehalten im gesamten Bereich der Verdampfung für zwei Rohrtypen, einem Glattrohr mit 14 mm Innendurchmesser und einem Rippenrohr mit einem Kernrohrdurchmesser von 8,62 mm, präsentiert. Die maximale Massenstromdichte lag im Glattrohr bei 400 kg/m²s und beim Rippenrohr bei 600 kg/m²s. Die Strömungsformen wurden anhand von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bestimmt und in drei übergeordnete Strömungsformen klassifiziert. Diese sind geschichtete Strömungen wie Schichtenströmung, Schichten-Wellenströmung und Wellenströmung, Schwallströmung sowie Ringströmungen wie Ringströmung, Schwall-Ring-Strömung und Wellen-Ring-Strömung. Grundsätzlich treten im Glattrohr und im Rippenrohr die gleichen Strömungsformen auf, allerdings finden sich die Übergänge zwischen den Strömungsformen bei anderen Betriebsparametern. So ist im Rippenrohr eine deutliche Ausweitung der Ringströmungen zu beobachten, die durch die verdrallten Rippen verursacht wird. Dies führt auch dazu, dass im Rippenrohr bei 40 bar eine Strömungsform auftritt, die im Glattrohr so nicht beobachtet werden konnte: die Ring-Wellen-Strömung. Sie ist im Wesentlichen eine Wellenströmung, die aber mit einem durch die Drallrippen erzeugten dünnen Flüssigkeitsring überlagert ist.

Die beobachteten Strömungsformen wurden zum einen in ein dimensionsloses Diagramm nach Steiner [2002] zum anderen dimensionsbehaftet in ein Diagramm \dot{m} über \dot{x} aufgetragen. Die ungefähre Lage der Übergänge wird aufgezeigt und diese mit Grenzkurven nach Steiner [2002], Kattat et al. [1998] und Wojtan et al. [2005] verglichen. Zusätzlich zur üblichen dimensionslosen Auftragung werden die Grenzkurven nach Steiner [2002] in der Auftragung \dot{m} über \dot{x} dargestellt und diskutiert.

Wärmeübergang und Druckverlust beim Strömungssieden von CO₂-Öl-Gemischen

Markus Wetzel*, Benjamin Dietrich, Thomas Wetzel

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
76131 Karlsruhe, Deutschland
wetzel@kit.edu

* Korrespondenzautor

In diesem Beitrag werden experimentelle Ergebnisse zum Wärmeübergang und Druckverlust beim Strömungssieden von CO₂ und CO₂-Öl-Gemischen präsentiert. Ein Vergleich dieser Daten zu aktuellen Korrelationen aus der Literatur soll die Genauigkeit der Auslegung technischer Verdampfer kritisch darstellen und den weiteren Forschungsbedarf aufzeigen.

Bei technischen Kompressionskältemaschinen ist aufgrund der benötigten Öl-Schmierung des Verdichters das Kältemaschinenöl ebenfalls Bestandteil des Kreislauffluids. Hierdurch können die Stoffeigenschaften des Fluids (Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität) signifikant beeinflusst werden. Diese Eigenschaften wirken sich sowohl auf die Strömungsform (bspw. Schaumbildung, erhöhte Wandbenetzung) als auch den Wärmeübergang und den Druckverlust aus. Die Änderung der Stoffeigenschaften ist dabei insbesondere durch den Ölgehalt geprägt. Beim Strömungssieden kann bereits eine Ölkonzentration von 1 Gew.-% im Kältemittel zu einem deutlich unterschiedlichen Verhalten im Vergleich zum reinen Kältemittel führen. Dabei kann der Ölgehalt in technischen Kältesystemen bis zu 8 Gew.-% betragen.

Die Versuche zum Wärmeübergang und Druckverlust wurden an einer Versuchsanlage am Institut für thermische Verfahrenstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführt. Das Fluid (CO₂ bzw. CO₂-Öl-Gemisch) zirkuliert in einem waagerechten Kreislauf, bestehend aus vier Vorverdampfern zur Einstellung des Dampfgehalts, der Messstrecke mit anschließender Schutzheizstrecke zur Bestimmung von Wärmeübergang und Druckverlust unter isothermer Wandbedingung, einem Schauglas zur Bestimmung der Strömungsform und einem Sole-gekühlten Kondensator zur CO₂-Rückkondensation sowie Einstellung von Temperatur und Druck. Die Zudosierung von Öl erfolgt diskontinuierlich über einen Ölkreislauf und die Ölgehaltsbestimmung gravimetrisch durch Probenentnahme. Als Messstrecke wurde ein Nickel-Glattrohr mit 14 mm Innendurchmesser verwendet. Die Versuchsführung zum Wärmeübergang bei isothermer Wand wurde durch die Segmentierung der Messstrecke in 6 unabhängig beheizbare Rohrabschnitte mit entsprechenden Temperaturmessstellen erzielt. Strömungsformen wurden anhand von Videoaufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera sowie mittels eines konfokalen Laserwegmesssystems gemessener Filmdicken am Rohrscheitel identifiziert.

Versuche wurden unter Variation von Ölgehalt (0 bis 3 Gew.-%), Druck, Massenstromdichte, Dampfgehalt und Wärmestromdichte durchgeführt. Dabei konnte u.a. eine gute Übereinstimmung der experimentell bestimmten Strömungsformen und Wärmeübergangskoeffizienten mit der Berechnungsvorschrift nach *Steiner*¹ für CO₂ festgestellt werden. Im Falle von CO₂-Öl-Gemischen können dagegen deutliche Abweichungen auftreten.

¹ Steiner, D., 1994. Strömungssieden gesättigter Flüssigkeiten. VDI-Wärmeatlas, 7. Auflage, Abschnitt Hbb, VDI_Verlag.

Stichwörter:

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

Erzwungenes Blasensieden bei hohen Wärmestromdichten

Tobias Knipping^{1*}, Michael Arnemann², Ullrich Hesse³, Frank Humpfer¹

¹ Hochschule Karlsruhe, Institute of Materials and Processes (IMP),
76133 Karlsruhe, Deutschland
tobias.knipping@hs-karlsruhe.de

² Hochschule Karlsruhe, Institut für Kälte, Klima und Umwelttechnologie (IKKU),
76133 Karlsruhe, Deutschland
michael.arnemann@hs-karlsruhe.de

³ TU Dresden, BITZER-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik
01069 Dresden, Deutschland
ullrich.hesse@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Kunststoffe bilden eine der wichtigsten Werkstoffgruppen im Ingenieurbereich und werden größtenteils durch Spritzgießen verarbeitet. Die Zykluszeit beim Spritzgießen wird hauptsächlich durch die Kühlzeit bestimmt und ist von der im Bauteil enthaltenen Energiemenge abhängig. Zur Minimierung der Kühlzeit wird ein Wärmetransportmedium eingesetzt, um die Bauteilenergie aus der Spritzgießform zu entfernen. Stand der Technik ist Wasser als Transportmedium, welches durch Kühlkanäle geführt wird. Bauteilgeometrien mit kleinen Innendurchmessern (z. B. Schraubdome) können mit Wasser nicht gekühlt werden, da ein Mindestdurchmesser der Kühlkanäle von 8 mm zur dauerhaft störungsfreien Durchströmung notwendig ist. Diese Geometrien werden Hot-Spots genannt.

Um Hot-Spots kühlen zu können, wird derzeit an einer Kühlung auf Basis eines verdampfenden Kältemittels geforscht. Die größten Herausforderungen bei der Kühlung von Hot-Spots mit Kältemittel liegen in den hohen Umgebungstemperaturen (bis 300 °C), den geometrischen Eigenschaften (Expansionsorgan ca. 0,2 – 1 m vom Verdampfer entfernt) den hohen Wärmestromdichten (10^5 bis 10^7 W/m²) und dem Verdampferdesign (Umlenkung der Kältemittelströmung um 180°).

Diese Arbeit befasst sich mit der experimentellen Untersuchung des neuen Verdampfers (Spot-Verdampfer) unter Variation der Parameter Geometrie, Massenstrom, Unterkühlung und Fluidgeschwindigkeit.

Durch das neue Design ist es möglich, selbst bei o. g. hohen Wärmestromdichten das Siedeverhalten in Richtung Blasensieden zu erzwingen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fluidgeschwindigkeit, der Massenstrom und die Geometrie des Verdampfers starken Einfluss auf die Kühlleistung haben, während die Unterkühlung des flüssigen Kältemittels nur geringen Einfluss auf die Kühlleistung hat.

II.1.09

Möglichkeiten der Wärmeleitfähigkeitsmessung von Kältemitteln und Kältemittel-Öl-Gemischen

Steffen Feja¹, Ulf Hammerschmidt²

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

² SeSc 1.01 Fachgebiet Wärmetransport Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
ulf.hammerschmidt@ptb.de

Für die Auslegung von Kältemaschinen, Kältekreisläufen, Wärmepumpen und ähnlichen Geräten müssen die thermodynamischen Stoffwerte der eingesetzten Arbeitsstoffe bekannt sein. Insbesondere für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Arbeitsweise der genannten Maschinen ist eine Abschätzung dieser Stoffwerte für die einphasigen Komponenten Kältemittel und Kältemaschinenöl unzureichend. Es bedarf vielmehr der zuverlässigen Messung dieser Größen. Hierbei interessieren nicht nur deren Absolutwerte bei Raumtemperatur, sondern auch die jeweiligen Temperatur- und Druckabhängigkeiten. Für die neuartigen LOW-GWP Kältemittel sind Messungen besonders angezeigt, da hier die Datenbasis noch relativ dünn ist. Zu den Gemischen aus neuartigen Kältemitteln und Kältemaschinenölen existieren noch fast gar keine thermodynamischen Stoffwerte. Gerade diese Gemischdaten werden jedoch für die Beschreibung der Vorgänge in den Kältemaschinen benötigt.

Der Vortrag beschreibt verschiedene Messmethoden zur Ermittlung der thermischen Transporteigenschaften reiner Kältemittel und Öle sowie deren Mischungen. So konnte die Wärmeleitfähigkeit mit Hilfe stationärer und transientscher Messmethoden bestimmt werden. Die entsprechenden Messgeräte wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes am ILK in Kooperation mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Braunschweig aufgebaut und an die speziellen Anforderungen angepasst. Ferner wurde der Einfluss von Öladditiven und thermischer Alterung auf die thermischen Transporteigenschaften untersucht. Hierzu wurden die thermischen Eigenschaften der Schmierstoffgrundöle, der thermisch unbehandelten sowie thermisch gealterten Schmierstoffe gemessen. Die Alterung erfolgte im Autoklaven gemäß eines modifizierten „Sealed Tube Tests“, sowie auch innerhalb von Testkreisläufen.

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen an ökoeffizienten Kältemitteln (R152a, R744 und R1270, GWP<150), Kältemaschinenölen (Mineralöle, synthetische Polyalkylenglykole, Polyolester) und Kältemittel-Öl-Gemischen werden im Beitrag vorgestellt.

II.1.10

Wärme- und Stoffübertragung bei der Absorption am laminaren Rieselfilm

Florian Menhart, Michael Radspieler, Christian Schweigler

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern)
Abteilung 1: Technik für Energiesysteme und Erneuerbare Energien
Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching

Es wurde ein Simulationsmodell der gekoppelten Wärme- und Stoffübertragung entwickelt, welches die physikalischen Abläufe an einem Fallfilmabsorber einer Absorptionskältemaschine ortsaufgelöst beschreibt. Dabei wurde eine Definition der treibenden Kraft der Stoffübertragung verwendet, welche direkt durch Messung des Zustands der Sorptionslösung am Ein- und Austritt des Absorbers bestimmt werden kann. Somit werden keine Simulationsergebnisse oder Gleichgewichtsannahmen zur Berechnung des Stoffübergangskoeffizienten benötigt.

Mit Hilfe des Simulationsmodells wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Betriebsparameter auf die Modellvorhersagen zum Wärme- und Stofftransport zu ermitteln und somit die Eignung des Modells zu überprüfen.

Zur praktischen Validierung wurde die Fallfilmabsorption in einer bestehenden Versuchsanlage untersucht und die Betriebsdaten mit dem Modellergebnis verglichen. Der mittels des Modells bestimmte Stoffübergangskoeffizient stimmt mit dem experimentell ermittelten Wert im Rahmen der Messgenauigkeiten gut überein. Das Verhalten des globalen Wärmeübergangskoeffizienten entspricht ebenfalls den Erwartungen gemäß der durchgeführten Sensitivitätsanalyse.

Im Beitrag werden der Modellansatz vorgestellt und die Ergebnisse der Laborversuche und deren Vergleich mit den Simulationsdaten dargestellt.

Stichwörter:

Wärme- und Stoffübertragung, Stoffübergangskoeffizient, Absorption, Kältemaschine, Wärmepumpe

II.1.11

Einfluss der Oberflächenstruktur auf die Benetzung von Rohrbündelabsorberrn

Cord Tomforde*, Andrea Luke

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

* Korrespondenzautor

Der voranschreitende Klimawandel und die zunehmende Verknappung natürlicher Ressourcen erfordern eine Steigerung der Energieeffizienz von allen technischen Prozessen. Dieses Ziel kann u. a. durch die Nutzung von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau erreicht werden, die in vielen verschiedenen Anwendungen anfällt und bislang meistens direkt an die Umgebung abgegeben wird. Diese Abwärme kann als Antriebsenergie für Absorptionskältemaschinen genutzt werden, durch die die Kältebereitstellung mittels Kompressionskältemaschinen ersetzt wird. Dadurch kann der Primärenergiebedarf für die Kältebereitstellung signifikant gesenkt werden und somit eine Steigerung der Energieeffizienz von Produktionsprozessen erreicht werden.

Bislang sind Absorptionskältemaschinen jedoch sowohl hinsichtlich der Effizienz als auch der Zuverlässigkeit gegenüber Kompressionskältemaschinen unterlegen. Dabei stellt laut verschiedener Untersuchungen der Absorber die entscheidende und den Prozess limitierende Komponente dar. Im aktuellen Forschungsprojekt werden der Einfluss der Oberflächenstruktur auf die Benetzung horizontaler Rohrbündelabsorber untersucht und daraus resultierende Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Apparate betrachtet. Dabei liegt der Fokus auf verschiedenen mikrostrukturierten Rohroberflächen. Es wird zunächst deren Benetzungsverhalten mittels Kontaktwinkelmessungen am Einzelrohr bestimmt und anschließend die Benetzung des gesamten Rohrbündels im Rieselfilm untersucht. Die Ergebnisse werden mit bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur verglichen.

Stichwörter:

Absorber, Benetzbarkeit, Oberflächenstruktur

II.1.12

Komponentenentwicklung und Test einer luftgekühlten Wasser/LiBr Absorptionskältemaschine

Mathias Safarik*, Lutz Richter, Peter Albring

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden, Hauptbereich Angewandte Energietechnik,
01309 Dresden, Deutschland
mathias.safarik@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

In den letzten Jahren wurden von mehreren Anbietern indirekt, also mit Heizwasser, beheizte Sorptionskältemaschinen im Leistungsbereich bis 20 kW entwickelt und auf den Markt gebracht, die nach dem Ab- oder Adsorptionsprinzip arbeiten. Diese Anlagen können sowohl mit Solarwärme als auch mit BHKW-, Fern- oder sonstiger Abwärme angetrieben werden. Bis auf eine inzwischen nicht mehr marktverfügbare Anlage nutzen sämtliche Anlagen Kühlwasser zur Abfuhr der Kondensations- und Ab-/Adsorptionswärme und werden meist mit einem trockenen Rückkühler oder einem Verdunstungskühler kombiniert.

Der Kühlwasserkreislauf und der Rückkühler stellen die beiden größten Verbraucher elektrischer Energie innerhalb dieser Systeme dar und verursachen zudem einen komplexen Systemaufbau.

Innerhalb eines Forschungsvorhabens wurden wesentliche Komponenten für eine direkt luftgekühlte Absorptionskältemaschine mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/LiBr entwickelt und ein Funktionsmuster einer derartigen Anlage aufgebaut und getestet. Das Anlagenkonzept soll den elektrischen Hilfsenergiebedarf thermischer Kälteerzeugungssysteme senken und den Systemaufbau vereinfachen.

In dem Beitrag werden die technologischen Herausforderungen sowie das verfolgte Lösungskonzept erläutert. Erste Messergebnisse des Funktionsmusters werden vorgestellt.

Stichwörter:

Absorptionskälte, solare Kühlung, luftgekühlt

II.1.13

Leistungssteigerung der direkt solarthermisch angetriebenen Diffusions-Absorptionskältemaschine

F. Schmid*, M. Zetzsche, K. Spindler

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0049-711-685-63506, Fax: 0049-711-685-63503
E-Mail: schmid@itw.uni-stuttgart.de

* Korrespondenzautor

Der Diffusions-Absorptionskälteprozess bietet die Möglichkeit einer verschleißfreien, strom- und geräuschlosen Kälteerzeugung. Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik wird eine dezentrale solare Kälteanlage auf Grundlage dieses Prozesses entwickelt. Der Austreiber und die Thermosiphonpumpe dieses Prozesses werden direkt beheizt und sind im Kollektor integriert. Durch einen zweiten Kreislauf im Kollektor kann dieser auch zur Brauchwassererwärmung eingesetzt werden. Pro Solarkollektor (ca. 2,5 m²) wird eine Kälteleistung von 400 W angestrebt. Für höhere Kälteleistungen sollen mehrere Kälteanlagen modular miteinander verschaltet werden.

Im Rahmen der DKV-Tagung 2011 wurden der Aufbau der Anlage, die ersten Messdaten und Betriebsergebnisse vorgestellt. Seitdem konnte sowohl die Kälteleistung als auch die Leistungszahl der Diffusion-Absorptionskälteanlage deutlich gesteigert werden. Hierfür wurde die Auslegung des Lösungsmittelwärmeübertragers, Verdampfers, Absorbers und des Gaswärmeübertragers optimiert. Zusätzlich konnte mit einer Bypassleitung ein stabiler Anlagenbetrieb erreicht werden. Durch diese wird bereits im Lösungsmittelwärmeübertrager angetriebenes Kältemittel abgeführt. Aktuell werden der Einsatz eines Kondensatorkühlers und die Potentiale durch eine Zwangsumwälzung des Hilfgases untersucht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Rahmen dieses Vortrags vorgestellt. Desweiteren werden der verbesserte Anlagenaufbau und die aktuellen Messergebnisse präsentiert.

II.1.14

Analyse einer Ammoniak/Wasser Absorptionskälteanlage - Betriebserfahrungen und Simulationsmodellbildung

David Hannl*, René Rieberer

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

* Korrespondenzautor

Ammoniak/Wasser Absorptionskälteanlagen unterliegen z. B. bei der solarunterstützten Klimatisierung einer Vielzahl von Einflussparametern. Maßgeblich sind dabei die Temperaturniveaus und Volumenströme der Wärmez- und Abfuhr. Um Kälteleistung und/oder Leistungszahl im Betrieb zu optimieren ist eine detaillierte Analyse der Betriebscharakteristik unter veränderlichen Betriebsbedingungen notwendig.

Für die Experimente wird eine am Markt erhältliche Absorptionskälteanlage vom Typ „PinkChiller 19“ mit einer Nennkälteleistung von 19 kW verwendet. In ersten Messungen wird das Leistungsdiagramm der Maschine bei veränderlichen Temperaturniveaus und Volumenströmen aufgenommen. Im Weiteren werden die Ergebnisse verwendet, um ein Simulationsmodell zu erstellen, mit welchem Jahressimulationsrechnungen durchgeführt werden und Optimierungen von Energieverbrauch und Regelstrategie zu ermöglichen. Dabei ist, neben der möglichst geringen Abweichung zwischen Messung und Simulation, die Komplexität und Rechendauer möglichst gering zu halten.

Abschließend wird, ausgehend von einem Simulationsmodell basierend auf Massen- und Energiebilanzen, der Ansatz zur Implementierung eines Modelles in TRNSYS mittels Datenbankerstellung und Interpolation gezeigt. Die resultierenden Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten.

Stichwörter:

Absorptionskälteanlage, experimentelle Analyse, Simulation

II.1.15

Solarthermische Kühlsysteme für unterschiedliche Klimaregionen

Dirk Pietruschka^{1*}, Delay Kesten¹, Uli Jakob², Ursula Eicker¹

¹zafh.net – Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik
Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

²Solem Consulting, Pottfach 2127, D-71370 Weinstadt, Phone +49 174 4130921
uli.jakob@solem-consulting.com

* Korrespondenzautor

Die Frage, welches solarthermische Kühlsystem sich für welche Klimaregion am besten eignet hängt von vielen Faktoren ab und ist daher grundsätzlich auch nicht einfach zu beantworten. Neben den klimatischen Randbedingungen wird die Dimensionierung des Kühlsystems maßgeblich durch die Kühllastcharakteristik des Gebäudes und die Art der Kühlenergieverteilung im Gebäude beeinflusst. Für die solare Klimatisierung von Gebäuden stehen prinzipiell einstufige Ab- und Adsorptionskältemaschinen unterschiedlicher Leistung zur Verfügung, die sich mit solarthermischen Kollektorfeldern aus Flach- und Vakuumröhrenkollektoren zu einem solaren Kühlsystem kombinieren lassen. Für größere Kälteleistungen ab ca. 200 kW sind am Markt auch zwei und drei stufige Absorptionskältemaschinen verfügbar, die thermische Leistungszahlen von 1.3 bzw. 1.8 erreichen und somit deutlich kleinere Kollektorflächen benötigen. Der Nachteil dieser Systeme liegt in den hohen erforderlichen Antriebstemperaturen von 180 bzw. 250°C (Dampf bei 0.78 bzw. 3.9 MPa). Dies erfordert auf der Solarseite konzentrierende z. B. Parabolrinnen- oder Fresnel-Kollektoren die den Dampf zum Antrieb der Kältemaschinen entweder direkt im Solarfeld oder über Thermoöl in einem separaten Dampfgenerator erzeugen. Da konzentrierende Solarkollektoren fast ausschließlich die direkte Solarstrahlung nutzen, ist diese Technologie prinzipiell nur für Regionen mit hohem Direktstrahlungsanteil an der Globalstrahlung geeignet. Neben den geschlossenen Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen können prinzipiell auch offene sorptionsgestützte Klimaanlage (DEC-Anlagen ‚Desiccant Evaporative Cooling‘) zum Einsatz kommen. Bei diesen Systemen wird die Frischluft durch indirekte und/oder direkte Verdunstungskühlung gekühlt bevor sie in die zu klimatisierenden Räume eingeblasen wird. In Zeiten mit hoher Außenluftfeuchte wird die Außenluft durch einen Sorptionsprozess (Sorptionsrad oder Flüssigsorption) zunächst getrocknet, dann mit der maximal befeuchteten Abluft vorgekühlt (indirekte Verdunstungskühlung) und ggf. zusätzlich befeuchtet (direkte Verdunstungskühlung). Die im Sorptionsprozess von der Außenluft aufgenommene Feuchtigkeit wird durch Zufuhr von Wärme aus solarthermischen Anlagen z. B. über die in einem Luftkollektor stark erwärmte Abluft wieder abgeführt.

In einer umfangreichen Simulationsstudie wurden die genannten solaren Kühlverfahren für ein Gebäude mit drei unterschiedlichen Lastfallkonstellationen für unterschiedliche klimatische Randbedingungen (Nordeuropa, Mittelmeerraum, Nord Afrika (Wüstenklima) und Indonesien (tropisches Klima)) mit Hilfe von dynamischen Systemsimulationen detailliert untersucht. Wesentliches Ergebnis dieser Studie sind fundierte Dimensionierungshinweise für die betrachteten solaren Kühltechnologien. Durch eine Gegenüberstellung der primärenergetischen und ökonomischen Effizienz der untersuchten Systeme, lassen sich für die jeweilige Technologie optimale klimatische Randbedingungen und Lastfallkonstellationen ableiten. Als Referenz für die Bewertung der gewonnenen Ergebnisse werden parallel auch konventionelle Kühlverfahren mit Kompressionskältemaschinen untersucht und mit PV-Analgen kombiniert.

Stichwörter:

Solare Kühlung, Absorptionskältemaschinen, konzentrierende Kollektoren, thermische Kühlung

Dynamische Modellierung von Adsorptionskälteanlagen für Systemsimulation

Antoine Dalibard^{1*}, Ursula Eicker¹, Felix Ziegler²

¹ Hochschule für Technik Stuttgart, Zentrum für nachhaltige Energietechnik,
Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart, Deutschland
antoine.dalibard@hft-stuttgart.de

² Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik,
KT2, Marchstraße 18, 10587 Berlin, Deutschland
felix.ziegler@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der dynamischen Modellierung von zwei Kammer Silikagel / Wasser Adsorptionskältemaschinen zur Verwendung in Systemsimulationen. Bestehende Modellen wurden weiter entwickelt und in der Simulationsumgebung TRNSYS implementiert. Das neue Modell ermöglicht die Analyse verschiedener Konzepte zur Wärmerückgewinnung zwischen den Kammern, die von Kältemaschinen-Herstellern sowie in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert werden. Darüber hinaus kann die Kältemittelrückgewinnung mit Berücksichtigung des Stoffaustausch Widerstandes innerhalb der Adsorberbetten modelliert werden.

