

**Deutsche Kälte-
und Klimatagung**



Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015

Dresden

18. – 20. November 2015

Kurzfassungen

Veranstalter:

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

Striehlstraße 11

30159 Hannover

T. +49 (0) 511 897 0814

F. +49 (0) 511 897 0815

E. info@dkv.org

H. www.dkv.org



MARITIM Hotel & Internationales

Congress Center Dresden

Ostra-Ufer 2/Devrientstr. 10 - 12

01067 Dresden

T. +49 (0) 351 216-0

F. +49 (0) 351 216-1000

E. info.dre@maritim.de

H. www.maritim.de

Inhaltsverzeichnis

Studentenvorträge.....	4
Arbeitsabteilung I	13
Kryotechnik	
Arbeitsabteilung II.1	26
Grundlagen und Stoffe der Kälte- und Wärmepumpentechnik	
Arbeitsabteilung II.2	43
Anlagen und Komponenten der Kälte- und Wärmepumpentechnik	
Arbeitsabteilung III	58
Kälteanwendung	
Arbeitsabteilung IV	73
Klimatechnik und Wärmepumpenanwendung	
Rechenzentrum	90

S.01

Bewerbertipps – Soft Skills im Bewerbungsprozess

P. Kugler

Daikin Airconditioning GmbH, München

S.02

Modellversuche zur Eisbildung an wasserabweisenden mikro- und nanostrukturierten Rohroberflächen für den Wärmeübertrager eines Eisspeichers

Johannes Bracke

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
E-Mail: johannesbracke@t-online.de

Das fluktuierende Angebot erneuerbarer Energiequellen verlangt nach einer Speicherung von Energie zur Entkopplung des Energieangebots von der Energienachfrage. Eisspeichersysteme tragen einen Teil zur Lösung des Speicherproblems bei. Eine Wärmepumpe nutzt bspw. die während des Gefrierens von Eis frei werdende Kristallisationswärme sowie die fühlbare Wärme bei der Abkühlung des Speicherwassers als Energiequelle für die Gebäudeheizung. Das Eis kann im Sommer für die Gebäudekühlung verwendet werden. Der Eisspeicher hat den Vorteil, dass durch die hohe Schmelzenthalpie von Wasser mit 333 kJ/kg eine große Energiemenge bei einem kleinen Speichervolumen gespeichert werden kann. Das Eiswachstum innerhalb des Speichers erfolgt in der Regel direkt an der Wärmeübertrageroberfläche. Durch die wachsende Eisschicht steigt jedoch der Wärmeleitwiderstand und die Beladeleistung nimmt ab.

Das Fraunhofer IGB in Stuttgart forscht an Anti-Eis-Beschichtungen für unterschiedliche Anwendungen. Beispielsweise ist mit diesen Beschichtungen die Eisfreihaltung der Oberflächen von Windenergiekonvertern oder Flugzeugtragflächen möglich. Im Rahmen einer Studienarbeit wurde untersucht, ob sich diese Beschichtungen auch für die Wärmeübertrager in Eisspeichern eignen. Mit dem Einsatz der Beschichtungen soll die Eisbildung an der Wärmeübertrageroberfläche verhindert werden und an einer anderen Stelle im Speicher erfolgen, die keine wärmeübertragende Funktion erfüllt. Des Weiteren galt es zu überprüfen, ob eine Verzögerung der Eisbildung möglich ist und der Eisspeicher so über einen längeren Zeitraum mit einer höheren Beladeleistung betrieben werden kann.

Untersuchungen an umweltfreundlichen Korrosionsinhibitoren in Absorptionskälteanlagen auf Grundlage von Lithiumbromid und Wasser

Vivian Schöne^{1,2,*}, Franziska Krahl¹, Steffen Feja¹, Udo Steiner²

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
info@ilkdresden.de, franziska.krahl@ilkdresden.de

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

* Korrespondenzautorin

Industrieanlagen und Kraftwerke produzieren in der Regel viel Prozesswärme, die als Abwärme an die Umgebung verloren geht. Eine Möglichkeit diese Prozesswärme effektiv zu nutzen, ist der Einsatz von Absorptionskälteanlagen. Die momentan eingesetzten Absorptionskälteanlagen werden mit den Stoffpaaren LiBr/Wasser oder Wasser/NH₃ betrieben. Im Falle einer Absorptionskälteanlage auf Basis von LiBr/Wasser erfolgt die thermische Beeinflussung der Umgebung durch die Nutzung von Wasserdampf als Kältemittel. Wasser wird aus der niedrig konzentrierten Sole durch Prozesswärme ausgetrieben. Der so entstandene Wasserdampf wird gegen die Umgebungstemperatur abgekühlt und somit kondensiert. Die entstandene salzreiche Sole wird ebenfalls gekühlt und steht nun als Absorbens für Wasserdampf auf einem niedrigeren Dampfdruckniveau zur Verfügung. Dieser Dampf entsteht aus dem zuvor kondensierten Kältemittel (hier Wasser), wobei der Umgebung Energie in Form der Verdampfungsenthalpie entzogen wird. Somit entsteht die sogenannte Nutzkälte, welche beispielsweise für die Klimatisierung von Gebäuden genutzt werden kann.

Diese Nutzung von Salz und Wasser lässt die Komponenten einer Absorptionskälteanlage enormen korrosiven Belastungen unterliegen, die mittels Inhibitoren auf ein Minimum reduziert werden müssen. Die am häufigsten in solchen Anlagen genutzten Inhibitoren sind Chromate und Molybdate. Da aber Chromate kanzerogene Eigenschaften besitzen und Molybdate nur Eisenwerkstoffe gut vor Korrosion schützen [1; 2], muss nach neuen Korrosionsinhibitoren gesucht werden. Diese sollen neben der Schutzwirkung für Kupferwerkstoffe auch hinsichtlich umweltfreundlicher Aspekte Vorteile aufweisen.

Anhand der Korrosionsmechanismen und weiterer Aspekte werden die Anforderungen an Inhibitoren im Vortrag herausgearbeitet. Die Wirkung der Inhibitoren und die Schutzmechanismen werden gezeigt und in eine Einteilung der Inhibitoren vorgenommen.

Im Rahmen der Arbeiten wurden zwei organische Inhibitoren, die vielversprechende Eigenschaften besitzen getestet. Das verwendete Testverfahren wird vorgestellt. Des Weiteren werden Analysen und Analysenparameter für die notwendige Überprüfung von Absorptionskältelösungen erläutert und diskutiert.

Die durchgeführten Auslagerungsversuche bei 120 °C über einen Zeitraum von 210 Stunden ergaben, dass beide verwendeten Inhibitoren korrosionsinhibierende Eigenschaften für Kupfer aufweisen und sogar in der Lage sind, in Kombination mit weiteren Inhibitoren, zum Beispiel Molybdate, alle in der Anlage verwendeten Metalle effektiv vor Korrosion zu schützen.

Stichwörter:

Korrosion, Absorptionskälteanlagen, LiBr, Inhibitoren

[1] Knüppe, W.: Römpf; Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG 2015

[2] Tanno K. et al.: Development of Corrosion-Inhibition Technologies in Absorption Chiller-Heaters; Corrosion Engineering 2003, Ausgabe 52; S. 311-326

Wärmeübergang beim Blasensieden von Propan und R134a an einer sandgestrahlten Baustahloberfläche

M. Deeb*, F. Müller, A.Luke

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

* Korrespondenzautor

Der Wärmeübergang beim Blasensieden wird seit Jahrzehnten experimentell und theoretisch untersucht, trotzdem besteht bisher keine geschlossene Theorie zu den eigentlichen physikalischen Vorgängen während der Verdampfung. Daher werden heutzutage in verschiedenen verfahrenstechnischen Prozessen die Verdampfer zu groß ausgelegt oder arbeiten ineffizient. Neuartige, effiziente Strukturen werden häufig nicht eingesetzt, da zu wenig Referenzdaten zur Verfügung stehen und die Berechnungsmethoden bislang aufgrund vieler Einflussgrößen keine eindeutigen Ergebnisse liefern. Dies gilt insbesondere für Baustahlrohre, wo die Datenbasis im Vergleich zu Messungen an Kupferrohren sehr gering ist. Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Untersuchung des Wärmeübergangs beim Blasensieden an einem horizontalen, elektrisch beheizbaren Versuchsrohr aus Baustahl, dessen Oberfläche mechanisch bearbeitet wird.

Die Oberfläche des Versuchsrohres wird durch Grobsandstrahlen mit einem arithmetischen Mittenrauheitswert von $P_a \geq 10 \mu\text{m}$ bearbeitet. Die Analyse der Oberflächentopographie erfolgt mit zwei verschiedenen berührungslosen Messgeräten. Dabei werden Topographien in azimuthaler sowie axialer Richtung aufgenommen und ausgewertet. Die Wärmeübergangsmessungen werden an zwei verschiedenen Versuchsstoffen Propan und R134a in einer Standardsiedeapparatur durchgeführt, um einen möglichen Versuchsstoffeinfluss auf den Wärmeübergangskoeffizienten an einer rauen Oberfläche aufzuzeigen. Der Temperaturbereich variiert von $T_s = 68,13 \text{ °C}$ bis $-23,83 \text{ °C}$ und der Druckbereich von $p = 21,26 \text{ bar}$ bis $1,227 \text{ bar}$. Die Blasenbildung wird mit einem Hochgeschwindigkeitsvideosystem bei ausgewählten Wärmestromdichten untersucht, um eine Verknüpfung zwischen aktiven und potentiellen Keimstellen zu realisieren.

Stichwörter:

Blasensieden, Wärmeübergang, Oberfläche, Keimstellen

Experimentelle Untersuchung des einphasigen und zweiphasigen Druckverlustes und Wärmeüberganges von Propan in einem Baustahlrohr

Martin Wnuk, Simon Fries, Andrea Luke

¹ Universität Kassel, Fachgebiet Technische Thermodynamik
Kurt-Wolters-Str. 3, 34125, Kassel, Deutschland

Zur Verflüssigung von Erdgas zu Liquefied Natural Gas (LNG) werden große Kaskadenkältesysteme eingesetzt, die mit Rohrbündelwärmeübertragern ausgeführt sind und einen sehr hohen Energiebedarf aufweisen. Eine Möglichkeit den Energiebedarf zu reduzieren besteht in der Verbesserung der Wärmeübertragung durch den Einsatz von optimierten Oberflächenstrukturen. Da die Mechanismen, die zur Verbesserung des Wärmeüberganges führen, noch nicht ausreichend erforscht sind, müssen diese für jeweils andere Rohrkonfigurationen und Stoffvarianten untersucht werden. Daher wird in einer neuen Anlage am Institut der innenseitige Wärmeübergang in weiten Druck- und Wärmestromdichtenbereich untersucht. In der vorliegenden Arbeit wird der lokale und integrale Wärmeübergang und Druckverlust in einem Baustahlrohr mit Propan als Versuchsfluid diskutiert.

Bei den Messungen werden die Temperatur und der Druck des strömenden Propan variert. Das Propan wird sowohl im überhitzten als auch unterkühlten Bereich als auch im Nassdampfgebiet analysiert. Die Massenstromdichte wird variiert. Die Ergebnisse der einphasigen Messungen des Wärmeüberganges werden durch bekannte Gleichungen aus der Literatur gut wiedergegeben. Hingegen weichen die Ergebnisse der Messungen bei der Kondensation z. T. erheblich von bekannten Gleichungen in der Literatur ab.

Keywords:

Propan, Wärmeübergang, Druckverlust, Kondensation, einphasig, zweiphasig

S.06

CFD-Simulation eines überkritischen Speicherbehälters

Sebastian Eisenhut*, Marcel Klaus, Christoph Haberstroh

Technische Universität Dresden, Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik
01062 Dresden, Deutschland
sebastian.eisenhut@gmx.de

* Korrespondenzautor

Die European Spallation Source in Lund, Schweden wird nach ihrer Fertigstellung mit einer Strahlungsleistung von 5 MW die international leistungsstärkste Neutronenspallationsquelle sein. Die Moderation der Neutronen erfolgt mit Hilfe von überkritischem Parawasserstoff bei etwa 17 K und 1,5 MPa, welcher zur Wärmeabfuhr in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert. Unterschiedliche Neutronenintensitäten sowie Unstetigkeiten beim Betrieb führen zu thermischen Lastwechseln. Die daraus resultierende Änderung der gemittelten Temperatur des Wasserstoffs bewirkt aufgrund seines inkompressiblen Charakters und des konstanten Kreislaufvolumens große Druckänderungen, die kompensiert werden müssen. Ein neuartiges Konzept der Druckregulierung sieht die lastabhängige Ein- und Auslagerung von Wasserstoff in einen aufrechten Speicherbehälter vor. Ein vertikaler Temperaturgradient sorgt für den kontinuierlichen Übergang von kaltem, nahezu inkompressiblem Wasserstoff im Bodenbereich zu wärmerem, kompressiblem Wasserstoff im oberen Bereich des Behälters. Zur Beurteilung des Verhaltens eines solchen Behälters wurden CFD-Untersuchungen mit einem kommerziellen Code durchgeführt. Hierzu sind zunächst die Stoffdaten von Parawasserstoff in den Strömungslöser eingebunden worden. Aus Gründen der Löserstabilität erfolgte eine Modifizierung und anhand der Stoffdatenbibliothek NIST REFPROP eine Validierung der Werte. Weiterhin wurden Simulationen bezüglich der Druckauswertung für isentrope Kompression anhand analytischer Vergleichsfälle durchgeführt. Die Simulationsergebnisse von Ein- und Ausströmvorgängen unterliegen einer großen Unsicherheit bezüglich der Druckauswertung. Es kann jedoch gezeigt werden, dass die Temperaturschichtung für realitätsnahe Annahmen stabil gegen Störungen ist und der Abbau des Gradienten infolge von Wärmeleitung und freier Konvektion nur langsam stattfindet.

Stichwörter:

Spallationsquelle, Moderatorkreislauf, Tieftemperaturwasserstoff, Druckstabilisierung, CFD-Simulation.

Untersuchung des Organic-Rankine-Cycle (ORC) auf die exergetische und thermische Effizienz mit unterschiedlichen Arbeitsmedien

Johannes Düll

Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Mannheim, Fakultät Technik

Beim ORC wird Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt, wobei die ORC-Technologie bei Wärmequellen mit einem Temperaturniveau von ca. 100 °C bis 1000 °C eingesetzt werden kann und in der Tiefengeothermie bei Temperaturniveaus meist unter 300 °C eingesetzt wird. Der thermische und exergetische Wirkungsgrad sind wichtige Kenngrößen zur Beschreibung der Effizienz eines ORC-Prozesses. Der thermische Wirkungsgrad ist das Verhältnis der abgeführten Nutzarbeit in der Expansionsmaschine, abzüglich der aufzuwendenden Arbeit in der Kompressionsmaschine, zur zugeführten Wärmemenge im Verdampfer. Der exergetische Wirkungsgrad gibt das Verhältnis des Exergieverlusts des Heizmediums im Verdampfer zum Exergiegewinn des Arbeitsfluids im Verdampfer wieder. Die Exergie ist jener Energieanteil, welcher bei idealer Umwandlung in der vorhandenen Umgebung in Arbeit umgesetzt werden kann. Das gewählte Arbeitsmedium hat auf diese Kennzahlen einen entscheidenden Einfluss. Im Rahmen dieser Studienarbeit wurden Simulationen von ORC-Prozessen mit verschiedenen Arbeitsmedien durchgeführt und ausgewertet. Sowohl Reinstoffe als auch Stoffgemische wurden getestet und dabei der Schwerpunkt auf Alkane gelegt.

Literaturrecherchen haben ergeben, dass sich eine Vielzahl der wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Thema ausschließlich mit dem thermischen Wirkungsgrad befassen. Die Simulationen im Rahmen dieser Studienarbeit haben gezeigt, dass diese Betrachtung nicht ausreicht, da v.a. auch die entziehbare Leistung von wirtschaftlichem Interesse einer Anlage ist. Hierzu ein Beispiel: Gegeben sei eine geothermische Wärmequelle mit einer Heizwassertemperatur von 150 °C und einem Massenstrom von 100 l/s. Der Betriebsdruck wird so gewählt, dass sich das Arbeitsmedium mit 10K Überhitzung auf 140 °C erwärmt. Im Kondensator wird das Arbeitsmedium auf 35 °C abgekühlt und vollständig bis zur Siedelinie verflüssigt. Unter diesen Rahmenbedingungen erreicht Cyclobutan einen thermischen Wirkungsgrad von 14,17 % und 1,59 MW elektrische Leistung können dem Prozess entnommen werden. Der gleiche Prozess mit einem Gemisch aus Propan, n-Butane und n-Pentan im Verhältnis 1:1:1 liefert lediglich einen thermischen Wirkungsgrad von 9,26 %, dafür aber eine Nettoleistung von 2,24 MW, da in diesem Prozess ein höherer Massenstrom des Arbeitsmediums umgesetzt und somit die Wärmequelle stärker abgekühlt werden kann. Bei einer Kraft-Wärme-Kopplung macht sich dieser Vorteil auch deutlich bemerkbar: Der Prozess mit dem genannten Gemisch als Arbeitsmedium liefert 18,6 MW Wärmeleistung im Gegensatz zu 6,4 MW, welche beim Prozess mit Cyclobutan noch zu Heizzwecken verwendet werden könnten. Außerdem liefert das Stoffgemisch mit 86 % auch einen besseren exergetischen Wirkungsgrad, da es nicht isotherm sondern mit einem Temperaturgleit verdampft und somit weniger Irreversibilitäten aufgrund der Temperaturdifferenz zum Heizmedium entstehen.

Weiterhin wurden in der Studienarbeit wichtige Parameter identifiziert, welche Einfluss auf die Effizienz des ORC-Prozesses nehmen. Hierzu zählen u. a. der Betriebsdruck und die gewählte Prozesskonfiguration. Durch den Einsatz eines Rekuperators kann beispielsweise die Effizienz beim Einsatz retrograder Arbeitsmedien deutlich gesteigert werden.

Weitere Simulationsergebnisse werden in der Arbeit präsentiert und diskutiert.

S.08

Effekte der Luftströmung bei Luftkühlern

Sascha Ostermann

GEA Küba GmbH, Kühler Weg 1, 82065 Baierbrunn

Sascha.Ostermann@gea.com

Strömungsformen haben einen Einfluss auf die α -Werte des Wärmeübergangs bei Luftkühlern. Gleichzeitig können Totwassergebiete entstehen, in denen ein schlechter Wärmeübergang vorliegt. Durch Veränderungen der Anströmung kann so ein verbesserter Wärmeübergang entstehen. In einer praktischen Arbeit wurden der Aufbau eines Prüfstands und grundlegende Untersuchungen zur Luftkühleranströmung durchgeführt.

S.09

GUM-basierte Messunsicherheitsanalyse am Beispiel eines Verdichterprüfstands

Dieter Oehler^{1,*}, Jascha Ruebeling^{2,*}, Steffen Grohmann

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

^{1,*} utczp@student.kit.edu, ^{2,*} jascha.ruebeling@kit.edu

* Korrespondenzautoren

Für die Bewertung von Verdichtern werden Berechnungsgrößen, wie der isentrope Gütegrad, der Liefergrad und die Entropieproduktionsrate verwendet. Die Kennzahlen sind Funktionen physikalischer Messgrößen, welche zunächst mithilfe einer geeigneten Prüfeinrichtung erfasst werden müssen.

Um die Einhaltung der in der DIN EN 12900 oder dem ASHRAE-Standard 32 vorgegebenen Norm-Bezugspunkte am Prüfstand zu kontrollieren, sind Messumformer für die Erfassung von Drücken, Temperaturen, Massenströmen und elektrischer Leistungen erforderlich. Die besagten Normen enthalten jedoch keine Informationen über die maximal zulässigen Unsicherheiten der am Prüfstand notwendigen Messtechnik, weshalb dieser Einfluss auf die resultierenden Unsicherheiten der Verdichterkennzahlen im Rahmen der vorliegenden Arbeit detailliert untersucht wurde.

Im Zuge einer Marktrecherche wurden typische Wertebereiche der kombinierten Standardunsicherheiten aller Messwertumformer und deren Erfassungseinheiten berechnet. Anschließend wurden anhand verschiedener Szenariorechnungen mit DIN- und ASHRAE-konformen Randbedingungen die resultierenden Unsicherheiten des isentropen Gütegrads, des Liefergrads und der Entropieproduktionsraten ermittelt. Die Unsicherheitsfortpflanzungsanalysen basierten auf dem GUM-Verfahren (BIPM-Leitfaden: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*).