Zunächst werden die unterschiedlichen untersuchten Konzepte zur Wärmerückgewinnung vorgestellt. Anschliessend folgt die mathematische Beschreibung des Modells mit den verwendeten Annahmen. Das Modell wurde mit Messdaten von Kältemaschinen von zwei verschiedenen Herstellern validiert. Der Einfluss der unterschiedlichen Wärmerückgewinnungskonzepte auf die Leistung der Kältemaschine wird untersucht. Außerdem wurde der Einfluss der Kältemittelrückgewinnung bzw. die kombinierte Wärme- und Kältemittel-Rückgewinnung für unterschiedliche Zeit-Sequenzen untersucht. Das vorliegende Modell kann für System-Simulationen verwendet werden, um z.B. den Betrieb von Adsorptionskältemaschinen in Teillast zu optimieren.

Stichwörter:

Modellierung, Adsorptionskältemaschinen, Wärmerückgewinnung, Kältemittelrückgewinnung, TRNSYS

Thermisch-beschichtete Wärmeübertrager als Basis für kompakte und dynamische Verdampfer in Adsorptionskälteanlagen und -speichern

Franz Lanzerath, Matthias Steinhilber, André Bardow

RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, 52062 Aachen

franz.lanzerath@ltt.rwth-aachen.de

andre.bardow@ltt.rwth-aachen.de

Der Vorteil von Adsorptionskälteanlagen, Abwärme oder solare Wärme zu nutzen, wird häufig durch die geringe Leistungsdichte der Anlagen untergraben. Dies gilt insbesondere für mobile Anwendungen, wo Größe und Gewicht einer Komponente entscheidende Kriterien sind, oder für Speicheranwendungen, die eine hohe Dynamik und somit geringe thermische Massen erfordern.

Der Verdampfer kann in vielen Fällen das limitierende Bauteil sein, da Adsorptionsanlagen besondere Anforderungen an die Wärmeübertrager stellen: Klimatechnische Anwendungen erfordern niedrige Temperaturen bei der Einkopplung der Wärme, was sich über die Dampfdruckabsenkung negativ auf den Adsorptionsprozess auswirkt. Zudem sind die physikalischen Eigenschaften des oftmals eingesetzten natürlichen Kältemittels Wasser bei tiefen Temperaturen ungünstig und erschweren den Verdampfungsprozess.

In modernen Verdampfern kommen daher optimierte Wärmeübertrager zum Einsatz. Neben den bekanntermaßen positiven Eigenschaften strukturierter Oberflächen (z. B. Rippenstruktur) konnten die Autoren kürzlich das Potenzial thermischer Beschichtungen aufzeigen (Lanzerath et. al., AA II.1.02, DKV 2011). Die thermische Beschichtung einfacher Glattrohre führte zu einer Verbesserung des Wärmedurchgangs um den Faktor 8. Die Kombination von makroskopischer Rippenstruktur und thermischer Beschichtung erlaubt weitere Verbesserungen.

In dieser Arbeit werden die Vorteile der neuen Wärmeübertrager und die Auswirkungen auf den Betrieb einer Adsorptionskälteanlage vorgestellt. Neben den beschichteten Rohren sind auch unbeschichtete Referenzrohre unter verschiedenen Betriebsbedingungen vermessen worden. So wird der Einfluss von Wasserfüllstand, Zykluszeit und Temperaturniveaus auf die Verdampferleistung und erzeugte Kältemenge pro Adsorptionszyklus quantitativ analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Wasserfüllstand einen großen Einfluss auf die Kälteleistung der Adsorptionsanlage besitzt. Daher muss der optimale Betriebspunkt ermittelt werden, um das Potenzial der Wärmeübertrager voll auszuschöpfen. Die starke Füllstandsabhängigkeit rührt von der Ausnutzung des Kapillareffekts her, um die Rohre zur Verbesserung der Verdampfung mit Wasser zu benetzen.

Zudem zeigen die Messungen, dass mit dem Einsatz der thermischen Beschichtung eine deutliche Reduktion der Wärmeübertragerflächen erzielt bzw. die durchschnittliche Kälteleistung signifikant erhöht werden kann. Beschichtete Wärmeübertrager sind somit ein wichtiges Bauteil, um kompakte und hoch-dynamische Adsorptionsanlagen zu realisieren.

Stichwörter:

Verdampfung, Adsorptionskälteanlage, thermische Beschichtung, Leistungsdichte, optimaler Betriebspunkt

II.1.18

Entwicklung eines Latentwärmespeichers

Michael Kauffeld, Maurice Kettner, Tunay Oezcan*, Matthias Koffler*

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)
Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, 76133 Karlsruhe, Deutschland
tunay.oezcan@hs-karlsruhe.de, matthias.koffler@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautoren

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes wird ein Speicherkonzept für den Temperaturbereich um 140 °C entwickelt. Im Latentwärmespeicher soll die Energie von überschüssigem Wasserdampf gespeichert und bei Bedarf wieder abgerufen werden.

Latentwärmespeichermaterialien können nur erfolgreich eingesetzt werden, wenn sich deren Eigenschaften bei langfristigem Einsatz nicht negativ verändern. Die Überprüfung des Materialverhaltens bei häufigem Wechsel des Aggregatzustandes ist dabei ein wichtiges Kriterium. Als Latentwärmespeichermaterial wird in dieser Anwendung der Kunststoff Polyethylen verwendet. Polyethylen bietet sich für diesen Anwendungsfall aufgrund der relativ hohen Schmelzenthalpie und der idealen Phasenwechseltemperatur von ca. 130 °C an. Zur Prüfung der Funktionalität des Speicherkonzepts wird eine Versuchsanlage aufgebaut und verschiedene Speicherkonzepte untersucht.

Stichwörter:

latente Wärme, Kunststoff, Polyethylen, Wärmespeicher

II.1.19

Eisbreierzeugung ohne Kratzkühler Einflüsse von Zusatzstoffgehalt und Eisanteil auf die zulässige Wandunterkühlung

Susanne Frank^{1*}, Matthias Kind², Michael Kauffeld³

¹ SINTEF Energi AS, Energibruk, 7465 Trondheim, Norwegen
sgfrank@stud.ntnu.no

² KIT, Institut für Thermische Verfahrenstechnik, 76133 Karlsruhe, Deutschland
matthias.kind@kit.edu

³ Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU), 76133 Karlsruhe, Deutschland
michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Die Vorteile von Eisbrei (Ice Slurry) als umweltfreundlichem Kälteüberträger und Kältespeichermedium werden branchenübergreifend erkannt und die Anzahl der Eisbreianlagen steigt weltweit stetig an. Der Zuwachs an Eisbreianlagen in der breiteren Anwendung von Eisbrei ist jedoch noch gehemmt, in erster Linie aufgrund der hohen Investitionskosten. Der Eisbreigenerator (in der Regel als Verdampfer mit Eis abschabenden Elementen ausgeführt, welcher auch als Kratzkühler bezeichnet wird) ist in der Eisbreianlage noch immer das teuerste Bauteil. Daher soll ein Eisbreierzeuger ohne Kratzkühler entwickelt werden, an dessen Wärmeübertrageroberfläche kein Eis entsteht bzw. anhaftet.

Dieser neue Prozess der Eisbreierzeugung basiert auf der passenden Kombination aus Strömungsform, Ethanolgehalt, Eisanteil, Wärmeübertrageroberfläche und Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertrageroberfläche und Fluid. Damit soll Kristallwachstum an vorhandenen Eispartikeln im

Kälteträger ohne Anhaften bzw. Keimbildung an der gekühlten Oberfläche möglich sein. Die zulässige Wandunterkühlung, d. h. die Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertrageroberfläche und Fluid, ist dabei so hoch, dass Wärme entzogen werden kann, aber gleichzeitig so gering, dass sich die vorhandenen Eispartikel nicht an die gekühlte Oberfläche anlagern und keine Keimbildung an der Wärmeübertrageroberfläche auftritt. Die Oberfläche bleibt so dauerhaft frei von Eis.

Es konnte gezeigt werden, dass die zulässige Wandunterkühlung, bei der Verwendung von Ethanol als Zusatzstoff, mit zunehmendem Ethanolanteil steigt. Dies lässt sich über die Interaktion des Ethanols mit der Wärmeübertrageroberfläche erklären. Weiterhin wird der Einfluss des Eisanteils auf die zulässige Wandunterkühlung vorgestellt.

Stichwörter:

Eisbrei, Kristallisation, Eiserzeugung, Unterkühlung, Wärmeübertrager

II.1.20

Paraffin-Wasser-Dispersionen für Kühlanwendungen in Gebäuden

Armin Knels^{1*}, Tobias Kappels²

¹ RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimotechnik, 52074 Aachen, Deutschland
armin.knels@eonerc.rwth-aachen.de

² Fraunhofer Institute, UMSICHT, 46047 Oberhausen, Deutschland
tobias.kappels@umsicht.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

Durch neue Entwicklungen in der Gebäudetechnik entsteht neben dem Heizbedarf eine stetig wachsende Nachfrage nach Kühlanwendungen. Energetische Optimierungen von Kühlsystemen, Effizienz- und Effektivitätssteigerungen werden immer notwendiger um den Energieverbrauch zu minimieren.

Der Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimotechnik untersucht, zusammen mit dem Fraunhofer Institut UMSICHT, Paraffin-Wasser-Dispersionen für den Einsatz in Kühlsystemen. Das Paraffin hat eine Schmelztemperatur von ca. 20°C, somit kann Wärme- und Kälteenergie in Kühlanwendungen nicht nur sensibel sondern, durch Nutzung der Schmelzenthalpie, auch latent gespeichert werden. Pumpfähige Phasenwechselmaterialien ermöglichen eine deutliche Erhöhung der Energiespeicherdichte, eine Verringerung von Temperaturspreizungen und eine Erhöhung von Transportkapazitäten. Die Dispersion besteht aus 1 µm bis 10 µm großen Paraffinpartikeln im Wasser, durch den Einsatz von Tensiden kann auf eine Verkapselung verzichtet und damit eine gute Wärmeleitung und Pumpfähigkeit bei festen wie flüssigen Paraffinpartikeln gewährt werden.

Untersucht wird der Einsatz von Dispersionen in Flächenheiz- und kühlssystemen, wie z. B. Kapillarrohrsystemen. Die Kombination mit Pufferspeichern ermöglicht eine thermische Entladung des Fluids passiv an die Nachtluft oder aktiv über konstant arbeitenden Kältemaschinen. Messungen von Druckverlusten, thermischen Leistungsaufnahmen und -abgaben sowie den Pumpenergien ermöglichen die Optimierung eines Kühlsystems im Gebäudebereich.

Stichwörter:

Phasenwechsel, Paraffin, Dispersion, Kühlanwendung, Kapillarrohrmatte

II.1.21

Bündeleffekt bei der Kondensation von Propan an horizontalen Glatt- und Rippenrohren

T. Gebauer^{1*}, A. Gotterbarm^{2*}, J. El Hajal², A. Leipertz¹, A. P. Fröba¹

¹Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT), Universität Erlangen-Nürnberg

²Wieland-Werke AG, Ulm

* Korrespondenzautoren

Der Wärmeübergang an horizontalen Rohren in einem Rohrbündelverflüssiger wird durch herabtropfendes Kondensat der oberen Rohrreihen reduziert. Die als Bündeleffekt bezeichnete Leistungsabnahme wurde innerhalb eines von der Bayerischen Forschungsförderung geförderten Gemeinschaftsprojekts untersucht. Im Rahmen dieses Beitrages sollte die bereits für das Kältemittel R134a vorhandene Datenbasis um das natürliche Kältemittel Propan erweitert werden, um eine grundlegende Beschreibung des Bündeleffekts insbesondere in Abhängigkeit der Stoffeigenschaften zu entwickeln. Im Einzelnen wurde der Wärmeübergang an Glatt- und unterschiedlichen Rippenrohren aus Stahl und Kupfer experimentell und mit Hilfe von CFD-Simulationen für Propan analysiert. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten an einem Rohrbündelverflüssiger, in dem über vier direkt untereinander angeordnete Rohrreihen und eine interne Berieselungseinheit der Bündeleffekt analysiert werden kann. Durch die CFD-Simulationen konnte für Rippenrohre aus Stahl der dynamische Kondensatrückhaltewinkel und somit eine optimale Rippendichte beim Einsatz von Propan vorhergesagt werden. Zur Nachbildung des Wärmeübergangs an einem Standardrippenrohr wurde ein eigens entwickeltes Kondensationsmodell in das Programm Ansys-Fluent implementiert. Für die Simulation eines Rohrbündels wurden die auf das Rohr auftreffenden Kondensatvolumenströme variiert. Die erhaltenen Ergebnisse aus dem Experiment und der Simulation werden mit analytischen Modellen verglichen, wobei der Einfluss der Stoffeigenschaften auf den Wärmeübergang im Vordergrund der Diskussion steht.

II.1.22

Auslegung von Wärmeübertragern zur Entfeuchtung von Gas-Dampf-Gemischen hoher Wasserbeladung

Uwe Sievers

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Department Maschinenbau und Produktion,
Institut für Energiesysteme und Brennstoffzellentechnik, Berliner Tor 21, 20099 Hamburg

uwe.sievers@haw-hamburg.de

Zur Entfeuchtung werden Gas-Dampf-Gemische, wie z. B. feuchte Luft, feuchtes Verbrennungsgas oder Kathodenabgas einer PEM-Brennstoffzelle, in Wärmeübertragern unter ihren Taupunkt abgekühlt, wobei infolge Partialkondensation ein Teil des Dampfes auskondensiert und in flüssiger Form vom gasförmig verbleibenden Gas-Dampf-Gemisch abgetrennt wird. Nach dem Luft-Befeuchtungs-Entfeuchtungs-Prinzip arbeitende Meerwasserentsalzungsanlagen nutzen diesen Effekt zur Gewinnung von Trink- oder Brauchwasser. Bei höherer Temperatur ist eine höhere Wasserbeladung des Gas-Dampf-Gemisches am Eintritt in den Entfeuchter möglich. Der gekoppelte Wärme- und Stoffübergang im Entfeuchter kann in diesem Fall nicht mehr ausreichend genau mit den für Klimaanlage üblichen vereinfachenden Annahmen berechnet werden.

Als Wärmeübertrager zur Entfeuchtung kommen neben Plattenwärmeübertragern auch Lamellen-Rohrbündelwärmeübertrager zum Einsatz. Auf verschiedene Aspekte ihrer Auslegung – u. a. zum Wärme- und Stoffübergang sowie zum Druckverlust auf der Außenseite von Lamellen-Rohrbündelwärmeübertragern - wird eingegangen. Die Ergebnisse von Auslegungsrechnungen zur Entfeuchtung von Gas-Dampf-Gemischen hoher Wasserbeladung werden für ausgewählte Betriebspunkte vorgestellt.

II.1.23

Experimentelle Untersuchungen eines offenen Absorbers

M. Jaradat, M. Mützel, L. Schiemann, K. Vajen, U. Jordan

Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik,
Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik, 34125 Kassel, Deutschland
solar@uni-kassel.de

Die sorptionsgestützte Trocknung mit flüssigen Sorptionsmitteln in offenen Systemen ist eine Alternative zur herkömmlichen Trocknung mittels Taupunktunterschreitung und kann direkt zu Trocknungszwecken, zur alleinigen Luftkühlung oder in Verbindung mit Klimaanlage eingesetzt werden. Für die Trocknung landwirtschaftlicher oder industrieller Produkte wird trockene Luft auf einem Temperaturniveau nahe der Umgebungstemperatur bereitgestellt, was einen schonenden Trocknungsprozess (z. B. von Kräutern) ermöglicht. Die Regeneration des Sorbens erfolgt auf einem Temperaturniveau, das die Einbindung einer thermischen Solaranlage oder die Nutzung von Abwärme erlaubt.

Der Stoff- und Wärmeübertrager mit einer Gesamtfläche von 4 m^2 besteht aus Polycarbonat Doppelsteg-Platten mit einem internen Wasser-Kühlkreislauf in jeder Platte. An den Platten ist ein Textil befestigt mit dem Ziel, die Fluidgeschwindigkeit zu verringern, eine gleichmäßige Verteilung der Salzlösung zu erreichen und „Carryover“ der Salzlösung in den Luftstrom zu verhindern. Als Sorbens wird eine Lithiumchlorid-Lösung mit einem Massenanteil von ca. 0,43 am Absorbereintritt verwendet, die mit perforierten Plexiglas-Röhrchen auf dem Textil verteilt wird.

Die Entfeuchtungsleistung des Absorbers wurde für verschiedene Eingangsparameter experimentell untersucht und mit Ergebnissen aus einem numerischen Modell verglichen. Es wurden ausgangsseitig Lufttemperaturen und –feuchten erreicht, die dem sommerlichen Behaglichkeitsbereich entsprechen. Typische Entfeuchtungsbreiten der Luft lagen bei ca. $4,6 \text{ g/kg}$, bei einer gleichzeitigen Abkühlung der Luft um ca. $3,6 \text{ K}$.

Stichwörter:

Offene sorptionsgestützte Klimatisierung

Notizen

II.2.01

Drehzahlgeregelte Kompakt-Schraubenverdichter – die neue Lösung

Dr.-Ing. Heinz Jürgensen

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, Postfach 240, 71044 Sindelfingen

Kompaktschraubenverdichter werden bereits seit vielen Jahren in Flüssigkeitskühlsätzen für Komfort-Klimaanlagen, Prozesskühlung oder Wärmepumpen mit mechanischer Leistungsregelung eingesetzt. Frequenzumrichter von der Stange bieten standardmäßig die Möglichkeit die Leistung herkömmlicher Schrauben-, Kolben- oder Scrollverdichter in einem kleinen Drehzahlbereich anzupassen und können darüber hinaus noch eine Reihe von Zusatzfunktionen enthalten. Diese Kombination aus bestehenden Frequenzumrichtern und Verdichtern, wie sie vielfach heute angeboten werden, erlaubt nur eine eingeschränkte Verbesserung der Teillastleistungszahl im System und ist auf Grund der hohen Kosten für den Frequenzumrichter wirtschaftlich fragwürdig.

Ein integriertes Paket aus neu entwickeltem Kompaktschraubenverdichter und speziell entwickeltem flüssigkeitsgekühltem Frequenzumrichter ist erforderlich, um auf eine neue Stufe der Systemeffizienz im Teillastbereich zu kommen. Neben dem vergrößerten Regelbereich der Verdichter können in Bezug auf Anwendungsbereich und Kommunikation neue Möglichkeiten erschlossen werden.

Die Überwachung verschiedener Werte, wie z.B. Einhalten der Anwendungsgrenzen bezüglich Druck und Temperatur und insbesondere die frühzeitige Warnung vor Überschreitung ermöglicht zusätzlich dem Anlagenplaner eine einfachere Ausführung einer sicheren Maschine, da die Einstellung der relevanten Schutzfunktionen der integrierten Komponente schon im Werk typspezifisch vorgenommen wird.

II.2.02

Untersuchungen zur Leistungsregelung von Hubkolbenverdichtern in der Gewerbekälte

Dr.-Ing. Norbert Kämmer*, Robert Cap, Tomas Konecny, Igor Majer

Emerson Climate Technologies Europe, 52076 Aachen-Oberforstbach

* Korrespondenzautor

Am Labormodell einer Normalkühlungsanlage eines Supermarkets wurden Untersuchungen zu verschiedenen Konzepten der Leistungsanpassung durchgeführt. Die Anlage wurde mit zwei Hubkolbenverdichter neuerer Bauart und mit R134a betrieben und konnte in verschiedenen Laststufen gefahren werden. Dabei wurden jeweils die folgenden drei Konzepte zur Leistungsanpassung untersucht: einfacher Taktbetrieb, Taktbetrieb mit Zylinderbankabschaltung sowie Taktbetrieb kombiniert mit der Pulsweitenmodulation eines einzelnen Verdichters. Die zeitlich gemittelten Kenngrößen der Anlage werden dargestellt und für die verschiedenen Konzepte miteinander verglichen. Desgleichen werden auch die zeitlichen Schwankungen der wichtigsten Drücke und Temperaturen sowie das Schaltverhalten der Verdichter gezeigt und im Hinblick auf einen möglichst kontinuierlichen Betrieb verglichen und bewertet.

II.2.03

Hocheffizienter 380cc R744 Verdichter

Armin Hafner^{1*}, Christian Schmäzle², Petter Nekså³, Frank Obrist², Håvard Rekstad³

¹ SINTEF Energy Research, 7465 Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

² OBRIST Engineering GmbH, 6890 Lustenau, Austria.
office@obrist.at

³ Norwegian University of Science and Technology,
Department of Energy and Process Engineering,
7491 Trondheim, Norway.

* Korrespondenzautor

A flexible compressor and heat exchanger test facility has been built and installed in the laboratories of SINTEF and NTNU in Trondheim. It enables a thorough investigation of higher capacity R744 components like compressors, heat exchangers, expansion- and work recovery devices. The maximum electrical power input to the compressor is in the range of 100 kW. Various plate heat exchangers are applied as a baseline equipment to be able to investigate real system operations from evaporation temperatures around the triple point of R744 to maximum discharge pressures of 130 bar.

Single stage R744 compressors with variable volume flow rates in the range of 10 to 90 m³/h are not available in the market. Therefore a novel high efficient, 6 cylinder piston compressor has been developed in close cooperation between SINTEF and OBRIST Engineering. The paper describes partly the design features of the compressor, as well as the measurement equipment of the test facility and the uncertainty range of the experimental results.

Initial experimental results show an overall efficiency significant higher than state-of-the-art compressor concepts with ordinary asynchronous motors.

Stichwörter:

R744/ CO₂, Verdichter, Kältemaschine, R744 Prüfstand

II.2.04

Praktischer Nutzen von Erweitertem Verdichterschutz

M. Neidhöfer, J. Alber

KRIWAN-Industrie-Elektronik GmbH, 74670 Forchtenberg

Der thermische Schutz von Verdichtern in der Kältetechnik hat eine lange Tradition und einen hohen Reifegrad. Dabei werden Verdichter vor der Zerstörung geschützt. Das bedeutet, ein Verdichterschutzgerät greift aktiv in den Kältekreis ein, wenn die thermische Beschädigung des Verdichters, insbesondere der Motorwicklung droht (Sicherheitskette). Erweiternd zu diesem Ansatz arbeitet KRIWAN an neuen Konzepten, die zusätzlichen Mehrwert und Vorteile beim Betrieb des Verdichters in der Kälteanlage bringen. Diese Vorteile ergeben sich für den Hersteller des Verdichters, für Anlagenbauer in der Kältetechnik und für die Betreiber von Kälteanlagen. Dazu gehören reduzierter Energiebedarf der Gesamtanlage, bessere Verfügbarkeit der Kälteanlage und vereinfachte Wartung der Anlage. Ein wesentliches Element dieser Verdichterschutzgeräte mit Diagnosefunktion ist der sogenannte Advanced-Motorprotection-Sensor (AMS). Dieser Sensor verbindet die bekannten Vorteile der heute eingesetzten PTC (Manipulationsschutz, hohe Ansprechgeschwindigkeit und günstiger Preis) mit erweiterten Funktionen: er hat eine zweite Temperaturstufe (NAT2), mit der Warnmeldungen ausgegeben werden können oder verschiedene Zustände in der Anlage weiter unterschieden werden können. Weiter hat er einen linearen Messbereich zwischen den beiden PTC-

Flanken, in dem kontinuierlich gemessen und geregelt werden kann. Dadurch ergeben sich völlig neue Möglichkeiten, den gesamten Kältekreis zu überwachen und seine Steuerung bzw. Regelung zu unterstützen. Ziel ist es dabei, ohne aufwändige und teure Zusatzsensorik deutliche Verbesserungen am Kältekreis vorzunehmen, die zu Kostenersparnis führen.

II.2.05

Einfluss der Geometrieparameter auf die Effizienz eines CO₂ Ejektors

Christian Lucas*, Andreas Schröder, Marius Müller, Jürgen Köhler

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

* Korrespondenzautor

Der Einsatz von Ejektoren in CO₂ Kältekreisläufen ist eine vielversprechende Methode zur Steigerung des Anlagenwirkungsgrades. Diese Wirkungsgraderhöhung hängt dabei stark von der Effizienz des verwendeten Ejektors ab, was einen optimal ausgelegten Ejektor vorteilhaft macht. Aufgrund der komplexen Strömungsverhältnisse innerhalb des Ejektors ist eine numerische Auslegung des Ejektors nicht sinnvoll, wodurch eine messtechnische Untersuchung der Ejektorgeometrie notwendig ist.

Innerhalb dieser Arbeit werden die experimentell bestimmten Einflüsse der untersuchten Ejektorgeometrieparametern vorgestellt. Hierzu wurden bei verschiedenen Ejektoreintrittsbedingungen die Mischrohlänge, der Mischrohrdurchmesser sowie der Abstand zwischen Treibdüsenaustritt und Mischrohreintritt in mehreren Schritten variiert. Aus den messtechnisch bestimmten Daten ergibt sich eine optimale Ejektorgeometrie bei einem der Mischrohlänge zum Mischrohrdurchmesser von 10 und einem Verhältnis des Mischrohrdurchmessers zum Treibdüsenaustrittsdurchmesser von 2.58. Ejektoreffizienzen von bis zu 27,5 % wurden experimentell bestimmt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden darüber hinaus mit anderen veröffentlichten Daten verglichen.

Stichwörter:

Zweiphasen CO₂ Ejektor, Bauteiloptimierung, Drosselverlustrückgewinnung

II.2.06

Experimentelle Untersuchung des Kältemitteldurchflusses von Isobutan durch adiabate Drosselkapillaren

Matthias Schenk*, Lothar R. Oellrich

KIT, Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik,
Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe
schenk@kit.edu

* Korrespondenzautor

Als Alternative zu Expansionsventilen wird im Kleinkältebereich häufig das Expansionsorgan als Kapillare im Kaldampfprozess ausgeführt. Trotz der einfachen Geometrie sind die physikalischen Vorgänge, die sich während der Drosselung in den Kapillaren abspielen, sehr komplex. Daher werden seit vielen Jahren zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema durchgeführt. Trotz einer Vielzahl von Veröffentlichungen zu diesem Thema gibt es allerdings kaum Untersuchungen für das Kältemittel Isobutan (R600a), hier speziell im Bereich kleiner Massenströme.

An einem Versuchsstand wurden kleine Massenströme von R600a durch verschiedene Drosselkapillaren für gegebene Randbedingungen experimentell gemessen und die Ergebnisse mit veröffentlichten Berechnungsmethoden verglichen. Die semi-empirische Korrelation von Hermes (2010) zeigt dabei eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen.

Der Versuchsstand wird vorgestellt und die erzielten Daten werden diskutiert. Ferner werden die Auswirkungen kritischer Strömung (choked flow) anhand eines eigens dafür durchgeführten Versuchs aufgezeigt.

Stichwörter:

Expansionsorgan, Drosselkapillaren, R600a

II.2.07

Einsparung mit Sollwertoptimierung und Verbrauchsüberwachung

Horst Wendelborn

Danfoss GmbH, Electronic Controllers and Services, 63004 Offenbach, BRD
Horst.Wendelborn@Danfoss.com

Durch die Dienstleistungen EDS (Field delivered services) und dem anschließenden EDS (Electronic delivered services) wird durch Sollwertoptimierung und Überwachung des Energieverbrauchs von Kälteanlagen der Energieverbrauch verkleinert und über die Lebensdauer konstant gehalten. Wobei die neuen verbesserten Sollwerte für den ganzjährigen Betrieb und für alle Betriebszustände gelten. Bei Anlagen mit Standard Regelungen ebenso wie bei Anlagen mit optimierten Regelungen, kann je nach vorherigem Zustand der Anlage, erheblich Energie gespart werden. Es werden die Reglerfunktionen mit den zugehörigen Parametern erläutert und die Ergebnisse der Optimierung mit entsprechenden Kennzahlen bewertet. Der Vorteil der Überwachung des Energieverbrauchs über die Lebensdauer der Anlage wird mit Hilfe des Energiemodells deutlich.

Stichwörter:

Optimierung der Einstellungen, Adaptive Regelung, Energiemodell, Sollwertoptimierung

Hardware-in-the-Loop Umgebung für den Entwurf und Test von kältetechnischen Reglern

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

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

* Korrespondenzautor

Die Energieeffizienz von Kälteanlagen wird im laufenden Betrieb durch vielfältige konzeptionelle, konstruktive und betriebs-technische Parameter beeinflusst. Da bauliche und anlagentechnische Maßnahmen bei der Betriebsoptimierung aus Kostengründen oft nicht in Betracht gezogen werden, bleibt als eine der effektivsten Eingriffsmöglichkeit die verbesserte Regelung und Betriebsführung der Anlagen. Hier sind bei Eingriffen in den Anlagenbetrieb allerdings oftmals die Konsequenzen bezüglich der Anlagensicherheit und Energieeffizienz nicht absehbar, weshalb bei stabilem Betrieb einer Anlage Veränderungen der Regelparameter gemieden werden. Durch falsche Einstellung von Regelparametern arbeiten Kälteanlagen zudem oftmals nicht im möglichen Betriebsoptimum.

Um den Einfluss der Regelung auf die Energieeffizienz besser testen, bewerten und optimieren zu können, bedarf es geeigneter Werkzeuge und Methoden. Eine Möglichkeit Regler unter definierten Randbedingungen systematisch zu testen, ist eine Hardware-in-the-Loop Testumgebung. Die Testumgebung besteht aus dem realen Regler der mittels Hardwarekoppler an eine virtuelle Testumgebung angeschlossen wird. Die virtuelle Testumgebung besteht aus einem mathematisch-physikalischen Modell der Regelstrecke. Der Regler regelt in diesem Fall ein kältetechnisches Anlagenmodell, bei dem Parameter und Randbedingungen einfach und schnell verändert werden können. Mit einer solchen Testumgebung können kostengünstig und schnell Tests unter unterschiedlichen, aber fest definierten Randbedingungen durchgeführt werden. So ist es z.B. möglich, die Funktionen von Reglern vor der Inbetriebnahme der realen Anlage zu testen und mögliche Fehlerquellen zu erkennen und zu beheben. Des Weiteren kann das Zusammenspiel von unterschiedlichen Reglern untersucht und bewertet werden. Auch eine Optimierung der Regler und Regelstrecken ist in kurzer Zeit möglich.

Im Rahmen des Forschungsprojektes HiL-RHK¹ wurde eine Hardware-in-the-Loop Testumgebung für Kühlstellenregler an der Hochschule Biberach entwickelt und aufgebaut. Der Teststand und erste Testergebnisse werden vorgestellt. Hierbei soll der Fokus auf der Bewertung und den Bewertungsmethoden von Kühlstellenreglern liegen.

Stichwörter:

Energieeffizienz, Regelung, Hardware-in-the-Loop (HiL), Teststand, Simulationsmodelle

¹ Forschungs- und Entwicklungsvorhaben HiL-RHK – Hardware-in-the-Loop-Lösungen für die Raumautomation, Heizungs- und Kältetechnik, Verbundvorhaben mit der Hochschule Merseburg und gefördert im Förderprogramm Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

II.2.09

Leistungsregelung

Dr. Christian Ellwein

KRIWAN-Industrie-Elektronik GmbH, 74670 Forchtenberg

II.2.10

Strömungskanalloptimierung für Minichannel-Verflüssigerprofile

Dipl.-Ing. (FH) Timo Maurath¹, Prof. Dr.-Ing. Thomas Wetzel²,
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld¹

¹ Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Moltkestr.30, 76133 Karlsruhe
timo.maurath@hs-karlsruhe.de

² Institut für Thermische Verfahrenstechnik, KIT - Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

These: Es gibt eine Minichannel-Kanalform, die in einem Minichannel-Verflüssiger gleichzeitig die Kältemittelfüllmenge minimiert und den Wärmeübergang maximiert

Ziel dieses Forschungsprojektes ist, dass Optimierungspotenzial aktuell eingesetzter Minichannel-Geometrien in Verflüssigern durch experimentelle Untersuchungen und durch ein, mit Hilfe der Messergebnisse validiertes, Berechnungsmodell aufzuzeigen und zu bewerten. Aufbauend auf diesen Ergebnissen soll die ungleichmäßige Kondensatverteilung in herkömmlichen Minichannel-Kanalformen durch geometrische Variation der einzelnen Kanäle verbessert werden. Das erarbeitete Berechnungsmodell wird dabei als Optimierungswerkzeug verwendet.

Das Vorhandensein fundierter theoretischer Fachkenntnisse ist für eine Produktneuentwicklung von entscheidender Bedeutung. Wissen bzw. Erfahrung über das Leistungsvermögen, die Wärmeübergangseigenschaften und das Betriebsverhalten luftgekühlter Minichannel-Verflüssiger liegen derzeit nicht in ausreichender Form vor. Insbesondere fehlt es an Optimierungswerkzeugen, um gleichzeitig den Wirkungsgrad zu erhöhen und die Kältemittelfüllmenge zu reduzieren.

Zu diesem Forschungsvorhaben ist eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und ein entsprechender Messaufbau ausgearbeitet worden. Die Vorstellung dieser Arbeiten ist Inhalt dieses Vortrags.

Stichwörter:

Minichannel, Verflüssiger, Wärmeübertrager

II.2.11

Optimierte Wärmeübertragerprojektierung zur Erhöhung der Effizienz

Dipl. Ing. Volker Wagner

API Schmidt-Bretten GmbH & Co KG, 75015 Bretten

Als Basis der Projektierung/Dimensionierung von Wärmeübertragern in der Gebäudeklimatisierung wird oftmals nur ein Betriebspunkt zu Grunde gelegt, der den theoretischen Maximalfall widerspiegelt. Gepaart mit der Forderung die Druckverluste minimal zu halten, ist das Ergebnis nicht selten, dass Wärmeübertrager projektiert werden, die die Druckverlustforderungen erfüllen, aber auf Grund von extremer Unterdimensionierung keinesfalls in der Lage sind, die Maximalleistung zu erbringen. Es ist aber hingegen nur selten der Fall, dass diese Unterdimensionierung zu Problemen führt, da die realen Anforderungen an den Wärmeübertrager doch nicht ganz dem Auslegungsfall entsprechen.

Zur Steigerung der Effizienz der eingesetzten Wärmeübertrager sollten mehrere Betriebspunkte zur Dimensionierung herangezogen werden wie z.B. unterschiedliche Leistungen bei unterschiedlichen Grädigkeiten. Es sollte aber auch berücksichtigt werden, dass Wärmeübertrager effizienter arbeiten können, wenn mehr Druckverlust für die Wärmeübertragung zur Verfügung steht. So kann u.U. der Wirkungsgrad der Anlage trotz mehr benötigter Pumpenenergie dennoch angehoben werden.

Die soll mit verschiedenen Fallbeispielen untermauert werden.

II.2.12

Vergleich von besprühten Trockenkühler und adiabaten Systemen

Dr. Franz Summerer

Güntner AG & Co. KG, 82256 Fürstenfeldbruck, Deutschland
Franz.Summerer@guentner.de

Um die Leistung von luftgekühlten Verflüssigern oder Rückkühlern zu steigern, oder um deren Einsatztemperatur zu erweitern, kommen häufig sogenannte Adiabatic-Systeme zum Einsatz, bei denen durch Verdunstung von Wasser ein zusätzlicher Kühleffekt erzeugt wird. Bei solchen Adiabatic-Systemen, die man wegen Ihrer doppelten Funktionsweise (Nass und Trocken) auch als Hybridkühler bezeichnet, gibt es jedoch einen großen Unterschied zwischen Systemen, die tatsächlich adiabatisch arbeiten, sprich bei denen die Luft vor dem Wärmeaustauscher abgekühlt wird, und Systemen, bei denen das Wasser auf der Oberfläche des Wärmeaustauschers verdunstet.

In diesem Vortrag werden die verschiedenen Systeme vorgestellt, ihre unterschiedliche Funktionsweise erklärt und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt. Darüber hinaus werden auch die physikalischen Grenzen der unterschiedlichen Lösungen erklärt.

Stichwörter:

Adiabatisch, Besprühung, Hybridkühler, Wärmeübertrager, lamellierte Wärmeübertrager, Rückkühler, Verflüssiger

II.2.13

Wirtschaftlichkeit und CO₂-Bilanz von atmosphärischen Rückkühlssystemen

Dr.-Ing. Markus Nickolay

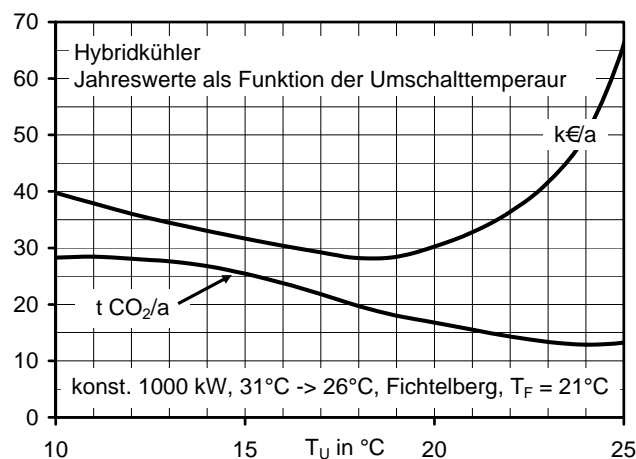
KTK Kühlturm Karlsruhe GmbH, Durmersheim

Atmosphärische Rückkühlssysteme, soweit sie nach dem Verdunstungsprinzip arbeiten auch traditionell Kühltürme genannt, dienen zur Abgabe von Wärme an die Umgebungsluft. Sie werden bei einer Vielzahl von Prozessen in der Industrie, Energieversorgung aber insbesondere auch der Gebäutechnik mit einem Leistungsspektrum von ca. 30 kW bis 3 GW, bei einem Investitionsvolumen zwischen 5 k€ und 50 M€ eingesetzt.

Bei Anlagen bis ca. 20 MW reicht das Spektrum der Apparate von offenen oder geschlossenen Zellenkühlern einerseits und (adiabaten) Trockenkühlern andererseits hin zu so genannten Hybridkühlern, die obwohl eigentlich Trockenkühler ab einer bestimmten Lufttemperatur T_U analog einem geschlossenem Kühlturm arbeiten. Bei diesen Hybridkühlern kann weiter unterschieden werden, zwischen solchen, welche im Nassbetrieb einen Wasserumlauf verwenden und solchen, die das Wasser nur einmalig auf und zwischen die Lamellen versprühen.

Die einzelnen Systeme unterscheiden sich deutlich in den Investitionskosten einerseits, aber auch in Bezug auf Verbrauch von Wasser und Strom und damit verbundene CO₂-Emissionen. Zumindest bei einem Vergleich von Verdunstungskühlern mit Trockenkühlern müssen vorgeschaltete Prozesse, wie etwa eine Kältemaschine mit berücksichtigt werden. Die Auswahl des wirtschaftlichsten und/oder ökologischsten Gerätes zu einer gegebenen Anwendung erfordert selbst in einem einfachen Modell die Berücksichtigung von über 20 Parametern. Diese reichen von geforderten Warm- und Kaltwassertemperaturen über die Anzahl der jährlichen Betriebsstunden hin zu zeitlich variablen oder von der Umgebungstemperatur abhängigen Leistungsanforderungen. Auf fiskalischer Seite sind Abschreibungsdauer, Zinssatz und Kosten für Strom und Wasser volatile Größen. Schließlich beeinflussen die Jahresgänge von Temperatur und Feuchte (vgl. DIN 4710) am Standort das Ergebnis maßgeblich.

Selbst bei sonst fixen Randbedingungen lässt sich etwa der Hybridkühler durch die geeignete Wahl der „Umschalttemperatur“ T_U bezüglich der Wirtschaftlichkeit optimieren.



Daran zeigt sich, dass in der Planungs- und Entscheidungsphase eine detaillierte Betrachtung erforderlich ist, um eine nachhaltige Entscheidung zu treffen, wobei die Analyse zwar nicht das Niveau einer vollständigen Simulation erreichen kann oder darf, da hierfür notwendige Informationen regelmäßig nicht zur Verfügung stehen und andererseits Planer und/oder Entscheider nicht überfordert werden dürfen, ihre Durchführung aber einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung wirtschaftlicher und ökologischer Ziel leistet.

II.2.14

Kompakte und energieeffiziente Ammoniakverdampfer mit geringem Füllvolumen

R. Christensen¹, B. Sollie², G. Saß^{3*}

¹ Alfa Laval AB, Rudeboksv.1, 221 00, Lund, Schweden

² Sollie AB, Nordmannavägen 46, 224 75 Lund, Schweden

³ Alfa Laval Mid Europe GmbH, Wilhelm-Bergner-Straße 7, 21509 Glinde

* Korrespondenzautor

Die Ausarbeitung befasst sich mit den Möglichkeiten der Reduzierung von Ammoniakfüllmengen in Kälteanlagen durch Minimierung der Füllmengen im Verdampfer und im Abscheider. Der Schwerpunkt liegt auf kompakte Plattenwärmeübertrager wie sie in Ammoniaksystemen verwendet werden (kassettengeschweißte sowie die in Fusionstechnik hergestellten AlfaNova-Verdampfer). Es wird das flüssige Füllvolumen im Verdampfer-Abscheidersystem betrachtet, dabei wird die Füllung im Fallrohr, im Ölsammelbehälter, den Ein- und Austrittsstutzen am Verdampfer, in den Verdampferkanälen, in der Nassdampfleitung zwischen Verdampfer und Abscheider sowie im Abscheider selber bewertet. Der Einfluss der Umwälzrate und der Einfluss der Füllstandshöhe werden im Zusammenhang mit unterschiedlichen Regelungsarten diskutiert. Die Bedeutung der Druckverlustbilanz zwischen dem Druckverlust in der Nassdampfleitung zwischen Verdampfer und Abscheider sowie im Verdampfer selber in Abhängigkeit der Füllstandshöhe wird dargestellt, die Auswirkungen auf die optimale Umwälzrate, die höchstmögliche Verdampfungstemperatur und die optimale Füllung werden erklärt.

II.2.15

HYVAC™ Pakete für HVAC&R Anwendungen

Stefan Schlüter*, Dr. Hartmut Janssen

Hydro Aluminium Rolled Products GmbH, Rolled Products, Grevenbroich

* Korrespondenzautor

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

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

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

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

Die Lamellenlegierung HA 3968-K wird den Anforderungen eines langen Lötzyklus und einer großen thermischen Masse gerecht.

II.2.16

Korrosionsverhalten von Wärmeträgerflüssigkeiten

Dr. Achim Stankowiak

Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, BU ICS Technical Application Heat Transfer Fluids
84508 Burgkirchen/Deutschland

Flüssigkeiten, die für den Energietransport (sowohl Wärme als auch Kälte) verwendet werden, nennt man Wärmeträgerflüssigkeiten. Diese Wärmeträgerflüssigkeiten, die z. B. in Warmwasserheizungen, technischen Kühlanlagen, Wärmepumpenanlagen und Wärmerückgewinnungsanlagen zum Einsatz kommen, enthalten als gefrierpunktsenkende Komponente meist Glykole oder organische Salze.

Diese Stoffe verursachen – ebenso wie Wasser – bei den üblicherweise eingesetzten metallischen Werkstoffen Korrosion. Zur Bestimmung des korrosiven Potentials von Wärmeträgerflüssigkeiten wird in der Industrie üblicherweise der Test auf „Statische Korrosion gem. ASTM D 1384“ herangezogen.

In unserem ständigen Bestreben den Korrosionsschutz zu verbessern wurden in unserem Haus verschärfte Testbedingungen unter Einbeziehung der ASTM D 1384 entwickelt.

Im Rahmen des Vortrages wird auf diese verschärfte Testbedingungen und deren Auswirkung auf Wärmeträgerflüssigkeiten eingegangen.

Stichwörter:

Wärmeträgerflüssigkeit, Korrosionsschutz, ASTM D 1384, Antifrogen

II.2.17

Neuartiges Ventilatorensystem ZAplus spart 20% Energie

Chris-Marco Besler

Ziehl-Abegg AG, 74653 Künzelsau/Deutschland
chris-marco.besler@ziehl-abegg.de

Der Künzelsauer Ventilatorenbauer Ziehl-Abegg stellt ein neues Ventilatorensystem vor, das extrem energiesparend ist. Der Anschaffungspreis amortisiert sich innerhalb eines Jahres. Dadurch sparen beispielsweise Supermarkt- oder Hotelbetreiber durch den deutlich niedrigeren Stromverbrauch jeden Tag bares Geld.

ZAplus steht für ein hocheffizientes Ventilatorensystem aus hochfestem Verbundwerkstoff in welchem Ventilatorlaufrad, Motor und Steuerung integriert sind. Neben der detailliert abgestimmten Verbindung von effizienten Einzelelementen ermöglicht der Verbundwerkstoff neue Formen, die den Luftstrom gezielt positiv beeinflussen.

Die ErP-Vorgaben 2015 werden sowohl mit den energiesparenden ECblue-Motoren als auch mit den traditionellen AC-Motoren erfüllt.

Die neue Entwicklung führt zu vielen Vorteilen und Möglichkeiten. Kunden können zwischen Energieeinsparung oder bis zu 15 Prozent höherer Luftmenge wählen. Dazu kommt die ideal abgestimmte Kombination von bionischem Ventilator-Design, effizienter Motortechnologie und Steuerungstechnik aus einer Hand.

Bei der Entwicklung wurde neben dem Transport auch das Handling der Abdeckplatten (Top-Platten) bei den Geräteherstellern berücksichtigt. Das ZAplus-System erlaubt als Geräteabdeckung (z.B. bei

Wärmetauschern) eine flache Platte. Das Ventilatorsystem wird montagefreundlich aufgesetzt. Zudem können alternative Materialien verwendet werden.

Betrachtet man große Kälteanlagen, arbeiten dort oftmals mehrere hundert Ventilatoren parallel. Solchen Anwendungen bieten ein enormes Energieeinsparpotential.

Stichwörter:

Betriebskosten, ROI, energiesparende Ventilatoren, flexible Logistik, Alternative zu Blech, ECblue, ZAplus

II.2.18

Wärmerückgewinnung und Gebäudeheizung mit der Kälteanlage

Daniel Strauch

Danfoss GmbH, Electronic Controllers and Services, 63004 Offenbach, BRD
Daniel.Strauch@Danfoss.com

Wärmerückgewinnung und die daraus betriebene Gebäudeheizung ist bei R744-Boosteranlagen wirtschaftlich.

Erforderlich ist eine integrierte Regelung für Gaskühler, Verbundanlage, Ölmanagement und Wärmerückgewinnung für Brauchwarmwasser und Gebäudeheizung. Der Druck im Gaskühler wird im Sommerbetrieb nach optimalen COP geregelt und im Winterbetrieb nach Anforderung der Gebäudeheizungsregelung. Der Gaskühlerdruck wird analog zur Wärmelast vom subkritischen bis zu transkritischen Drücken angepasst. Dadurch wird eine hohe Vorlauftemperatur und eine ausreichende Wärmemenge zur Verfügung gestellt. Einen Überblick über die Wirtschaftlichkeit der Beheizung mit der Kälteanlage gegenüber einer Öl- oder Gasheizung kann mit einem berechneten Verhältnis der Energiepreise geschaffen werden. Wärmeverbrauchsmessungen des Jahres 2011 zeigen, dass ein Supermarkt mit mehr Wärme versorgt werden kann als erforderlich.

Der Energieverbrauch von R744-Boosteranlagen ist bei mitteleuropäischen Klimaverhältnissen besser als die von R404A-Kälteanlagen. Mit der zusätzlichen Heizungsfunktion, die von einer R404A-Anlage in dieser Wirtschaftlichkeit nicht erreicht werden kann, trägt die R744-Boosteranlage zur Verbesserung der Energie- und Kostensituation der Supermärkte bei.

Stichwörter:

Energieeffizienz, Ressourceneffizienz, Kältetechnik, Wärmerückgewinnung, R744, Gebäudeheizung

II.2.19

Verbrauchseffiziente Verschaltungs- und Regelkonzepte für Omnibusklimaanlagen

Christian Kaiser^{1*}, Wilhelm Tegethoff¹, Jürgen Köhler², Michael Sonnekalb³

¹ TLK-Thermo GmbH, Hans-Sommer-Straße 5, D-38106 Braunschweig

² TU Braunschweig, Institut für Thermodynamik, Hans-Sommer-Straße 5, D-38106 Braunschweig

³ Konvekta AG, Am Nordbahnhof 5, D-34613 Schwalmstadt

* Korrespondenzautor

Die Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und die damit verknüpfte Reduzierung von CO₂-Emissionen ist eine der wichtigsten Anforderungen in der Entwicklung von Fahrzeugen. Hierzu zählt die Entwicklung sparsamer Antriebe ebenso wie die Optimierung von sogenannten Nebenverbrauchern wie zum Beispiel die Klimaanlage.

Der Großteil der heute eingesetzten Omnibusse verfügt über eine Klimaanlage, um dem gestiegenen Bedürfnis der Fahrgäste nach Komfort entgegenzukommen. Da der Betrieb der Klimaanlage zu einer nicht unerheblichen Erhöhung von Kraftstoffmehrverbrauch und CO₂-Emissionen führt, besteht eine wesentliche Aufgabe des Entwicklungsingenieurs darin, diesen Mehrverbrauch zu minimieren.