Die resultierende Unsicherheit betrug für den isentropen Wirkungsgrad je nach Wertigkeit der Messtechnik zwischen $\pm 0,007 \dots 0,017$ (entspr. $\pm 1,2 \dots 2,7$ % des Werts) und für den Liefergrad $0,016 \dots 0,036$ (entspr. $\pm 2,4 \dots 5,2$ % des Werts). Die Unsicherheit beider Bewertungsgrößen wurde bei Auswahl der genauesten Messtechnik vornehmlich vom Verdichtereintrittsdruck, bei Auswahl der ungenauesten Messtechnik hingegen überwiegend von der Massenstrommessung verursacht.

Stichwörter:

Verdichter, isentroper Wirkungsgrad, Liefergrad, Messunsicherheit, Messkette, Unsicherheitsfortpflanzung

Exergieanalyse einer einstufigen Absorptionskältemaschine

Jad Abi Haidar*, Michael Olbricht, Andrea Luke

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

Die Substitution von Kompressionskältemaschinen durch Absorptionskältemaschinen kann einen Beitrag zur Verringerung des Primärenergiebedarfs bei der Kältebereitstellung leisten. Absorptionskältemaschinen (AKM) werden im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen mit mechanischem Verdichter nicht elektrisch, sondern thermisch angetrieben. Dadurch ist es möglich, thermische Energie, die im Vergleich zu elektrischer Energie exergetisch minderwertiger ist, zur Kälteerzeugung zu nutzen.

Prozessbedingt sind Absorptionskälteanlagen apparatetechnisch aufwändiger zu gestalten als konventionelle Anlagen. Weiterhin weisen AKMs in den meisten Fällen einen deutlich niedrigeren COP als Kompressionskälteanlagen auf.

Aufgrund der Nutzung von unterschiedlichen Energieformen in den beiden Kälteprozessen, ist eine exergetische Bewertung der Absorptionskältemaschine erforderlich, um die Wertigkeit der Antriebsenergie mit zu berücksichtigen. Durch die Nutzung von Wärme als Antriebsenergie der Absorptionskältemaschine haben im besonderen Maße die Wärmeübertragungsvorgänge einen Einfluss auf den Gesamtprozess. Jeder Wärmeübertragungsprozess führt zu einer Entropieerzeugung, die ihrerseits zu Exergieverlusten führen. Durch die Exergieanalyse einer bestehenden Anlage werden die Wärmeübertrager, in denen der größte Exergieverlust erzeugt wird, identifiziert. Diese Erkenntnis wird zur Optimierung der Anlage durch eine veränderte Betriebsführung oder konstruktive Umgestaltung verwendet.

Stichwörter:

Absorptionskältemaschine, Exergieanalyse, Wasser/Lithiumbromid

Konzipierung und energetische Betrachtung von Hybridsystemen mit offenen Absorptionsanlagen zur Gebäudeklimatisierung

Lisa Mucke*, Daniel Fleig, Ulrike Jordan, Klaus Vajen

Universität Kassel, Institut für thermische Energietechnik
Mönchebergstraße 19, 34125 Kassel, Deutschland
solar@uni-kassel.de

* Korrespondenzautorin

Für die Kühlung und Entfeuchtung der Luft in Raumluftechnischen Anlagen werden überwiegend Kompressionskältemaschinen (KKM) verwendet, in welchen die Entfeuchtung der Luft mittels Taupunktunterschreitung realisiert wird. Dies hat zur Folge, dass die Luft deutlich mehr gekühlt werden muss, als es für den optimalen Zuluftzustand nötig wäre, und dass die entfeuchtete Luft anschließend eventuell wieder erwärmt werden muss. Eine Möglichkeit diesen energieintensiven Prozess zu umgehen, stellt die Entkopplung der Luftentfeuchtung und Luftkühlung dar. Dies kann mit einem offenen Absorptionsprozess und einer anschließenden Kühlung durch eine KKM oder mittels indirekter Verdunstungskühlung realisiert werden. Hierbei strömt Luft zunächst durch einen Absorber und wird dabei mit einer hygroskopischen Flüssigkeit entfeuchtet. Dadurch verdünnt sich die

hygroskopische Flüssigkeit und muss danach mittels Wärmezufuhr in einem Regenerator aufkonzentriert werden. Die entfeuchtete Luft wird anschließend gekühlt. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen einer Konzeptstudie verschiedene Klimatisierungssysteme betrachtet, die eine offene Absorptionsanlage zur Entfeuchtung der Luft integriert haben. Insgesamt wurden vier Konzepte entworfen und der jeweilige Leistungsbedarf mit einem Modell, welches auf Massen- und Energiebilanzen beruht, berechnet. Diese vier Konzepte wurden bzgl. ihres Leistungsbedarfs mit einer konventionellen Klimaanlage, die mit Taupunktunterschreitung arbeitet, verglichen. Je nach Klimafall und Konzept wurden im Vergleich zum Referenzkonzept Einsparpotentiale des elektrischen Leistungsbedarfs von bis zu 40 % ermittelt. Zusätzlich wurde in zwei Konzepten geprüft, ob die benötigte Regenerationswärme durch die frei werdende Wärme am Verflüssiger der KKM gedeckt werden kann. Die Ergebnisse des Modells zeigen, dass dies für ein gemäßigtes Klima möglich ist.

Stichwörter:

Sorptive Entfeuchtung, Klimatisierung

S.12

Bedeutung von Lüftung in Schulen für das Lernverhalten und Wohlbefinden von Schülern

Anne Hartmann*, Clemens Felsmann

Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, 01062 Dresden, Deutschland

ahartmann@gmx.de

* Korrespondenzautorin

In Schulgebäuden kommen derzeit verschiedene Lüftungssysteme zum Einsatz. In einigen Gebäuden wird ausschließlich Fensterlüftung genutzt, während in anderen Gebäuden Systeme zum Einsatz kommen, die eine vollständige Klimatisierung ermöglichen. Das ausschlaggebende Kriterium bei der Wahl sind meist die Anschaffungs- und Betriebskosten, während das Lernverhalten und das Wohlbefinden der Schüler nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Messungen zur Innenraumluftqualität in einem Schulgebäude in Kopenhagen geben Aufschluss über die Temperaturverteilung, die relative Luftfeuchtigkeit, die CO₂-Konzentration, den Ozon-Gehalt und den Partikel-Gehalt bei verschiedenen Lüftungssystemen. Zusätzlich wird das Nutzerverhalten beim Öffnen der Türen und Fenster erfasst. Außerdem werden die Schüler, die verschiedene, typische schulische Aufgaben ausführen, zu ihrer Wahrnehmung der Umgebung und möglichen Beschwerden im Zusammenhang mit der Luftqualität befragt.

Anschließend werden die Messergebnisse statistisch ausgewertet und anhand der im Rahmen einer zu Beginn durchgeführten Literaturrecherche ermittelten Kriterien ein Vergleich der Lüftungssysteme durchgeführt. Dabei können Zusammenhänge zwischen dem Lüftungssystem und dem Lernverhalten sowie dem Wohlbefinden der Schüler gefunden werden.

Stichwörter:

Lüftung, Schulgebäude, Innenraumluftqualität

Integrierte Energiekonzepte für Supermärkte

Jakob Glück^{1*}, Armin Hafner², Trygve M. Eikevik¹

¹ Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
jakob.glueck@gmail.com

² SINTEF Energy Research

* Korrespondenzautor

Der Energieverbrauch von Supermärkten ist mit der höchste im Gebäudebereich. Norwegische Supermärkte haben einen typischen Energieverbrauch von über 500 kWh/m²/a gegenüber Bürogebäuden, die bei Werten um 100 kWh/m²/a liegen. Die Hauptgründe hierfür sind die Kühl- und Gefriersysteme, hohe Ventilationsraten im Gebäude, sowie die Beleuchtung. Energiesysteme in Supermärkten arbeiten nach strengen Anforderungen und Kriterien, die sich hinsichtlich der Zufriedenheit der Kunden und der dort gelagerten Lebensmittel widersprechen können.

REMA 1000, eine norwegische Supermarktkette, hat in Kooperation mit SINTEF und Partnern des CREATIV Projekts einen Pilot-Supermarkt in Trondheim errichtet, der seit August 2013 in Betrieb ist und unter verschiedenen operativen Bedingungen beobachtet wurde. Das anfängliche System bietet allerdings Herausforderungen bezüglich der Wärmeabfuhr über die Klimaanlage in den Sommermonaten. Diese werden analysiert und alternative Lösungen aufgezeigt.

Systemintegration von Kältespeichern in ein industrielles Kalt- und Kühlwassernetz

Lukas Schaude

Hochschule Biberach, Karlstr. 11, 88400 Biberach

Die hier vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit dem Einsatz eines Kühlwasserspeichers für das Kalt- und Kühlwassernetz der Fa. Daimler am Forschungs- und Entwicklungsstandort Sindelfingen. Mit dem Kühlwasser 29/35 °C werden vorwiegend Kältemaschinen rückgekühlt, welche die Großprüfstände während dem Testbetrieb mit Kaltwasser 8/14 °C versorgen. Diese benötigen innerhalb von wenigen Minuten eine Rückkühlleistung von mehreren Megawatt. Momentan kann diese nicht im erforderlichen Zeitlimit zur Verfügung gestellt werden.

Der Schwerpunkt der überschlägigen Speicherdimensionierung liegt auf der Ermittlung der Größe und Kapazität des Speichers. Diese Größen werden mithilfe eines Excel-Modells ermittelt. Ebenfalls lässt sich mithilfe des Modells eine Aussage über mögliche Deckungsgrade und der Auslastung des Speichers treffen. Die Eingangsgrößen hierfür bilden reale Verbrauchswerte von verschiedenen Abnehmern im Kühlwassernetzverbund am Standort Sindelfingen. Es werden vier verschiedene Varianten untersucht, die sich in der Betriebsweise und der Größe des Speichers, der Anzahl der versorgten Gebäude, sowie in der Beladeleistung unterscheiden. Ebenfalls Gegenstand dieser Arbeit ist die hydraulische Einbindung des Speichers in das bestehende System sowie ein möglicher Standort. Abschließend wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anlehnung an die VDI 2067 sowie eine überschlägige Berechnung der CO₂-Emissionen/-einsparungen durchgeführt.

Es zeigt sich, dass sich durch den Einsatz eines Kühlwasserspeichers die Spitzen- und auch Volllast verschiedener Großprüfstände und Gebäude (mit unterschiedlichen Lastprofilen) decken lässt. Hierbei ist der limitierende Faktor die Speichergröße und die damit verbundenen Investitionskosten. Zum anderen lassen sich dadurch die bedarfsgebundenen Kosten (Energiekosten) deutlich reduzieren. Die Anzahl der Rückkühlwerke kann merklich verringert werden. Allerdings sind die Speicherinvestitionskosten momentan (noch) nicht wirtschaftlich darstellbar.

Lastflexibilisierung einer Luftzerlegungsanlage

**Bernd Wunderlich^{1,*}, Johann Ferstl¹, Christoph Windmeier¹,
Dimitri Goloubev¹, Steffen Grohmann²**

¹ Linde AG, Engineering Division, Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14, 82049 Pullach
bernd.wunderlich@linde-le.com

² Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik,
Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe

* Korrespondenzautor

Der zunehmende Anteil erneuerbarer Energien stellt die Stabilität des derzeitigen Übertragungsnetzwerks vor immer größere Herausforderungen. Zur Stabilisierung der Energienetze kann z. B. die Lastflexibilität großindustrieller Energieverbraucher in Form von Regelleistung genutzt werden. Ein weiterer Vorteil von Lastflexibilität ergibt sich aus der Liberalisierung des Energiemarkts durch die Möglichkeit der Anpassung des Anlagenbetriebs an schwankende Energiepreise.

Am Beispiel der Luftzerlegung soll gezeigt werden, welche Möglichkeiten die Lastflexibilisierung einer Großanlage bietet. Zur Verfahrensberechnung wird ein simultan lösender Prozesssimulator verwendet, der eine Optimierung der Prozessparameter in allen Betriebspunkten ermöglicht. Um den optimalen Betrieb einer lastflexiblen Anlage bei schwankenden Energiepreisen zu ermitteln, werden die Lastkurven unterschiedlicher Prozessstopologien verwendet. Anhand des optimierten Lastprofils kann das ökonomische Potential gegenüber einer stationär betriebenen Anlage ermittelt werden.

Die Flexibilisierung der elektrischen Anschlussleistung kann bei gleichbleibender Kundenversorgung durch eine gezielte Überdimensionierung von Prozesskomponenten und der Bereitstellung von Speichern erfolgen. Anhand verschiedener Verfahrenskonzepte wird gezeigt, in welchem Maße eine Lastflexibilisierung einer Luftzerlegungsanlage möglich ist und wo deren Grenzen liegen. Je nach Schwankungen des Energiepreises ergeben sich bereits am heutigen Energiemarkt nennenswerte Einsparungspotentiale bei den Energiekosten.

Stichwörter:

Luftzerlegung, Lastflexibilität, Regelleistung, Kapazitätsplanung, Teillastverhalten

Wirtschaftlich umsetzbare Wasserstoff Großverflüssiger

U. Cardella^{1,*}, H. Klein¹, L. Decker²

¹ TU München, Lehrstuhl für Anlagen- und Prozesstechnik, Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching
umberto.cardella@tum.de, harald.klein@apt.mw.tum.de

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

* Korrespondenzautor

Flüssig Wasserstoff wird hauptsächlich als Treibstoff für Weltraumraketen und in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Aktuell tragen sog. „Clean Energy“ Anwendungen, wie zum Beispiel Brennstoffzellenfahrzeuge, nur zu einem geringen Anteil an der gesamten Nachfrage bei. Dieser Bedarf wird in den kommenden Jahren jedoch signifikant ansteigen, daher wird die Kapazität der Wasserstoff-Verflüssigungsanlagen die der heutigen um ein Vielfaches übersteigen.

Die heutigen Kleinanlagen sind speziell auf die oben genannten Anwendungen gerichtet und zielen auf vergleichsweise niedrige Investitionskosten. Großverflüssiger für die zukünftige Versorgung der

Wasserstoff-Mobilität müssen aber stark optimierte Gesamtkosten vorweisen. Das Ziel ist es, die Energieeffizienz durch innovative Prozesslösungen signifikant zu erhöhen. Dies kann jedoch nur begrenzt zulasten erhöhter Investitionskosten geschehen.

Des Weiteren spielen bei der Konzeptfindung auch die Prozesskomplexität sowie die operative Betreibbarkeit eine entscheidende Rolle für Anlagenbetreiber. Im Fokus steht dabei auch der technologische Reifegrad von hochskaliertem Equipment wie Coldboxen, Turbinen und Verdichtern. Diese Faktoren standen in bisherigen Veröffentlichungen oft im Hintergrund.

Dieser Vortrag gibt einen Überblick über die Herausforderungen und Ergebnisse bei der Entwicklung neuer verfahrenstechnisch optimierter sowie wirtschaftlich realisierbarer Anlagenkonzepte.

Stichwörter:

Wasserstoff, Verflüssiger, Prozess, Wirtschaftlichkeit

I.03

Katalytische ortho-para Wasserstoff Umwandlung in PWT

U. Cardella^{1,*}, P. Donaubaue¹, H. Klein¹, L. Decker²

¹ TU München, Lehrstuhl für Anlagen- und Prozesstechnik, Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching
umberto.cardella@tum.de, philippd@mytum.de, harald.klein@apt.mw.tum.de

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

* Korrespondenzautor

Die exotherme Umwandlung von ortho- zu para-Wasserstoff wird in Verflüssigungsanlagen katalytisch im abkühlenden Prozessstrom durchgeführt. Ziel ist es, eine energetisch günstige Konversion bis zu einem para-Anteil von mindestens 98 % im verflüssigten Wasserstoff zu erreichen.

Moderne industrielle Verflüssiger verwenden dafür Aluminium-Plattenwärmetauscher (PWT). Diese fungieren gleichzeitig als Reaktoren, die mit einem Katalysator, meistens Eisenhydroxid, in den Kanälen befüllt sind und eine kontinuierliche ortho-para Umwandlung ermöglichen.

Theoretisch fundierte Modelle zur Beschreibung der Umwandlungsvorgänge in PWT, beruhend auf Reaktionskinetik und Wärmeübertragung, wurden in der Literatur bisher nur selten behandelt.

Vorangegangene Arbeiten basieren meistens auf einem vereinfachten Ansatz erster Ordnung für die Reaktionsrate. Dieser zeigt jedoch signifikante Abweichungen zu Messdaten. Als Alternative steht ein kinetischer Ansatz nach Langmuir-Hinshelwood zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden beide Ansätze mit einer umfassenden Reaktormodellierung in Matlab[®] implementiert und systematisch anhand verfügbarer Messdaten aus der Literatur bewertet.

Das entwickelte Modell kann eine genauere Auslegungen der PWT ermöglichen und in die Prozessoptimierung integriert werden. Dies ist vor allem für Großverflüssiger von Bedeutung.

Stichwörter:

Wasserstoff, Verflüssiger, Ortho-Para, Katalysator, Plattenwärmetauscher

Performances in a cryogenic regenerator used in a LIQHYSMES system

Flavio Brighenti*, Rajinikumar Ramalingam, Holger Neumann

Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
flavio.brighenti@kit.edu

* Korrespondenzautor

Among the various approaches in dealing with the fluctuating renewable energy generation, LiqHySMES proposes a combined solution where a SMES is coupled with a cryogenic plant. This idea allows energy storage in two forms: electromagnetic and chemical (liquid hydrogen). This has been necessary because balancing loads on rapidly evolving fluctuations on the grid with only hydrogen would have been unrealistic due to its slow response, thus being necessary to integrate it with an electrical energy storage device that enables a rapid response. Previous works dealt in assessing the characteristics of this type of plant on buffering fluctuations on time scale from seconds up to minutes and in designing the necessary parts for a small scale proof of concept system. One key component is represented by the regenerator. In this paper, we want to show, apart from the design methodology, a study on the influence of various parameters on the performance of the regenerator, highlighting the most important factors that could not allow to achieve a very high efficiency. For this purpose an optical based Fiber Bragg Grating (FBG) of 2 arrays, each consisting of 12 sensors, has been produced in a wavelength division-multiplexing (WDM) scheme, will be installed in the regenerator. Temperatures at various local points will vary the grating periods of the FBG sensors at those measuring points, which changes the back reflected Bragg wavelength. This can be correlated with temperature change and hence with efficiency. Moreover, this research is completed with an experimental study on configuration, material and fluid properties, temperature profiles, etc. Results are then analysed and discussed.

Inbetriebnahme und erste Ergebnisse des kryogenen Sicherheitsversuchsstands PICARD

Carolin Heidt^{1,2,*}, Heinz Schön¹, Michael Stamm¹, Steffen Grohmann^{1,2}

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

¹ Institut für Technische Physik (ITEP)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Carolin.Heidt@kit.edu, Heinz.Schoen@kit.edu
Michael.Stamm@kit.edu, Steffen.Grohmann@kit.edu

² Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK)
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

* Korrespondenzautorin

Die Dimensionierung von Sicherheitseinrichtungen eines Kryostaten erfordert ein detailliertes Verständnis der in Folge eines Störfalls ablaufenden Prozesse, wie z. B. des Druckanstiegs bei Belüftung des Isoliervakuum. Dabei decken die wenigen vorhandenen experimentellen Daten bisher nicht alle in der Kryotechnik auftretenden Bedingungen ab.

Für umfassende sicherheitstechnische Untersuchungen und zur Weiterentwicklung der im April 2015 erschienenen DIN SPEC 4683 „Flüssighelium-Kryostate - Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküber-

schreitung“ wurde der Versuchsstand PICARD (**P**ressure **I**ncrease in **C**ryostats and **A**nalysis of **R**elief **D**evelopments) konzipiert und aufgebaut. Mit einem Flüssigkeitsvolumen von 100 l Helium oder Stickstoff und maximalen Abblasedrücken von 16 bar sind Experimente zur Untersuchung des Einflusses der Isolation, des Belüftungsquerschnitts, des Füllstands, des Abblasedrucks und der Zweiphasenströmung auf die abzuführenden Massenströme und die Prozessdynamik bei Störfällen geplant.

In diesem Beitrag werden die Inbetriebnahme des Versuchsstands sowie erste Messungen der Prozessgrößen bei Belüftung des Isolier-Vakuums eines Flüssighelium-Kryostaten vorgestellt.

Stichwörter:

Flüssighelium, Versuchsstand, Sicherheit, Störfall

I.06

Inbetriebnahme einer modifizierten Versuchsanlage für die Messung von Tieftemperatur-Phasengleichgewichten

David Gomse^{1,2,*}, Thomas M. Kochenburger², Andreas Janzen², Steffen Grohmann^{1,2}

¹ Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
david.gomse@student.kit.edu

² Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK),
Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe

* Korrespondenzautor

Gemischkältekreisläufe (MRCs) stellen eine effiziente und kostengünstige Möglichkeit zur Kühlung im Temperaturbereich zwischen 80 und 200 K dar. Diese Kreisprozesse ähneln dem Linde-Prozess zur Luftverflüssigung, werden aber überwiegend im Nassdampfgebiet eines weitsiedenden Kältemittelgemischs bei moderaten Drücken betrieben.

Bei der Auslegung des Prozesses ist eine genaue Kenntnis des Phasenverhaltens des Kältemittelgemischs notwendig. Dieses ist zwar über Zustandsgleichungen und molekulardynamische Simulationen theoretisch zugänglich, jedoch sind genaue experimentelle Daten zur Validierung und zur Anpassung von empirischen intermolekularen Wechselwirkungsparametern unabdingbar. Insbesondere für Gemische mit voll- und teilfluorierten Kältemitteln ist das Verhalten bei niedrigen Temperaturen zum Teil völlig unbekannt.

Am Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik wurde eine bestehende Versuchsanlage modifiziert, um Dampf-Flüssig-Flüssig-Gleichgewichte zwischen 120 und 300 K und einem Druck bis zu 35 bar experimentell bestimmen zu können. Dabei können bei einer gegebenen Temperatur sowohl der Dampfdruck als auch die Zusammensetzungen der beteiligten Phasen gemessen werden.

Der Beitrag stellt den Versuchsaufbau und die Ergebnisse erster Validierungsmessungen mit dem binären Gemisch R170/R23 vor, das unterhalb von 187 K eine Flüssig-Flüssig-Entmischung aufweist.

CO₂-Kreislauf zur Anwendung in der Tiefkälte

Robin Langebach^{1,*}, Andreas Jäger², Tom Oldach¹, Cornelia Breitkopf², Ullrich Hesse¹

¹ Technische Universität Dresden,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik
Robin.Langebach@tu-dresden.de, Ullrich.Hesse@tu-dresden.de

² Technische Universität Dresden, Professur für Technische Thermodynamik
Andreas.Jaeger@tu-dresden.de, Cornelia.Breitkopf@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Die neu in Kraft getretene EU-F-Gase-Verordnung schränkt den Einsatz von fluorierten Kältemitteln schrittweise ein und soll besonders Treibhauseffekt fördernde Kältemittel aus dem Markt drängen. Für den Temperaturbereich unter -50 °C ist jedoch eine Ausnahmeregelung vorgesehen. Diese ermöglicht es, vorerst noch verbotsfrei in diesem Temperaturbereich bzw. darunter zu agieren.

Auf der Suche nach alternativen Kälteerzeugungsmethoden unter Verwendung nicht brennbarer Kältemittel rückt auch CO₂ einmal mehr in den Fokus. Das vorliegende Paper stellt eine alternative Kreislaufführung mit CO₂ vor, die auch den Temperaturbereich unter -50 °C teilweise nutzbar macht. Es werden Berechnungsergebnisse und erste Vorversuche gezeigt.

Stichwörter:

CO₂, Kohlendioxid, Kreislauf, Tiefkälte

CryoMaK, the cryogenic test facility

Jan Sas^{*}, Nadezda Bagrets, Elisabeth Urbach, Klaus-Peter Weiss

Institute for Technical Physics, KIT
76344 Eggenstein Leopoldshafen, Hermann von Helmholtz Platz 1, Germany

* Korrespondenzautor

Within the growing field of cryogenic application, the demand on cryogenic material characterization increases, too. The **Cryogenic Material Test Facility Karlsruhe CryoMaK** is able to cover a variety of tests. The facility has a long standing tradition in cryogenic testing lasting back over 20 years within the Institute of Technical Physics at the Karlsruhe Institute of Technology KIT. Mainly focused on mechanical testing also thermal conductivity and expansion measurements are performed. To examine superconducting performance under applied tensile load in magnetic field additional test rigs are used.

Within this publication the abilities at the CryoMaK facility are summarized, highlighting its recent development in test procedures.

Conceptual design and thermal analysis of a modular cryostat for one single coil of a 10 MW offshore superconducting wind turbine

Jiuce Sun^{1,*}, Sanz Santiago², Holger Neumann¹

¹ Institute for Technical Physics (ITEP), 76344, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany
E-mail: holger.neumann@kit.edu

² TECNALIA, Parque Tecnológico de Bizkaia, C/Geldo, Edif. 700, 48160 Derio, Spain

* Korrespondenzautor

Superconducting generators show the potential to reduce the head mass of large offshore wind turbines. A 10 MW offshore superconducting wind turbine has been investigated in the SUPRA-POWER project. The superconducting coils based on MgB₂ tapes are supposed to work at cryogenic temperature of 20 K. In this paper, a novel modular rotating cryostat was presented for one single coil of the superconducting wind turbine. The modular concept and cryogen-free cooling method were proposed to fulfil the requirements of handling, maintenance, reliability of long term and offshore operations. Two stage Gifford-McMahon cryocoolers were used to provide cooling source. Supporting rods made of titanium alloy were selected as support structures of the cryostat in aim of reducing the heat load. The thermal performance in the modular cryostat was carefully investigated. The heat load applied to the cryocooler second stage was 2.17 W@20 K per coil. The corresponding temperature difference along the superconducting coil was only around 1 K.

KAIT (Kryostress – Anpassungsmechanismen der Zelle an Tiefsttemperaturen)

Ein Verbundprojekt zur Analyse von Kryostress in Bakterien, Pilzen, Pflanzen und tierischen Zellen

**F. Bajerski^{1,*}, S. Eberth¹, E. Heine-Dobbernack¹, T. Darienko³, M. Lorenz³,
J. Stock², B. Hanf⁴, O. Kniemeyer⁴, H.-P. Mock², T. Friedl³, J. Keller², R. MacLeod¹,
M. Schumacher¹, H.G. Drexler¹, J. Overmann¹**

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

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

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

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

* Korrespondenzautor

Biobanken und Kryokonservierung gewinnen zunehmend an Bedeutung in den Lebenswissenschaften, insbesondere für medizinische und biotechnologische Anwendungen. Die DSMZ ist eines der größten Bioressourcenzentren weltweit. Die Sammlung umfasst derzeit über 50.000 Kulturen, einschließlich über 28.000 verschiedene Bakterien und Pilz-Stämme, 700 menschliche und tierische Zelllinien, 800 Pflanzenzelllinien, 1.000 Pflanzen-Viren und Antisera und 10.000 verschiedene Typen

genomischer DNA. Abhängig vom Organismus oder Zelltyp werden unterschiedliche Techniken und Protokolle zur Kryokonservierung angewendet, wobei die durch das Einfrieren und Auftauen in der Zelle verursachten Prozesse und Schädigungen noch wenig verstanden sind. Im KALT-Projekt, gefördert durch die Leibniz Gemeinschaft, untersuchen 5 Projektgruppen die zellulären Anpassungen verschiedener Organismen an Kälte- und Kryostress und versuchen neue innovative Konzepte in der Kryokonservierung und Kryotherapie zu entwickeln. Viele Mikroorganismen können standardmäßig gefriergetrocknet oder mit Gefrierschutzmittel kryokonserviert werden. Aber auch hier sind die genauen Prozesse nicht verstanden und einige Organismen oder komplexere mikrobielle Systeme lassen sich schwierig oder gar nicht einfrieren. Um Aufschluss über das Einfrierverhalten verschiedener Bakterien zu erhalten werden mesophile bzw. kältetolerante Vertreter der Gattungen *Planococcus* und *Psychrobacter* mit deren psychrophilen Verwandten verglichen. Experimente zum Metabolismus, Wachstumsverhalten und zelluläre Veränderungen geben einen ersten Einblick in das Einfrierverhalten der Organismen. Maximale Veränderungen werden anschließend mit den sogenannten „Omics“-Methoden (Proteomics, Genomics, Transcriptomics) näher analysiert, um die Prozesse während der Kryokonservierung letztendlich besser zu verstehen.

I.11

Kryogene Prozessierung von Kollagen-Scaffolds

Johannes Heidingsfelder, René Kretschmer, Holger Reinsch*

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
holger.reinsch@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

Gefriertrocknung ist aus kommerzieller Sicht die Standardtechnologie zur Herstellung von 3–dimensionalen (3D) Kollagenschwämmen für medizinische, pharmazeutische und kosmetische Anwendungen sowie für zellbasierte Forschung und Diagnostik. Kollagenschwämme haben bereits eine große Bedeutung für die Wundversorgung und als Gewebersatz im Bereich der regenerativen Medizin. Neuartige Anwendungsbereiche für 3–D kollagenbasierte Trägermaterialien sind die gezielte Medikamentenfreisetzung, humane Gewebemodelle für die medizinische Forschung und für pharmazeutische Tests sowie zellbasierte *in vitro*-Tests für den Ersatz von Tierversuchen. Diese anspruchsvollen Anwendungsfelder stellen spezifische Anforderungen an die verwendeten Zellträgermaterialien. Sie erfordern den Einsatz maßgeschneiderter Trägermaterialien, die sich mit konventionellen Gefriertrocknungsverfahren nicht erzeugen lassen.

Vom ILK Dresden wurde dazu eine Technologie "Modelgestütztes Ice Templating (MBIT)" zur Herstellung 3D Biopolymer-Scaffolds entwickelt und patentiert. Es ist ein kombiniertes Einfrier- und Gefriertrocknungsverfahren, mit dem sich Biomaterialsuspensionen und -lösungen in hochporöse Scaffolds überführen lassen. Durch den Einsatz statistischer Modelle lassen sich mit geringem technischem Aufwand 3D Materialstrukturen mit definierten Struktureigenschaften erzeugen (Mikro- und Makroporosität, Form und Ausrichtung der Poren) und damit gezielt an Einsatzzweck und kultiviertem Zelltyp anpassen. Für Anwendungen der gesteuerten Geweberegeneration oder zur Erzeugung mehrschichtiger Gewebemodelle (z. B. Vollhaut-Assays) können ohne zusätzliche Arbeitsschritte Sperrschichten erzeugt werden, welche das Scaffold in separate Materialschichten mit verschiedener Porengröße teilen.

Archivierung von Mausmutanten

Michael Ramin, Vera Gramm, Johannes Schenkel*

Kryokonservierung W430, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ) Heidelberg

* Korrespondenzautor

Mutante Tiere, vor allem Mäuse, sind äußerst wertvolle und einmalige Tierlinien, die man nur mit großem Aufwand generieren und charakterisieren kann. Kleine Populationen, eine permanente Verlustgefahr, häufig schlechtes Zuchtverhalten sowie die nötige Züchterhaltung der Linien sind dauernde Herausforderungen. Mit der Kryokonservierung von Präimplantationsembryonen oder Spermatozoen ist eine Sicherung dieser Linien bei Lagerung im flüssigen Stickstoff möglich, jedoch sind Kryokonservierung und Lagerung auch aufwändig. Dabei werden zwei Zwecke verfolgt, häufig in Kombination: Die kurzzeitige Lagerung, vor allem um Engpässe in der Versuchstierhaltung zu überbrücken sowie eine langfristige Archivierung, die auch noch nach Jahren eine zuverlässige Reaktivierung der betroffenen Linie erlaubt.

Innerhalb von 20 Jahren haben wir 250.000 mutante Embryonen kryokonserviert und deren Revitalisierbarkeit eingehend untersucht. Grundvoraussetzung ist hierbei eine exakte Dokumentation mit der eindeutigen Beschreibung der Mutation sowie eine effiziente Qualitätskontrolle des eingefrorenen Materials. Wenn die Lagerungsbedingungen stabil sind, ist eine sehr hohe Revitalisierungsrate zu erreichen, allerdings wird diese bereits durch leichte Schwankungen, z. B. durch Transporte, deutlich reduziert. Bedeutend ist zudem die mikrobiologische Qualität der Proben, Kontaminationen können hier fatale Folgen haben. In den Proben selbst und den zur Aufarbeitung verwendeten Medien etc. konnten wir niemals mikrobiologische Kontaminationen nachweisen, allerdings finden sich Umweltkeime in den Lagerbehältern und gelegentliche Infektionen nach einem Embryotransfer. Somit kommt eine große Bedeutung auf die Dichtigkeit der Verschlüsse der Probenröhrchen zu.

Neben einer hohen Revitalisierungsrate beobachten wir keine erhöhte Apoptoserate revitalisierter Embryonen. Allerdings gibt es deutliche Einflüsse bei Geschlechterverteilung der nach einem Embryotransfer erhaltenen Jungtiere.

Cryobanken XXL

Wirtschaftlichkeit von großen Cryobanken als Voraussetzung für eine Automatisierung

Wolfgang Flohr

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

Die Kryokonservierung ist ein mittlerweile sehr verbreitetes und unverzichtbares Verfahren, das schon in vielen Labors und Bereichen der Medizin zur Anwendung kommt.

Zu nennen wären hier zum Beispiel die In vitro-Fertilisation (IVF), die Kryokonservierung von Nabelschnurblut, die Entwicklung und Herstellung von Pharmazeutika.

Wenn wir uns diese sehr weit verbreiteten Anwendungen anschauen, dann handelt es sich entweder um „überschaubare“ Mengen von zu lagernden Proben oder um hohe Zugriffsraten auf die Proben.

Je größer die zu lagernde Menge von Proben und der beabsichtigte Lagerzeitraum ist, desto wichtiger wird der Aspekt der Wirtschaftlichkeit pro Proben-Lagerplatz.

Auch der einmalige Aufwand für eine Automatisierung einer einzigen wirtschaftlichen, großen Anlage ist sicherlich einfacher zu rechtfertigen, als eine vielfache Automatisierung vieler kleiner Anlagen.

Insofern ist die wirtschaftliche und effektive Auslegung einer Anlage zwingende Voraussetzung für eine nachfolgende Automatisierung.

Letztendlich muss für jeden Einzelfall unter Berücksichtigung der Aspekte wie zum Beispiel

- Gesamtanzahl der zu lagernden Proben
- beabsichtigte Lagerungszeit
- Zugriffsrate
- räumliche und bauliche Gegebenheiten
- Automatisierungsgrad

die geeignetste Lösung herausgearbeitet werden.

Aufgezeigt werden hier einige konkrete Realisierungen unter Betrachtung der vorgegebenen Rahmenbedingungen.

Stichwörter:

Cryobanken, Kryokonservierung, Cryobehälter

I.14

Cryobiologie and Tussue Banking

B. Glasmacher

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

I.15

Kühlung von Hochtemperatursupraleitern unterhalb von 60 K mittels einer zweistufigen Gemischkältekaskade

T.M. Kochenburger^{1,*}, S. Grohmann^{1,2}

¹ Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Engler-Bunte-Ring 21, 76131 Karlsruhe
kochenburger@kit.edu

² Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

* Korrespondenzautor

Hochtemperatursupraleiter ermöglichen den effizienten Transport elektrischer Energie in urbanen und industriellen Netzen. Dabei ist die Verfügbarkeit von einfachen, zuverlässigen und gleichzeitig effizienten Kühlmethoden Voraussetzung für die Anwendung dieser Technologie. Bei Betriebstemperaturen von 65 – 80 K wird die Kühlung derzeit meist durch Flüssigstickstoff, großskalige Turbo-Brayton-Anlagen oder Batterien regenerativer Kleinkühler realisiert; jedoch ist keine dieser Optionen für Anwendungen im Bereich von einigen kW an erforderlicher Kälteleistung geeignet. Zudem ist eine weitere Erniedrigung der Kühltemperatur unter 60 K wünschenswert, um die Stromdichte in den Supraleitern weiter erhöhen zu können.

Zweistufige Gemischkältekaskaden bieten das Potential zu einer zuverlässigen und leicht skalierbaren Alternative für die Kälteerzeugung in diesem Temperaturbereich. Die erste Stufe des betrachteten Prozesses besteht aus einem klassischen Gemischkältekreislauf zur Vorkühlung auf 120 K. Die zweite Stufe operiert im Tieftemperaturbereich bis 55 K mit einer Mischung aus Stickstoff, Sauerstoff und Neon bei hohen Drücken.

In diesem Beitrag wird anhand experimenteller Daten die Leistung von brennbaren und unbrennbaren Gemischen in der Vorkühlstufe verglichen. Die Anwendbarkeit verschiedener Zustandsgleichungen zur Modellierung des Phasenverhaltens der Gemische wird diskutiert.

Einsatz eines ringförmigen, passiv stabilen, supraleitenden Magnetlagers im Ringspinnprozess

**Anne Berger^{1,*}, Maria Sparing¹, Stefan Hameister¹, Franziska Wall¹,
Dietmar Berger¹, Günter Fuchs¹, Ludwig Schultz¹,
Mahmud Hossain², Anwar Abdkader², Miriam Härtel², Chokri Cherif²**

¹ IFW Dresden, Institute for Metallic Materials, P.O. Box 270116, D-01171 Dresden, Germany
a.berger@ifw-dresden.de, l.schultz@ifw-dresden.de

² Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology,
Technical University of Dresden, Dresden, Germany

* Korrespondenzautorin

Der am weitesten verbreitete Prozess zum Spinnen von Garn ist der Ringspinnprozess. Hierbei wird eine lose Faserverbindung (Lunte) zuerst in einem Rollensystem gestreckt, dann durch das sogenannte Spinnring-Ringläufer-System verdrillt und schließlich auf einer Spindel (Kops) aufgewickelt. Der Spinnring ist eine kreisförmige Führung, die um die Spindel angebracht ist. Auf dieser rotiert der Ringläufer als Fadenführer. Durch die Rotation der Spindel wird der Faden angetrieben und es entsteht eine ballonförmige Bewegung des Garnes die zur Verdrillung führt. Die Produktivität des Prozesses ist durch die systematische Reibungshitze zwischen Faden, Spinnring und Ringläufer begrenzt. Diese führt bei hohen Drehzahlen zu Fadenbruch und begrenzt die maximale Spindel-drehzahl je nach Fasertyp auf maximal 25.000 U/min.

Zur Erhöhung der Drehzahl und damit der Produktivität des Prozesses wird das herkömmliche Spinnring-Ringläufer-System durch ein supraleitendes Magnetlager (SMB) ersetzt. Hier schwebt ein Permanentmagnet passiv stabil über dem mit LN₂ gekühlten keramischen Hochtemperatursupraleiter YBa₂Cu₃O_{7-x} (YBCO). Der Permanentmagnet rotiert angetrieben vom Garn und sorgt so für die notwendige ballonförmige Garnbewegung zur Drallerzeugung. Ein solches Lager konnte erfolgreich in einer Ringspinnmaschine getestet werden. Erste Ergebnisse zeigen eine vergleichbare Garnqualität.

Für die Integration des SMB in eine Ringspinnmaschine wurde ein LN₂-Durchflussskryostat entwickelt. Im Vortrag werden das kryogene Kühlsystem sowie Lagereigenschaften hinsichtlich Steifigkeit, Tragkraft und Dämpfung vorgestellt.

Anmerkung:

Diese Arbeit wurde vom DFG gefördert (Projekt Nr. CH 174/33-1)

MgB₂-Solenoid als supraleitender Energiespeicher (SMES)

T. Schneider*, M. Kläser

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

* Korrespondenzautor

HTS Magnet für Radio-Blackout-Experiment „COMBIT“

S.I. Schlachter^{1,*}, J. Brand¹, H. Fillinger¹, W. Goldacker¹, A. Kling¹, A. Kudymow¹, B. Ringsdorf¹, U. Walschburger¹, J. Willms¹, H. Wu¹, A. Gülhan², L. Steffens², Y.A. Kurakin³, S.A. Poniaev³

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Physik, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland
sonja.schlachter@kit.edu

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Linder Höhe, 51147 Köln, Deutschland

³ Ioffe Physical Technical Institute, Russian Academy of Sciences
26 Politechnicheskaya, St. Petersburg 194021, Russland

* Korrespondenzautor

Im Rahmen der Helmholtz-Russia Joint Research Group (HRJRG) „COMBIT“ wurde ein leitungsgekühlter Hochtemperatursupraleiter (HTS) Magnet entwickelt, der ein hohes Magnetfeld für ein Experiment zur Abschwächung des sogenannten Radio-Blackouts erzeugen kann. Das Phänomen des Radio Blackouts ist seit den Anfängen der Raumfahrt bekannt. Bei Flügen mit Überschallgeschwindigkeit oder während des Eintritts in die Atmosphäre eines Planeten kann es an der Oberfläche eines Flugkörpers zur Bildung einer Plasmaschicht kommen, die Radiowellen abschwächt oder reflektiert, so dass die Kommunikation mit Bodenstationen oder Satelliten unterbrochen wird. Davon betroffen sind unter anderem die Sprachkommunikation sowie die Ortsbestimmung mittels GPS.