Für die Identifizierung möglicher Einsparpotenziale des Mehrverbrauchs wurde ein Omnibus-Simulationsmodell entwickelt, mit dem nicht nur alleine die Kompressionskälteanlage untersucht werden kann, sondern auch die mit ihr in Verbindung stehenden relevanten Systeme Heizkreislauf mit Motorkühlkreislauf, Fahrzeuginnenraum, elektrisches Bordnetz und Fahrzeuglängsdynamik mit Antriebsstrang.

In dieser Veröffentlichung sollen Verbrauchseinsparpotenziale aufgezeigt werden, die durch den Einsatz von verbesserten Verschaltungs- und Regelkonzepten erzielt werden können. Hierzu werden sowohl das konventionelle Klimatisierungssystem als auch die alternativen Systeme mit Hilfe der Gesamtfahrzeugsimulation untersucht und verglichen, wobei für alle Kältekreislaufbetrachtungen das Kältemittel R-744 (CO₂) eingesetzt wird.

Stichwörter:

Omnibusklimatisierung, Regelung, R-744, Verbrauchsreduzierung, Gesamtsystemsimulation

II.2.20

Experimentelle Methoden zur Bestimmung des H₂O-Gehaltes im CO₂-Kältekreislauf

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

Institut für Thermische Verfahrenstechnik, TU Hamburg-Harburg,
Eißendorfer Str. 38, 21073 Hamburg

* Korrespondenzautorin

In CO₂-Kältekreisläufen kann Wasser eingetragen werden, durch Druckprüfung der Anlage, bei der Befüllung und auch beim Betrieb über den Restfeuchtegehalt des Kompressoren Öls. 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). Um den Einfluss von Wasser auf den Kälteprozess mit CO₂ als Kältemittel und die im Prozess verwendeten Kältemaschinenöle untersuchen zu können, ist es deshalb wichtig den Wassergehalt im Prozess genau zu bestimmen. Daher werden in eine CO₂-Versuchsanlage verschiedene Messeinrichtungen zur Erfassung des Gehaltes des im CO₂ gelösten und abgeschiedenen Wassers installiert. Die Bestimmung des Wassergehaltes im CO₂ erfolgt über einen faseroptischen Feuchtesensor, der in der Anlage zwischen Gaskühler und Drossel integriert ist. Der Gesamtwassergehalt wird über mehrere Bypass-Leitungssysteme an verschiedenen Positionen im Kreislauf aufgenommen. Durch diesen Aufbau lassen sich bei laufender Anlage repräsentative Probenmengen entnehmen und mittels Karl-Fischer Verfahren analysieren. Die Hydratbildung wird über zwei Sichtzellen, die hinter der Drossel installiert sind, untersucht. Anhand dieser Messeinrichtungen erfolgt eine Analyse des veränderten Betriebsverhaltens der CO₂-Kälteanlage und eine Lokalisation möglicher Wassersenken im Kreislauf.

Stichwörter:

Kohlendioxid, Feuchte, Wasser, Hydrat, Karl-Fischer-Verfahren, Feuchtesensor

II.2.21

Neue Generation von Absorptionskälteanlagen

Dr. Hans Förster

Ingenieur-Büro IFM, Bahrendorfer Str. 4, 39112 Magdeburg

Eine neue Generation von Absorptionskälteanlagen (AKA) mit Verdampfungstemperaturen zwischen -5 °C und -30 °C für Kälteleistungen bis vorerst 300 kW zur Nutzung der Begleitwärmen von BHKW reduziert die Betriebskosten und den CO₂-Ausstoß in die Atmosphäre von 100 % auf 4 % durch Substitution der elektrischen Antriebsenergie alternativer Kompressionskälteanlagen. Die neue Generation nutzt gleichzeitig aber an unterschiedlichen Prozessstellen sowohl die Rauchgaswärme als auch die Motorkühlwärme von 90 °C bei Auskühlung des Wärmeträgers auf 70 °C. Zu diesem Zweck ist eine Mitteldruckstufe vorgesehen. Der Übergang von vertikalen Rektifikatoren auf horizontale Dampfkonzentrierer ermöglicht die Werkstattvorfertigung von kompakten Anlagen oder Modulen.

Höchste Energieeffizienz wird durch eine Lösungsrückführung im Desorber und durch den Mitteldruckteil erreicht. Für die dezentrale Energieerzeugung mit BHKW wird das bisher offene Problem der Mitnutzung der Motorkühlwärme ideal gelöst.

Durch die vollständige Energieumwandlung aller BHKW-Begleitwärmen in Kälte werden zusammen mit der Stromerzeugung des BHKW Gesamtnutzungsgrade von 67 bis 75 % erreicht, je nach Motorwirkungsgrad.

Bei Nutzung verbleibender Wärmeströme als Heizwärme kann diese Effizienz noch übertroffen werden.

Die Serienproduktion sichert verkaufsfähige Preise.

II.2.22

Dynamische Simulation der Wärmesenke in wärmegeführten ORC-Systemen

Tobias Erhart*, Ursula Eicker

HFT-Stuttgart, Zentrum für angewandte Forschung nachhaltige Energietechnik zafh.net,
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart
tobias.erhart@hft-stuttgart.de

* Korrespondenzautor

In den letzten zehn Jahren sind in Europa mehr als 120 Kraftwärmekopplungsanlagen mit ORC-Systemen auf Basis von Biomassefeuerungen in Betrieb genommen worden. Vor allem Kommunen, kleine Energiebetreiber und Stadtwerke haben sich dazu entschieden, diese dezentralen Anlagen zu installieren.

Zum Großteil werden diese Anlagen wärmegeführt in einem Fern- oder Nahwärmenetz betrieben.

Die Wirtschaftlichkeit vieler dieser Anlagen ist durch erhöhte Aufwendungen im Anlagenunterhalt gefährdet. Für den in ein Wärmenetzwerk eingebundenen Betrieb fehlen oft die notwendigen Erfahrungen, um Versorgungssicherheit, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit zusammenzuführen.

Im Rahmen der EU-Projekte POLYCITY und RecoORC wurden wärmegeführte ORC-Anlagen detailliert untersucht und modelliert.

Die dynamische Simulation der Wärmesenke ermöglicht die Analyse der Einflüsse von Betriebstemperaturen und Massenströme im Netz auf den ORC Wirkungsgrad. Temperaturniveaus und Massenstrom-Schwankungen im Netz und daraus resultierende Beeinflussungen des Wirkungsgrads und des Betriebs des ORC-Moduls werden aufgezeigt.

Die Simulationsergebnisse wurden mit Hilfe von Daten einer mehrjährigen Messkampagne validiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Optimierung der Netztemperaturen aber auch der Netz Massenströme ein Potential von 10-15% Wirkungsgraderhöhung bieten. Zusätzlich kann durch eine verbesserte Betriebsführung hinsichtlich der Rückkühlung und deren Ansteuerung die Einschleifung von Temperaturflanken vermieden werden. Diese führen zu unzeitigem Betrieb mit Schwingungen, erhöhen den Verschleiß und mindern den Ertrag.

Stichwörter:

ORC KWK, Modelica, Refprop, dynamische Simulation, Nahwärme, wärmegeführte KWK

II.2.23

Kupferwerkstoffe in Kälteanlagen – Einsatzbedingungen

Ladji Tikana, Uwe Tomaschek

Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e.V., Düsseldorf

Kupfer hat nach Silber die höchste Leitfähigkeit innerhalb der Gruppe der üblichen technischen Metalle. Diese natürliche gute physikalische Eigenschaft hat dazu geführt, dass die Verwendung von Kupferwerkstoffen in der Kälte- und Klimatechnik Stand der Technik ist und in den entsprechenden Regelwerken verankert ist.

Über die gute Leitfähigkeit hinaus eignen sich Kupferwerkstoffe für Bauteile in Kälteanlagen besonders gut, weil sie bei tiefen Temperaturen nicht verspröden und mindestens ihre Festigkeitswerte im Vergleich zu Werten bei Raumtemperatur beibehalten. Dies unterscheidet Kupferwerkstoffe grundsätzlich und entscheidend von anderen Werkstoffen wie z. B. Stählen.

Die Eigenschaften von Werkstoffen sind alleine bei weitem nicht ausreichend, um die sichere und dauerhafte Erfüllung ihrer Funktion zu gewährleisten. Jeder Werkstoff im Einsatz ist nur so gut wie er nach geltenden Regeln konzipiert, eingebaut und betrieben wird. In diesem Beitrag wird auf den Einsatz von Kupferwerkstoffen sowie auf die relevanten Rahmenbedingungen eingegangen.

Notizen

Monitoring und Effizienzermittlung von vier Kompressionskältesystemen in unterschiedlichen Anwendungen

Mathias Safarik^{1*}, Peter Zachmeier², Edo Wiemken³, Sebastian Wittig¹

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden, Hauptbereich Angewandte Energietechnik,
01309 Dresden, Deutschland
mathias.safarik@ilkdresden.de

² Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung, Abteilung 1 Technik für Energiesysteme und Erneuerbare Energien, 85748 Garching, Deutschland
Zachmeier@muc.zae-bayern.de

³ Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme, 79110 Freiburg, Deutschland
edo.wiemken@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

Innerhalb des vom BMU geförderten Vorhabens *EvaSolK* (Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien) werden insgesamt acht Kompressionskältesysteme im realen Betrieb vermessen. Dadurch sollen Erkenntnisse zur Effizienz von Kompressionskälteanlagen sowie zum Nutzungsverhalten gewonnen werden, da bisher derartige Daten kaum vorliegen bzw. veröffentlicht sind. Die gemessenen Daten bilden zusammen mit anderen Quellen die Grundlage zur simulationsbasierten Bewertung und dem Vergleich von photovoltaisch angetriebenen Kompressionskälteanlagen mit solarthermisch beheizten Sorptionskältesystemen.

In diesem Beitrag werden die vier vom ILK Dresden vermessenen Anlagen und die Messergebnisse vorgestellt. Dies sind im Einzelnen:

- ein Mono-Split Gerät mit einer Kälteleistung von 2,5 kW (Komfortklimatisierung)
- ein Kaltwassersatz mit einer Kälteleistung von 15 kW (Komfortklimatisierung)
- ein Multi-Split VRF System mit 25 Inneneinheiten und einer Kälteleistung von 40 kW (Komfortklimatisierung)
- ein Solekühlsatz zur Kühlung von Lagerräumen mit 17 kW Kälteleistung (Normalkühlung).

Energiecontrolling in Großkälteanlagen Einrichtung und Erfahrungen im laufenden Betrieb

Dorle Beilharz¹, Jens Lücke^{2*}, Rainer Schnellenpfeil³, Dr. Stella Schraps⁴

¹ Energie Food Town GbR, D-47228 Duisburg
Dorle.Beilharz@havilog.com

² perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH, Energiesystemtechnik, D-52066 Aachen
j.luecke@perpendo.de

³ Energie Food Town GbR, Betriebsleiter, D-47228 Duisburg
Rainer.Schnellenpfeil@havilog.com

⁴ perpendo Energie- und Verfahrenstechnik GmbH, Geschäftsführung, D-52066 Aachen
s.schraps@perpendo.de

* Korrespondenzautor

Auch für Großkälteanlagen hat die energieeffiziente Betriebsführung in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Durch die Versorgung mehrerer Temperaturniveaus, integrierter Systeme zur Wärmerückgewinnung und eine un stetige Abnahme durch die Verbraucher zeichnen sich diese Anlagen allerdings durch eine hohe Komplexität aus. Um die zur Analyse und Beurteilung der energetischen Qualität notwendige Transparenz zu schaffen, ist neben der Erfassung der produzierten Kältemengen die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der Energieströme notwendig.

Hier bieten Energiecontrollingsysteme entsprechende Möglichkeiten. Im Vergleich zum Funktionsumfang der bereits vorhandenen Leittechniksysteme erlauben diese eine langfristige Historisierung der Messdaten sowie eine automatisierte Auswertung in Form von Kennzahlen, Diagrammen und Berichten für beliebige Zeiträume. Neben der Überwachung der energetischen Qualität der Anlagen spielt bei der Einführung solcher Systeme häufig auch die transparente und zuverlässige Abrechnung der gelieferten Medien gegenüber internen oder externen Kunden eine Rolle.

Im Vorjahr wurde über die Konzeptionierung des Systems, die Auswahl von Messtechnik und Software berichtet. Als Beispiel wurde die Energie Food Town GbR herangezogen, welche eine mehrstufige Ammoniak-Großkälteanlage mit insgesamt 4,4 MW Kälteleistung am Standort Duisburg betreibt.

Der aktuelle Vortrag knüpft an den vorherigen Bericht an und stellt die Phase der Inbetriebnahme sowie Erfahrungen aus dem Dauerbetrieb dieser industriellen Anlage dar. Hierbei wird insbesondere auf die aufgetretenen technischen und organisatorischen Herausforderungen sowie deren Bewältigung eingegangen. Auch erste Erfolge werden aufgezeigt. Abschließend wird ein Ausblick auf künftige Entwicklungen im Bereich des Energiecontrollings von Kälteanlagen gegeben.

Stichwörter:

Energiecontrolling, Großkälteanlage, Durchflussmessung, Betriebserfahrung

Kälte aus Wärme – Einsatz von thermischen Kältemaschinen am Beispiel einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für eine Schweinemastanlage

Andre Weiß

SorTech AG, Halle (Saale)

Zu Beginn des Vortrages werden erste Grundlagen vermittelt. Wir erläutern warum Kälte gerade aus Wärme erzeugt werden soll. Nun fragt sich der Zuhörer sicher sofort wie das funktionieren soll. Deswegen werden im Anschluss der Systemaufbau und seine Komponenten näher beschrieben. Darauf folgt dann eine Darstellung diverser typischer Anwendungsfälle. Dies zeigt die Einsetzbarkeit der Technik und auch insbesondere die Möglichkeiten in Kopplung mit einem BHKW. Da diese neue innovative Technik sehr umweltschonend ist gibt es natürlich auch Fördermöglichkeiten. Diese werden nun näher beschrieben.

Im zweiten Teil des Vortrages beleuchten wir die Technologie etwas näher. Wie wird nun Kälte aus Wärme erzeugt? Wie funktioniert der Adsorptionsprozess? Diese Frage beantworten wir ausführlich. Der Einsatz unserer Technik ist natürlich auch an gewissen Kriterien gebunden. Diese werden wir darstellen. Im Anschluss wird kurz die bereits realisierte Technik und Ihre Leistungsfähigkeit vorgestellt. Diese Maschinen können aber noch mehr als Kühlen. Was nie noch können? Dies schließt sich jetzt an.

Um den Vortrag abzurunden gehen wir noch auf die Stärken der Adsorptionskältemaschinen ein. Ein wichtiger Punkt hierbei ist auch die Betrachtung von Optimierungsmöglichkeiten. Wie können z. B. Effizienz oder auch Wirtschaftlichkeit einer Kühllösung gesteigert werden?

Jetzt fragt sich der geneigte Zuhörer sicher: „Die Theorie ist ja schön und gut! Aber wird die Technik denn auch genutzt?“ Da sagen wir „Schwein gehabt!“, denn es folgt ein Anwendungsbericht, in dem wir zeigen, wie eine Schweinemastanlage mit Hilfe eines Biogas BHKW und der Adsorptions-Kältemaschinen gekühlt wird.

III.04

Kältekreislauf von Haushaltskältegeräten - Anforderungen und Entwicklungsstand -

Matthias Mrzyglod

BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH, 89537 Giengen

Haushaltskältegeräte haben sich in den letzten 15 Jahren im Energieverbrauch sehr positiv entwickelt. Dabei sind die Anforderungen zur Anpassung an wechselnde Umgebungsbedingungen eher gestiegen. Der verwendete Kältekreislauf ist zwar im Prinzip gleich geblieben, hat aber durch verschiedene Modifikationen einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung geliefert.

Im Rückblick lassen sich die bisherigen Beiträge zur Effizienzsteigerung charakterisieren und geben damit auch Hinweise auf weitergehende Optimierungspotenziale. Allerdings erfordern einzelne Komponenteoptimierungen meist die Anpassung anderer Systemeigenschaften und Modifikation weiterer Komponenten des Kältekreislaufes. Hierbei unterscheidet sich die Auslegung des Kältekreislaufes deutlich von den Anforderungen in „großen“ Kälteanlagen und dort gewonnene Erkenntnisse lassen sich selten problemlos übernehmen.

Der Vortrag charakterisiert die wesentlichen Anforderungen an die Kältetechnik für Haushaltskältegeräte und fasst die Verbesserungen der letzten Jahre aus kältetechnischer Sicht zusammen. Interessanterweise kommen dadurch auch neue, kleinere Verbesserungspotenziale zum Vorschein, deren Bearbeitung sich zukünftig lohnen könnte.

Stichwörter

Kältekreislauf, Haushaltskältegeräte

III.05

Experimentelle Studie eines neuen energiesparenden Luftkühlers für die Lagerung von Frischobst

Stefano Filippini

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

Das vorliegende Referat beschreibt die theoretischen bzw. experimentellen Studien eines neuen Luftkühlers zur Lagerung von Frischobst und Gemüse, entwickelt mit dem Objektiv, den Energieverbrauch drastisch zu reduzieren und die Lagerqualität des Lebensmittels zu verbessern.

Diese Planungsarbeit umfasste ebenfalls die Einstufung der Paarung von Luftkühler, zu lagernder Ware und der zur Lagerung vorgesehenen Kühlzelle, in einem ganzheitlichen Ansatz mit dem Objektiv, die globale Energieleistung des Prozesses zu optimieren. Der erste Teil der Studie betraf die Ausführung eines Modells mit CFD-Methodologie des Gerätes und des im Kühlraum aufzubewahrenden Obstes, mit der Absicht, die Luft- bzw. Temperaturverteilung im Zelleninneren selbst zu bestimmen und zu optimieren.

Anschließend wurde das neue Produkt in einem großen Kühlraum für die Aufbewahrung von 6200 DZ Äpfeln der Sorte Golden Delicious installiert, während in einem Kühlraum nebenan ein traditionell gebautes Gerät installiert wurde. Beide Kühlräume wurden mit zahlreichen Instrumenten versehen zur kontinuierlichen Überwachung der Arbeitstemperaturen (im Kühlraum, im Produktinneren und des Kälteträgers), der relativen Luftfeuchtigkeit, der Luftverteilung, des Gewichtsverlustes der Ware, des Sauerstoffgehaltes in der Luft.

Am Ende der Lagerzeit, d.h. nach 6 Monaten, wurden beide Kühlräume geöffnet und das darin enthaltene Obst eingehenden organoleptischen und qualitativen Analysen unterworfen, außerdem wurde eine eingehende Bewertung des Energieverbrauches vorgenommen.

Bei Abschluss dieser langen Studier- und Experimentierzeit ergab sich deutlich der geringere Energieverbrauch der Luftkühler der neuen Generation, gleich 19 %, mit einer Ersparnisspitze in der anfänglichen Kühlphase von 34 %. Was den Gewichtsverlust betrifft so ist dieser beträchtlich zwischen den beiden Kühlräumen, mit dem neuen Luftkühler, der es gestattet hat, den Wert um 18 % zu senken. Die experimentellen Erfassungen der Temperatur- bzw. Geschwindigkeitsverteilung haben es zudem gestattet, die vorangehende numerische Vorschau durch CFD zu bestätigen.

Stichworte:

Luftkühler, Wärmetauscher, Obstlagerung, Gemüselagerung, Energieersparnis

III.06

R744 Supermarktkälteanlagen mit Multi-Ejektoren Konzept

Armin Hafner^{1*}, Sven Försterling², Krzysztof Banasiak³

¹ SINTEF Energy Research, 7465 Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

² TLK-Thermo GmbH, 38106 Braunschweig, Deutschland
s.foersterling@tlk-thermo.de

³ Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Krzysztof.Banasiak@polsl.pl

* Korrespondenzautor

Supermarkets are commercial buildings with major energy consumption and contribute also to relatively large direct emissions of greenhouse (GHG) through emissions of refrigerants from the refrigeration plants and the air conditioning system installed.

The huge majority of these systems, which are installed in European supermarkets, are applying HFC-404A as working fluid. Average annual leakage rates in Europe are in the range of 15-20 % of the total charge. Worldwide the figure is about 30 % and HCFC-22 being the main refrigerant in use.

Restrictions on the use of synthetic refrigerants are coming into force in several countries. There is a need for a natural refrigerant which allows for a safe investment in efficient refrigeration systems which will not be forced to be retrofitted by legislation in the future. Systems applying R744 as the only refrigerant have been developed and more than 500 supermarkets exist in Europe, mainly in northern and mid-European countries. However, the systems still have large potential in development with respect to energy efficiency, heat recovery and cost efficiency.

The paper describes the calculation method to identify the possible annual energy savings for different supermarket systems layout. The adoption of non-controlled ejectors and additional function such as heat recovery are evaluated. Results show relevant improvements in system efficiency when heat recovery has been adopted. Ejector usage is not diffused at the moment. Thus, a theoretical analysis applying Modelica has been carried out.

Stichwörter:

R744/ CO₂, Supermarktkühlkonzepte, Ejector, Modelica

Ganzheitlicher Ansatz für Anlagen- und Supermarkt – Steuerungen für Kühlen, Klimatisieren, Heizen sowie das gesamte Energiemanagement

Ing. Johann Herunter

Frigopol Kälteanlagen & Elreha Austria, Gamser Straße 21, A- 8523 Frauental
www.frigopol.com

Einleitend wird ein kurzer Überblick zu gängigen Generationen an Regelgeräten sowie Steuerungen mit Schwerpunkt Kälte- Klima- Technik gegeben. Es soll damit erläutert werden, welche unterschiedlichen Möglichkeiten auf Grund der umfassenden technologischen Weiterentwicklungen heute zur Verfügung stehen. Waren es früher noch verschiedene Geräte, die für Heizen, Kühlen, Klimatisieren verwendet wurden, so greift man heute auf eine Modulerie zurück, die auf nahezu gleiche Hardware jedoch unterschiedliche Software basieren.

Detailliert werden mehrere Optimierungsmaßnahmen im Kälte- und Klimabereich für Verbunde, Verflüssiger und Kühlstellen erklärt.

Auf besondere Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz durch das Zusammenspiel intelligenter Geräte aus allen Anlagenbereichen wird hingewiesen. Eingebunden sind dabei auch Heizung, Lüftung, Licht, Antriebe und andere elektrische Verbraucher.

Eine umfassende Vernetzung komplexer Systeme bietet die Möglichkeit via Internet alle Anlagenbereiche aus der Ferne zu beobachten, zu warten und falls freigegeben, sogar zu bedienen (per Tablet-PC, Smartphone, etc.).

Weiters werden Lösungen, die zur Einhaltung spezieller Vorschriften und Anforderungen wie z. B. Temperaturprotokollierung nach HACCP, zentrale Fernbedienung von elektrischen Verbrauchern präsentiert.

Ein wesentlicher Teil des Vortrags befasst sich mit dem Nutzen dieser Systeme für die Fachfirmen und für den Endkunden.

Es stehen in einem Software- Center Tools zur vergleichenden Auswertung von Anlagen, zur Optimierung des Energieverbrauchs, Verbesserung der Produktqualität, Trendanalyse etc. zur Verfügung.

Mittels Grafiken und Bildern wird dazu ein Überblick mit Auswertungen von installierten Anlagen gegeben.

Fazit: Der ganzheitliche Ansatz zielt darauf ab zu zeigen, dass nur in starker Partnerschaft aller beteiligten Firmen bzw. Systeme energieeffiziente, kostengünstige Anlagenkonzepte realisiert werden können und dauerhaft Nutzen bringen.

Dynamische Modellierung einer kombinierten Supermarkt-Kälte- und Klimaanlage

Maren Titze^{1*}, Armin Hafner²

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

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

* Korrespondenzautorin

Der Anteil des Energieverbrauches von Supermärkten am Gesamtverbrauch liegt in Europa zwischen 1,4 % und 4 %. Um diesen Verbrauch zu senken, soll ein Gesamtkonzept erstellt werden, welches Kälte- sowie Klimaanlage und Heizung gekoppelt berücksichtigt. Durch dynamische Simulation sollen verschiedene Ansätze miteinander verglichen werden

Im untersuchten System soll eine zweistufige Kälteanlage eingesetzt werden, über welche sowohl Tief- als auch Normalkühlung versorgt wird. Als Kältemittel soll CO₂ eingesetzt werden. Die anfallende Abwärme kann bei Bedarf zur Beheizung des Verkaufsraums genutzt werden. Kann der Wärmebedarf des Gebäudes nicht gedeckt werden, kann die fehlende Wärme über eine Erdwärmesonde bereitgestellt werden. Im Sommer kann die Abwärme an das Erdreich abgegeben werden und trägt somit nicht zur Gebäudeaufheizung bei. Durch den Einsatz von Schichtenspeichern können Fluktuationen zwischen Überangebot und Mangel an Abwärme über einige Tage ausgeglichen werden. So kann überschüssige Wärme beispielsweise über Nacht gespeichert und am nächsten Tag bei Bedarf genutzt werden. Insgesamt sollen verschiedene Verschaltungen des Gesamtsystems untersucht und bezüglich miteinander verglichen werden. Dabei sind die Einflüsse der Komponenten untereinander von Interesse, um den Gesamtenergieverbrauch so gering wie möglich zu halten. Die Regelung des Systems ist für den Wirkungsgrad von enormer Bedeutung. Um die Gesamtanlage auf verschiedene Außenbedingungen anzupassen und Temperaturschwankungen möglichst gering zu halten, ist es Ziel, ein zentrales Regelkonzept zu erstellen.

Für die Abbildung von der Anlage soll vom Institut für Thermodynamik und der TLK-Thermo GmbH, speziell für thermodynamische Systeme, entwickelte Bibliothek TIL genutzt werden. Diese basiert auf der Programmiersprache *modelica*, wird ständig erweitert und ist mit der Stoffdatenbank TILMedia verknüpft.

Stichwörter:

Dynamische Simulation, Supermarktkälte, Wärmerückgewinnung

III.09

Supermarktkälteanlage mit CO₂ als Kälte­träger – Fallstudie einer Anlage in Australien

Jon Sheehan¹, Joachim Dallinger^{2*}

¹ George Barker Ltd., Bradford (UK)

² Epta Deutschland GmbH, Mannheim

* Korrespondenzautor

Die Verwendung von CO₂ als Kälte­träger ermöglicht eine nennenswerte Reduktion von H-FKW-Füllmengen im Vergleich zu konventionellen Kältesystemen. Diese Technologie ist nicht neu und wird häufig in industriellen Kälteanlagen eingesetzt. Im Bereich der Supermarktkälte ist sie jedoch nicht weit verbreitet. Indirekte Kälteanlagen mit CO₂ als Kälte­träger haben jedoch einige Vorteile, z. B. zirkuliert kein Öl im Sekundärkreislauf, die Wärmeübertragerflächen in den Verdampfern werden besser genutzt, eine Überhitzung ist durch zweiphasige Verdampfung nicht vorhanden, insgesamt ist das Temperaturverhalten in den Kühlmöbeln konstanter und es ergibt sich letztlich eine Verbesserung der Warentemperaturen. Als Nachteil ist natürlich die zusätzliche Temperaturdifferenz durch den Wärmeübergang vom Sekundär- auf den Primärkreislauf zu sehen.

Im Jahr 2011 wurde eine solche Anlage in einem australischen Supermarkt installiert. Diese Anlage versorgt den NK-Bereich mit ca. 35 Kühlstellen. Als primäres Kältemittel kommt R134a zum Einsatz.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die Ausgestaltung der Kälteanlage und zeigt erste Betriebs­erfahrungen bezüglich Temperaturverhalten und Energieverbrauch auf.

III.10

Potenzial von Adsorbens-beschichtetem Aluminiumschwamm als Wärme- und Kältespeicher

Thomas Demmer^{1*}, Jörg Heyse¹, Dirk Müller²

¹ Robert Bosch GmbH, Postfach 30 02 40, D-70442 Stuttgart
thomas.demmer@de.bosch.com

² E.ON Energieforschungszentrum, RWTH Aachen, Mathieustraße, D-52074 Aachen

* Korrespondenzautor

Auf die Klimatisierung der Fahrgastzelle kann bei Elektroautos nicht verzichtet werden. Wird für die Bereitstellung von thermischer Energie jedoch elektrische Energie aus der Batterie verwendet, so wird Antriebsenergie karnibalisiert. Bei Serien-Elektrofahrzeugen konnte im Realbetrieb eine Halbierung der ohnehin geringen Reichweite durch die elektrische Heizung im Winter fest-gestellt werden. Es wird daher ein Konzept zur batterieunabhängigen und damit Reichweiten-optimalen Klimatisierung von Elektrofahrzeugen auf Basis eines thermischen Adsorptions-Speichers für Kälte und Wärme untersucht. Um den Einsatz eines geschlossenen Adsorptions-systems im Fahrzeug zu realisieren, ist es erforderlich Energie- und Leistungsdichte zu optimieren und auf die Anforderungen abzustimmen.

Für den Aufbau des Adsorber-Wärmeübertragers wird ein neuartiges Kompositmaterial betrachtet. Es handelt sich um offenporigen Aluminiumschwamm, der kostengünstig in einem Druck-gussverfahren hergestellt wird. Auf dessen innerer Oberfläche wird ein mikroporöses Adsorbensmaterial synthetisiert, wobei in Laborproben ein Adsorbens-Volumenanteil von 40 % erzielt werden konnte, wodurch auf eine hohe volumetrische Energiedichte geschlossen werden kann. Da der Aluminiumschwamm an

Wärmeübertrager-Strukturen angegossen werden kann, wird zudem eine hohe Leistungsdichte mit diesem Adsorberkonzept erzielt.

Anhand numerischer Simulation wird die Auslegung und Optimierung von Adsorber-Wärmeübertragern, die auf dem oben genannten Kompositmaterial aufgebaut sind, beschrieben. Die verwendeten Simulationsmodelle wurden mit Laboruntersuchungen an Proben des Kompositmaterials validiert.

III.11

Speicherverdampfer für Fahrzeuge mit Start-Stopp Funktion

**Dipl.-Ing. Christoph Walter, Dr.-Ing. Markus Wawzyniak*,
Dipl.-Ing. Joachim Link, Dipl.-Ing. Michael Sickelmann**

Behr GmbH & Co. KG, 70469 Stuttgart
markus.wawzyniak@behrgroup.com

* Korrespondenzautor (vorläufig)

Die Motor-Stopp Technologie zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs im Fahrzeug-Stoppfall und im Schubbetrieb verbreitet sich zunehmend in allen Fahrzeugklassen.

Die Abschaltung des Verbrennungsmotors wirkt sich jedoch nachteilig auf die Klimatisierung der Fahrgastkabine aus, weil der riemengetriebene Kältemittelverdichter dann nicht mehr angetrieben wird. Die Insassen erfahren bei längeren Stoppzeiten und sommerlichen Temperaturen einen unangenehmen schnellen Anstieg der Belüftungstemperatur und der Luftfeuchte.

Der BEHR Speicherverdampfer ermöglicht den Erhalt von Komfort im Motor-Stopp Betrieb in langen Stoppphasen und damit die Maximierung der Kraftstoffeinsparung im Jahresmittel. Nachdem das BEHR Produkt first-to-market in der BMW 5-er Reihe Ende 2010 erstmals zum Einsatz kam, werden detailliert die Designkriterien, die Spezifikationsanforderungen und weitere Messergebnisse vorgestellt und diskutiert.

III.12

R 1234yf als Kältemittel in PKW-Klimaanlagen

Jürgen Wertenbach

VDA Verband der Automobilindustrie, Berlin

Die EU-Richtlinie 2006/40/EC fordert von der Automobilindustrie für neue Fahrzeugtypen vom 01.01.2011 ein Kältemittel mit einem GWP < 150. Die deutsche Automobilindustrie hat sich aufgrund von Sachargumenten, wie alle anderen Hersteller weltweit, für R 1234yf als Alternative zu R134a entschieden.

Das Kältemittel R 1234yf wird in der Berichterstattung in den Medien kritisch gesehen.

Der Beitrag legt dar, welche Versuchsergebnisse für eine reale Fahrzeugnutzung relevant sind. Anhand einer global erstellten Gefährdungsanalyse wird aufgezeigt, dass ein Fahrzeugbetrieb sicher möglich ist.

Daneben werden die Besonderheiten des Kältemittels in der Fahrzeugapplikation dargelegt.

III.13

Eigenschaften von Kältemaschinenölen unter Einfluss von Niedrig-GWP-Kältemitteln

Wolfgang Bock, Christian Puhl*

FUCHS EUROPE Schmierstoffe GmbH, Friesenheimer Str. 19, 68169 Mannheim

wolfgang.bock@fuchs-europe.de, christian.puhl@fuchs-europe.de

* Korrespondenzautor

Es existieren mittlerweile eine ganze Reihe von Niedrig-GWP-Kältemitteln, deren Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Kältemaschinenölen noch nicht in vollem Umfang beschrieben sind.

Als Nachfolgekältemittel in der Pkw-Klimaanlage hat sich das fluorierte Kältemittel HFO-1234yf gegenüber anderen Kandidaten wie CO₂ durchsetzen können.

Im Hinblick auf das Zusammenspiel mit dem Schmierstoff des Klimaanlagenverdichters stellt die Einführung von HFO-1234yf eine Vielzahl an Herausforderungen an das Kältemaschinenöl dar. Speziell für das neue Kältemittel entwickelte Öle müssen besondere Produkteigenschaften aufweisen. Neben der grundsätzlichen Forderung nach einem verlässlichen Öltransport durch alle Bauteile des Kältekreislaufs ergeben sich eine Reihe von weiteren Anforderungen. Es sind hier zum einen die thermochemische Stabilität, die Verträglichkeit mit allen ölbenetzten Bauteilen sowie nicht zuletzt verlässliche Schmierungseigenschaften zu nennen.

Im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung hermetischer Verdichter für die Pkw-Klimatisierung (in Elektroautos und Hybrid-Fahrzeugen) spielen Isolationseigenschaften des Kältemittel-Öl-Gemisches eine wichtige zusätzliche Rolle.

Neben HFO-1234yf werden momentan weitere Kältemittelreinstoffe und -gemische der HFO-/HFKW-Produktfamilie in zahlreichen Testreihen untersucht.

Der Vortrag stellt geeignete Schmierstoffe für HFO-1234yf und andere Niedrig-GWP-Kältemittel wie z. B. HFO-1234ze und deren Eigenschaften im Zusammenspiel mit Kältemitteln vor und beleuchtet dabei gleichzeitig die Unterschiede zu bewährten HFKW-Öl-Systemen.

III.14

Klimatisierung von Elektro- und Hybridfahrzeugen

Florian Wieschollek

Visteon Deutschland GmbH, 50170 Kerpen, Deutschland

fwiescho@visteon.com

Seit einigen Jahren werden bei den Automobilherstellern und den Zulieferern technische Lösungen auf dem Gebiet der Hybrid-, Plug-In- und Elektrofahrzeuge erarbeitet. Der Einsatz dieser Lösungen hat Auswirkungen auf die Komponenten zum Antrieb und auf die gesamte Infrastruktur wie das Thermomanagement und die Klimatisierung.

Die Erwartungen des Endverbrauchers sind für Elektrofahrzeuge hinsichtlich der Klimatisierung unverändert zu den derzeitigen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Die Klimatisierung soll ohne Mehrkosten Bestandteil des Fahrzeuges sein und dabei den Fahrkomfort und letztendlich die Reichweite möglichst gering beeinflussen.

Die Architektur der Klimaanlage in Elektro- und Hybridfahrzeugen unterscheidet sich zum Teil erheblich von den derzeit verbauten Anlagen in Verbrennungsmotoren. So kann ein elektrisch angetriebener Verdichter drehzahlunabhängig vom Antriebsstrang betrieben werden, was die Reduzierung des Verdichterhubraums erlaubt. Neue Komponenten des elektrischen Antriebsstranges wie

z. B. der Hochvoltspeicher sind im Thermomanagement zu integrieren. Allerdings stellt der Antriebsstrang nicht mehr ausreichend Verlustwärme im benötigten Temperaturbereich zur Verfügung, so dass entsprechende effiziente Zuheizmaßnahmen zu entwickeln sind.

Für die Zulieferindustrie stellt dies Herausforderungen aber auch Chancen zur Entwicklung innovativer und effizienter Systeme und Komponenten dar.

III.15

Steigerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen durch optimiertes Thermomanagement

**Dipl.-Ing. Jörg Aurich*, Dr.-Ing. Rico Baumgart,
Dipl.-Ing. Christoph Danzer, Marit Schwinger**

Technische Universität Chemnitz, Professur Alternative Fahrzeugantriebe
Tel.: 0371/531-38763
joerg.aurich@mb.tu-chemnitz.de

* Korrespondenzautor

Die energieeffiziente Klimatisierung von neuartigen Hybrid- und Elektrofahrzeugen stellt eine herausfordernde Entwicklungsaufgabe dar, da sowohl die Kühlung als auch die Beheizung des Fahrzeuginnenraums zu einer mitunter erheblichen Reduzierung der Reichweite führen.

Um einen minimalen Gesamtenergieverbrauch und somit eine größtmögliche Reichweite zu realisieren, ist es notwendig, die Fahrzeuge gesamtheitlich „von der Batterie bis zum Rad“ einschließlich der Heiz- und Kühlanlage zu optimieren.

Zur Erfüllung dieses Anspruchs wurde an der TU Chemnitz ein vollständig geometrie- und prozessbasiertes Simulationsmodell entwickelt, welches die gesamte Klimaanlage einschließlich der Fahrgastzelle beschreibt. Dieses Modell wurde mit einem ebenfalls an der TU Chemnitz erstellten Programm gekoppelt, mit dem sich wiederum der gesamte Antriebsstrang von Elektrofahrzeugen simulieren lässt.

Mit Hilfe dieser gekoppelten Simulationsumgebung kann nun der Einfluss unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen an der Kühl- und Heisanlage auf die Reichweite berechnet werden. Dabei zeigte sich, dass durch ein optimiertes Thermomanagement im Fahrzeug mit Nutzung der Abwärme aus Motor und Leistungselektronik, gezielter Betriebspunktverschiebung sowie weiteren thermodynamischen Maßnahmen die klimatisierungsbedingte Reichweitenverkürzung deutlich reduziert werden kann.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können ebenso auch auf konventionelle Fahrzeuge übertragen werden, um deren Kraftstoffverbrauch und somit den CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

Im Vortrag werden zunächst die oben genannten Simulationsmodelle kurz vorgestellt. Anschließend werden einige exemplarische Maßnahmen zur Optimierung des Thermomanagements aufgezeigt und deren Einfluss auf die Reichweite eines beispielhaften Elektrofahrzeuges für unterschiedliche Betriebsbedingungen erläutert. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet und einige wesentliche Schlussfolgerungen abgeleitet.

III.16

Schaltventile für automobiler Wärmepumpen mit unterkritischem Kältemittel

Dr.-Ing. Joan A. Aguilar R.

Otto Egelhof GmbH & Co KG, 70736 Fellbach

Während bei einem herkömmlichen PKW mit Verbrennungsmotor, die Verlustwärme des Motors als Heizenergie verwendet wird, muss bei einem vollständig elektrisch betriebenen Fahrzeug die Heizenergie zusätzlich zur Fahrenergie von der Batterie bereitgestellt werden.

Um die Einbuße an Fahrleistung durch die Fahrzeugklimatisierung zu reduzieren, kann die Erzeugung der Heizenergie durch eine als Wärmepumpe betriebene Klimaanlage erfolgen. Für die Umschaltung der Klimaanlage zwischen Kühl- und Heizbetrieb werden neue Schaltventile benötigt, die besonders hohe Anforderungen erfüllen müssen.

Die Fa. Egelhof hat ihr Produktportfolio erweitert und präsentiert durch den vorliegenden Beitrag eine neue Produktfamilie, die zu einer kostengünstigen und bauraumsparenden Gestaltung einer automobilen Wärmepumpe beitragen kann.

III.17

Gezielte Entfeuchtung der Raumluft in Fahrzeugen des ÖPNV

(Ein Beitrag zur Komfortsteigerung und zur Werterhaltung)

Ingwer Ebinger

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

Kennzeichen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) sind kurze Haltestellenabstände und häufige Türöffnungszeiten sowie zeitlich stark wechselnde Fahrgastaufkommen. Infolge dessen schwanken die thermischen und stofflichen Lasten in den Fahrgasträumen sehr stark.

Mit zunehmender Personenzahl steigt auch die Feuchtigkeitslast, die z. B. bei Regenwetter durch feuchte Kleidung weiter erhöht wird. Infolge der Türöffnungen kann an den Haltestellen zusätzlich sehr feuchte Außenluft in den Fahrgastraum einströmen. In Neubaufahrzeugen des ÖPNV ist der Einsatz von Klimaanlagen inzwischen Standard. Mit ihrer Hilfe ist die Aufrechterhaltung der angestrebten Raumlufttemperatur auch in Extremsituationen gewährleistet. Dadurch ist jedoch nicht in allen Fällen sichergestellt, dass auch die Raumluftfeuchte hinreichend abgesenkt wird, um Tauwasserbildung an den Fensterscheiben oder an Karosserieteilen zu vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine spezielle Entfeuchtungsregelung erforderlich.

Es wird untersucht, welche Feuchtigkeitslasten in Fahrzeugen des ÖPNV bei unterschiedlichen Besetzungsgraden und wechselnden Außenluftzuständen auftreten und wie mit Hilfe der Klimaanlage eine gezielte Entfeuchtung realisiert werden kann. Neben der Komfortsteigerung infolge behaglicher Raumluftfeuchte und beschlagfreier Scheiben kann dadurch ein Beitrag zur Vermeidung von Schweißwasser an Karosserieteilen und somit zur Minderung von Korrosionsschäden geleistet werden.

Stichwörter:

Raumluftzustand, Feuchtigkeitslast, Tauwasserbildung, ÖPNV

Experimentelle Untersuchung einer zweistufigen Transportkälteanlage mit R-744

Dipl.-Ing. A. Möhlenkamp*, Dr.-Ing. N. Lemke, Prof. Dr.-Ing. J. Köhler

TU-Braunschweig, Institut für Thermodynamik, 38106 Braunschweig, Deutschland
a.moehlenkamp@tu-bs.de

* Korrespondenzautor

In der Transportkühlung werden bislang vorwiegend geschlossene, einstufige Kältekreisläufe eingesetzt. Zweistufige Kältekreisläufe ermöglichen neue Schaltungsvarianten und führen gegenüber einstufigen Kältekreisläufen zu einer deutlichen Steigerung der energetischen Effizienz. Dies gilt insbesondere für das natürliche Kältemittel R-744. Aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften im Bereich Transportkühlung stellt das Kältemittel R-744 eine Alternative gegenüber den überwiegend eingesetzten synthetischen Kältemitteln R-404A und R-410A mit hohem **Global Warming Potential** (GWP) dar.

In dieser Publikation wird eine zweistufige Laboranlage im Bereich Transportkühlung für Motorwagen mit dem Kältemittel R-744 vorgestellt. Die zweistufige Laboranlage mit internem Wärmeübertrager auf Mitteldruckniveau stellt kontinuierlich Kälte für die Normal- und Tiefkühlung bereit. Der Aufbau der zweistufigen Laboranlage orientiert sich an einer Referenzanlage und gibt somit die Praxisbedingungen wieder. Basierend auf dieser Laboranlage werden erste Messungen bei Variation typischer charakteristischer Betriebspunkte vorgestellt, diskutiert und hinsichtlich der energetischen Effizienz bewertet.

Stichwörter:

Zweistufiger Kältekreislauf, natürliche Kältemittel, R-744, energetische Effizienz, COP, Transportkühlung, Messungen, Experiment.

Experimentelle und simulative Untersuchung von Pkw-Klimaanlagensystemen mit Sekundärkreisläufen

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

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

* Korrespondenzautorin

Im Rahmen des EU Projektes TIFFE (Thermal Systems For Fuel Economy) werden unterschiedliche Konzepte zur Neugestaltung der thermischen Systeme im Fahrzeug untersucht. Hierdurch soll eine Verbesserung des Fahrzeugwärmemanagements - einhergehend mit Kraftstoffeinsparungen - erreicht werden.

Hintergrund der Untersuchungen stellen neue Antriebskonzepte wie z. B. Konzepte mit Start-Stopp-Automatik dar, die im Rahmen des Fahrzeug-Gesamtenergiemanagements auch eine Neustrukturierung der Fahrzeugklimaanlage erfordern. Im Projektrahmen werden daher unter anderem die Arbeits- und Wirkungsweise von kompakten Klimageräten (CRU – Compact Refrigeration Units) mit Sekundärkreisläufen zur indirekten Wärmeaufnahme bzw. -abgabe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus untersucht.

In der vorliegenden Arbeit wird der experimentelle Aufbau eines indirekten Systems bestehend aus CRU und drei Sekundärkreisläufen vorgestellt. Des Weiteren werden Anhand experimenteller Ergebnisse die Arbeitsweise und Leistungsfähigkeit des gezeigten Systems diskutiert. Zusätzlich zu den experimentellen Untersuchungen wird ein Model des Gesamtsystems - erstellt mit der objektorientierten Modellierungssprache Modelica und der Komponentenbibliothek TIL Suite - vorgestellt und erste Simulationsergebnisse gezeigt.

Stichwörter:

Pkw-Klimaanlage, Sekundärkreislauf, kompakte Klimaanlage, Simulation, Modelica, TIL Suite

III.20

Transient Performance of Automotive Secondary Loop Systems Using Propane as Refrigerant and Ice Thermal Storage

Magnus Eisele, Yunho Hwang, Reinhard Radermacher*

Center for Environmental Energy Engineering, University of Maryland,
College Park, 3163 Glenn L. Martin Hall Bldg., MD 20742, USA
Tel: (301) 405-5286, E-mail: raderm@umd.edu

* Corresponding Author

Since the ban of R134a as refrigerant in mobile air-conditioning systems (MACs), HFO1234yf is considered as future refrigerant in new units. Several alternatives, including Hydrocarbons exist. Secondary loop systems mitigate the flammability hazard when using Hydrocarbons, while allowing for a more compact refrigeration system and a variety of thermal storage options. The experimental test facility features a virtual cabin model, which allows transient testing of MAC systems by combining real MAC components with the simulation of psychrometric processes in a passenger cabin. The current study focuses on the use of Propane (R290) as primary refrigerant in secondary loop systems. An ice storage system was combined with the coolant loop to evaluate the potential of advanced thermal storage options for secondary loop systems.

Key words:

R290, Propane, Hydrocarbons, Secondary Loop, Dynamic, Transient, Car Cabin, Passenger Compartment, Automotive, Air-conditioning, Flammable Refrigerants, Performance Measurement, Drive Cycle, Pull Down, Ice Storage, Thermal Storage

III.21

Emissions- und Phase-Down-Szenarien fluorierter Kältemittel: 2010-2030

Andrea Voigt

The European Partnership for Energy and the Environment (EPEE)
1000 Brüssel, Belgien
a.voigt@epeeglobal.org

Aus einer neuen, von EPEE in Auftrag gegebenen Studie der Forschungsinstitute ARMINES / ERIE geht hervor, dass die Emissionen von CO₂-Äquivalenten in den vergangenen 10 Jahren dank der Verordnungen zu ozonabbauenden Substanzen und zu F-Gasen trotz einer Verdoppelung der Kältemittelbank um über 13 % zurückgegangen sind. Für die nächsten 20 Jahre geht die Studie bei kontinuierlichem Marktwachstum von einer weiteren Reduzierung der Emissionen von 15 bis rund 60 % aus. Es werden zwei mögliche Szenarien untersucht: zum einen ein „F-Gas Szenario“, basierend auf der kompletten Umsetzung der F-Gas Verordnung kombiniert mit aktuellen Markttrends und zum anderen ein „F-Gas Plus Szenario“, dem die beschleunigte Einführung von Kältemitteln mit niedrigerem GWP-Wert zugrunde liegt. Neben Kältemitteln mit niedrigerem GWP-Wert tragen verschiedene weitere Schlüsselfaktoren zur Erzielung der Emissionsreduzierungen bei, wie die Reduzierung der Emissionsraten, geringere Kältemittelfüllmengen und höheres Rücknahmevermögen am Ende der Lebensdauer von Anlagen. Basierend auf der ARMINES / ERIE Studie hat EPEE eine weitere Studie bei dem Forschungsinstitut SKM Enviro in Auftrag gegeben, um weitere Erkenntnisse zur technischen Machbarkeit, dem zeitlichen Rahmen und den Kosten von Phase-down Szenarien zu gewinnen. Diese Studie ist zum Zeitpunkt der Abgabe des Abstracts noch in Bearbeitung, soll aber ebenfalls vorgestellt werden.

III.22

F-Gas Verordnung – wie geht's weiter?

**Aktuelle politische Entwicklungen in Europa
und nationale Maßnahmen in europäischen Ländern**

Barbara Gschrey

Öko-Recherche GmbH, Münchener Str. 23, 60329 Frankfurt/ Main
b.gschrey@oekorecherche.de

Im Zuge der Revision der europäischen F-Gas Verordnung (EC) Nr. 842/2006 wird für Herbst 2012 ein Gesetzentwurf erwartet. Die Neufassung der Verordnung soll über das bisherige Maß hinaus zur Verminderung der Emissionen fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF₆) in Europa beitragen.