Die HRJRG „COMBIT“ hatte sich zum Ziel gesetzt, in einem Bodenexperiment zu demonstrieren, dass der Radio Blackout mithilfe von magneto-hydrodynamischen Effekten abgeschwächt werden kann, indem die Plasmadichte in der Nähe von Sendern bzw. Antennen durch gekreuzte elektrische und magnetische Felder lokal reduziert wird. Zur Erzeugung des hohen Magnetfelds im Plasma wurde ein leitungsgekühlter HTS Magnet mit einem kryogenen System entwickelt, das in der Lage ist, den vom Plasma erzeugten hohen Temperaturen zu widerstehen. Der HTS-Magnet wurde aus RE-Ba-Cu-O Bandleitern gewickelt und hat einen Außendurchmesser von nur 70 mm. Trotz der durch die experimentellen Randbedingungen bedingten geringen Größe ist der Magnet in der Lage, ein hohes und veränderbares Magnetfeld im Plasma zu erzeugen. In mehreren Messkampagnen wurden Magnetfelder von bis zu 2 T im Plasma erreicht, die einem maximalen Feld von 5.16 T am Leiter entsprechen. Die Abschwächung des Radio-Blackouts konnte erfolgreich demonstriert werden.

Stichwörter:

Hochtemperatursupraleiter, Magnet, Kryokühler, Radio-Blackout

Einsatz von TVO-Sensoren zur Füllstandsüberwachung im durchmischten Flüssigheliumbehälter

T. Richter*, M. Hollik, R. Lietzow

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

* Korrespondenzautor

Für die Abnahmetests von 26 Stromzuführungen für den Fusionstestreaktor JT-60 SA in Japan wurde im Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine vielseitige und flexible Stromzuführungstestanlage

CuLTKa (Current Lead Test Facility Karlsruhe) aufgebaut. Die Anlage besteht aus insgesamt fünf Kryostaten und ist mit einer Kälteanlage verbunden.

Einer der Kryostate dient zur Temperatureinstellung für das Experiment und umfasst dafür einen 400 l Flüssigheliumunterkühler. In diesem befindet sich eine Rohrwendel durch welche der Heliumvorlauf zu den Testobjekten mit etwa 4 bar und 6 K auf Badtemperatur abgekühlt wird. Während des normalen Betriebs findet in diesen Behälter eine kontinuierliche Verflüssigung statt. Der Füllstand wird mittels einer supraleitenden Füllstandssonde gemessen und durch einen Heizer über eine entsprechende Heizlast geregelt. Diese Vorgänge führen zu einer ständigen Durchmischung und damit homogenen Temperaturverteilung im gesamten Behälter. Zur Absicherung einer Störung der Füllstandssonde oder des Heizers wurden ein unterer (Behälter leer) und ein oberer (Behälter überfüllt) Abschaltpunkt vorgesehen. Dafür finden TVO-Sensoren Verwendung. Diese wirken sozusagen als Endschalter für den Automatikbetrieb des Heliumunterkühlers.

Das vorliegende Papier stellt die aufgetretenen Hürden dieses Ansatzes und die daraus gefolgten Modifikationen dar und zeigt wie ein Einsatz von TVO-Sensoren in einer solchen Umgebung und zu dem genannten Zweck möglich gemacht wurde. Dabei werden ganzheitlich sowohl die mechanischen als auch messtechnischen Aspekte beschrieben.

I.20

Entwicklung eines Durchflusssensors für kryogene Anwendungen

**Andreas Janzen^{1,*}, Michael Börsch², Birgit Burger³, Andreas Ebersoldt³, Pascal Erni²,
Ralph Lietzow⁴, Daniel Oertig², Heinz Schön⁴, Michael Stamm⁴, Steffen Grohmann^{1,4}**

¹ Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK),
Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe
andreas.janzen@kit.edu

² WEKA AG, 8344 Bäretswil, Schweiz

³ Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE),
Karlsruher Institut für Technologie, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

⁴ Institut für Technische Physik (ITEP), Karlsruher Institut für Technologie,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

* Korrespondenzautor

Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurde ein neues thermisches Durchflussmessverfahren entwickelt und patentiert. Das Messprinzip basiert auf zwei unabhängigen und physikalisch exakten Gleichungen, die beschreiben, wie sich der Massenstrom aus den Messgrößen Temperatur und Heizleistung eines Wärmeübertragers berechnen lässt. Zur Bestimmung des tatsächlichen Massenstroms wird die Streuung der Ergebnisse beider Gleichungen minimiert. Dies ermöglicht die Eigenkalibrierung des Systems, wobei gleichzeitig alle systematischen Messfehler eliminiert werden. Die resultierende Messunsicherheit, die dann nur noch von statistischen Messfehlern abhängt, liegt typischerweise unter 1 % in Bezug auf den aktuellen Messwert.

Im Rahmen eines Technologietransferprojekts entwickelt das KIT zusammen mit der WEKA AG, Schweiz, eine kommerzielle Version des Durchflusssensors für kryogene Anwendungen. Dieser ist für einen Helium-Massenstrom von 0,2 bis 12 g/s bei Arbeitstemperaturen von 300 K bis 4 K und Drücken bis 5 MPa konzipiert. Durch die räumliche Trennung zwischen Sensor und Elektronik und die kompakte Bauform ist eine Installation des Messsystems in nahezu allen Helium-Kryostaten und Transferleitungen möglich.

Diese Arbeit gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Entwicklung des kryogenen Messsystems. Zudem werden experimentelle Ergebnisse vorgestellt, die im Rahmen der kryogenen Erprobung eines Prototypensensors mit überkritischem Helium gemessen wurden. Die Messungen wurden im Kontrollkryostaten der 2 kW-Kälteanlage des TOSKA-Versuchsstandes durchgeführt. Als Referenz für die Durchflussmessung diente ein in Reihe angeordnetes Venturirohr.

Temperature and strain discrimination of a dual coated superimposed Fiber Bragg Gratings at cryogenic temperatures

Rajinikumar Ramalingam

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

In this work the thermal and strain performance of a dual coated superimposed FBG sensor has been presented. A superimposed gratings with two different wavelengths of 1550 nm and 850 nm has been inscribed at a same location to sense the wavelength shift due to both temperature and strain perturbations. A matrix method is employed to the mixed output sensor signals to discriminate the effects due to strain and temperature. In this paper, the sensor design procedure and the coating thickness determination have been studied in detail. Initial experiments, which demonstrate the sensor operating characteristics at cryogenic temperature has been reported.

Keywords:

Dual coatings , FBG sensors, Cryogenic temperature, parameter discrimination

Einsatz von Schwefelhexafluorid als Arbeitsmedium im Organic Rankine Cycle zur Abwärmenutzung auf Niedertemperaturniveau

Anne Vogl^{1,*}, Andre Hofmann², Markus Preißinger¹,
Dieter Brüggemann¹, Kurt Aulenbacher², Jürgen Dietrich²

¹ Universität Bayreuth, Zentrum für Energietechnik,
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse
Universitätsstraße, 95447 Bayreuth, Deutschland
zet@uni-bayreuth.de

² Helmholtz-Institut Mainz, Johann-Joachim-Becher-Weg, 55128 Mainz, Deutschland
hofmanna@kph.uni-mainz.de, Aulenbac@kph.uni-mainz.de
juergen.dietrich@uni-dortmund.de

* Korrespondenzautorin

Am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI) wird mit der Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) eine neue Beschleunigeranlage entstehen. Teil dieser Anlage ist ein Elektronenkühler, dessen auf verschiedenen HV-Potentialen liegende Komponenten mit Turbogeneratoren versorgt werden. Die Turbogenerator-Einheit soll mittels eines Organic Rankine Cycles (ORC) angetrieben werden. Dafür steht eine Abwärmequelle auf Niedertemperaturniveau (70 - 90 °C) mit einer thermischen Leistung von 7 MW zur Verfügung. Die Turbogenerator-Einheit befindet sich aufgrund der elektrischen Isolation in SF₆-Atmosphäre, weshalb das Arbeitsmedium im ORC ebenfalls SF₆ sein soll. Zu diesem Zweck führt die Universität Bayreuth in Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Mainz eine Machbarkeitsstudie durch.

Die Machbarkeitsstudie betrachtet verschiedene Antriebsvarianten der Turbogenerator-Einheit und vergleicht Schwefelhexafluorid mit konventionellen Arbeitsfluiden. Im Zuge dessen wird auch der Einsatz von CO₂ als mögliches Arbeitsmedium näher betrachtet. Durch Sensitivitätsanalysen einflussreicher Betriebsparameter werden die verschiedenen Antriebsvarianten charakterisiert. Die Festlegung des favorisierten Anlagenschemas erfolgt unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse und der jährlichen Betriebskosten. Es zeigt sich, dass ein Organic Rankine Cycle mit Schwefelhexafluorid als Arbeitsmedium für den Antrieb der Turbogenerator-Einheit durchaus geeignet ist. Eine Steigerung des thermischen Wirkungsgrades im Vergleich zu Schwefelhexafluorid durch Verwendung von CO₂ kann in diesem Anwendungsfall nicht erreicht werden.

Stichwörter:

Organic Rankine Cycle, Schwefelhexafluorid, Elektronenkühler, Abwärmenutzung

II.1.02

Prozessdampf- und Kälteerzeugung mit Solarkollektoren, Dampfstrahlkältemaschine und latenten Wärmespeichern - Ergebnisse

Tunay Özcan*, Michael Kauffeld

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Moltkestr.30,76133 Karlsruhe, Deutschland
tunay.oezcan@hs-karlsruhe.de, michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Die Ziele des hier vorgestellten Projekts sind die Errichtung und der Demonstrationbetrieb einer Pilotanlage zur solarthermischen Prozessdampf- und Kaltwassererzeugung. Hierfür wurden ein Solar Kollektorfeld auf Basis von Vakuumröhrenkollektoren, mit einer thermischen Leistung von 200 kW_{th} und eine Dampfstrahlkältemaschine, mit einer Kälteleistung von 80 kW_{th}, bei einer Kaltwassertemperatur von 12 °C, miteinander kombiniert. Diese wurde als Demonstrationsanlage an der Hochschule Karlsruhe errichtet und anschließend in Betrieb genommen. Zur Sicherstellung der Dampfversorgung, bzw. Kaltwasserversorgung, ist ein latenter Wärmespeicher, mit einem Schmelzpunkt von 130 °C, welcher Polyethylen als Speicher material verwendet und ein latenter Kältespeicher, mit einer Paraffin-Wasser Emulsion, welche bei ca. 12 °C ihren Schmelzpunkt hat, eingesetzt.

Es handelt sich hierbei um eine solarbetriebene, ökologisch und ökonomisch arbeitende Dampfstrahlkältemaschine zur ganzjährigen Klimatisierung eines Gebäudes der Hochschule Karlsruhe. Diese wurde in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, GEA Wiegand GmbH und der Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, entwickelt. Im Rahmen des Vortrags werden die Betriebserfahrungen des ersten Jahres vorgestellt.

Stichwörter:

Vakuumröhrenkollektoren, Dampfstrahlkälteanlage, latente Wärme, solare Kühlung

II.1.03

Optimierung einer thermischen Lösungsmittelpumpe für Ammoniak/Wasser-Absorptionswärmepumpensysteme kleiner Leistung

**Gerald Zotter^{1,*}, Alexander Arnitz¹, René Rieberer¹,
Christian Halmdienst², Werner Pink², Andreas Höger³**

¹ TU Graz, Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Österreich
gerald.zotter@tugraz.at

² Pink GmbH, Bahnhofstrasse 22, 8665, Langenwang, Österreich

³ E-Sorp GmbH, Sportplatzweg 18, 6336 Langkampfen, Österreich

* Korrespondenzautor

Ammoniak/Wasser-Absorptionswärmepumpen (AWP) kleiner Leistung besitzen ein großes wirtschaftliches und ökologisches Potenzial sowohl für Kühl- als auch für Heizanwendungen. Herzstück jeder AWP ist die - i.d.R. - elektrisch angetriebene Lösungsmittelpumpe. Die derzeit für Anlagen kleiner Leistung (< 20 kW) eingesetzten Pumpen sind relativ komplex aufgebaut und teuer.

Um diese Situation zu verbessern wurde ein neuer Ansatz für die Lösungsmittelpumpe entwickelt, welcher den elektrischen Antrieb durch einen „thermischen Antrieb“ ersetzt. Bei diesem neuen Konzept, der s.g. ThermoPump, wird ein Teil des Kältemitteldampfs im Generator entnommen, um die reiche Lösung in der Pumpe auf Hochdruckniveau zu bringen und weiter zu fördern. Neu ist dabei, dass die ThermoPump relativ einfach in jede AWP unabhängig von deren Aufbau integriert werden kann. Dies verspricht gegenüber der elektrischen Lösungsmittelpumpe folgende Vorteile:

- einen geringeren elektrischen Energiebedarf
- eine hermetische Ausführung und somit keine Dichtheitsprobleme
- eine einfache Konstruktion und Wartungsfreiheit
- eine kostengünstige Herstellung.

Basierend auf detaillierte Simulationen wurde ein Funktionsmuster der Pumpe ausgelegt, konstruiert und gebaut. Dieses wurde dann in einer am Markt erhältlichen AWP, dem PinkChiller PC 19, eingebaut und bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen vermessen. Die experimentelle Analyse zeigte, dass eine einwandfreie Funktion unabhängig von Betriebsbedingungen der AWP gewährleistet ist. Die Effizienz der AWP im Betrieb mit der ThermoPump ist im Vergleich zur elektr. Lösungsmittelpumpe um ca. 15 % geringer ist, dafür kann aber ausschließlich Wärme zum Antrieb genutzt werden.

Weitere Untersuchungen verdeutlichten Optimierungspotential hinsichtlich der AWP Effizienz, was im Zuge dieses Papers hinsichtlich Umsetzbarkeit diskutiert wird. Durch eine Weiterentwicklung kann die ThermoPump eine interessante Alternative zu den elektr. Lösungsmittelpumpen für AWP's kleiner Leistung darstellen.

Stichwörter:

Interner Antrieb, Membranpumpe, Experimentelle Untersuchung, Kavitation, Effizienzsteigerung

II.1.04

Untersuchung des Förderverhaltens einer Thermosiphonpumpe bei unterschiedlichen Beheizungsarten

B. Bierling*, F. Schmid, K. Spindler

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0049-711-685-63554, Fax: 0049-711-685-63503
E-Mail: bierling@itw.uni-stuttgart.de

* Korrespondenzautor

Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) wurde eine Diffusions-Absorptionskältemaschine (DAKM) im Leistungsbereich von ca. 400 Watt entwickelt. DAKMs benötigen keine mechanische Pumpe, da der Lösungsumlauf mittels einer Thermosiphonpumpe erfolgt, und arbeiten demzufolge geräuscharm und verschleißfrei. Zum Antrieb benötigt eine DAKM thermische Energie.

Im Rahmen der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Beheizungsart, also der Ort des Wärmeintrags, einen großen Einfluss auf die Kälteleistung der DAKM hat. Mit einem Laborprüfstand wird das Förderverhalten einer Thermosiphonpumpe bei einer punktuellen und einer flächigen Beheizung des Förderrohres untersucht. Der Prüfstand ist so aufgebaut, dass der Förderrohrdurchmesser, die Förderhöhe bei unterschiedlichen Förderrohrängen und die Temperatur der ins Förderrohr eintretenden Flüssigkeit variiert bzw. eingestellt werden können.

Zudem bietet der Laborprüfstand die Möglichkeit zur Untersuchung eines neuen Konzeptes für die Beheizung bzw. den Antrieb einer DAKM. Zur Beheizung kann ein Plattenwärmeübertrager mit nachgeschaltetem Förderrohr verwendet werden. Die Beheizung und die Förderung der Lösung sind somit voneinander entkoppelt, was eine kompaktere Bauweise sowie eine höhere Förderleistung einer DAKM ermöglichen soll. Somit können verschiedene Energiequellen, wie Nah- und Fernwärme sowie Solar- und Abwärme, als Antrieb einer zweiphasigen Thermosiphonpumpe genutzt werden.

Im Vortrag wird der Aufbau der Laboranlage detailliert vorgestellt. Das Förderverhalten der Thermo-siphonpumpe mit dem Arbeitsmedium Wasser wird für die drei verschiedenen Beheizungsarten bei unterschiedlichen Heizwärmeströmen analysiert. Zukünftige Entwicklungsschritte und weitergehende Untersuchungen werden erläutert.

II.1.05

Einfluss der Oberflächenstruktur auf den Wärmeübergang beim Sieden – ein Überblick

B.C.F. Müller*, A. Luke

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

* Korrespondenzautor

Der Wärmeübergang beim Sieden an glatten und strukturierten Rohren ist nicht nur in der Kältetechnik, sondern auch in der chemischen Verfahrenstechnik von zentraler Bedeutung. Aufgrund seiner Effizienz ist der Wärmeübergang beim Blasensieden besonders interessant, da hierbei hohe Wärmestromdichten mit kleinen treibenden Temperaturdifferenzen übertragen werden. Die Blasenbildung und –dynamik in einer großtechnischen Anlage ist extrem komplex und äußerst schwierig vorherzusagen. Dies gilt z. B. für überflutete Verdampfer, auch wenn diese mit etablierten empirischen Methoden zufriedenstellend ausgelegt werden können. Diese Methoden basieren auf vereinfachenden Modellen, die jedoch nur für einen sehr eingeschränkten Einsatzbereich gelten. Zur Steigerung der Effizienz von Verdampfern müssen jedoch die eigentlichen Mechanismen besser verstanden werden und die Modelle für andere, komplexe Anwendungen generalisiert werden. Dies gilt insbesondere für neue Apparate- und Anlagenkonzepte, um nicht genutzte Potentiale zur Wärmeintegration zu erschließen. Dazu gehört insbesondere der Einfluss der Oberflächenstruktur auf das beginnende Blasensieden, das mit herkömmlichen Methoden nicht beschrieben wird.

Zur Verbesserung der Modelle werden Experimente an einzelnen, horizontalen, elektrisch beheizten Versuchsrohren durchgeführt. Es wird ein Überblick aus jüngsten Untersuchungen zum Wärmeübergangskoeffizienten α an der Außenseite von Glattrohren und unterschiedliche strukturierten Rohren aus Baustahl, Kupfer und Edelstahl in siedendem Kohlenwasserstoffen und Kältemitteln vorgestellt und diskutiert. Die Messungen finden in einem weiten Bereich von Siededruck und- Temperatur statt. Dabei erstreckt sich die aufgeprägte Wärmestromdichte vom Bereich voll ausgebildeten Blasensiedens ($q = 100 \text{ kW/m}^2$) bis hin zum konvektiven Sieden ohne Blasenbildung ($q = 50 \text{ W/m}^2$). Die Ergebnisse mit Kohlenwasserstoffen werden mit denen mit herkömmlichen Kältemitteln verglichen und diskutiert und eine neuartige Korrelation vorgestellt. Die verschiedenen Oberflächen werden in einem „Oberflächenatlas“ präsentiert und auf repräsentative Rauheitswerte zurückgeführt.

Stichworte:

Verdampfung, Wärmeübergang, Blasensieden, Oberflächenstruktur

Experimentelle Untersuchungen an Hochleistungsverdampfern in einem R32-Kreislauf

Tobias Knipping^{1,*}, Michael Arnemann², Ullrich Hesse³, Timo Mueller¹

¹ Hochschule Karlsruhe, Institute of Materials and Processes (IMP),
76133 Karlsruhe, Deutschland
tobias.knipping@hs-karlsruhe.de, timo.mueller@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 Kompressorentchnik
01069 Dresden, Deutschland
ullrich.hesse@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

In technischen Anwendungen sind begrenzte Wärmeübertragungsflächen ein weitverbreitetes Problem. Das Teiledesign ist oftmals bestimmt durch die technische Funktionalität, so dass funktionale Flächen zur Wärmeübertragung nur sehr begrenzt sind. Auf der anderen Seite ist die Produktivität von z. B. Zerspanwerkzeugen direkt proportional zur thermischen Last, welche durch den Zerspanprozess generiert wird. Beide Parameter führen zu Wärmestromdichten von bis zu 10^7 Wm^{-2} .

Um dieser Herausforderung entgegenzutreten, wurde am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft eine neue Verdampferform, genannt Spot-Verdampfer, entwickelt. Spot-Verdampfer sind kleine zylindrische Objekte mit einem Außendurchmesser von 2–5 mm und einer innenliegenden Sacklochbohrung. Das Kältemittel (R32) wird über eine konzentrische Kapillare in den Verdampfer geleitet, an der Stirnseite der Bohrung um 180° umgelenkt und in teilweise oder vollständig verdampftem Zustand aus dem Verdampfer geleitet.

Die Arbeit fokussiert auf der Untersuchung dieser neuen Verdampfer. Ein erstes Modell zur Beschreibung des Verdampfungsverhaltens wird vorgestellt. Innerhalb des Modells werden bekannte Gleichungen zur Beschreibung des Wärmeübertragungsverhaltens, der Spray-Kühlung und des Rohrströmungsverhaltens miteinander kombiniert, um das Verhalten des Verdampfers zu beschreiben.

Um die Genauigkeit des Modells zu verifizieren werden verschiedene Experimente vorgestellt, die am Versuchsstand des IMP durchgeführt wurden. Die Arbeit diskutiert die Unterschiede zwischen Modell und Messergebnissen.

Es wird gezeigt, dass Spot-Verdampfer sehr gut geeignet sind, um hohen Wärmestromdichten in technischen Anwendungen zu begegnen.

Stichwörter:

R32, hohe Wärmestromdichten, Spot-Verdampfer

II.1.07

Analyse geometrischer Einflussfaktoren auf die Niederdruckverdampfung von Wasser an Lamellenwärmeübertragern

Rahel Volmer*, Lena Schnabel

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE),
Bereich Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, Sorptionstechnologie – Komponentenentwicklung
Heidenhofstrasse 2, 79110 Freiburg, Deutschland
rahel.volmer@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautorin

In der Entwicklung von Verdampfern/Kondensatoren für Adsorptionswärmepumpen bzw. -kältemaschinen stellen Lamellenwärmeübertrager eine vielseitige und kommerziell verfügbare Ausgangsgeometrie dar. Ihr einfacher geometrischer Aufbau ermöglicht eine gezielte Untersuchung der grundlegenden physikalischen Prozesse, die bei der Verdampfung und Kondensation des Kältemittels Wasser unter Niederdruckbedingungen auftreten.

Um ein besseres Verständnis der Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Geometriefaktoren, den eingestellten Prozessparametern und dem resultierenden Verdampfungs- und Kondensationsverhalten zu erlangen, wurden dynamische Verdampfungs- und Kondensationsmessungen an Lamellenwärmeübertragern mit variierten Geometrieparametern durchgeführt.

Vorangegangene dynamische Verdampfungsmessungen an einem Lamellenwärmeübertrager in teilgefluteter Betriebsweise deuten an, dass der thermische Widerstand der Lamellen bei der verwendeten Geometrie einen signifikanten, limitierenden Einfluss auf die Verdampfungscharakteristik hat. Abschätzungen mit einem einfachen Widerstandsmodell zeigen analoge Ergebnisse.

Ziel der vorliegenden Studie ist, anhand experimenteller Untersuchungen mit geometrisch variierten Lamellenwärmeübertragern den Wärmetransport im Wärmeübertrager während des Verdampfungs-/Kondensationsprozesses in seine einzelnen Komponenten aufzuschlüsseln und limitierende Faktoren zu identifizieren. Die Ergebnisse sollen darüber hinaus zur Validierung eines Widerstandsmodells verwendet werden, das thermische Widerstände, wie den Kontaktwiderstand zwischen Rohr und Lamelle und den durch die Lamellengeometrie gegebenen Widerstand, berücksichtigt.

Stichwörter:

Instationäre Verdampfung, Lamellenwärmeübertrager, Adsorptionskältemaschine, Niederdruck, Wasser

II.1.08

Einphasiger und zweiphasiger Wärmeübergang und Druckverlust von Propan in einem horizontalen Rohr

Severin Skusa*, Simon Fries, Andrea Luke

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

* Korrespondenzautor

Der Erdgasanteil am deutschen Primärenergiebedarf beträgt über 20 %. Mehr als 85 % des deutschen Erdgasbedarfes wird aus Importen gedeckt. Neben dem etablierten Transport des Erdgases durch Pipelines gewinnt der Transport von Erdgas über den Seeweg in Form von LNG (liquefied natural gas) zunehmend an Bedeutung. Zur Verflüssigung des Erdgases werden Kaskadenkälte-

anlagen eingesetzt, die einen sehr hohen Energiebedarf aufweisen. Das größte Verbesserungspotential dieser Anlagen liegt in den Wärmeübertragern mit Phasenwechsel. Daher werden die mehrphasige Strömung, der einphasige und zweiphasige Druckverlust sowie deren Einfluss auf den Wärmeübergang von Kohlenwasserstoffen in den verschiedenen Stufen der Kaskadenkältemaschine mit Hilfe eines neuartigen Versuchsaufbaus modellhaft analysiert.

Dazu wird in einem horizontalen Rohr der einphasige und zweiphasige Druckverlust, Phasenverteilung und der Wärmeübergang von Propan experimentell untersucht. Der Versuchstoff wird mit einer speziell für niedrigviskose Medien konstruierte Mehrphasenpumpe (MPP) gefördert. Der Druckaufbau sowie die Temperaturerhöhung über der MPP und der Druckverlust an den verschiedenen Apparaten der Versuchsanlage werden gemessen. Im Betrieb werden die Gas- und Flüssigkeitsmassenströme sowie der Druck der Versuchsanlage geregelt. Zunächst werden die Ergebnisse mit dem Reinstoff Propan im Sättigungszustand für verschiedene Siededrucke vorgestellt. Das eigentliche Versuchsrohr aus Baustahl mit $\frac{3}{4}$ " Durchmesser wird auf der Außenseite mit einem flüssigen Wärmeträger in weiten Temperaturbereichen temperiert. Der zweiphasige Druckverlust und der Wärmeübergang werden lokal an der Messstrecke in verschiedenen axialen Positionen hochaufgelöst gemessen. Der Dampfgehalt des Propans wird variiert. Die experimentell gewonnenen Daten werden mit Ergebnissen und empirischen Korrelationen aus der Literatur verglichen.

Stichworte:

Kondensation, Wärmeübergang, Druckverlust, Propan

II.1.09

Gas-Flüssig-Wärmeübertrager aus fluidführenden Gewebematten

Hannes Fugmann*, Ahmed Junaid Tahir, Björn Nienborg, Lena Schnabel

Fraunhofer ISE, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Germany
hannes.fugmann@ise.fraunhofer.de, Phone: +49 - 761 - 4588 5527

* Korrespondenzautor

Die Übertragungsleistung von Luft-Wasser-Wärmeübertragern ist oft limitiert durch einen geringen konvektiven Wärmeübergang auf der Luftseite. Üblicherweise wird dem durch eine Erhöhung der aktiven Wärmeübertragerfläche mittels Lamellen entgegengewirkt. Der Einsatz von metallischem Drahtgewebe zur Oberflächenvergrößerung bietet den Vorteil eines geringeren Materialeinsatzes, höherer Wärmeübergangskoeffizienten und einer größeren Kompaktheit als bei herkömmliche Lamellen. Wird anstelle eines Schussfadens im Drahtgewebe ein Rohr integriert, so ist ein anschließendes Zusammenführen der wasserführenden Struktur und der luftseitigen Oberflächenvergrößerung nicht notwendig. Eine senkrechte Luftströmung durch mehrere hintereinanderliegende fluidführende Gewebematten führt jedoch zu relativ hohen Druckverlusten. Für geringe Druckverluste wird im Rahmen des Projekts „SolaRück“⁺ eine Anordnung untersucht, die hohe Lufteintrittsgeschwindigkeiten in den Wärmeübertrager ermöglicht und durch eine Anordnung der Gewebematten in Mäanderform zu einer wesentlich reduzierteren Geschwindigkeit durch die Gewebematten führt. Die gefertigten Gewebematten bestehen aus Drähten mit einem Durchmesser von 0.1 mm und Rohren mit einem Außendurchmesser von 2 mm. Thermische- und fluiddynamische Simulationen, sowie experimentelle Untersuchungen des Druckverlusts und Wärmeübergangs durch eine Mäanderstruktur werden vorgestellt.

Stichwörter:

Gas-Flüssig-Wärmeübertrager, Drahtgewebe, Oberflächenvergrößerung, Strömungssimulation

⁺Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325994 A

II.1.10

Entwicklung und Erprobung einer luftgekühlten Wasser/LiBr Absorptionskältemaschine

Mathias Safarik^{1,*}, Susan Kirsten¹, Myrea Richter¹, Lutz Richter¹,
Christine Tillmann¹, Christian Kemmerzell²

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden, Deutschland
Telefon/Fax: +49 351 4081-700/705
Email: Mathias.safarik@ilkdresden.de, www.ilkdresden.de

² EAW Energieanlagenbau Westenfeld GmbH, Oberes Tor 106, 98630 Römhild, Deutschland

* Korrespondenzautor

Indirekt beheizte, d. h. mit Solar- oder Abwärme angetriebene Sorptionskältemaschinen sind bisher fast ausschließlich als wassergekühlte Anlagen verfügbar. Dies erfordert einen separaten Rückkühler und einen Kühlwasserkreislauf. Eine direkt luftgekühlte Anlage ermöglicht den Verzicht auf diese Komponenten und damit ein einfacheres, aus weniger Komponenten bestehendes Gesamtsystem. Zudem kann der elektrische Hilfsenergiebedarf reduziert werden.



Für eine direkt mit Luft gekühlte Wasser/LiBr-Absorptionskälteanlage bestehen besondere Anforderungen aufgrund der erforderlichen Außenaufstellung und der Nutzung des Kältemittels Wasser.

Auf Grundlage der erfolgreichen Erprobung kritischer Systemkomponenten (Safarik 2013) wurde ein Versuchsmuster einer Wasser/LiBr Absorptionskälteanlage mit luftgekühltem Absorber und Kondensator entwickelt, gebaut und erprobt. Die Kälteleistung der Anlage bei Auslegungsbedingungen beträgt 8 kW. Die Anlage wurde erfolgreich auf dem Prüfstand vermessen und die Funktionsfähigkeit nachgewiesen.

Im Beitrag werden Ergebnisse der Prüfstandsmessungen sowie weitere Betriebserfahrungen dargestellt.

Abbildung 1: Direkt mit Luft gekühlte Absorptionskälteanlage auf dem Prüfstand im ILK Dresden

Literatur:

Safarik 2013

M. Safarik, L. Richter, P. Albring: *Komponentenentwicklung und Test einer luftgekühlten Wasser/LiBr-Absorptionskältemaschine*. Deutsche Kälte- und Klimatechnik 2012, Hannover

II.1.11

Simulation und experimentelle Validierung des Betriebsverhaltens einer Absorptionskältemaschine

Michael Olbricht*, Andrea Luke

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

* Korrespondenzautor

Die beiden größten Hemmnisse für eine stärkere Marktdurchdringung von Absorptionskältemaschinen sind deren hohen Anschaffungskosten sowie die große Baugröße der Apparate, die durch die ungenauen Methoden zur Anlagenauslegung begründet sind. Als Beitrag für eine verbesserte Auslegung wird ein Modell zur Beschreibung des Betriebsverhaltens einer AKM mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/Lithiumbromid vorgestellt. In diesem werden die Prozesse in den Einzelapparaten abgebildet und im systemischen Zusammenhang miteinander gekoppelt. Hierdurch können gezielt die Wechselwirkungen zwischen den Apparaten untersucht und damit die unter den jeweiligen Randbedingungen den Prozess limitierende Komponente identifiziert werden.

Da in der Literatur häufig die Vorgänge beim Wärme- und Stofftransport im thermischen Verdichter der AKM als leistungsbegrenzenden Prozessschritte beschrieben werden, werden die Simulationsergebnisse unter Berücksichtigung gemessener sowie vorausberechneter Transportkoeffizienten für Absorber und Austreiber verglichen. Auf diese Weise wird der Einfluss von Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Transportkoeffizienten auf die Ergebnisse einer Systemsimulation dargestellt. Weiterhin wird die Anwendbarkeit der in der Literatur veröffentlichten, mit großen Unsicherheiten behafteten Korrelationen zur Berechnung der Transportkoeffizienten, überprüft. Eine Validierung des Simulationsmodells und der verwendeten Randbedingungen geschieht anhand von experimentell an einer selbst entwickelten AKM gewonnenen Betriebsdaten. Es werden die Möglichkeiten und Grenzen zum Einsatz des Modells diskutiert, sowie weitere Verbesserungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

Stichwörter:

Absorptionskältemaschine, Wärme- und Stofftransport, Prozesssimulation, Wasser/Lithiumbromid

II.1.12

Untersuchung der Kopplung von Absorptionskältemaschinen und CO₂ Dampfkompressionsanlagen zur effizienten Kältebereitstellung

Rupert Graf^{1,*}, Nicolas Fidorra², Andreas Schröder², José Luis Corrales Ciganda¹,
Felix Ziegler¹, Jürgen Köhler²

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik KT2,
FG Maschinen- und Energieanlagentechnik, Marchstraße 18, 10587 Berlin, Deutschland
rupert.graf@tu-berlin.de

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Thermodynamik
38106 Braunschweig, Deutschland
n.fidorra@tu-braunschweig.de

* Korrespondenzautor

Die Abwärme von Kompressionskälteanlagen (KKA) mit CO₂ als Kältemittel kann besonders im transkritischen Betrieb auf Temperaturniveaus anfallen, die sich für den Antrieb von Absorptionskälteanlagen (AKA) eignen. Um einen effizienten Betrieb der Absorptionskältemaschine mit hoher Kälte-

leistung zu ermöglichen, sind hohe Antriebstemperaturen wünschenswert, die einen erhöhten Hochdruck der transkritischen Kompressionskälteanlage erfordern können. Für die Gesamtleistungszahl der gekoppelten Anlagen ergibt sich daher ein Optimum in Abhängigkeit von dem Hochdruck des Kompressionskälteprozesses. Natürlich wird die Leistungszahl außerdem von dem Rückkühlniveau und den Temperaturniveaus der Kältebereitstellung der beiden Kälteanlagen beeinflusst. Diese Zusammenhänge sollen dargestellt werden.

Je nach Anwendung sind überdies verschiedene Verschaltungen der beiden Kälteprozesse denkbar. In dieser Veröffentlichung werden mögliche Verschaltungen anhand von drei Beispielszenarien - Rechenzentrum, Drucklufttrockner und Supermarkt - hinsichtlich energetischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte untersucht:

1. Kältebereitstellung auf demselben Temperaturniveau
2. Kältebereitstellung auf unterschiedliche Temperaturniveaus
3. Kältebereitstellung nur durch die KKA und prozessinterne Verwendung der AKA zur Effizienzsteigerung.

Stichwörter:

Absorption, CO₂, Abwärmenutzung, Transkritischer Prozess, Energieeffizienz

II.1.13

Untersuchung des Wärmeüberganges bei der Resorption/Kondensation ammoniakreichen Dampfes in einer Hybrid-Wärmepumpe

Benjamin Markmann

Leibniz Universität Hannover, Institut für Thermodynamik
Callinstraße 36, 30167 Hannover
Tel.: +49 (0)511 762 5659
www.ift.uni-hannover.de, markmann@ift.uni-hannover.de

Wärme auf hohem Temperaturniveau für industrielle Prozesse bereitzustellen, ist ein Beitrag zur Einsparung fossiler Energien, den Wärmepumpen leisten können. Denn die eingesetzte Energie ist in der Regel Prozesswärme, die auf niedrigem Temperaturniveau anfällt und ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird.

In einer Versuchsanlage, die auf einer Kombination aus Kompressions- und Absorptionskreislauf basiert, ermöglicht das Stoffpaar Ammoniak/Wasser als Arbeitsmedium hoch effizienten Betrieb in einem weiten Temperaturbereich. Durch den Temperaturgleit der Verdampfungstemperatur kann eine effiziente Wärmeübertragung im Resorber bzw. Entgaser erzielt werden. Resorber und Entgaser sind in diesem Prozess vergleichbar mit dem Kondensator und Verdampfer eines herkömmlichen Kompressions-Wärmepumpen-Prozesses. Zunächst wird ammoniakreicher Dampf mit einem Schraubenkompressor auf hohem Druck und somit höhere Temperatur verdichtet. Im Resorber wird anschließend in diesen Dampf eine Ammoniak/Wasser-Lösung eingespritzt. Bei gleichzeitiger Wärmeabnahme wird der Dampf absorbiert und kondensiert. Die hierbei erreichten Prozesstemperaturen liegen im Bereich von 90 °C bei Verdampfungsdrücken unterhalb von 20 bar. Dadurch können neben einem gängigen Schraubenverdichter auch Standard-Armaturen genutzt werden, um die Anlagenkosten niedrig zu halten.

Insbesondere für den Wärmeübergang im Plattenwärmeübertrager bei der kombinierten Absorption/Kondensation gilt es, geeignete Korrelationen zur Berechnung zu entwickeln. Hierzu werden an einer 25 kW Versuchsanlage am Institut für Thermodynamik der Leibniz Universität Hannover Versuche durchgeführt, mit denen ein bereits entwickeltes Simulationsmodell validiert wird.

II.1.14

Absorptionswärmewandler, das Konzept und erste Ergebnisse der experimentellen Untersuchung

Nikolai Kononenko*, Falk Cudok, Felix Ziegler

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, Marchstraße 18, 10587 Berlin
nikolai.kononenko@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojektes „Effizienz und Betriebssicherheit von Energiesystemen mit saisonaler Energiespeicherung in Aquiferen für Stadtquartiere: Energieanlagentechnik“ wird an der Technischen Universität Berlin ein Absorptionswärmewandler experimentell untersucht.

Unter einem Absorptionswärmewandler wird eine Anlage verstanden, die zwischen den drei Betriebsmöglichkeiten Absorptionswärmetransformator (Wärmepumpe 2. Art), -wärmepumpe und -kälteanlage je nach Nutzenanforderung umschalten kann. Die Anlage wird mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Lithiumbromid betrieben. Es können Wärmequellen mit Temperaturen zwischen 10 °C und 100 °C genutzt werden, um Nutzwärme von bis 140 °C bereitzustellen.

In diesem Artikel wird ein Überblick über die Umsetzung des Konzepts für einen Absorptionswärmewandler gegeben. Die Versuchsanlage und der Teststand sowie die Auslegung, die ersten experimentellen Ergebnisse und praktischen Erfahrungen werden vorgestellt.

Stichwörter:

Absorptionswärmewandler, Absorptionswärmepumpe, Absorptionskälteanlage, Absorptionswärmetransformator, Konzept, experimentelle Ergebnisse

II.1.15

Systemintegration von Absorptionskälte: Erste Betriebserfahrungen aus einem Feldtest für KWKK-Systeme

Wolfgang Lanser*, Jan Albers, Walther Hüls, Stefan Petersen

TU Berlin, Institut für Energietechnik, Sek. KT2, Marchstraße 18, 10587 Berlin
wolfgang.lanser@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Im Rahmen des Forschungsprojekts „EnEff:Wärme - Feldtest Absorptionskältetechnik für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssysteme“, kurz FAKS wurden im Jahr 2014 zehn neuentwickelte Absorptionskälteanlagen (AKA) in sechs Liegenschaften in Betrieb genommen. Für zwei Installationen werden die Konzepte detailliert vorgestellt, Erfahrungen aus den system- und prozesstechnischen Inbetriebnahmen berichtet und erste Messdaten aus dem Betrieb analysiert.

Seit August 2014 ist der erste Verbund aus zwei AKA mit einer Nennleistung von jeweils 160 kW (Typ: „Hummel“) in einem Berliner Krankenhaus im Feldtestbetrieb. Die Anlagen werden mit Abwärme aus drei BHKWs angetrieben und produzieren zusammen mit anderen Erzeugern Kälte für ein großflächiges Kaltwassernetz. Ehemalige BHKW-Notkühler wurden zur trockenen Rückkühlung des AKA-Verbundes umfunktioniert. Einen Monat später ging ein zweites Verbundsystem aus zwei AKA vom gleichen Typ in Betrieb. Als alleinige Kälteerzeuger kühlen sie den Neubau eines Geschäftshauses mit integriertem Supermarkt. Die Kälteverteilung erfolgt hier aus einem geschichteten Kaltwasserspeicher für RLT-Anlagen und Betonkernaktivierung, die Antriebsenergie stammt aus dem örtlichen

Fernwärmenetz und ein offener Verdunstungskühler führt die anfallende Abwärme an die Umgebung ab.

Beide Installationen bestehen aus jeweils zwei baugleichen Kälteanlagen, jedoch sind die Anforderungen an die liegenschaftsspezifische Systemintegration und Regelung stark unterschiedlich. Somit traten merkliche Unterschiede im prozess-technischen Verhalten der AKA auf. Zu beiden Systemen liegen umfangreiche Betriebsdaten vor, die im Beitrag in Bezug auf Anlagen- und Systemeffizienz und das Erreichen der Regelungsziele genauer analysiert werden.

Stichwörter:

Absorptionskälteanlage, Systemintegration, Betriebserfahrungen, KWKK, Regelung, charakteristische Gleichung

II.1.16

Experimentell basierte Modellierung und simulative Parameterstudie zum Betriebsverhalten einer gasbefeuerter Absorptionswärmepumpe

Roman Wechsler*, René Rieberer

Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Österreich
roman.wechsler@tugraz.at

* Korrespondenzautor

Gasbefeuerte Absorptionswärmepumpen (GAWPs) für Heizanwendungen weisen gegenüber Brennkesseln eine deutlich höhere Effizienz auf und stellen somit eine interessante Alternative zu herkömmlichen gasbetriebenen Heizgeräten dar. Aktuell sind GAWPs mit Heizleistungen ab ca. 40 kW auf dem Markt, allerdings entwickeln derzeit verschiedene Hersteller Geräte für den häuslichen und kleingewerblichen Bereich mit kleineren Leistungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Funktionsmuster mit einer maximalen Heizleistung von 18 kW und dem Arbeitsstoffpaar Ammoniak/Wasser untersucht.