Seit 2009 wurden verschiedene Möglichkeiten für die Revision erarbeitet, verglichen und hinsichtlich ihrer Auswirkungen geprüft, auch im Zusammenhang mit internationalen Regelungen des Montrealer Protokolls. Im Zuge einer Stakeholder-Befragung durch die europäische Kommission wurden unterschiedliche politische Optionen zur Diskussion gestellt und die eingegangenen Antworten ausgewertet. Zu den wichtigsten politischen Optionen zählen: Maßnahmen zur verbesserten Emissionsrückhaltung fluorierter Treibhausgase, freiwillige Selbstverpflichtungen für bestimmte Branchen, Verwendungsverbote für HFKW in bestimmten Anwendungen, stufenweise Begrenzung des Inverkehrbringens von HFKW in der EU (phase down).

Der Vortrag soll die methodischen Ansätze von Hintergrundstudien zur Revision der F-Gase-Verordnung aufbereiten und, sofern bereits verfügbar, Kernpunkte des Gesetzentwurfs für die Kälte- und Klimatechnik erläutern.

Darüber hinaus werden weitere existierende und geplante Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen fluorierter Treibhausgase in verschiedenen europäischen Ländern vorgestellt.

III.23

EG-Richtlinien und Kälteanlagen

B. Schrempf

KISC – KÄLTE-Information-Solution-Consulting, Schrempf+Kreß Partnerschaft
Dr.-Seitz-Str. 11b, 82418 Murnau, Deutschland

Für Kälteanlagen sind meist mehrere EG-Richtlinien und Verordnungen zutreffend. Alle EG-Richtlinien sind aber gleichwertig. Es gibt hier keine hierarchische Ordnung. Ebenso wurden die EG-Richtlinien von verschiedenen Gremien erstellt, so dass es im Bereich Kälteanlagen immer wieder zu Irritationen kommt. Häufig in der Praxis gestellte Fragen sind: Wie wende ich wo eine EG-Richtlinie an und gibt es hierzu Hilfsdokumente?

In dem Vortrag werden die Grundlagen des Zusammenspiels der EG-Richtlinien erklärt und auch wie diese bei Kälteanlagen umgesetzt werden können.

Notizen

Untersuchung der Nutzerakzeptanz einer adaptiven Einzelraumregelung im Feldversuch

Nina Kopmann*, Michael Adolph, Dirk Müller

RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center,
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, 52074 Aachen
nkopmann@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Etwa ein Drittel des Endenergiebedarfs wird in Europa für die Raumbeheizung aufgebracht. Deswegen bietet es sich an, einen Teil der Energieeinsparungen, die für eine erfolgreiche Energiewende notwendig sind, im Bereich der Raumbeheizung zu realisieren. Am E.ON Energy Research Center wird dazu ein adaptives Regelungssystem entwickelt, welches Heizenergie einsparen und gleichzeitig den thermischen Komfort des Nutzers während der Raumnutzung erhöhen soll.

Die adaptive Regelungsstrategie sieht eine Anpassung an das Anforderungsprofil des Nutzers vor. Die Bedienbarkeit muss für den Nutzer allerdings ähnlich einfach sein, wie die eines klassischen Thermostatventils. Deswegen kann der Nutzer die Rückmeldung über sein aktuelles Komfortempfinden über eine simple Schnittstelle, in der Form „zu kalt“ bzw. „zu warm“ geben. Anhand der Rückmeldungen wird das Nutzerprofil erstellt, was es ermöglicht in Zeiten der Abwesenheit die Solltemperaturen des Raumes abzusenken ohne dass der Nutzer im Vorfeld ein Profil konfigurieren muss.

Um die Nutzerakzeptanz zu testen, wird im Rahmen des Projekts ein Feldversuch in Aachen durchgeführt, bei dem 5 Wohnungen mit der adaptiven Regelung ausgestattet werden. Bei der Auswahl der Messtechnik war ausschlaggebend ein System zu finden, welches ohne bauliche Veränderungen in den Wohnungen eingesetzt werden kann.

Neben dem Einsatz von funkfähigen Thermostatventilen werden die Raumparameter Temperatur, CO₂ und Feuchte zur Bestimmung der Behaglichkeit aufgezeichnet. Damit kann der thermische Komfort im Raum bestimmt werden. Der Heizbedarf der einzelnen Räume soll quantitativ mit Hilfe von Heizkostenerfassern aufgenommen werden. Dabei sollen keine qualitativen Energieeinsparungen bestimmt werden, sondern lediglich die Senkung des Heizbedarfs aufgezeigt werden.

Das System zur adaptiven Regelung, wie es im Feldversuch eingesetzt wird, wird im Vorfeld in einer Simulation und im Labor getestet.

Stichwörter:

Adaptive Einzelraumregelung, Feldversuch, Nutzerakzeptanz, funkfähige Messtechnik

Hardware–in–the–Loop (HiL) Umgebung zum Test und zur Inbetriebnahme von Raumreglern

Alexander Adlhoch M.Sc.*, Prof. Dr.-Ing. Martin Becker

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

* Korrespondenzautor

Die energieeffiziente und hinsichtlich des Raumluftklimas optimale Funktion von Raumreglern wird vor allem durch den verwendeten Regelalgorithmus, sowie der optimalen Parametrierung des Reglers hinsichtlich der Raumanforderungen beeinflusst. Im praktischen Betrieb sind Defizite bei der Funktion bzw. Parametrierung von Reglern kaum oder nur mit großem messtechnischen Aufwand nachweisbar, haben aber einen wesentlichen Einfluss sowohl auf den Energieverbrauch als auch auf die Raumkomfortbedingungen für die Nutzer in Gebäuden.

In einer Hardware–in–the–Loop (HiL) Umgebung können Raumregler unter definierten Randbedingungen hinsichtlich der Funktion überprüft bzw. unterschiedliche Regler vergleichend bewertet werden. Ebenso ist es möglich die Reglerparametrierung bereits vor der Inbetriebnahme in der HiL-Umgebung vorzunehmen.

Eine HiL–Umgebung besteht aus einem Modell der Regelstrecke, einem Hardwarekoppler und dem zu testenden realen Regler. Das Modell der Regelstrecke ist in diesem Fall ein Basis-Raummodell mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Raumtypen, welche wiederum mit verschiedenen Raumparametern und Umweltmodellen belegt werden können. Mit diesen Kombinationen ist es möglich, ein dem späteren realen Einsatzgebiet entsprechendes Testszenario nachzubilden. Am Hardwarekoppler stehen eine Auswahl von physikalischen Ein- und Ausgängen sowie unterschiedliche Bussysteme wie z. B. KNX, LON zur Ankopplung unterschiedlichster Raumreglertypen zur Verfügung.

Der Aufbau und die Funktionsweise dieses HiL-Teststandes für Raumregler wird anhand erster praxisnaher Reglertests vorgestellt. Hierbei liegt der Fokus auf der Eignung dieser Testumgebung für eine Vielzahl unterschiedlicher Regler, sowohl als Entwicklungs- als auch als Inbetriebnahme- und Parametrierungshilfe.

Die in dem Verbundforschungsprojekt HiL–RHK¹ entwickelten HiL–Umgebungen zum Test von Raumreglern, Reglern für RLT–Anlagen bzw. kältetechnischer Regler wurden so entwickelt, dass diese zu einer Multi–HiL–Umgebung gekoppelt werden können. Mit dieser Multi–HiL–Umgebung ist es möglich auch die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Komponentenregler in einer Gesamtumgebung zu untersuchen.

Stichwörter

Hardware–in–the–Loop (HiL), Simulation, Raumautomation, Raumregler, Raummodell, Multi–HiL–Umgebung

¹ Forschungs- und Entwicklungsvorhaben HiL-RHK – Hardware-in-the-Loop-Lösungen für die Raumautomation, Heizungs- und Kältetechnik, Verbundvorhaben mit der Hochschule Merseburg und gefördert im Förderprogramm Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Werkzeuge für eine simulationsgestützte Inbetriebnahme der Automation von raumluftechnischen Anlagen

Andreas Richter

Hochschule Merseburg, Fachbereich Informatik und Kommunikationssysteme,
Geusaer Strasse, 06217 Merseburg
andreas.richter@hs-merseburg.de

Hardware-in-the-Loop (HiL) ist ein Verfahren, zur Untersuchung von Automationsstationen gegenüber einer Anlagensimulation. Angewendet auf die Automation von raumluftechnischen Anlagen lassen sich vorgelagerte Inbetriebnahmetests des Steuergeräts gegen eine simulierte Anlage durchführen. Diese Tests können beispielsweise genutzt werden, um logische Fehler in der Programmentwicklung zu finden, oder eine Reglerparametrierung durchzuführen. Durch Veränderung der klimatischen Umgebungsbedingungen kann eine Parametrierung der Regelung jahreszeitunabhängig erfolgen. Anlagenseitig können die Parameter der Anlage unter dynamischen Bedingungen getestet werden. Das Regelverhalten kann durch Anfahren von Lastzuständen an dynamischen RLT-Komponenten sichtbar gemacht und ggf. optimiert werden. Versuche an der Hochschule Merseburg zeigten die Übertragbarkeit der an einem HiL-Prototyp ermittelten Regelparameter an eine reale Anlage.

In dem Verbundprojekt HiL-RHK² wurde ein HiL-Prototyp in der .NET-Umgebung entwickelt. Die Kopplung von Simulation und Steuerung erfolgt über die Bussysteme CAN und BACnet. Die Elemente der Klimaanlage simulation sind in der Sprache C# objektorientiert implementiert und basieren auf der Lösung dynamischer Massen- und Energiebilanzen. In einer Anwendungssoftware sind die funktionalen Elemente des HiL-Prototyps zusammengefasst. Dies beinhaltet schwerpunktmäßig die Implementierung der Simulation und Kommunikation. Weitere realisierte Funktionen sind: Import von virtuellen Anlagen aus einem CAE-System, Parametrierung der Simulation mittels strukturierten Parametersätzen, Funktionen für verteiltes Simulieren komplexer Anlagen im Netz, ein Werkzeug für eine Bemessung von Reglern sowie Chart und Visualisierungsfunktionen.

Stichwörter:

HiL, Automation, Simulation, Raumluftechnik, Klimaanlage

² Forschungs- und Entwicklungsvorhaben HiL-RHK – Hardware-in-the-Loop-Lösungen für die Raumautomation, Heizungs- und Kältetechnik, Verbundvorhaben mit der Hochschule Biberach und gefördert im Förderprogramm Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Solare Kühlung im Hardware-in-the-Loop-Test

Sandra Lohmann*, Rada Radosavljevic,
Johannes Goebel, Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

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

* Korrespondenzautorin

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt „Solare Kühlung im Hardware-in-the-Loop-Test“, kurz SoCool-HIL, beschäftigte sich im ersten Projektteil mit der Simulation einer solaren Kühlungsanlage unter der Simulationsumgebung Matlab/Simulink mit den Toolboxen Stateflow und CARNOT. Dynamische Jahressimulationen und DoE-unterstützte Parametervariationen wurden zur Auswahl sinnvoller Systemkonfigurationen, Regelstrategien und Dimensionierung der Komponenten genutzt.

Der zweite Projektteil beschäftigt sich davon ausgehend mit Hardware-in-the-Loop-Tests mit der 17,5 kW Absorptions-Kältemaschine der Firma Yazaki. Dabei wird die Kältemaschine an einem Prüfstand betrieben, der das Verhalten der restlichen Systemkomponenten (Solarkreis mit Wärmespeicher, Rückkühlung, Gebäude und Kälteverteilung/-übergabe), gesteuert von einer Systemsimulation unter Matlab/Simulink/CARNOT, emuliert.

Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen über das reale dynamische Betriebsverhalten der Kältemaschine kann so das Simulationsmodell der Kältemaschine validiert werden.

Weitere Tests dienen der Optimierung der Regelung der Kältemaschine auf die aktuelle Kühllast. Außerdem werden einige veränderte Systemkonfigurationen (z. B. Kälte-Backup) mit der realen Maschine getestet.

Die Ergebnisse dieser Tests und die Erkenntnisse über das dynamische Betriebsverhalten der Kältemaschine werden vorgestellt.

Stichwörter:

Solare Kühlung, Absorptionskältemaschine, Systemregelung, Hardware-in-the-Loop, CARNOT

IV.05

The net Zero Energy Building of the Zeller-Group in Herten

Bart van Reeth^{1*}, Achim Zeller²

¹ Daikin Europe NV, Environment Research Center
Bergensesteenweg 1424, 1070 Anderlecht, Belgium
vanreeth.b@bvl.daikineurope.com

² Athoka GmbH, Lise-Meitner-Straße 17, 45699 Herten, Germany
a.zeller@athoka.de

* Korrespondenzautor

In 2010 a recast of the European Energy performance of buildings directive was published, introducing nearly zero energy building for new constructions by 2019 and 2021. While the different member states are in the process of implementing this directive in the national legislations also manufacturers of buildings HVAC equipment are preparing on this new evolution. This presentation will give a manufacturers view on the process of defining the boundaries, optimising selections and products. This will be brought from theory to reality with the demonstration of a case study nZEB in Herten (office building for a small to medium enterprise): a high performance building partly due to the contribution of heat pump technology and electricity generation by thin film photovoltaic panels.

Stichwörter:

Case Study, Zero Energy Building, EPBD, Heat Pumps

IV.06

Beobachtungen über den Wärmepumpeneinsatz zum Heizen und Kühlen im nZEB

Peter Schwerdt

Fraunhofer UMSICHT, Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen
peter.schwerdt@umsicht.fraunhofer.de

In einem Monitoringprojekt wurden der Energieverbrauch und das Betriebsverhalten eines mit Wärmepumpen beheizten und klimatisierten Netto-Null-Energie Bürogebäudes eines mittelständischen Unternehmens während eines Jahres intensiv untersucht.

Die Gebäudehülle sowie die mechanischen und elektrischen Komponenten der Heizungs- und Klimatechnik wurden für ein optimales Innenraumklima bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz ausgelegt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die installierten Systeme die geplanten Vorgaben nahezu vollständig erfüllen und während des ganzen Jahres ein komfortables Innenraumklima sicherstellen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der kumulierte Energieverbrauch der Heizungs-, Versorgungs- und Beleuchtungstechnik während des ersten Betriebsjahres vollständig von der auf dem Dach installierten Photovoltaikanlage gedeckt werden konnte, was das Netto-Null-Energie-Konzept bestätigt.

Stichwörter:

Monitoring, Netto-Nullenergiegebäude, Wärmepumpen, Photovoltaikanlage, Energieeffizienz, Energieverbrauch

IV.07

Analysis of a heat recovery ventilation system in a nZEB building

Anne Tissot, Hervé Michal

CETIAT, Centre Technique des Industries Aérouniques et Thermiques
Domaine Scientifique de la Doua, 25 av. des arts BP 5204, F-69603 Villeurbanne Cedex, France
anne.tissot@cetiat.fr, herve.michal@cetiat.fr

CETIAT analysed on a monthly basis the measurement results for the parameters related to the ventilation system operation such as indoor air quality, thermal comfort, energy consumption, energy saving contribution and the influence of user behaviour. This analysis was performed in combination with several on site measurement campaigns of air flow rates and system air tightness in order to characterise in depth the real operation of the ventilation system. In general a very good level of indoor air quality and thermal comfort was maintained throughout the year. The study concludes with proposing concepts to realise further energy savings like demand controlled ventilation and ground loop ventilation.

Stichwörter:

Zero Energy Building, Indoor Air Quality, Heat Recovery Ventilation, Thermal Comfort

IV.08

Energy and cost evaluation of nZEB in different climates, a view on retrofitting to nZEB

Rodger Edwards*, Matthew Freeman, Alexander Mitchell

University of Manchester, School of Mechanical Aerospace and Civil Engineering
Manchester M13 9PL, United Kingdom
rodger.edwards@manchester.ac.uk

* Korrespondenzautor

The study compares both the energy consumption of a nZEB building in different climate zones (Manchester, Marseille and Munich) and effect of the selection of HVAC systems (heat pumps vs. conventional systems). The results of the dynamic calculation demonstrate that installing a HVAC system with heat pumps in a brand new building will substantially reduce the end use energy demand and assist in achieving net zero energy performance. Although increasing building envelope thermal resistance will further reduce end use energy consumption, it is not as effective on its own as using the heat pump HVAC. Life cycle cost analysis of each of the scenarios demonstrates that constructing a building to extreme insulating levels is not cost optimal compared to very efficient HVAC systems. A similar analysis and conclusions are presented for retrofitting existing buildings.

Stichwörter:

Zero Energy Building, Dynamic Simulations, Retrofit, Life Cycle Analysis

IV.09

Evaluierung eines Energie-Management-Systems und die Integration in intelligente Netze

Prof. Dr.-Ing. Johanna Myrzik

Technische Universität Dortmund, Institut für Energiesysteme,
Energieeffizienz und Energiewirtschaft, Emil-Figge-Str. 68, 44227 Dortmund
johanna.myrzik@tu-dortmund.de

Detaillierte Messungen zur Energieerzeugung und zu den verschiedenen Energieverbräuchen in einem Netto-Null-Energiehaus wurden über einen Zeitraum von einem Jahr aufgenommen und analysiert. Hieraus werden die wichtigsten Ergebnisse zur Erfüllung des Netto-Null Energie Zieles dargestellt. Darüber hinaus wird auf die Besonderheiten der von Daikin entwickelten Zeffle-Dachbeschichtung eingegangen. Die Zeffle-Beschichtung zeichnet sich durch einen sehr hohen Reflexionsgrad über das gesamte Solarspektrum aus. Neben dem Kühlungseffekt dieser Beschichtung wird in dem Vortrag der zusätzliche Vorteil dieser Reflexionsschicht bei auf die Nutzung von PV-Analgen diskutiert. Hier wird durch die zusätzliche Reflexion ein Mehrgewinn bis zu 11% erwartet. In der heutigen Energiewendediskussion spielen sogenannte Smart Grids eine entscheidende Rolle. Welche Rolle Netto-Null Energie Häuser bei der Realisierung von Smart Grids spielen können, soll durch die Abschätzung der Möglichkeiten und Potentiale einer Lastverschiebung mittels Wärmepumpen und Speicher ermittelt werden. Die Ergebnisse werden unter den heutigen technischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen bewertet und im Vortrag diskutiert.

Stichwörter:

Netto-Null-Energie-Gebäude, PV-System, Smart Grid, Lastverschiebung, Energiespeicherung, DAIKIN Zeffle Dachbeschichtung, Kaldach,

IV.10

Ermittlung der technischen und ökonomischen Potentiale einer thermischen Kurzzeitspeicherung von elektrischer Energie unter Einbeziehung von Wärmepumpen

W.-Ing. Helen Neuber*, Prof. Dr. Ing. Ullrich Hesse

Technische Universität Dresden
Bitzer Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik, 01062 Dresden
ullrich.hesse@tu-dresden.de, helen.neuber@tu-dresden.de

* Korrespondenzautorin

Die verstärkte Abstützung auf regenerative Energien birgt neue technologische Herausforderungen. Bei der Integration in den Energiemarkt, stellt sich die essentielle Frage nach einer effizienten Methode fluktuierende Energie wie im Speziellen aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen in Schwachlastzeiten zu speichern und für Spitzenlastzeiten vorzuhalten. Das zu untersuchende Konzept basiert auf der Aufladung eines thermischen Kurzzeitspeichers mittels einer Hochtemperatur-Kompressionswärmepumpe. Die Entladung der gespeicherten thermischen Energie erfolgt zu Zeiten starker Stromnachfrage und wird über einen Niedertemperatur-Kraftprozess (Organic-Rankine-Cycle) wieder in elektrische Energie umgewandelt. Der Fokus wird dabei auf die technische und wirtschaftliche Bewertung einer möglichen Realisierung der Anlagenkonfiguration gelegt. Basierend auf einer ersten Analyse des Stands der Technik bezüglich der wesentlichen technischen Aspekte, Einsatzgrenzen und Kostenfaktoren, erfolgt eine erste Auswahl denkbarer Anlagenkomponenten, auf der Basis einer überschläglichen thermodynamischen Modellierung und einer Wirtschaftlichkeitsbeurteilung.

Automatisierung innovativer Fassadensysteme mit integrierter technischer Gebäudeausrüstung unter Berücksichtigung von Behaglichkeitsaspekten

**Anita Hasert M.Sc.*, Thomas Köberle M.Sc., Dipl.-Ing. (FH) Peter Knoll,
Dipl.-Ing. Hermann Scherer, Prof. Dr.-Ing. Martin Becker**

Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE), Hochschule Biberach
Karlstraße 11, 88400 Biberach/Riss
hasert@hochschule-bc.de, becker@hochschule-bc.de

* Korrespondenzautorin

Die Bedeutung der Fassade löst sich zunehmend von der Vorstellung nur als Hülle des geschützten Lebensraumes und Abgrenzung zwischen Raumklima und Umgebung bei Gebäuden zu dienen. Fassaden wandeln sich von bisher passiven Elementen hin zu aktiven gebäudetechnischen Systemen, welche vielfältige Funktionen der Raumkonditionierung (Kühlen, Heizen, Lüften, Beleuchten, u. a.) übernehmen. Die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die Systemintegration in Fassaden erfordern neue Lösungen bei der Planung, der Ausführung und dem Betrieb dieser innovativen Systeme. Im intelligenten Umgang mit der zunehmenden Komplexität gilt es mittels Fassadenautomation übergeordnete Automatisierungsstrategien zu entwickeln, die einzelne Funktionen aufeinander abstimmen und eine gewerkeübergreifende Funktionalität gewährleisten. Ein weiteres Kriterium der Konzeption integrierter Fassadensysteme stellt außerdem die Berücksichtigung des Nutzerempfindens bezüglich der Behaglichkeit sowie der Nutzerbedienung und -akzeptanz dar.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens Autifas³ werden unterschiedliche Automatisierungsstrategien der Fassaden- und Raumautomation, anhand messtechnischer Untersuchungen und Simulationsanalysen betrachtet. Hierfür war ein innovatives Fassadenelement mit dezentralem Lüftungsgerät und integriertem Sonnenschutz zunächst in einen Testraum einzubinden, sowie den Gesamtteststand in seiner Funktionstüchtigkeit und der Baudichtheit zu verifizieren und auf die Anforderungen der Untersuchungen abzustimmen.

Mit dem Ziel eine standardisierte Beschreibung von Steuer- und Regelungsfunktionen gewerkeübergreifender Automatisierungsstrategien zu entwickeln, wird am Beispiel der Testfassade eine Automationsbibliothek, basierend auf normierten Strukturen und Darstellungsformen, entwickelt. Die Grundlagen bilden hierzu die Normen DIN EN 15232, IEC 61131, sowie die Richtlinien VDI 3813 und VDI 3814. Die erarbeiteten Automatisierungsstrategien bilden die Grundlage für die Entwicklung neuer höherwertiger Steuer- und Regelungsstrategien. Im aktuellen Forschungsvorhaben werden zwei Ansätze höherwertiger Regelung näher untersucht. Das Aufgreifen von Behaglichkeitskriterien in der optimierten Regelung ermöglicht die Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse. Ein weiterer Ansatz liegt in der prädiktiven Regelung, die auf Kennlinienmodellen beruht und einen energieeffizienteren Betrieb anstrebt.

Stichwörter

Integrierte Fassadensysteme, Fassadenautomation, Regelstrategien, Behaglichkeit, Kennlinienmodelle

³ Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Autifas – Automatisierung innovativer Fassadensysteme mit integrierter technischer Gebäudeausrüstung unter Berücksichtigung von Behaglichkeitsaspekten, gefördert im Förderprogramm Zukunft Bau des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS)

Evaluation baukonstruktiver und anlagentechnischer Sanierungsmaßnahmen für Bestandswohngebäude

Tanja Osterhage*, Davide Cali, Dirk Müller

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

* Korrespondenzautor

Als Teilprojekt des öffentlich geförderten Gesamtprojektes „Quartierskonzept Energieeffizientes Rintheim“ werden in Zusammenarbeit mit der Volkswohnung Karlsruhe und Hochschule Karlsruhe an drei Bestandsgebäuden in Rintheim technische Innovationen aus den Bereichen Bauphysik, Anlagen und Regelungstechnik in verschiedenen Kombinationen realisiert, im Betrieb erprobt und analysiert.

Die drei zur Sanierung anstehenden Wohnblöcke in Karlsruhe wurden in den 50er Jahren erstellt. Jeder Wohnblock besteht aus drei Gebäudeteilen mit jeweils 10 Wohneinheiten und separaten Zugängen. Es ergeben sich sieben verschiedene Sanierungsvarianten, die Varianz ist sowohl in der Anlagentechnik (Heizungs-, Lüftungs- und Trinkwasserinstallation) als auch Baukonstruktion vorhanden. Durch die Anzahl von 10 Wohnungen lässt sich eine gewisse Mittelung des Nutzerverhaltens ausmachen.

Um die unterschiedlichen Möglichkeiten der Energieeinsparung ablesen zu können, werden die sanierten Gebäude einem umfassenden Monitoring unterzogen. Die Messgrößen und die sehr kurzen Messintervalle sind so ausgewählt, dass der Einfluss der baukonstruktiven und anlagentechnischen Komponenten auf den Energiebedarf und den Raumkomfort ermittelt werden kann.