Ein Simulationsmodell, welches auf Massen- und Energiebilanzen der Komponenten sowie auf Sättigungsannahmen an verschiedenen Stellen im Kreislauf basiert, wurde mit der Software Engineering Equation Solver (EES) erstellt. Weitere Annahmen bezüglich der Wärme- und Stoffübertragung insbesondere im Desorber der GAWP wurden aus Messergebnissen mit dem Funktionsmuster abgeleitet und im Modell hinterlegt.

Zunächst wurde mithilfe des Modells der Einfluss einiger regelungstechnisch beeinflussbarer Größen (Verdampfungsdruck, Generatortemperatur) auf die Effizienz des Gesamtsystems untersucht. Die sich daraus ergebenden optimalen Werte der Regelgrößen wurden mit dem Funktionsmuster experimentell verifiziert. Schließlich wurden verschiedene, die Wärme- und Stoffübertragung betreffende, Annahmen simulativ variiert und die Auswirkungen auf die Gesamteffizienz beobachtet. Ziel war es, mögliche konstruktive Optimierungen mit einem hohen Potential bezüglich einer Erhöhung der Effizienz zu identifizieren.

Stichwörter:

Ammoniak/Wasser, Optimierung, Energieeffizienz, Heizungswärmepumpe

II.1.17

Einfluss der Oberflächenrauheit auf das Unterkühlen von Wasser im durchströmten Wärmeübertrager

Georg Ernst*, Yannick Friess, Kai Berton, Michael Kauffeld

Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe, Deutschland

georg.ernst@hs-karlsruhe.de, yannick.friess@hs-karlsruhe.de
kai.bernton@hs-karlsruhe.de, michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Speichersysteme stellen eine wichtige Grundlage der Energiewende dar. Um in der Kältetechnik Energie effizient zu speichern, ist Eisbrei eine Möglichkeit mit großem Potential. Die Energie wird hierbei latent in einer Suspension aus Flüssigkeit und kleinen Eispartikeln gespeichert.

Zur Herstellung von Eisbrei ist die Unterkühlungsmethode (*engl.: supercooling*) ein vielversprechendes Verfahren. Hierbei wird zunächst Wasser oder eine wässrige Lösung in einem durchströmten Wärmeübertrager unter die jeweilige Gefrieretemperatur abgekühlt bzw. unterkühlt. Die unterkühlte Flüssigkeit kann nun gezielt zur Kristallisation angeregt werden. Da dabei die Gefahr einer Verblockung besteht, geschieht dies in der Regel nach dem Wärmeübertrager.

Untersucht wird, welchen Einfluss die Oberflächenrauheit der wärmeübertragenden Wand auf das Gefrierverhalten von strömendem Wasser hat. Dazu wird das Wasser im Innenrohr eines Doppelrohr-Wärmeübertragers mit einer definierten Abkühlrate unterkühlt, bis der Kristallisationsvorgang einsetzt und der Wärmeübertrager verblockt. Die Oberflächenrauheit variiert während verschiedener Testreihen. Ergänzt werden die Untersuchungen durch Versuche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten. Im Rahmen dieser Publikation wird gezeigt, wo die maximal mögliche Unterkühlung von Wasser, im beschriebenen Wärmeübertrager und in Abhängigkeit der genannten Parameter, liegt.

Stichwörter:

Eisbrei, Unterkühlung, Supercooling

II.1.18

Experimentelle Untersuchungen zum Additivverhalten bei der Flüssigeiserzeugung

Carsten Heinrich*, Christoph Steffan, Marcus Honke, Mathias Safarik, Myrea Richter

ILK Dresden, Bereich Angewandte Energietechnik, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
carsten.heinrich@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

In Flüssigeis-Speicher-Systemen finden Additive, wie Salze oder Alkohole zur Einstellung der Schmelztemperatur und zur Verlangsamung des Prozesses der Eiskristallagglomeration Anwendung. Bisher wurde in der Fachliteratur überwiegend von einem vollständigen Verbleiben des Additivs in der flüssigen Phase ausgegangen. Unter dieser Annahme kann der Eisanteil über den Anstieg der Additivkonzentration in der flüssigen Phase ermittelt werden.

Zur Gültigkeit des Additivverbleibs in der flüssigen Phase finden sich widersprüchliche Aussagen in der Fachliteratur aus den Technologiebereichen der Meerwasserentsalzung über den Gefrierprozess. Der Versuchsbetrieb mit dem Prototypen zur Vakuum-Flüssigeis-Herstellung am ILK Dresden lieferte ebenfalls Ergebnisse, welche die Vermutung einer unvollständigen Additivaufkonzentration in der flüssigen Phase stützen.

Die Fragestellung zum Additivverbleib während des Eisierungsprozesses wurde unter diesem Hintergrund mit verschiedenen Methoden sowie für verschiedene Eisierungsverfahren experimentell untersucht. Die Versuchsergebnisse bestätigen die Annahmen einer unvollständigen Additivkonzentration in der verbleibenden flüssigen Phase.

Im Vortrag werden die durchgeführten experimentellen Untersuchungen vorgestellt und die erzielten Ergebnisse präsentiert. Die daraus folgenden Auswirkungen für die Bilanzierung sowie mögliche Alternativen werden diskutiert.

Stichwörter:

Flüssigeis, Vakuum-Flüssigeis-Erzeugung, Additivkonzentration, Bilanzierung

II.1.19

Einfluss von Wärmestromdichten auf die Haftung von Eis auf Aluminium

J. Schaaf*, M. Kauffeld

Hochschule Karlsruhe – Institut für Kälte-, Klima-, und Umwelttechnik
Moltkestrasse 30, Karlsruhe, D-76133, Germany
jakob.schaaf@hs-karlsruhe.de, michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Das sekundäre Kältemittel Eisbrei ist eine Mischung aus Wasser, einem Gefrierpunktsenkenden Zusatzstoff wie z. B. Ethanol, Glykol oder Salz und kleinen Eispartikeln. Die kleinen Eispartikel werden in sogenannten Eisbreigeneratoren erzeugt. Das verbreitetste Verfahren ist die Eisbreierzeugung mit schabenden Elementen. Bei diesem Verfahren bilden sich an einer gekühlten Wärmeübertrageroberfläche Eiskristalle aus dem Eisbreigemisch. Nach einer Wachstumszeit der Eiskristalle werden diese mit einem Schaber, Bürste oder Schleuderstäben von der Wärmeübertrageroberfläche mechanisch gelöst. Zur Lösung der Haftkräfte zwischen Eispartikel und der Wärmeübertrageroberflächen ist eine Antriebsenergie für die schabenden Elemente notwendig. Die Antriebsenergie der Schaber wird in dem Eisbreigemisch in Wärme umgewandelt, wodurch eine zusätzliche Kühlleistung aufgewendet werden muss.

Die Haftkräfte zwischen der Wärmeübertrageroberfläche und den Eispartikeln können durch einen kurzen hohen Wärmeimpuls in der Verbindungstelle erheblich reduziert und somit über z. B. Auftriebs- oder Strömungskräfte abgelöst werden. In diesem Forschungsprojekt wird eine neuartige Methode zur Messung der Adhäsionskräfte zwischen Eis und Aluminium unter dem Einfluss von Wärmestromdichten eingesetzt. Das Messverfahren, die Erzeugung der Wärmeströme sowie der zugehörige Prüfstand werden in diesem Paper vorgestellt. Messergebnisse mit dem Prüfstand ohne Wärmestromdichten werden mit Literaturwerten verglichen.

Keywords:

Ice Slurry, Eis Adhäsionskräfte,

II.1.20

Partikelgrößenverteilung in Eisbreigemischen – Setup und Auswertung

Matthias Koffler*, Michael Kauffeld

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Institut für Kälte-, Klima- und Umweltechnik
76133 Karlsruhe, Deutschland
matthias.koffler@hs-karlsruhe.de, michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Speichersysteme stellen eine wichtige Grundlage der Energiewende dar. Um in der Kältetechnik Energie effizient zu speichern, ist Eisbrei eine Möglichkeit mit großem Potential. Die Energie wird hierbei latent in einer Suspension aus Flüssigkeit und kleinen Eispartikeln gespeichert. Die Größe, Form und deren statistischen Verteilungen sind wichtige Parameter für die physikalischen Eigenschaften von Eisbrei.

Die, auf der DKV-Tagung 2013 präsentierte Methode zur Auswertung der Oberfläche und des Volumens der Partikel wurde nun realisiert. Das ausgearbeitete Setup des Prüfstandes wird beschrieben. Durch den Aufbau der speziell entwickelten, optischen Analysezelle ist es möglich, zwei 90° zueinander gedrehte Ansichten der Eispartikel zu erhalten. Die, zur Auswertung notwendige, kontrastreiche Visualisierung der Eispartikel in der Flüssigkeit gelingt hierbei nur durch spezielle Beleuchtungstechniken. Diese wurden auf die Spiegelzelle angepasst. Aus den so erzeugten digitalen Bildern werden die geometrischen Informationen der Eispartikel ausgewertet. Hier werden die notwendigen Parameter dargestellt und deren softwareseitige teilautomatisierte Auswertung beschrieben. Basierend auf dieser Auswertung werden die ersten Untersuchungen von Eisbreigemischen gezeigt und die Ergebnisse mit bekannten Literaturwerten verglichen.

Ein Ausblick auf die, im weiteren Verlauf geplanten Untersuchungen und die Variationsparameter wird gegeben.

Stichwörter:

Eisbrei; Partikelgrößenverteilung

II.1.21

Simulationsergebnisse einer Absorptionskälteanlage für die Tiefkältebereitstellung mit ionischer Flüssigkeit und Ethanol

T. Meyer*, R. Kühn, C. Ricart, T. Zegenhagen, F. Ziegler

Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, KT 2, Marchstraße 18, 1058 Berlin
Fon: 030/314-22933, Fax: 030/314-22253,
thomas.meyer@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Zur thermischen Tiefkältebereitstellung im Temperaturbereich von bis zu -20°C werden typischerweise Absorptionskälteanlagen mit dem Arbeitsstoffpaar Ammoniak/Wasser eingesetzt. Aufgrund des nicht vernachlässigbaren Dampfdruckes des Absorbens Wasser wird für diesen Temperaturbereich jedoch eine Rektifikationseinrichtung benötigt, um ein Vereisen des Verdampfers zu vermeiden.

Im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Verbundforschungsprojektes wird die Eignung von ionischen Flüssigkeiten als Absorbens mit vernachlässigbarem Dampfdruck für alternative Kältemittel, wie z. B. Ethanol untersucht.

Ein potentielles Arbeitspaar für die Kälteanwendung von bis zu -20°C ist die ionische Flüssigkeit [EMIM][DEP] als Absorbens für das Kältemittel Ethanol. Im Verlauf des Projektes wurde eigens für das verwendete Kältemittel eine Absorptionskälteanlage konzipiert, ausgelegt und gefertigt.

Die der Anlagenauslegung zu Grunde liegenden Simulationsergebnisse dieser Versuchskälteanlage mit dem genannten Arbeitspaar werden präsentiert. Die simulierten Kälteleistungen, sowie die thermische Effizienz der Kälteanlage als Funktion der Antriebstemperatur werden gezeigt.

Stichwörter:

Absorptionskälte, Thermische Kältebereitstellung, natürliche Kältemittel, Ethanol, ionische Flüssigkeiten, Tiefkälte

II.1.22

Experimentelle Untersuchung von absorptiver Lufttrocknung mit ionischen Flüssigkeiten

C. Ricart^{1*}, T. Zegenhagen¹, O. Zehnacker², R. Kühn¹, T. Meyer¹, R. Schneider², F. Ziegler¹

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

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

* Korrespondenzautor

Die Bereitstellung von Kaltluft im Normal- und Tiefkältetemperaturbereich von -40°C bis 0°C , die z. B. in der Nahrungsmittelindustrie zur Lagerung von Lebensmitteln benötigt wird, geschieht derzeit fast ausschließlich durch elektrisch angetriebene Kompressionskälteanlagen. Bei diesem Temperaturbereich liegen die absoluten Luftfeuchten bei unter $1\text{ g/kg}_{\text{tr.L.}}$. Ohne vorherige Trocknung der erzeugten kalten Luft werden dabei je nach Umgebungsluftzustand bis zu 50 % der erzeugten Kälteleistung für die Kondensation der Luftfeuchte und unerwünschte Eisbildung auf dem Wärmeübertrager benötigt. Das Abtauen des auf dem Wärmeübertrager gebildeten Eises erfordert weitere elektrische Energie.

Die Trennung der Kühlung der Luft von der Luftentfeuchtung durch eine Kombination jeweils einer geschlossenen Kälteanlage und eines thermischen betriebenen offenen Lufttrocknungssystems, welches wiederum mit einem Teil der Abwärme des geschlossen Prozess angetrieben wird, birgt ein Potential den Primärenergieverbrauch deutlich zu verringern. Zum Erzielen der niedrigen Taupunkttemperaturen um die Kondensation der Luftfeuchte und das Vereisen der Wärmeübertrager zu vermeiden, bedarf es entsprechend niedriger Gleichgewichtsdrücke des Wasserdampfes über der Lösung beim Temperaturniveau der verfügbaren Rückkühlung oder, mit anderen Worten, die zur Lufttrocknung verwendeten Sorbentien müssen eine starke Dampfdruckabsenkung bei Temperaturen nahe Raumtemperatur aufweisen.

Flüssige Absorbentien zeigen im Vergleich zu festen Adsorbentien verfahrenstechnische und thermodynamische Vorteile. Wässrige Lösungen anorganischer Salze wie z. B. Lithiumchlorid oder Calciumchlorid erreichen aufgrund der Kristallisationsgrenze nicht die erforderliche Dampfdruckabsenkung und haben nachteilige Korrosionseigenschaften. Glykole weisen ebenfalls eine zu geringe Dampfdruckabsenkung auf. Im Gegensatz dazu können ionische Flüssigkeiten die Anforderungen erfüllen.

Im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Verbundforschungsprojektes wird eine mit ionischen Flüssigkeiten betriebene Lufttrocknungsanlage experimentell untersucht. In den Experimenten wird die Auswirkung der Antriebstemperatur, die zwischen 50°C und 105°C variiert wird, sowie die Übertragerfläche im Absorber, welche 6 oder 12 m^2 betragen kann, auf die Entfeuchungskapazität des Systems untersucht. Die Zielfeuchte von $1\text{ g/kg}_{\text{tr.L.}}$ wurde bei hoher Antriebstemperatur, 12 m^2 Übertragungsfläche im Absorber und Lufteintrittsfeuchten von unter $9\text{ g/kg}_{\text{tr.L.}}$ erreicht. Bei Lufteintrittsfeuchten von bis zu $24\text{ g/kg}_{\text{tr.L.}}$ wurden Austrittsfeuchten von $1\text{-}5\text{ g/kg}_{\text{tr.L.}}$ erzielt.

Stichwörter:

Energieeffizienz, Luftentfeuchtung, absorptive Lufttrocknung, ionische Flüssigkeiten

Potentialabschätzung eines Liquid Desiccant Systems mit ionischen Flüssigkeiten und Fallfilmabsorbieren zur Luftentfeuchtung in Mitteleuropa

Johann Emhofer^{1,*}, Thomas Fleckl¹, Christof Braunegg², Behnaz Beladi³, Hendrik Kuhlmann³

¹ AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich
johann.emhofer@ait.ac.at

² Christof Braunegg, Troges Gesellschaft für Trocknungs- und Wärmetechnik m.b.H.
Puchgasse 3, 1220 Wien

³ Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung, TU Wien
Getreidemarkt 9, 1040 Wien, Österreich

* Korrespondenzautor

Gegenüber konventionellen Systemen mit Kompressionskältemaschinen haben Liquid Desiccant Systeme (LDS) zu Raumluftkonditionierung das Potential, eine größere Gesamtenergieeffizienz zu erreichen. Ob dieses Potential allerdings ausgeschöpft werden kann und die Investitionskosten in einen angemessenen Rahmen ausfallen hängt, neben einem guten Absorberdesign, auch von der Auslegung des Gesamtsystems ab.

Basierend auf Messungen an einer Laborversuchsanlage und detaillierten Simulationen an einem rückgekühlten Fallfilm im Kreuzstrom mit Luft, wurde das LDS in Dymola/Modelica ausgelegt und der Energieverbrauch über das Jahr berechnet. Als Arbeitsstoffpaar kam sowohl in den Experimenten als auch in den Simulationen eine Lösung aus ionischer Flüssigkeit und Wasser zum Einsatz. Diese bietet gegenüber von konventionellen Arbeitsstoffpaaren den Vorteil, dass sie nicht korrosiv ist, keine Umweltgefährdung darstellt und im gewünschten Einsatzbereich nicht kristallisiert. Die Investitionskosten der Kernkomponenten wurden gemeinsam mit Partnern aus der Industrie abgeschätzt.

In einem Vergleich zwischen einem LDS-Gesamtsystem mit einem Stand-der-Technik Gesamtsystem basierend auf Kompressionskältemaschinen am Standort Wien wurde die Wirtschaftlichkeit im Sommerfall (Entfeuchtung von Luft) untersucht.

In einer ersten Abschätzung zeigt sich, dass im untersuchten LDS die jährliche Energieeinsparung ca. 20 % beträgt, während die Investitionskosten noch deutlich über den Kosten eines konventionellen Systems liegen. Trotz der geringen Betriebsstunden zur Entfeuchtung in Wien würde sich allerdings eine Amortisationsdauer von ca. 5 - 6 Jahren für ein optimiertes LDS ergeben.

Stichwörter:

Liquid Desiccant, Entfeuchtung, Raumluftkonditionierung

II.2.01

Möglichkeiten der energetischen Optimierung von Luftkühlern

Norbert Schneider*, Ceslovas Kizlauskas

GEA Küba GmbH, Kühler Weg1, 82065 Baierbrunn
Norbert.Schneider@gea.com, Ceslovas.Kizlauskas@gea.com

* Korrespondenzautor

Angesichts des allgemein steigenden Umweltbewusstseins in der Kältebranche durch Verwendung erneuerbarer Energien, Reduzierung von Emissionen, Energieeinsparungen und die damit verbundene angestrebte Effizienzsteigerung an Kälteanlagen und deren Komponenten, ist es wichtiger denn je, energetische Optimierungen auch im Bereich der Luftkühler durchzuführen.

Herausforderungen stellen sich hierbei unter anderem an Ventilatorsysteme für Luftkühler und die zu erfüllende ERP-Vorschrift, an die Luftführung am und innerhalb des Wärmeübertragers sowie die Erfüllung von optimalen Energieeffizienzklassen des Luftkühlers nach Eurovent.

Verschiedenste Untersuchungen im Labor zeigen, wo und wie energetische Optimierungen möglich und wirtschaftlich umsetzbar sind.

Stichwörter:

Luftkühler, ERP, Ventilatorsysteme, Effizienzklasse, energetische Optimierung

II.2.02

Messungen an Wärmeübertragern mit LowGWP-Kältemitteln

Markus Müller

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gemeinnützige GmbH, 01309 Dresden
markus.mueller@ilkdresden.de

Aufgrund der in Kraft getretenen neuen F-Gase-Verordnung rücken Low-GWP-Kältemittel, sowohl als Reinstoffe als auch als Gemische, mehr und mehr in den Fokus der technischen Anwendung.

Während Verdichteruntersuchungen für Ersatzkältemittel hinsichtlich Performance, COP und weiterer technisch/thermodynamischer Details schon sehr zahlreich vorgestellt wurden, sind Wärmeübertragermessungen eher selten.

Im ILK wurden zwei Ersatzkältemittel für R134a und R410A sowohl mit flüssigkeitsbeaufschlagten Plattenwärmeübertragern als auch mit luftbeaufschlagten Rohr-Lamelle-Wärmeübertragern als Verflüssiger und Verdampfer getestet. Im Vortrag werden die Messungen und die Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt und theoretischen Berechnungen gegenübergestellt.

Stichwörter:

Low-GWP-Kältemittel, Messungen, Berechnungen, Wärmeübertrager, luftbeaufschlagt, flüssigkeitsbeaufschlagt

II.2.03

Neue Kältemittelgemische und Future Proof Solutions für die Gewerbekälte

Frank Rinne

Emerson Climate Technologies GmbH, Pascalstrasse 65, 52076 Aachen
frank.rinne@emerson.com

Die F-Gas-Verordnung 842/2006 hatte das wesentliche Ziel, die Emission von Kältemitteln zu reduzieren. Implementiert wurde u.a die Zertifizierung der Kälteanlagenbauer und regelmäßige Wartung und Leckageuntersuchungen, um das Ziel zu erreichen. In der aktuellen Verordnung 517/2014 sind nun eine stufenweise Reduzierung der Kältemittelmengen sowie Verbote dazugekommen. Das mittlere Treibhauspotential bis 2030 beträgt 350 kg CO₂, jetzt müssen langfristige „Future Proof Solutions“ zum Einsatz kommen um diese Ziele zu erreichen.