Für jede Variante wurden die Berechnungen zur Energieeinsparverordnung EnEV und Heizlast durchgeführt. Während die Werte für den Primärenergiebedarf vor der Sanierung noch weit über 300 kWh/(m²a) lagen, ist nach der Standardsanierung eine Reduktion um 84 % auf Werte im Bereich von 50 kWh/(m²a) feststellbar. Die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf schwanken nach Sanierungsstatus zwischen jedem Hauseingang. Für den aufwändig sanierten Gebäudeblock ist eine weitere Reduzierung des Primärenergiebedarfs um 50 % gegenüber der Standardsanierung feststellbar. Parallel zu den statischen Berechnungen werden dynamische Simulationen durchgeführt. Diese Simulationen werden mit den Messdaten validiert. Die Modelle dienen im Späteren dazu, mögliche Sanierungsvarianten im Vorfeld detaillierter als bei einer EnEV-Berechnung bewerten zu können. Durch die Analyse der Messdaten konnten im Bezug zur Heizenergie unterschiedliche Nutzerverhalten festgestellt werden. Einige Wohnungen haben einen deutlich geringeren Verbrauch als der durchschnittlich berechnete Wert und zwar bis zu ca. 40 % weniger. Im Gegensatz dazu stehen andere Wohnungen mit einem bis zu ca. 150 % höheren Verbrauch als der errechnete Bedarf. Allgemein lässt sich festhalten, dass die größten Abweichungen zwischen Energiebedarf und -verbrauch bei sanierten Gebäuden mit einem geringen berechneten Energiebedarf festzustellen sind.

Zielsetzung des Vorhabens ist die Reduzierung des Verbrauchs fossiler Energieträger und die bestmögliche Kombination von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz zur Wärmebereitstellung und Wärmenutzung im Quartier. Ferner sollen die gewonnen Erkenntnisse bei der Sanierung sämtlicher Wohngebäude der 50er und 60er Jahre als Entscheidungshilfe dienen.

Wir danken dem BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) für die finanzielle Unterstützung, Förderkennzeichen 03ET1105A.

Stichwörter:

Sanierung, EnEV, Nutzerverhalten, dynamische Simulation, Messtechnik

Untersuchungsergebnisse eines kombinierten Wärmeversorgungssystems mit Solarenergie und Erdwärmespeicher

**Prof. Salman Ajib^{1*}, Dipl.-Ing. Wolfgang Günther²,
Dipl.-Ing. Diala Karmo², Dipl.-Ing. Rachid Sadik²**

¹ Hochschule Ostwestfalen-Lippe, FG Erneuerbare Energien & dezentrale Energieversorgung,
An der Wilhelmshöhe 44, 37671 Höxter, Deutschland
salman.ajib@hs-owl.de

² Technische Universität Ilmenau, Institut für Thermo- und Fluidodynamik,
Postfach 10 05 65, 98684 Ilmenau, Deutschland
wolfgang.guenther@tu-ilmenau.de, diala.karmo@tu-ilmenau.de
rachid.sadik@tu-ilmenau.de

* Korrespondenzautor

Die Substitution konventioneller Energieträger, wie Öl, Gas oder Kohle steht im Mittelpunkt heutiger internationaler Energiepolitik. Ziel ist dabei, die Emission der Treibhausgase drastisch zu senken, um die globale Erwärmung der Umwelt und damit einer Klimaverschlechterung vorzubeugen.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten im Institut für Thermo- und Fluidodynamik der TU Ilmenau Untersuchungen durchgeführt, inwieweit der Jahresheizenergiebedarf eines Einfamilienhauses in südlichen Gebieten Europas, allein durch Kombination von Solarenergie und einem Erdwärmespeicher, gedeckt werden kann.

Zu diesem Zweck wurden im Vorfeld die physikalischen Eigenschaften des betreffenden Erdreichs bestimmt sowie analytische Berechnungen und numerische Simulationen durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlicher Materialien für den Bau des Erdwärmespeichers untersucht. Letztendlich wurde in Benidoleig nahe Valencias in Spanien eine bestehende Solaranlage auf einem Einfamilienhaus um einen Erdwärmespeicher ergänzt und die Gesamtanlage vermessen.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der numerischen Simulationen sowie die Messergebnisse des kombinierten Wärmeversorgungssystems vorgestellt und miteinander verglichen sowie Optimierungsvorschläge abgeleitet und diskutiert. Um die Kosten so gering wie möglich zu halten, wurde auch die ökonomische Seite des Baus eines derartigen Erdwärmespeichers betrachtet.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass mit einem geringen Kostenumfang überschüssige Solarenergie im untersuchten Erdwärmespeicher zwischengespeichert werden kann, um so in der Übergangszeit im Frühjahr und Herbst den Heizungsbedarf in den Abendstunden zu decken. Abhängig von der eingebrachten Energiemenge der Solarthermieanlage ist nach einer längeren Aufheizphase dieses kostengünstigen Erdwärmespeichers auch die Überbrückung einer Schlechtwetterperiode über einen Zeitraum von vier bis fünf Tagen möglich.

Stichwörter:

Solarenergie, Erdwärmespeicher, kombinierte Wärmeversorgung

IV.14

Rückkühlung durch nächtliche Berieselung von PV-Modulen

Max Huber*, Claudius Bohns, Daniel Lührweg,
Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen, 52074 Aachen, Deutschland
mhuber@eonerc.rwth-aachen.de

* Korrespondenzautor

Bei modernen Gebäuden spielt der Einsatz von Hilfsenergie eine wesentliche Rolle bei der energetischen Bewertung. Klassische Rückkühlwerke schneiden auf Grund von hohem Wasserverbrauch und Strombedarf dabei oft schlecht ab.

Eine mögliche Alternative zu diesen Systemen besteht darin, vorhandene Photovoltaik-Flächen über Nacht mit Wasser zu berieseln. Durch die Abstrahlung von Wärme kann ein Temperaturniveau erreicht werden, das für eine Rückkühlung von Kälteanlagen geeignet ist. Um diese Methode anzuwenden, muss jedoch ein Tagesspeicher für die gewonnene Kälte vorhanden sein.

Im Zuge der Teilnahme am Solar Decathlon Europe 2012 wurde am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen das Potential dieser Rückkühlmethode untersucht. Dazu wurde ein simulatives Verfahren entwickelt, das anhand von Messdaten im Prüfstand validiert wurde.

Es konnte festgestellt werden, dass Rückkühlleistungen erreicht werden können, die eine technische Nutzung des Verfahrens ermöglichen. Die Wärmeabgabe an die Umgebung basiert dabei im Wesentlichen auf der Abstrahlung zum Himmel. Die Verdunstungsverluste sind sehr gering.

Eine technische Umsetzung des Systems wird im Wettbewerbshaus der RWTH Aachen am Solar Decathlon Europe 2012 realisiert.

Stichwörter:

Rückkühlung, Berieselung, Strahlungsaustausch, Solardecathlon

IV.15

Messung von Volumenströmen in Luftleitungen hinter Störstellen

Klaus Fitzner

Klimakonzept Ingenieurgesellschaft, 14052 Berlin
klaus.fitzner@klimakonzept.de

In Luftleitungen kann man Volumenströme mit Geschwindigkeitsmessgeräten genau messen, wenn die Strömungsprofile regelmäßig sind. In Raumluftechnischen Anlagen trifft man die aber selten an, weil geradlinige Leitungen, die dafür erforderlich sind, zu kurz sind. Für Abnahme- und Leistungsmessungen wurde deshalb zunächst in VDI 2080, später in EN 12599 ein Verfahren entwickelt, wie man die Unsicherheit von Volumenstrommessungen beurteilen kann, wenn in Leitungen mit sehr unregelmäßigen Strömungsprofilen trotzdem gemessen werden muss und wie man die Unsicherheit durch mehr Messpunkte verringern kann. Die Regeln bauen auf Untersuchungen auf, die Richter, KSB, zusammen mit der FLT um 1970 durchgeführt hat. Inzwischen gibt es weitere Untersuchungen zu diesem Thema von anderen Autoren. Darüber soll berichtet werden und ein Vorschlag für einheitliche Regeln versucht werden.

Stichwörter:

Volumenstrommessung, Leistungsmessung, EN 12599, asymmetrisches Geschwindigkeitsprofil, Messunsicherheit

Innenraumlufthqualität nach Einbau von Bauprodukten in energieeffizienten Gebäuden

Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller^{1*}, Dr. Ana-Maria Scutaru², Dr. H.J. Moriske²

¹ 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: birgit.mueller@htw-berlin.de

² Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau

* Korrespondenzautorin

Unterschiedliche Verunreinigungsquellen in Innenräumen beeinflussen die Gesundheit und Behaglichkeit von Personen. Bauprodukte sind als Verunreinigungsquellen von großer Bedeutung, da diese nicht einfach entfernt werden können. Erschwerend kommt hinzu, dass häufig die Entscheidung über die Auswahl der Baumaterialien in Wohnungen, Büros oder öffentlichen Gebäuden nicht durch die Nutzer gefällt wird.

Die Anzahl der Beschwerden über schlechte Innenraumlufthqualität steigt. Der Außenluftwechsel von Gebäuden wird aufgrund der sich ändernden Bauweisen immer weiter verringert. Damit steigt die Bedeutung von Verunreinigungsquellen im Innenraum an. Die Etablierung von Geruchsbewertungen an Bauprodukten aber auch von Innenräumen ist ein wichtiges Thema, um energieeffiziente und behagliche Innenräume zu schaffen. Im Bereich der Internationalen und Nationalen Richtlinienarbeit sind in letzter Zeit wesentliche Änderungen erfolgt.

In dem hier vorgestellten Projekt werden die aus vorangegangenen Projekten und in den Normen verankerten Bewertungsmethoden zur Anwendung gelangen und es sollen Erfahrungen in der realen Umsetzung gesammelt werden. Bisher ist noch nicht sicher, wie sich Geruchsemissionen aus Kombinationen von Bauprodukten verhalten oder welche besonderen Einflüsse in realen Räumen zusätzlich beachtet werden müssen. Fragen wie, zum Beispiel „sind geruchlich- und emissionsunauffällige Bauprodukte in Emissionskammern auch im Raum geruchlich unauffällig“, sind noch nicht vollständig geklärt. Erste Untersuchungen zu Bauproduktkombinationen in Emissionskammern und in realen Räumen sollen hier vorgestellt werden (UBA FuE-Vorhaben 3711 62 204).

Stichworte:

Geruchsbewertung von Baumaterialien, Innenräume, Bewertungskriterien für den Geruch, Empfundene Luftqualität, Richtlinie

IV.17

Bewertung der Nachhaltigkeit von Baustoffen - Planungshilfe mit dem richtigen Instrument-

Arch. Silvia de Lima^{1*}, Arch. Dr. Carlos Alho¹, Dipl. Ing. Birgit Müller²

¹ Klimakonzept Ingenieurgesellschaft, 14052 Berlin
silvialimavasconcelos@gmail.com, carlosalho@fa.utl.pt

² Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin
Birgit.Mueller@htw-berlin.de

* Korrespondenzautorin

Das integrieren von Instrumenten, die die Bewertung der Nachhaltigkeit von Baustoffen vollziehen, hat sich immer mehr in einer ganzheitlichen Planung im Bauwesen als hilfreich und notwendig erwiesen.

Es existieren verschiedene Grundlagen und Arbeitshilfen in diesem Bereich der Produktbewertung, wie zum Beispiel die Umweltproduktdeklarationen und Label (z. B. Blauer Engel). Das BNB Bewertungssystem oder Lebenszyklusanalysen bewerten ganze Gebäude oder Systeme, beziehen sich also nicht spezifisch auf die Baustoffe. Die existierenden Bewertungssysteme für Bauprodukte sind zwar sinnvoll, aber entweder zu komplex oder wieder zu vereinfacht, das bedeutet im Fall der Umweltdeklarationen, dass sie eine umfangreiche Ökobilanz erstellen, aber für eine rasche Entscheidungsnotwendigkeit zu ausführlich sind, die Label sind wiederum etwas zu kurz in Ihrer Information, da sie nur die erste Phase des Lebenszyklus eines Baustoffes betrachten. In beiden Fällen werden nur ökologische Aspekte betrachtet, was aus nachhaltiger Sicht nicht ausreichend ist.

Um dieser Lücke nachzukommen soll in dieser Untersuchung die Logik für ein Bewertungssystem entwickelt werden, in dem zwei oder mehrere Baustoffe im Vergleich beobachtet werden, ökologische, soziokulturelle und ökonomische Faktoren mit einbezogen werden und wobei ein klares und einfaches Ergebnis für die Benutzer entstehen soll. Es wird versucht anhand von einem Beispiel mit Dämmstoffen (Kork vs Styropor) das Potenzial dieses Bewertungssystems zu erläutern.

Es soll somit die Grundlage geschaffen werden eine benutzerfreundliche Vorgehensweise zu erlangen.

IV.18

Steigerung der JAZ für hocheffiziente Wärmepumpen durch integrierte Systemsteuerung

Arne Müller

Carel Deutschland GmbH, 63571 Gelnhausen

Die Anforderungen an die Wärmepumpenregelung werden immer komplexer durch neue Techniken.

EC-Ventilatoren und EC-Pumpen sind mittlerweile schon Stand der Technik. Die Gleichstrominverter-Technik ist auf dem Vormarsch. Die Kunden sind durch das Digitalzeitalter an neue Medien gewohnt und möchten diese auch im Zusammenhang mit Ihrer Wärmepumpe nutzen. Dadurch ergeben sich neue Herausforderungen an die Regelungstechnik, denen sich CAREL stellt.

CAREL hat ein System entwickelt, mit dem man von überall auf der Welt mit einem Internetzugang seine Wärmepumpen überwachen und optimieren kann.

Apps erlauben die Nutzung von Smartphone und Tablets zur Steuerung und Optimierung Ihrer Wärmepumpe.

Desweiterem geht der Weg zu immer mehr Integration und Flexibilität in Regelungseinheit. Zur Flexibilität werden universale I/O's genutzt.

Ein Beispiel von Integration ist die Ansteuerung von Elektronischen-Expansions-Ventilen.

Immer wichtig wird auch die Messgenauigkeit die einen entscheidenden Einfluss auf die Steigerung der Jahresarbeitszahl hat.

Die Zukunft liegt in einem modulierenden Wärmepumpensystem. Spezielle Elektroniken und Systemregelungen garantieren ein stabiles und sicheres System.

IV.19

Konzepte zur Erhöhung der saisonalen Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe: Vergleich hinsichtlich Kosten und Nutzen

Gunda Mader^{1*}, Thomas Tiedemann²

¹ Danfoss A/S, Nordborg, Denmark

² Danfoss GmbH, Offenbach

* Korrespondenzautorin

In der EN14825 werden zur Berechnung der saisonalen Leistungszahl (SCOP) einer Luft-Wasser-Wärmepumpe drei Klimaprofile definiert. Zusammen mit drei möglichen Profilen der Wasservorlauf-temperatur ergeben sich neun Kennzahlen zur Bewertung einer Anlage. Vor allem die Kombination von kaltem Klimaprofil und hohen Vorlauftemperaturen ist besonders kritisch hinsichtlich der erreichbaren Leistungszahl. Mit dem klassischen Systemaufbau mit zwei Wärmeübertragern, einem Verdichter und einem Expansionsventil können häufig keine ausreichend hohen Leistungszahlen mehr erreicht werden beziehungsweise kann die Wärmepumpe aufgrund zu hoher Kältemittelaustrittstemperaturen am Verdichter bei tiefen Umgebungstemperaturen nicht mehr betrieben werden. Verschiedene Konzepte betreffend des Systemdesigns, der Komponentenwahl und der Regelung sind bekannt, um den Betriebsbereich einer Wärmepumpe zu großen Differenzen zwischen Wärmequellen- und -senktemperatur hin zu erweitern und gleichzeitig höhere Leistungszahlen zu erreichen.

Mit einer numerischen Screening-Methode werden hier verschiedene dieser Konzepte anhand der unterschiedlichen SCOP sowie den der Anlage zuzuordnenden Kosten verglichen. Dazu werden die Pareto-Fronten der optimalen Kombination von Wärmeübertragerflächen unter Berücksichtigung der Bedingung einer begrenzten Kältemittelaustrittstemperatur am Verdichter ermittelt. Verschiedene Kältemittel werden ebenfalls in die Betrachtung mit einbezogen. Der Einfluss verschiedener Regelparameter und -strategien sowie unterschiedlicher Komponentenwahl wird durch eine Sensitivitätsanalyse untersucht.

IV.20

CO₂-Wärmepumpe zur Trinkwassererwärmung

Dipl.-Ing. Andreas Tzscheuschler

ILK Dresden, Hauptbereich Kälte- und Wärmepumpentechnik
D-01309 Dresden, Deutschland
andreas.tzscheuschler@ilkdresden.de

Das umweltfreundliche, natürliche CO₂ erfüllt mit dem Ozonzerstörungspotential ODP=0 und dem Treibhauspotential GWP = 1 alle Forderungen, die an ein Kältemittel hinsichtlich des Klimaschutzes gestellt werden. Auch in Wärmepumpen kann Kohlendioxid als Arbeitsmittel eingesetzt werden. Voraussetzung für eine hohe Effizienz ist, dass die besonderen thermodynamischen Eigenschaften von Kohlendioxid ausgenutzt werden. Dies ist bei der Erwärmung von Wasser bei überkritischem Betrieb der Fall, weil die innere Prozessführung der äußeren Prozessführung gut angepasst werden kann. Trotzdem haben sich in Europa Wärmepumpen mit CO₂ als Kältemittel zur Erwärmung von Wasser bis jetzt nicht durchgesetzt.

Deshalb wurde im ILK Dresden eine CO₂-Wärmepumpe mit überkritischer Prozessführung zur Trinkwassererwärmung im Leistungsbereich bis 60 KW entwickelt. Als Wärmequelle diente Luft. Der Prototyp wurde überwiegend mit verfügbaren Serienkomponenten ausgelegt, konstruiert, gebaut und erprobt.

Der Betrieb der Wärmepumpe ist stabil, die Aufstellung wegen der sehr kompakten Bauweise platzsparend. Die Versuche wurden bei Außentemperaturen von -14 °C bis + 25 °C durchgeführt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass CO₂-Wärmepumpen, die ausschließlich zur Trinkwassererwärmung eingesetzt werden, eine beachtenswerte Alternative sind.

Stichwörter:

CO₂-Wärmepumpe, Wärmepumpe zur Trinkwassererwärmung

IV.21

Energetische Betriebsanalyse von erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen für die Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden

Doreen Kalz*, Simon Winiger, Martin Fischer

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Abteilung für Thermische Anlagen und Gebäude,
Heidenhofstrasse 2, 79100 Freiburg
doreen.kalz@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautorin

In der Arbeit wird ein Quervergleich von 10 erdgekoppelten reversiblen Wärmepumpenanlagen in Nichtwohngebäuden hinsichtlich der Wärme-/Kältebereitstellung und der Energieeffizienz vorgestellt und Erfolgsfaktoren sowie Anforderungen an die Systeme aufgezeigt. Die vorgestellten Ergebnisse der energetischen Betriebsanalyse der Wärmepumpenanlagen basieren auf mehrjährigen Monitoringkampagnen im Rahmen der Förderprogramme EnOB „Energieoptimiertes Bauen“ des BMWi und LowEx:Monitor (www.enob.info, lowexmonitor.ise.fraunhofer.de). Für die messtechnische Betriebsanalyse wurde ein detailliertes Anlagenmonitoring durchgeführt: Systemtemperaturen, Volumenströme, bereitgestellte Wärme und Kälte, elektrischer Energieaufwand für die Wärmepumpe, elektrischer Hilfsenergieaufwand für die Pumpen, Betriebszeiten und Betriebszustände der (reversiblen) Wärmepumpen wurden in hoher zeitlicher Auflösung aufgezeichnet und analysiert.

Für die Wärmepumpenanlagen in den untersuchten Gebäuden werden Jahresarbeitszahlen von 3 bis 5,6 kWh_{therm}/kWh_{el} (Erdreich) bzw. 3,0 kWh_{therm}/kWh_{el} (Grundwasser) erreicht (Wärmepumpe mit Verdichter und Primärkreis). Sowohl der elektrische Hilfsenergiebezug für die Primärpumpe als auch die Vorlauftemperatur für das Wärme-/Kälteübergabesystem haben dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungs- (COP) und Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenanlage. Gerade bei erdgekoppelten Kältemaschinen bedingen die relativ hohen Vorlauftemperaturen zur Kühlung von 16 bis 20 °C eine gute Energieeffizienz. Messtechnisch wurden in zwei Projekten Jahresarbeitszahlen von 4,8 bis 5,8 kWh_{therm}/kWh_{el} nachgewiesen.

Die Queranalyse der Messprojekte unterstreicht, wie wichtig die richtige Auslegung des Gesamtsystems, die Systemabstimmung und die effiziente Betriebsführung aller Teilkomponenten ist, um das hohe Effizienzpotential von Energieversorgungskonzepten mit Umweltenergie wirklich auszuschöpfen.

Stichwörter:

Monitoring, Wärmepumpe, Kältemaschine, Nichtwohngebäude, Energieeffizienz, Betriebsoptimierung

IV.22

Gemeinschaftsveranstaltung mit AA III

Notizen

S.01

Theoretischer Vergleich der Kältemittel R134a und HFO-1234yf für PKW Klimaanlage

Daniel Auer

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Daniel-auer@t-online.de

Neue PKW's werden mit Klimaanlage ausgestattet. Diese sind einer hohen Belastung durch Vibrationen oder gar Verkehrsunfällen ausgesetzt. Dadurch ist die Menge des freiwerdenden Kältemittels durch Leckage oder Beschädigungen höher als bei stationären Klimaanlage. Deshalb liegt hier das Augenmerk auf der Verminderung der Treibhausgasemissionen. So dürfen in mobilen Klimageräten künftig nur noch Kältemittel verwendet werden die einen GWP-Wert <150 haben.

Das derzeit verbreitete Kältemittel R134a (1,1,1,2-Tetrafluorethan) mit einem GWP=1430 soll künftig durch das HFO-1234yf (2,3,3,3-Tetrafluorpropen), das einen GWP=4 hat, ersetzt werden. Durch die unterschiedlichen thermophysikalischen Stoffeigenschaften der Kältemittel müssen auch die Klimaanlage neu ausgelegt werden.

Dazu wurden im Rahmen einer Studienarbeit die beiden Kältemittel hinsichtlich des Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen Arten der Konvektion miteinander verglichen. Mit diesem Vergleich können erste Einschätzungen über die Größenänderung der wärmeübertragenden Flächen (im Vergleich zu R134a) getroffen werden. Eine weitere wichtige Größe stellt die Leistungszahl der Kaltdampfkompansionsanlage (Wärmepumpe und Kältemaschine) dar. Hierfür wurde der einfache Kaltdampfkompansionsprozess für beide Kältemittel unter gleichen Betriebsbedingungen betrachtet. Die daraus berechneten Leistungszahlen lassen einen Vergleich der Effizienz der Kälteanlage bzw. Wärmepumpe im Betrieb mit dem jeweiligen Kältemittel zu.

S.02

Vergleich von Kältemitteln für die Transportkühlung aufgrund von Treibhausgasemissionen

M. Vieth*, Dipl.-Ing. A. Möhlenkamp, Prof. Dr.-Ing. J. Köhler

TU-Braunschweig, Institut für Thermodynamik, 38106 Braunschweig, Deutschland
a.moehlenkamp@tu-bs.de

* Korrespondenzautor

Die derzeit vorwiegend in der Transportkühlung eingesetzten Kältemittel R-404A und R-410A weisen beide ein hohes **Global Warming Potential** mit 3750 für R-404A und 1980 für R-410A auf. Aufgrund ihrer thermodynamischen Eigenschaften eignen sich die beiden natürlichen Kältemittel R-1270 (Propen) und R-744 (Kohlenstoffdioxid) ebenfalls als Kältemittel in der Transportkühlung und stellen durch ihre sehr geringen GWP-Werte mögliche umweltfreundlichere Alternativen dar. Für die Bewertung der Klimarelevanz von Kältemitteln wird die Summe der direkten und indirekten Emissionen verglichen. Die direkten Emissionen spiegeln dabei den Einfluss des Kältemittels in der Atmosphäre auf den Treibhauseffekt wider. Bei den indirekten Emissionen wird der CO₂-Ausstoß, der durch die Energiebereitstellung für die Kältemaschine entsteht, abgebildet.

Im Rahmen dieses Vortrages werden die beiden natürlichen Kältemittel R-1270 und R-744 mit dem synthetischen Kältemittel R-410A exemplarisch für ein Kühlfahrzeug mit Motorwagen im Verteilerverkehr in einer TEWI-Studie verglichen. Dazu werden mit Hilfe des stündlichen Fahrverhaltens von Lkw, sowie den Umgebungstemperaturen dreier Beispielländer, Randbedingungen für den Kälteprozess festgelegt. Die für das Kühlfahrzeug erforderlichen Kälteleistungen werden durch einen

zweistufigen Kältekreislauf erbracht, dessen Verdichterantriebsleistung mittels detaillierter Simulationen ermittelt wird. Die Simulation orientiert sich dabei an einer Referenzanlage, die die Praxisbedingungen hinreichend genau wiedergibt. Es wird gezeigt, dass die beiden natürlichen Kältemittel R-1270 und R-744 für die untersuchten Beispielländer hinsichtlich der Umweltverträglichkeit eine Alternative zu dem verwendeten synthetischen Kältemittel R-410A darstellen.

Stichwörter:

TEWI, Transportkühlung, Zweistufiger Kältekreislauf, natürliche Kältemittel, R-744, R-1270, energetische Effizienz.

S.03

Modellierung und Simulation von Kältemaschinen mit Dymola/ Modelica

Daniel Rettich

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

Im Rahmen einer Masterthesis wurde eine Kältemaschine mit Dymola Modelica und unter Benutzung der TIL-Toolbox modelliert und simuliert. Der in der Simulation abgebildeten Kältemaschine dient ein existierender kältetechnischer Versuchstand an der Hochschule Biberach als Vorbild. Ziel der Simulation ist die spätere Nutzung der Modelle in einem Hardware in the Loop Teststand (HiL) um verschiedene Regler auf ihre Funktion und Logik, unter identischen Rahmenbedingungen zu testen. Ebenfalls steht bei dem Versuchsstand als auch der Simulation eine Bestimmung von Energieeffizienzzahlen nach dem VDMA-Einheitsblatt 24247 im Vordergrund. Nach der endgültigen Fertigstellung des Teststandes sollen die Modelle anhand dessen validiert und das Modell der Kältemaschine mit einem detaillierten Raummodell verbunden werden.

Einzelne Modelle wurden aus der TIL-Toolbox entnommen und für die Anwendung angepasst und mit den Auslegungswerten der Laborkältemaschine parametrisiert. Die Modifikationen an den TIL-Modellen waren notwendig, um die gewünschten Effekte detaillierter abbilden zu können. Zu diesem Zweck wurden Untersuchungen zu Kennzahlen der einzelnen dynamischen Bauteile angestellt. Im Anschluss an die Modellierung fand eine Überprüfung der einzelnen Modelle anhand von Auslegungswerten und Herstellerunterlagen statt. Erste Simulationsstudien zeigten, dass die Simulation in Dymola unter Einbeziehung der entwickelten Modelle plausible Resultate liefern konnten. Im Zuge der Modellierung und Parametrisierung dieser modifizierten Modelle entstand eine Komponentenbibliothek, aus dieser verschiedene Modelle für spätere Simulationsstudien entnommen werden können.

Stichwörter:

Simulation, Energieeffizienz, Dymola, Modelica, TIL

S.04

Experimentelle Untersuchung und Simulation des Hilfsgaskreislaufs einer Diffusions- Absorptionskältemaschine

B. Bierling

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

Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik ist intensiv in der Forschung im Bereich der solaren Kühlung tätig. Durch die gute zeitliche Übereinstimmung zwischen Solarangebot und Kältebedarf bietet die solare Kühlung große Potentiale zur Einsparung fossiler Energieträger. Momentan richtet sich der Fokus auf die Entwicklung einer dezentralen solaren Kälteanlage, die auf dem Diffusions-Absorptionskälteprozess basiert. Für diesen Prozess ist der Hilfsgaskreislauf von besonderer Bedeutung, da das Hilfsgas (Helium) für eine Absenkung des Partialdrucks des Kältemittels (Ammoniak) im Verdunster sorgt. Der Umlauf des Lösungsmittels (Wasser) erfolgt durch das Thermosiphonprinzip. Ein wesentlicher Vorteil solch einer Kältemaschine ist der Betrieb ohne mechanische Bauteile, wodurch die Anlage stromlos, geräuscharm und verschleißfrei arbeitet.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde der Hilfsgaskreislauf umfassend untersucht, indem der Verdunster, der Absorber und der Gaswärmeübertrager hinsichtlich des Wärme- und speziell des Stofftransportes theoretisch betrachtet wurden. Dafür wurde der Kreislauf im Berechnungsprogramm EES abgebildet. Mittels Ultraschallsensoren wird aktuell sowohl eine Messung des Volumenstroms des Hilfsgases, als auch der Konzentration des Kältemittels im Hilfsgas untersucht. Die Messergebnisse wurden mit den Simulationsergebnissen verglichen. Infolgedessen war es mittels einer Parameterstudie möglich, Schlussfolgerungen über die Optimierung der Anlage herauszufinden.

S.05

Untersuchungen zur Leistungssteigerung von lamellierten Wärmeübertragern durch Wasserbesprühung

Franz Sperl

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, 63477 Maintal
Franz.Sperl@esak.de

Güntner AG & Co. KG, 82256 Fürstenfeldbruck
Franz.Sperl@guentner.de

Zur Leistungssteigerung eines lamellierten Wärmeübertragers auf der Hochdruckseite besteht die Möglichkeit der Wasserbesprühung. Inhalt dieses Vortrags ist die Zusammenfassung einer Forschungsarbeit, die sich mit den Parametern eines professionellen Besprühungssystems befasst. Hierbei werden die Einflüsse auf die Leistungsübertragung durch Variation des Luftvolumenstroms, des Wasserüberschusses und des Sprühdüsentyps untersucht.

Weiterhin werden der theoretisch ideale Prozess sowie der theoretisch reale Prozess einer Luftherhitzung mit Wasserzugabe im h-x-Diagramm dargestellt. Zur Betrachtung des realen Vorgangs im h-x-Diagramm wird dann auf die Messdatenerfassung eingegangen.

Abschließend folgt eine Beispielauslegung, die den Unterschied eines Trockenkühlers zu einem Fluidkühler mit Besprühungssystem darstellt.

Stichworte:

lamellierter Wärmeübertrager, Besprühungssystem, h-x-Diagramm

Experimentelle Untersuchung einer Abwärmegetriebenen R744 Ejektorkälteanlage

Johanna Neef¹, Armin Hafner^{2*}, Krzysztof Banasiak³, Trygve M. Eikevik⁴

¹ Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung, 78462 Konstanz, Deutschland
joneef@htwg-konstanz.de

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

³ Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Krzysztof.Banasiak@polsl.pl

⁴ NTNU, 7491 Trondheim, Norway
Trygve.M.Eikevik@ntnu.no

* Korrespondenzautor

This report presents the experimental investigation of a R744 ejector cooling system over a wide range of operation conditions. It was tried to find the optimal geometry and the best operation conditions for the CREATIV-lab Ejector test facility.

With this test facility it is possible to control the inlet temperature and pressure of the motive nozzle over the generator and the refrigerant pump. The temperature of the evaporator cycle and the condenser cycle can be chosen and the condensation pressure could be regulated. The inlet conditions of the suction nozzle are regulated applying a control valve. The pressure of the condenser and the inlet conditions for the suction nozzle were kept constant. The temperature at the inlet of the ejector was between 50 and 85°C and the pressure at the inlet of the ejector was between 60 and 100 bar. The pressure of the condenser was kept at 55 bar and the inlet conditions of the suction nozzle were 0 K of superheat.

Experimental Results will be presented and analyzed.

Stichwörter:

R744/ CO₂, Ejektor, Wärmerückgewinnung, Kältemaschine.

Solare Kühlsysteme – Klassifizierung und energetische Bewertung

Jakob Hennig¹, Armin Hafner^{2*}, Trygve M. Eikevik³

¹ Technische Universität Bergakademie Freiberg
jakob.hennig@student.tu-freiberg.de

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

³ NTNU, 7491 Trondheim, Norway
Trygve.M.Eikevik@ntnu.no

* Korrespondenzautor

In Zeiten steigenden Energiebedarfs für Kühl- und Klimatisierungsanwendungen ist die Untersuchung alternativer, nachhaltiger Konzepte zur Kälteerzeugung lohnenswert. Energiequellen wie die Solarstrahlung können helfen, die Belastung von Umwelt und Energienetzen zu reduzieren. Solarstrom aus Photovoltaikzellen oder Solarwärme aus Solarkollektoren können in Kältemaschinen (z. B. Kaltdampf-Kompressionskältemaschine, Absorptionskältemaschine, Adsorptionskältemaschine, offene Systeme, thermo-mechanische Systeme oder Ejektor-basierte Systeme) eingespeist werden, die die gewünschte Kälte produzieren. Das zeitliche Zusammenfallen von Strahlungsangebot und Kühlbedarf macht solare Kühlung in vielen Fällen zu einem vielversprechenden Konzept, vor allem an Orten hoher Sonnenstrahlung, großem Kühlbedarfs, hoher Energiepreise oder unzureichender Anbindung an öffentliche Energieversorgungsnetze.

Eine modellbasierte Untersuchung verschiedener solarer Kühlsysteme die eine äquivalente Kälteleistung erreichten wurde durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Leistungspotential stark von der gewählten Technologie und dem Standort der Anlage abhängt. Mit einer entsprechend dimensionierten Solaranlage mit Kühlkonzept kann eine energetisch ausgeglichene Tagesbilanz erreicht werden. Im Vergleich zu einer konventionellen Anlage wird – je nach System und Auslegung – im Jahresverlauf eine Primärenergieeinsparung oder ein Primärenergie-Mehraufwand erreicht.

Stichwörter:

Solarthermie, Kühlung, Kältemaschine, Ejektor

Funktion und Anwendung von Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen

Christoph Heyse

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, 63477 Maintal
Christoph.Heyse@esak.de

Tranter Solarice GmbH, 06556 Artern
christoph.heyse@de.tranter.com

Das Streben der Nationen nach mehr Energieeffizienz und einem umweltschonenden Umgang mit der Natur und ihrer Ressourcen steigt zunehmend. Diese neue Dimension des Umweltbewusstseins führte z.B. dazu, dass sich Deutschland das Ziel gesetzt hat, eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt zu werden [Rösler 2011]. Davon profitieren u.a. die

Forschung & Förderung in den Bereichen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. Das zwischenzeitlich stark in Vergessenheit geratene Potential der seit über 150 Jahren eingesetzten Absorptionskälteanlagen wurde durch steigende Energiekosten und das Umdenken im Umgang mit vorhandenen Energiequellen neu entdeckt. Die Anwendung von Absorptionskälteanlagen ist überall da zu finden, wo viel Wärme ungenutzt in die Umwelt gelangt. Die Einbindung der Absorptionskältetechnik in Energieversorgungssysteme kann enorme energetische und damit ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringen. Als Wärmequellen dienen derzeit hauptsächlich gasbetriebene Blockheizkraftwerke, deren Hauptzweck die Stromerzeugung ist. Besonders vielseitig ist das Anwendungsgebiet von $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Absorbern dort, wo Heiztemperaturen um $100\text{ }^\circ\text{C}$ vorliegen und Kühltemperaturen bis $-10\text{ }^\circ\text{C}$ benötigt werden, z. B. für Gebäudeklimatisierung, Lebensmittelkühlung oder für die Prozesskühlung.

Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über das Funktionsprinzip von Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen und zeigt verschiedene Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten z. B. im Rahmen einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.

Stichwörter:

$\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Absorptionskälteanlagen, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

[Rösler 2011] Dr. Philipp Rösler: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin (2011)

S.09

Optimierte Auslegung von Nahwärmenetzen

**Dipl. Ing. Georg K. Bestrzynski^{1*}, Prof. Dr. Ing. Stephan Scholl¹,
Prof. Dr. Ing. Holger Janßen², Prof. Dr. Ing. habil. Andrea Luke³,**

¹ Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik, 38106 Braunschweig, Langer Kamp 7
g.bestrzynski@tu-braunschweig.de

² Institut für Energie und Klimaschutz, 30459 Hannover, Ricklinger Stadtweg 120

³ Fachgebiet für Technische Thermodynamik Kassel, 34125 Kassel, Kurt-Wolters-Straße 3

* Korrespondenzautor

Der Bau von Wärmenetzen mit geringer räumlicher Ausdehnung und Gesamtanschlussleistung, sogenannter Nahwärmenetze, ist eine der zentralen Triebfedern für den Kapazitätsausbau dieser klimaeffizienten Technologie. Die weitläufig verbreitete Integration dieser Netze in KWK-Anlagen mit sehr hohen primärenergetischen Wirkungsgraden, begründet dabei die ökologische Sonderstellung dieser Technologie. Leider bestehen jedoch vielfältige technische, ökonomische und sozio-ökonomische Hemmnisse gegen eine schnelle Weiterverbreitung dieser Technologie.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Regenerative Energien in Nahwärmenetzen für ländlich strukturierte Gebiete“, sollen die technologischen Widerstände gegen einen schnellen Kapazitätsausbau dieser Technologie, abgebaut werden. Aufgrund der engen Verknüpfung technologischer Mängel und wirtschaftlicher Darstellbarkeit, werden so auch die ökonomischen Interessen (potentieller) Netzbetreiber besser vertreten. In Ergänzung zu den beschriebenen Aktivitäten, werden auch sozio-ökonomische Feldstudien beim Wärmeendverbraucher zur Unterstützung der Auswahl technischer Lösungsansätze durchgeführt.

Dieses Forschungsprojekt wird dabei vom Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) und dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) gefördert und in einem Forschungsverbund der Hochschule Hannover, Technischen Universität Braunschweig und der Hochschule Wolfenbüttel bearbeitet. Unterauftragsnehmer sind das Fernwärme-Forschungsinstitut und das Borderstep Institut. Die Projektleitung obliegt der Hochschule Hannover unter Hr. Prof. Dr.-Ing. Janßen. Die industrielle Verwertbarkeit der Ergebnisse stellen Industriepartner (KMUs) aus der Region Hannover sicher.

Im Fokus der Forschungsaktivitäten stehen dabei in erster Linie die Wechselwirkungen von Netz-, Wärmebedarfs- und Siedlungsstrukturen, sowie Konzepte zur Sicherstellung der Wärmeversorgungsaufgabe. Die Integrationsfähigkeit kontinuierlicher und diskontinuierlicher Aggregate zur Wärmebereitstellung durch Blockheizkraftwerke (BHKW) oder solarthermische Anlagen soll dabei näher untersucht werden. Ebenso ist die Eignung innovativer Technologien für die Einbindung in solche Nahwärmenetze von gesteigertem Interesse.

Stichwörter:

Kraft-Wärme-Kopplung, KWK, Wärmenetze, Energieeffizienz DKV-Tagung 2012, Würzburg, Optimierte Auslegung von Nahwärmenetzen

S.10

Literaturstudie zur Berechnung des „Onset of Nucleate Boiling“

Joseph Addy*

Universität Kassel, FG Technische Thermodynamik, 34125 Kassel, Deutschland
justusaddy@yahoo.com

Der Wärmeübergang beim Blasensieden ist in verfahrens- und energietechnischen Anlagen von großer Bedeutung, da hierbei hohe Wärmestromdichten mit kleinen treibenden Temperaturgefällen übertragen werden können. Eine umfassende Theorie, die es ermöglicht den Wärmeübergang mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, gibt es aber trotz intensiver Untersuchungen der letzten Jahrzehnte nicht. Die Berechnung des Übergangs von „stillem Sieden“ hin zum Bereich des „Blasensiedens“ ist für die Apparateauslegung sehr wichtig, da bei einsetzendem Blasensieden wesentlich höhere Wärmeübergangskoeffizienten erzielt werden können. In dieser Präsentation wird ein umfassender Überblick über bekannte Berechnungsmodelle zum „Onset of Nucleate Boiling“ aufgezeigt.

S.11

Analyse der Unterkühlung von wässrigen Lösungen mit verschiedenen Additiven und Mischverhältnissen

Nicolai Prosi^{1*}, Susanne Frank², Armin Hafner²

¹ Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, IKKU, 76133 Karlsruhe
Nicolai.prosi@yahoo.com

² SINTEF Energi AS, Energibruk, 7465 Trondheim, Norwegen
sgfrank@stud.ntnu.no, armin.hafner@sintef.no

* Korrespondenzautor

Wird eine Mischung aus Wasser und einem Additiv z. B. Salz, Glykol oder Ethanol unterkühlt, bis sich Eispartikel bilden bezeichnet man das Gemisch aus Wasser, Additiv und Eispartikeln als Eisbrei. Als Kälteträger bringt Eisbrei im Vergleich zu einphasigen Kälteträgern viele Vorteile mit sich. So ist die Energiedichte aufgrund der im Phasenübergang gespeicherten latenten Wärme bis zu siebenmal höher. Der Wärmeübergang ist um bis zu 50 % höher als bei einphasigen Kälteträgern.

Obwohl die Zahl der weltweit eingesetzten Eisbreianlagen stetig steigt konnte der Markt bislang noch nicht überzeugt werden. Dies liegt an dem bisherigen Herstellverfahren von Eisbrei, bei dem

rotierende schabende Elemente zum Einsatz kommen, welche mit hohen Investitionskosten, Verschleiß und somit einem hohen Wartungsaufwand verbunden sind. Ziel ist die Entwicklung eines Eisbreierzeugers ohne schabende Elemente, welcher die Eispartikel direkt im Fluid entstehen lässt, ohne Anhaften bzw. Entstehung von Eis an der Wärmeübertrageroberfläche.

Der neue Prozess der Eisbreierzeugung basiert auf einem Gesamtprojekt in welchem der Zusammenhang von passender Kombination aus Strömungsform, Additivgehalt, Eisanteil, Wärmeübertrageroberfläche und Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertrageroberfläche und Fluid näher untersucht wird. In dieser Veröffentlichung werden die Messmethode, sowie erste Ergebnisse der zulässigen Unterkühlung mit unterschiedlichen Additiven und Mischverhältnissen vorgestellt.

Stichwörter:

Eisbrei, Kristallisation, Eisbreierzeugung, Unterkühlung, Wärmeübertrager

S.12

Intrazelluläre Eiskristallbildung während der Kryokonservierung von Zellen

Steven Ndzenque*, Ralf Spindler, Nicola Hofmann, Birgit Glasmacher

Leibniz Universität Hannover, Institut für Mehrphasenprozesse 30167 Hannover, Deutschland
ndzenque@imp.uni-hannover.de

* Korrespondenzautor

Mithilfe der Kryokonservierung wird eine Langzeitlagerung von Zellen und Geweben unter Erhalt der Vitalität ermöglicht. Dabei werden unter Zusatz von Gefrierschutzadditiven (hier Dimethylsulfoxid: Me₂SO) Zellen zu Temperaturen von bis zu -196 °C überführt. Der Erfolg dieses Prozesses lässt sich durch eine Vielzahl von Parametern, insbesondere die Frierrate, Auftaurate, Nukleationstemperatur und die Frierschutzmittelkonzentration optimieren. Zur Verminderung von auftretenden zellschädigenden Effekten wie die intrazelluläre Eiskristallbildung (IIF) soll eine möglichst optimale Frierparameterkombination erreicht werden.

In dieser Arbeit wurde die intrazelluläre Eiskristallbildung unter Variation der Parameter Kühlrate und Konzentration an Me₂SO mit Hilfe der Kryomikroskopie untersucht. Endothelzellen (HPMEC) in Suspension wurden dazu mit den Kühlraten von 5, 10 und 20 K/min und Me₂SO-Konzentrationen von 0, 0,7 und 1 M in Kombination eingesetzt. So konnte der Einfluss dieser Parameter sowie der Einfluss der extrazellulären Eiskristallbildung auf die intrazelluläre Eiskristallbildung bestimmt werden. Es wurden zusätzliche Messreihen mit spontaner und aktiver Eisnukleation bei -8 °C bei gleichen Versuchsparametern durchgeführt. Aus der Analyse der Kryomikroskopbilder wurde die Wahrscheinlichkeit der intrazellulären Eiskristallbildung (PIF) ermittelt. PIF beschreibt dabei den prozentuellen Anteil an IIF-betroffenen Zellen und lässt sich kumulativ aus der Gesamt-Zellzahl bestimmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei gleicher Kühlrate, konstanter Me₂SO-Konzentration und nach manueller Nukleation bei 8 °C PIF stetig sinkt: Bei einer Me₂SO-Konzentration von 0,7 M und spontaner Nukleation beträgt PIF 45,24 % bei 5 K/min, 83,77 % bei 10 K/min und 100 % bei 20 K/min. Bei vergleichbarer aktiver Nukleation sinkt PIF auf 16,19 % bei 5 K/min, 26,19 % bei 10 K/min und 17,17 % bei 20 K/min. Beobachtet wurde damit eine Abhängigkeit zwischen der Nukleation und der Wahrscheinlichkeit der intrazellulären Eiskristallbildung (PIF).

Des Weiteren wurde festgestellt, dass PIF mit zunehmender Kühlrate proportional ansteigt und die Breite des Temperaturintervalls ΔT_n , welches den Temperaturbereich der intrazellulären Eiskristallbildung beschreibt, kleiner wird.

Diese Untersuchungen helfen bei der zukünftigen Entwicklung und Optimierung von Protokollen für die Kryokonservierung von Endothelzellen.

Stichwörter:

Kryokonservierung, Gefrierschutzadditiv, Endothelzellen, Kryomikroskopie, Eisnukleation

S.13

Erstellung eines parametrierbaren Konstruktionsmodells für eine Behälterbaugruppe mit der 3D-Software Autodesk Inventor

Steffen Ebling

Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung ESaK, 63477 Maintal
Steffen.Ebling@esak.de

GEA Refrigeration Germany GmbH, 13509 Berlin
Steffen.Ebling@gea.com

Der Faktor Zeit spielt zunehmend in den Bereichen Konstruktion und Fertigung eine sehr wichtige Rolle. Doch nicht nur die Dauer des Produktionsdurchlaufs unterliegt ständiger Optimierung und Verbesserung, sondern auch die Aufwendung im Bereich Engineering, z. B. die Erstellung der Konstruktionszeichnungen, hat ihren festgelegten zeitlichen Rahmen. Daher ist es notwendig, auch diese Prozesse weitestgehend zu automatisieren und die Möglichkeiten der digitalen Datenverarbeitung dahingehend zu nutzen. So ist es z. B. möglich, dass eine einfache Ableitung von Konstruktionszeichnungen aus einem parametrierbaren Modell realisierbar wird. Dazu werden Schlüsselparameter implementiert, die beispielsweise eine Behälterbaugruppe genau vordefinieren. Dazu zählen Anschlussnennweiten, Druckstufen oder auch Einbauelemente, an die bestimmte Maße angeknüpft werden können. Der folgende Fachbeitrag gibt einen Einblick in die Möglichkeiten der Parametrierung von 3D – Modellzeichnungen mit der Software Autodesk Inventor 2012™. Dabei wird die Herangehensweise zur Erstellung eines solchen Modells beleuchtet ohne dabei den Anspruch der Vollständigkeit zu erheben.

Stichworte:

Konstruktion, Autodesk Inventor, Parametrierung

Entwurf eines Wärmerückgewinnungssystems in einer Aluminiumgießerei

Daniel Albert^{1*}, M.Sc. Tom Ståle Nordtvedt¹, Dr.-Ing. Armin Hafner¹, Dr.-Ing. Yves Ladam¹,
Prof. Dr.-Ing. Dominik Cibis²

¹ SINTEF Energy Research, Energy Efficiency, 7456 Trondheim, Norwegen
AlbertDaniel@gmx.de, Tom.S.Nordtvedt@sintef.no
Armin.Hafner@sintef.no, Yves.Ladam@sintef.no

² Europäische Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung, 63477 Maintal, Deutschland
dominik.cibis@esak.de

* Korrespondenzautor

Im Hinblick auf steigende Energiepreise und umwelttechnische Aspekte ist eine steigende Nachfrage von Abwärmegenerierungssystemen zu verzeichnen. Dies gilt speziell für energieintensive Industrie-sektoren wie die Aluminiumindustrie.

Für eine Gießanlage und Schmelzofen der Aluminiumlegierungsgießerei in Sunndalsøra (Hydro Aluminium, Norwegen) wurde eine Energiestudie ausgeführt. Hierbei wurden im Rauchgas des Schmelzofens und Kühlwasser der Gießanlage Möglichkeiten zur Abwärmenutzung betrachtet.

Ein Dampfkraftprozess, Organic Rankine Cycle und Organic Flash Cycle wurden für verschiedene Arbeitsfluide optimiert. Der Schmelzofen weist das größte Generierungspotenzial auf, da die Rauch-gastemperaturen hoch sind. Jedoch ist diese Abwärmequelle instationär und birgt Herausforderungen für den Betrieb der Abwärmegenerierungssysteme. Die Gießanlage hingegen ist eine konstante Abwärmequelle, wird aber durch die geringen Anwendungstemperaturen in ihrem Generierungs-potenzial begrenzt.

Lösungsansätze zur Verbesserung der Umwandlungseffizienz von thermischer zu elektrischer Energie werden dargelegt.

Stichwörter:

Wärmerückgewinnung, Organic Rankine Cycle (ORC), Organic Flash Cycle (OFC), Dampfkraft-prozess, Industrielle Abwärmenutzung