Im Vortrag werden die folgenden Punkte behandelt:

- Was sind Future Proof Kältemittel?
- Gibt es weitere neue Moleküle mit niedrigst GWP?
- Leistungsdaten von Zwischenlösungen für R404A und R134 Ersatzstoffe
- Lösungen für die Gewerbekälte mit natürliche Kältemitteln als langfristige Lösung

II.2.04

Potenziale der Schallemissionsanalyse zur Diagnose von hermetischen Kältemittelkompressoren

Dennis Pfeil^{1,*}, Fabian Habich², Burkhard Ziegler²,
Olaf Strelow³, Ullrich Hesse⁴

¹ Bosch Thermotechnik GmbH, Entwicklung Wärmepumpen und Kältekreisläufe
Justus-Kilian-Straße 1, 35453 Lollar
dennis.pfeil@de.bosch.com

² Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Mechanik und Materialforschung
Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

³ Technische Hochschule Mittelhessen, Institut für Thermodynamik,
Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse, Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

⁴ Technische Universität Dresden,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik, 01062 Dresden

* Korrespondenzautor

In mechanisch angetriebenen Kaltdampfmaschinen nehmen Kältemittelkompressoren die zentrale Rolle im Inneren des Kältekreislaufes ein. Für die in Wärmepumpen eingesetzten hermetischen Kompressoren ist eine robuste Konstruktion unerlässlich, da an schadhaften Komponenten keine Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden können. In solchen Fällen ist ein kostspieliger Komponentenwechsel – oftmals verbunden mit weiteren Arbeiten am Kältekreislauf – zwingend erforderlich. Um einen zuverlässigen Betrieb unter allen auftretenden Betriebsbedingungen erfüllen zu können, müssen hermetische Kältemittelkompressoren speziellen Lebensdauertests unterzogen werden. Da sich eine mangelnde Zuverlässigkeit an Kompressoren nicht nur durch deren Ausfall bemerkbar macht, sondern zuvor durch eine sukzessive Veränderung charakteristischer Produkteigenschaften ermittelt werden kann, eignen sich hierbei im Besonderen Degradationsverfahren zur Ermittlung von Zuverlässigkeitskennwerten. Voraussetzung hierfür ist, dass sich während dieser

Untersuchungen die Verschleißhöhe quantitativ erfassen lässt. Da bei hermetischen Kompressoren eine direkte Messung der Verschleißhöhe immer mit einer Zerstörung des Kompressors verbunden ist, müssen hierbei andere Diagnosekennzahlen, wie die elektrische Leistungsaufnahme oder die Schallemission, berücksichtigt werden. Der vorliegende Artikel stellt die Methodik der Schallemissionsanalyse im Rahmen einer Zuverlässigkeitsanalyse vor und zeigt deren Eignung zur Bewertung von hermetischen Kältemittelkompressoren auf.

Stichwörter: Zuverlässigkeitsanalyse, Degradation-Test, Schallemissionsanalyse

II.2.05

Verwendung durchströmter Bauteile zur aktiven Schaltung der effektiven Wärmeleitfähigkeit

Sabine Döge*, Christian Friebe, Andreas Hantsch, Ralph Krause

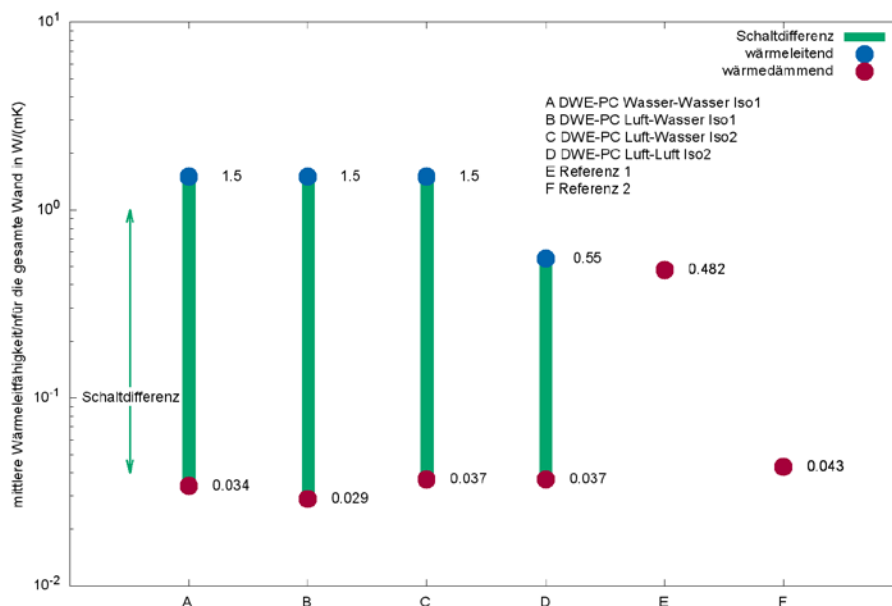
Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH, Hauptbereich Luft- und Klimatechnik
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Tel.: 0351 4081-671, E-Mail: sabine.doege@ilkdresden.de

* Korrespondenzautorin

In vielen technischen Prozessen ergibt sich die Notwendigkeit, im zeitlichen Verlauf die effektive Wärmeleitfähigkeit eines Bauteiles verändern zu können. Wird z. B. für einen Aufheizvorgang eine gute Wärmedämmung benötigt, kann für die Abkühlung eine gute Wärmeleitung für den Prozess vorteilhaft sein.

Es wurde untersucht, inwiefern ein Bauteil durch Variation eines strömenden Fluides seine effektive Wärmeleitfähigkeit ändern kann. Das Fluid selbst kann während des Prozesses ausgetauscht und/oder einen unterschiedlichen Massenstrom aufweisen. Dabei sind neben der Wärmeleitfähigkeit auch weitere Größen wie die Wärmekapazität relevant.

Es werden die Ergebnisse experimenteller und numerischer Untersuchungen vorgestellt. Diese zeigen, dass die Wärmeleitfähigkeit bzw. der Wärmedurchgang bis zu einem Faktor 50 verändert werden kann (siehe Abbildung).



II.2.06

Air-side Performance Evaluation of Round Tube Heat Exchangers using PPCFD

Jiazhen Ling, Daniel Bacellar, Vikrant Aute, Reinhard Radermacher*

Center for Environmental Energy Engineering, 4164 Glenn Martin Hall, University of Maryland,
College Park, Maryland 20742
raderm@umd.edu

* Corresponding author

Compact fin-tube heat exchangers have been widely used in heat pump systems. Typically, these heat exchangers use tubes with diameters between 5 to 9 mm. As manufacturing techniques advance, heat exchangers with even smaller diameter tubes are now possible to make/assemble. A smaller-diameter tube heat exchanger not only brings the benefits of volume and weight reduction but can potentially improve cycle performance of heat pump systems and reduce charge. This paper focuses on the novel design of next generation air-to-refrigerant heat exchangers with tube diameter ranging from 0.5 mm to 2 mm. Due to such a small diameter and the resulting large ratio of primary heat transfer area to volume, fins can be removed without great penalty from heat transfer performance degradation. The goal of this research is to showcase the optimized design process of these heat exchangers and compare their performance with existing state of the art designs. Since no pre-existing air-side heat transfer and pressure drop correlations are available, the air-side performance of various tube bundle configurations is analyzed using a Parallel Parameterized CFD (PPCFD) technique. PPCFD allows for fast- parametric CFD analyses of various geometries including topology change. Approximation techniques drastically reduce the number of CFD evaluations required during optimization. Maximum Entropy Design method is used for sampling and Kriging method is used for metamodeling. Metamodels are developed for the air-side heat transfer coefficients and pressure drop as a function of tube-bundle dimensions and air velocity. The metamodels are then integrated with an air-to-refrigerant heat exchanger design code. This integration allows a multi-scale analysis of air-side performance including air-to-refrigerant heat transfer and phase change. Overall optimization is carried out using a multi-objective genetic algorithm. The optimal designs found can exhibit at least 20 percent size reduction, 20 percent decrease in air side pressure drop and doubled air heat transfer coefficients compared to a high performance compact micro channel heat exchanger under the same operating conditions.

II.2.07

Design and measurement of a CO₂ refrigeration system with integrated propane subcooler

**Trygve M. Eikevik^{1,*}, Stine Haugsdal¹, Synne Bertelsen¹,
Sigmund Jensen², Armin Hafner³**

¹ Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
[*trygve.m.eikevik@ntnu.no](mailto:trygve.m.eikevik@ntnu.no),

² Cadio AS, Trondheim

³ SINTEF Energy Research

* Corresponding author

The paper will present the investigations of optimal design and running conditions of the CO₂ system for supermarkets with a small propane system to boost the refrigeration capacity at high outdoor air temperatures. The paper will show how the optimal point/temperature were the propane system starts

to operate at different climatic zones. The investigation is done on a prototype system, followed up with simulations. The total system is measured at different operational conditions with special focus on the design of the gas cooler with integrated condenser for the propane system.

Key words:

R744 / CO₂ – R290 / Propane, Commercial Refrigeration,

II.2.08

Umweltfreundliche Wärmetauscher - Vorschläge von LU-VE für die Reduktion des Energieverbrauchs und der Kühllast

Stefano Filippini*, Umberto Merlo, Davide Maddiotto

LU-VE SpA, 21040 Uboldo, Varese, Italien
stefano.filippini@luve.it

* Korrespondenzautor

In den letzten Jahren ist der Ruf nach der Entwicklung von Lösungen, die eine Reduktion des Energieverbrauchs und der Kühlmittelmenge in Kühlkreisläufen ermöglichen, immer lauter geworden.

In diesem Artikel werden zwei Lösungen vorgestellt, die kürzlich von LU-VE konzipiert wurden. Die erste bezieht sich auf luftgekühlte Kühlgeräte in Kühlräumen. Sie besteht aus einem innovativen Steuersystem, das im Kühlgerät selbst installiert wird und deshalb in einer kalten (bis zu -30 °C) und feuchten Umgebung, in der Eis vorhanden ist, ordnungsgemäß betrieben werden kann. Dieses Steuersystem betreibt das elektronische Expansionsventil, mithilfe dessen das Kühlgerät versorgt wird. Das System vereint die Effizienz des elektronischen Ventils mit der Einfachheit einer Plug & Play-Lösung, daher der Name „Plug & Save“. Ein System, das bereits am Kühlgerät angebracht ist, vereinfacht die Installation erheblich, erleichtert die Konfiguration der Anlage und fördert eine weiterverbreitete Nutzung elektronischer Ventile, welche eine signifikante Energieeinsparung mit sich bringen. Die größere Präzision dieser Ventile ermöglicht es, die Überhitzung des Verdampfers zu begrenzen und damit die Verdampfungstemperatur zu erhöhen, während es aufgrund des großen Betriebsbereichs des Ventils möglich wird, mit gleitender Kondensation zu arbeiten und so die Verdampfungstemperatur in kalten Perioden zu reduzieren.

Die zweite Lösung bezieht sich auf Kondensatoren. In diesem Artikel werden die Ergebnisse der Entwicklung einer neuen, kompakten Geometrie mit gerippten Röhren der Abmessung 20 x 17,32 mm vorgestellt. Bei dieser Technologie kommen Kupferrohre mit einem Durchmesser von 5,0 mm und fortschrittliche eingeschlitzte Lamellen für Kondensatoranwendungen zum Einsatz. Zunächst wird der Entwicklungsprozess der Lamellengeometrie dargestellt und die neue Generation innengerippter Rohre. Die Konzeption beruht auf einer CFD-Analyse der Wärmetauscherleistung zur Ermittlung des optimalen Kompromisses aus mehreren geometrischen Parametern, um den Wärmeübertragungskoeffizienten zu maximieren und den Luftdruckabfall zu minimieren. Die theoretischen Ergebnisse werden über eine umfangreiche Testreihe evaluiert. Die Hauptvorteile der neuen Technologie sind eine geringere Kühllast in Verbindung mit einer hohen Gesamtleistung. Diese Eigenschaften gestatten die Konzeption eines Produkts mit geringen Lebenszykluskosten und tragen zu einer reduzierten Kühllast der Anlage bei, wie sie von den derzeitigen strengen europäischen Vorgaben gefordert wird. Im weiteren Verlauf des Artikels wird die neue Geometrie mit einem Wärmetauscher der Geometrie 25 x 21,65 mm mit herkömmlich gerippten Kupferrohren von 9,52 mm Durchmesser und einem Wärmetauscher mit extrudierten Micro Channel-Aluminiumröhren und gewellten Rippen verglichen.

II.2.09

Innovative Wärmeübertrager im Flügelrohrdesign

Robin Langebach^{1,*}, Jörg Kirchner², Sascha Wieland², Ullrich Hesse¹

¹ Technische Universität Dresden,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik
Robin.Langebach@tu-dresden.de, Ullrich.Hesse@tu-dresden.de

² Bundy Refrigeration GmbH, Industriestraße 1, 99752 Bleicherode
swieland@bundyrefrigeration.com, jkirchner@bundyrefrigeration.com

* Korrespondenzautor

In einer Vielzahl von Anwendungen in der Kältetechnik sind Wärmeübertrager unerlässlich. Im speziellen Fall der Verwendung als Verdampfer oder Kondensator gegen Luft kommen in einem Kältekreislauf typischerweise Rohr-Lamelle-Bauarten zum Einsatz. Diese Bauart hat sich vielfach bewährt und bietet günstige Wärmeübertragungscharakteristiken. Überdies sind halbempirische Auslegungsroutinen bestens bekannt und erlauben ein anwendungsspezifisches Design bereits in einer frühen Entwicklungsphase. Allerdings bringen Rohr-Lamelle-Wärmeübertrager auch einige Nachteile mit sich. Hierzu zählen ein vergleichsweise hoher Fertigungsaufwand in der Serie sowie erhöhte Korrosionsanfälligkeit an Löt- und Kontaktstellen unter rauen Einsatzbedingungen.

Die Bundy Refrigeration GmbH hat auf Basis eines Patents einen innovativen Wärmeübertrager im Flügelrohrdesign entwickelt. Dabei wird die Kombination Rohr-Lamelle bereits im Vorfeld der Fertigung des Wärmeübertragers bereitgestellt. Im Rahmen des Zusammenbaus werden dann lediglich die Biegestellen des Flügelrohrs maschinell bearbeitet und der Wärmeübertrager quasi am Stück ohne aufwendige Lötverfahren hergestellt. Dies bringt vielseitige Vorteile mit sich. Hinsichtlich der übertragenen Leistung ergeben sich aktuell noch Defizite, die jedoch durch thermofluidynamische Optimierungen angegangen werden.

Im vorliegenden Paper soll der aktuelle Stand der Entwicklung zum Wärmeübertrager im Flügelrohrdesign dargestellt werden. Die Autoren fokussieren dabei das angewendete Fertigungsverfahren und die daraus resultierenden Vorteile für den Anwender sowie die thermofluidynamische Optimierung der Wärmeübertragung.

Stichwörter:

Wärmeübertrager, Flügelrohr, Verdampfer, Kondensator, Haushaltsgeräte, Fertigung, Wärmeübertragung, Optimierung

II.2.10

Energetische und Akustische Sanierung von Ventilatoren

Chris-Marco Besler

Ziehl-Abegg SE
Produktmanager Axialventilatoren
Heinz-Ziehl-Straße, 74653 Künzelsau, Deutschland
chris-marco.besler@ziehl-abegg.de

ZAplus ist ein neues Ventilatorensystem, das extrem energiesparend und flexibel ist. Mehrkosten zu Standardlösungen amortisieren sich so innerhalb eines Jahres, danach sparen beispielsweise Wärmepumpenbesitzer, Supermarktbetreiber oder Hotelbesitzer durch den deutlich niedrigeren Stromverbrauch jeden Tag bares Geld.

Ein weiterer Vorteil: Bestehende Anlagen können somit problemlos energetisch und geräuschlich optimiert werden.

ZAplus steht für ein hocheffizientes Ventilatorensystem in einem Gehäuse aus hochfestem Faser-verbundwerkstoff, in welchem Motor und Steuerung integriert sind. Neben der detailliert abgestimmten Verbindung von effizienten Einzelelementen ermöglicht der Verbundwerkstoff neue Formen, die den Luftstrom gezielt positiv beeinflussen. Dazu kommt die ideal abgestimmte Kombination von bionischem Ventilator, Motor und Steuerungstechnik aus einem Guss.

Die neuen ErP-Mindestwirkungsgrade 2020 werden sowohl mit traditionellen AC-Motoren als auch mit energiesparenden EC-Motoren bereits heute schon erreicht. Somit können selbst mit 6- und 8-poligen AC Motoren die ErP Richtlinien 2020 eingehalten werden.

Praxisbeispiel Retrofit Rückkühleranlage eines Rechenzentrums: Der Umbau auf ZAplus führt zu vielen Vorteilen und Möglichkeiten. Kunden können mit ZAplus ihre Betriebskosten um 37 % reduzieren und gleichzeitig das Geräusch nachweislich um 3 - 5 dB senken. Alternativ steht mehr Volumenstrom und somit mehr Kälteleistung zur Verfügung.

Betrachtet man große Kälteanlagen an Supermärkten, Datacentern oder Hotels, arbeiten oft mehrere hundert Ventilatoren parallel. Hier ergeben sich Einsparpotentiale, die bei den aktuellen und insbesondere kommenden Energiepreissteigerungen höchst interessant sind. Gleichzeitig kann das Geräuschverhalten deutlich reduziert werden.

Das Ventilatorensystem ZAplus wurde bereits mehrfach ausgezeichnet.

Stichwörter:

Weniger Betriebskosten, Geräuschemission, Wärmepumpen, energiesparende Ventilatoren, Nachrüstung, keine Verpackung, DKV

II.2.11

R744 Ejektor Kältetechnik für Supermärkte

Armin Hafner^{1,*}, Kristian Fredslund², Krzysztof Banasiak¹

¹ SINTEF Energy Research, Kolbjørn Hejes vei 1D, 7465 Trondheim, Norway
Armin.Hafner@sintef.no

² Danfoss A/S, 6430 Nordborg, Denmark

*Korespondenzautor

In der Zukunft müssen Supermarktkälteanlagen in der Lage sein die Energietransportanforderung eines gesamten Gebäudes zu gewährleisten. Zusätzlich zur Kälteleitung für die Normal- und Tiefkühlstellen sollen auch die Wärmepumpenanforderungen für Klimasysteme in das Lastenheft mit aufgenommen werden. Dies führt zu einer Reduzierung der Investitions- und Servicekosten für den Marktbetreiber. Außerdem wird durch die direkte Nutzung überschüssiger Wärme und besserer Leistungsregelung der Energieverbrauch gesenkt. Dazu muss der Aufbau gewerblicher R744 Kälteanlagen erweitert werden, diese zusätzlichen Aufgaben so effizient wie möglich zu erfüllen, z. B. durch eine genauere Regelung der Verdampfungstemperaturen und Verdampfeustrittsbedingungen für Tiefkühlung, Normalkühlung und Klimakühlung (AC). Der Einsatz von Hilfsverdampfern für Wärmepumpen- und Klimabetrieb wird diskutiert, zusätzlich zu den Regelungsstrategien zur Verbesserung, des integrierten Multi Ejektors, der das Parallelverdichtersystem zusätzlich verbessert. Im Vergleich zu herkömmlichen HFC404A Anlagen haben Ejektor unterstützte R744 Anlagen mit Parallelverdichtern und einer Druckanhebung von ungefähr 15 bar die besten Jahresarbeitszahlen und stellen die nächste Generation der R744 Technology dar, welche global einsetzbar sind und signifikant beitragen können die direkten und indirekten Treibhausgasemission dieses Sektors wesentlich zu reduzieren.

Stichwörter:

R744/CO₂, Ejektor, Multiejektor, Supermarktkältetechnik

II.2.12

Einsatz eines CO₂ Ejektors in einer 1 MW Hochtemperaturwärmepumpe

Andreas Schröder*, Jürgen Köhler

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

*Korrespondenzautor

Ejektoren werden zur Steigerung der Effizienz von CO₂ Kältemittelkreisläufen anstatt eines Expansionsventils eingesetzt. In dieser Arbeit soll die Integration eines Ejektors in eine 1 MW Hochtemperaturwärmepumpe mit CO₂ als Kältemittel vorgestellt werden. Die Effizienz eines zweiphasigen CO₂ Ejektors ist im starken Maße von den geometrischen Verhältnissen im Inneren des Ejektors abhängig. Für diese Verhältnisse gibt es bis jetzt nur für kleine Ejektoren Erfahrungswerte. Die Herausforderung bei der Auslegung eines Ejektors für Wärmepumpen von Heizleistungen von 1 MW stellt die Extrapolation der Ejektorgeometrie von einem kleinen auf einen großen Ejektor dar. Des Weiteren bietet der verbaute Ejektor auf Grund der Größe die Möglichkeit der Vermessung der Strömung im Inneren des Ejektors, unter anderem des axialen und des radialen Strömungsverlaufs im Mischrohr. In diesem Paper werden erste Messergebnisse der Ejektorwärmepumpe und ein Vergleich der gewonnenen Daten mit Ejektoreffizienzen und Druckverläufen von kleinen Ejektoren vorgestellt.

Stichwörter:

R744; Ejektor; messtechnische Untersuchung; Wärmepumpe

II.2.13

Instationäres Betriebsverhalten von Drosselkapillaren bei Haushaltskältegeräten

Thomas Tannert*, Ullrich Hesse

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

* Korrespondenzautor

Die Kälteerzeugung in Haushaltskühlgeräten erfolgt üblicherweise durch einen Kaltdampfprozess. Als Drosselorgan werden zumeist Kupferkapillarrohre angewendet. Geräteabhängig verläuft die Expansion innerhalb der Drosselkapillare entweder nahezu adiabatisch oder diabatisch (mit zusätzlichem inneren Wärmeübertrager). Bei der Expansion geht das Kältemittel in den zweiphasigen Zustand (gas-flüssig) über. Der Dampfgehalt nimmt entlang der Drosselkapillare zu und bestimmt maßgeblich die sich ausprägende Strömungsform und den resultierenden Druckverlust. Geometrie und mechanische Beschaffenheit der Drosselkapillare sowie veränderliche Ein- und Austrittszustände bestimmen als zusätzliche Einflussgrößen letztlich den sich einstellenden Drosseldurchfluss (Massenstrom).

Aufgrund der veränderlichen Ein- und Austrittsbedingungen weist der Drosseldurchfluss ein instationäres Verhalten auf, dessen Folgen u. a. ein zyklischer Wechsel der Strömungsform am Drosselaustritt und das Auftreten periodischer Strömungsgeräusche sein können.

Der vorliegende Beitrag zeigt die Ergebnisse zu Untersuchungen des Betriebsverhaltens der Drosselkapillare an einem Versuchsaufbau und diskutiert die kausalen Zusammenhänge, die zu einem instationären Durchflussverhalten führen sowie die Auswirkungen auf Strömungszustände und Strömungsgeräusche am Drosselaustritt.

Stichwörter:

Zweiphasenströmung, Drosselkapillare, Haushaltskältegerät, Drosseldurchfluss, instationäres Betriebsverhalten

II.2.14

ÖkoDesign-Anforderungen für Verflüssigungssätze

Armin Walz

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, Werk/Plant Rottenburg
Mercedesstraße 24 - 28, 72108 Rottenburg-Ergenzingen, Germany

Die Umsetzung der ÖkoDesign-Richtlinie formuliert Anforderungen an die Leistungsdaten von Verflüssigungssätzen für die Kältetechnik, insbesondere im Leistungs- und Anwendungsbereich der Gewerbekälte. Ab 5 kW Kälteleistung bei Normalkühlung und 2 kW bei Tiefkühlung wird eine Jahresarbeitszahl (SEPR) anzugeben sein.

Die Änderungen der Normen EN13215 für die Darstellung von Leistungsdaten und EN13771-2 für die Messung derselben werden erläutert.

Die Berechnungsmethode für die Jahresarbeitszahl (SEPR) und der Einfluss dieser Betrachtungsmethode auf die Auslegung und Komponentenauswahl wird dargestellt.

Anhand von Beispielen wird die Auswirkung der Normbetriebsbedingungen für Verflüssigungssätze auf die Kältemittelwahl beschrieben. Insbesondere sieht der Vergleich von Kältemitteln mit und ohne Temperaturgleit bei Verflüssigungssätzen anders aus als z. B. bei Verdichtern.

II.2.15

Energetische Betrachtung moderner Ammoniak-Schraubenverdichtersätze

Heinz Jürgensen

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, Werk/Plant Rottenburg
Mercedesstraße 24 - 28, 72108 Rottenburg-Ergenzingen, Germany

Die neue Baureihe OS.95 erweitert im Bereich offener Schraubenverdichter die Produktpalette von BITZER nach oben. Aufbauend auf den guten Erfahrungen mit der OS.85-Baureihe und deren hohem Gütegrad wurde eine neue Generation Verdichter entwickelt. Die Detailuntersuchung der Strömungsvorgänge im Verdichter und ein neu entwickeltes Rotorprofil mit vergrößerten Strömungsquerschnitten ermöglichen eine sehr kompakte und hoch effiziente Maschine. Die Leistungsdaten werden am Modell mit dem höchsten Fördervolumenstrom der Baureihe in der Ausführung für R717 dargestellt, OSKA95103 mit 1015 m³/h bei 2900 min⁻¹.

Mit dieser Baureihe wird ein neues optimiertes Schieberkonzept zur stufenlosen Regelung der Leistung und des inneren Volumenverhältnisses V_i eingeführt. Funktionen und Schnittstellen der eigens dafür entwickelten Steuerelektronik werden dargestellt. Das CM-SW-01 enthält eine Reihe von Funktionen, die von anderen Produktfamilien bekannt sind, wie der drehzahlgeregelten CSVH oder dem Modul CM-RC-01 für Hubkolbenverdichter der ECOLINE-Baureihe. Die Elektronik wird am Verdichter fertig verdrahtet geliefert.

Die OS.A95-Reihe fügt sich vorteilhaft in das Konzept der Parallelverbundsätze für Industriekälteanwendungen ein, das BITZER schon mit Verdichtern der Baureihe OS.A85 vorgestellt hat. Die Verbundsätze mit 2 oder 3 Verdichtern sind gegenüber Einzelverdichtern entsprechender Leistung bezüglich Effizienz, insbesondere im Teillastbetrieb, Redundanz und Wartungsaufwand eine starke Alternative.

II.2.16

Effizienzsteigerung der Kaltdampfmaschine durch isotherme Verdichtung

Magnus Schober, Michael Deichsel*

Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik
Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, Deutschland
magnus.schober@th-nuernberg.de, michael.deichsel@th-nuernberg.de

* Korrespondenzautor

Bei der Kälteerzeugung durch Kaltdampfmaschinen, werden üblicherweise Kolben-, Schrauben, Scroll-, oder Turboverdichter eingesetzt. Die kompakte Bauweise, in Kombination mit hoher Betriebsfrequenz, bedeutet bei allen Bauarten eine nahezu isentrope Verdichtung des Kältemittels. Die Temperatur steigt dadurch stark an und bewirkt in Folge der Wärmeausdehnung, welche der Verdichtung entgegen wirkt, einen erhöhten Arbeitsaufwand. Eine isotherme Verdichtung, ergibt daher eine Effizienzsteigerung gegenüber etablierten Systemen.

Die isotherme Zustandsänderung kann durch einen Flüssigkeitskolbenverdichter angenähert werden. Das Kältemittel wird hierbei mit einer Flüssigkeit, anstelle eines metallischen Kolbens verdrängt. Der Kompressionsraum kann eine beliebige Form annehmen, da sich die Verdrängungsflüssigkeit jeder Oberfläche anpasst und perfekt abdichtet. Hieraus ergeben sich völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten, wie beispielsweise in Form eines Rohrbündels mit Kühlwasserumströmung. Durch große Wärmeübertragungsflächen in Verbindung mit geringer Betriebsfrequenz wird eine annähernd isotherme Zustandsänderung des Kältemittels erreicht.

Mit Hilfe von CFD-Simulationen kann Druck- und Temperaturverlauf, Wärmeübertragung, Energieaufwand und deren Einfluss auf die Effizienz des Verdichtungsprozesses analysiert werden. Die Verifikation der Ergebnisse erfolgt durch experimentelle Daten aus einer Versuchsanlage. Eine Gegenüberstellung der Kreisprozesse mit Kolben- und Flüssigkeitskolbenverdichter, ergab eine Steigerung des COP von 3,2 auf 4,05, bei einer Carnot-Leistungszahl von 4,61.

Stichwörter:

Effizienzsteigerung, isotherme Verdichtung, Flüssigkeitskolben

II.2.17

Prüfung von CO₂-Anlagen – Druckfestigkeit und Lecksuche

Thomas Schnerr*, Rene Seidel, Michael Goldberg

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

* Korrespondenzautor

Aufgrund der hohen Drucklage ist für eine sichere und regelkonforme Herstellung von Anlagen mit dem Kältemittel CO₂ (R744) vor Inverkehrbringen eine Festigkeitsprüfung notwendig. Bisher erfolgt diese meist getrennt von der Dichtheitsprüfung.

Es wird ein Prüfkonzept vorgestellt, mit dem eine Festigkeitsprüfung von CO₂-Anlagen auf pneumatischem Weg gefahrlos und automatisiert in Kombination mit der Dichtheitsprüfung durchgeführt werden kann. Unter Verwendung eines mehrstufigen Verdichtersystems können Prüfdrücke bis zu 135 bar realisiert werden und es ist eine Rückgewinnung des eingesetzten Prüfgases (z. B. Formiergas oder Helium) möglich. Der als Funktionsmuster aufgebaute Prüfstand (Prüflingsvolumen 10 l) ist skalierbar und für CO₂-Kälteanlagen und -Wärmepumpen sowie deren Komponenten anwendbar.

Nach der automatisierten Druckabfallprüfung, die während der Haltezeit der Festigkeitsprüfung erfolgt, kann vor der Prüfgasrückgewinnung ggf. eine manuelle Feinlecksuche erfolgen. Durch den Einsatz von Prüfgas ist hierbei das Erkennen kleinerer Leckagen als beim direkten Nachweis des Kältemittels CO₂ möglich.

Die direkte Lecksuche an CO₂-Anlagen wird dadurch erschwert, dass das nachzuweisende Gas (CO₂) in der Raum- und Ausatemluft in signifikanter, schwankender Konzentration vorhanden ist. Es werden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, um die Lecksuche mit CO₂ dennoch effektiv gestalten zu können.

Stichwörter:

Lecksuche, Festigkeitsprüfung, R744

II.2.18

Estimating Frost Formation for Energy Efficient Defrost-on-Demand: An Advanced Control Approach

Paul McGahan¹, Uwe Knief², Antonin Hemmer³, Pavel Trnka PhD¹

¹ Honeywell Prague Laboratory, V Parku 2326/18, 148 00 Prague 4, Czech Republic
paul.mcghan@honeywell.com

² Honeywell GmbH, Cooling Solutions, Hardhofweg, 74821 Mosbach

³ Honeywell spol. s.r.o. - HTS CZ o.z., Turanka 96/1236, 627 00 Brno, Czech Republic

Cooling device manufacturers are constantly striving for improved system performance. Driven by increasingly stringent conditions for device rating and certification, the industry has seen significant process development over the last years, from individual component design to overall vapour compression cycle design. A problem that still plagues efficient operation is frost formation on heat exchanger surfaces.

Frost formation is a significant source of efficiency degradation in cooling devices. Formation of frost is known to influence both the air side heat transfer coefficient and the thermal capacitance of the shell/tube wall of the evaporator. It is well known that frosting is observable, and can be estimated using available measurements such as evaporating pressure, temperature, evaporator fan power consumption and pressure drop.

The concept of an inferential sensor is implemented as an observer of the internal states of a system model. A common method for observing such systems, the Kalman Filter based on statistical inference, is adopted. The inferential sensor is composed of the system model and the states of that model are estimated by the observer.

In this work, we present a method to estimate frost formation on heat exchanger surfaces. The moving-boundary framework for heat exchanger modeling is introduced and a simple, semi-empirical frost formation model is integrated to the framework. An inferential sensor is constructed to estimate the degradation of heat exchanger performance due to frost formation and is combined with the Honeywell Superheat Control (SHC). The combination with the SHC enables estimates of certain parameters such as cooling capacity and critical mass-flow to be used by the SHC. Such parameters are critical for close control of suction superheat over the complete heat pump operating range and for any degree of evaporator frosting. Indeed, it is shown that knowledge of efficiency degradation due to frost formation is critical for overall cycle optimization and multi-variable, coordinated control strategies.

Experimental data from a laboratory heat pump is presented as validation of the approach and application examples such as defrost-on-demand are introduced. Furthermore, the importance of such an inferential sensor for multi-variable control strategies achieving maximum year round performance is introduced.

Keywords: Heat Pump, Heat Exchanger, Energy Efficiency, Frost Formation, Inferential Sensor, Superheat, Multi-Variable Control

II.2.19

Low GWP Chillers Development

Nacer Achaichia*, Stefan Schuessler

Honeywell Fluorine Products, Amsterdam, Netherlands

* Corresponding author

Chiller development has undergone significant changes in order to meet the various regulations. The Montreal protocol calls for the phase out of ozone depleting substances. This resulted in a shift in Chiller refrigerants from CFCs to HCFCs to now HFCs, where currently R134a is the most widely used refrigerant in centrifugal chiller applications. The Kyoto protocol has also highlighted the issue of global warming. Refrigerants like HFCs are once more under scrutiny because of their radiative properties that make them potentially Global Warming agents. The F-gas regulation in Europe has been reviewed. It calls for a ban of High GWP refrigerants in certain applications, and a phase down of HFCs consumption based on their CO₂ equivalent. In Switzerland, stricter legislation s are already in place. The ORRChim regulation has been revised for installation with 400kW or more. Only fluids with GWP<10 are allowed for such capacity requirements. This limit has a direct implication for chiller installation in Switzerland.

A new generation of refrigerants that have GWP ≤ 1 while exhibiting the high efficiencies associated with HFCs, has been developed. These new refrigerants are now being used in Low and medium pressure centrifugal chillers with very promising results.

The paper will review this shift in refrigerant technology for centrifugal chillers leading to new chillers applications that have no ozone depleting and no direct global warming impact on the environment.

II.2.20

Wärmeübertrager-Auslegung für Kältemittel mit hohem Temperaturgleit

Michael Freiherr

Güntner GmbH & Co.KG, Hans-Güntner-Str. 2 - 6, 82256 Fürstentfeldbruck
michael.freherr@guentner.de

Die sogenannten „low-GWP Kältemittel“ (wie bspw. R-449A) weisen durchweg hohe Temperatur-Gleits im Bereich zwischen 3K und 8K auf. Dieses Temperatur-Gleit hat einen Einfluss auf die Auslegung bzw. den Betrieb der Wärmeübertrager.

Während das Kältemittel den Verflüssiger durchläuft, nimmt seine mittlere Temperatur, bedingt durch das Temperatur-Gleit, stetig ab. Im Verdampfer verhält es sich genau umgekehrt. Hier steigt die mittlere Temperatur des Kältemittels allmählich an. Dieses Verhalten führt zu sich deutlich verändernden mittleren Temperaturdifferenzen im Vergleich zu Einstoff-Kältemitteln.

Beim Verflüssiger verlangt die kleiner werdende Temperaturdifferenz nach größeren Wärmeübertragerflächen, während Verdampfer scheinbar kleiner ausgelegt werden können, da deren mittlere Temperaturdifferenz größer wird.

Jedoch spricht die dramatisch höhere Entfeuchtungsleistung kleinerer Verdampfer gegen die herkömmliche Berechnungsmethodik mittels Taupunkt-Temperatur. Im Besonderen ist hier die Kühlung unverpackter, feuchtesensibler Lebensmittel in NK-Anwendungen zu nennen. Bei TK-Anwendungen ist dieser Umstand weniger relevant, da die absolute Entfeuchtung bei sehr tiefen Temperaturen ohnehin gering ist.

Der Vortrag beleuchtet die physikalischen Hintergründe und bietet einen praxisgerechten Lösungsansatz für die Auslegung von Verflüssigern sowie Verdampfern an.

Stichwörter:

Temperatur-Gleit, Wärmeübertrager, Temperaturdifferenzen, Entfeuchtungsleistung

Systematische Erstellung und Anwendung messtechnischer Konzepte zur energetischen Untersuchung von Kälteanlagen

Stefan Eisenhauer*, Thorsten Hauck, Michael Arnemann

Hochschule Karlsruhe, Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)
76133 Karlsruhe, Deutschland
stefan.eisenhauer@hs-karlsruhe.de, thorsten.hauck@hs-karlsruhe.de,
michael.arnemann@hs-karlsruhe.de

* Korrespondenzautor

Ein Ziel der aktuellen Umweltpolitik ist die Erhöhung der Effizienz von Kälteanlagen. Damit sollen Ressourcenverbrauch und CO₂-Ausstoß reduziert werden. Ein hohes Potenzial zur Effizienzsteigerung wird für kältetechnische Anlagen prognostiziert. Bei komplexen Anlagen sind die experimentelle Bestimmung und Bewertung einer Energieeffizienz oft sehr aufwendig.

Für eine standardisierte und möglichst einfache Vorgehensweise wird eine strukturierte Analyse der notwendigen Schritte zur Erstellung eines Messkonzeptes bei Kälteanlagen durchgeführt. Der Fokus liegt auf den Möglichkeiten die Anzahl der Messstellen zu verringern und trotzdem eine aussagekräftige Bewertung der Effizienz zu ermitteln.

Ausgehend von den grundlegenden Exergieströmen werden die benötigte Messtechnik je nach Art der Energieform definiert und darauf aufbauend die typischen Komponenten von Kälteanlagen in ihren möglichen Funktionen betrachtet.

Problematisch bei bisherigen Effizienzermittlungsmethoden ist die Anpassung an eine reale Anwendung. Beispiele dafür sind Anlagen mit mehreren Verdampfungstemperaturen oder die thermodynamische Berücksichtigung einer Wärmerückgewinnung. Demgegenüber können mithilfe des erstellten Konzeptes mehrere flexible, auf Primärenergie bzw. Betriebskosten fokussierte Teil-Effizienzgrade von den einzelnen Bauteilen bis hin zur gesamten Anlage ermittelt werden.

Das modulare Konzept wird beispielhaft für eine industrielle Ammoniak-Kälteanlage mit überfluteten Verdampfern und Wärmerückgewinnung angewandt und mit bisher gängigen Methoden der Effizienzermittlung verglichen.

Stichwörter:

Effizienz, Messung, Messtechnik, modulares Messkonzept, Exergiestrome

II.2.22

Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Phasenwechselmaterialien in der Klimasimulation

Andreas Wagner^{1,*}, Raimund Kögler², Robin Langebach¹, Ullrich Hesse¹

¹ Technische Universität Dresden,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentechnik, 01062 Dresden
Andreas.Wagner@tu-dresden.de, Robin.Langebach@tu-dresden.de
Ullrich.Hesse@tu-dresden.de

² Feutron Klimasimulation GmbH, Am Weberbrunnen 1, 07957 Langenwetzendorf
raimund.koegler@feutron.de

* Korrespondenzautor

Zur Beurteilung der Qualität und Lebensdauer von technischen Bauteilen oder Baugruppen werden diese gemäß einer Prüfnorm oft mehreren Aufheiz- und Abkühlungszyklen hintereinander ausgesetzt. Bei den hierfür verwendeten Klimasimulationskammern wird beispielsweise die unter dem Einsatz von Kompressionsarbeit erzeugte Temperaturabsenkung durch eine elektrische Heizung wieder rückgängig gemacht. Somit wird für jeden Aufheiz- und Abkühlzyklus entsprechend der thermischen Last und der Art der Erzeugung der thermischen Leistungen Energie benötigt. Die aufzuwendende Energie verursacht im Rahmen der Energiewende immer höher werdende Betriebskosten. Daher lohnt es sich, Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung in der Klimasimulation zu untersuchen.

Unter der Voraussetzung, dass ein Klima mit zyklisch wechselnden Temperaturen simuliert wird, kann der Einsatz von Phasenwechselmaterialien eine Energieeinsparung bewirken. Phasenwechselmaterialien, kurz PCMs für phase-change materials, sind Materialien, die technisch genutzt werden, um Wärme zu speichern. Das Speichern erfolgt in Form von latenter Schmelzwärme bei einer material-spezifischen Schmelztemperatur. Ein PCM kann beispielsweise beim Abkühlen einer Klimaprüfkammer Wärme aufnehmen, speichern und diese beim nächsten Aufwärmzyklus wieder abgeben.

Im vorliegenden Paper werden optimale Schmelztemperaturen für PCMs in Abhängigkeit von konkreten Temperaturprüfzyklen ermittelt und ihre maximalen Energieeinsparpotenziale aufgezeigt. Als Vergleich dient eine Klimaprüfkammer, die Kälte durch eine Kompressionskälteanlage und Wärme durch eine elektrische Heizung bereitstellt.

Stichwörter:

Phasenwechselmaterial, Latentwärmespeicher, Schmelztemperatur, Klimasimulation, Optimierung, Effizienz, Energieeinsparung

II.2.23

Freie Kühlung mit Pumpenzirkulation des Kältemittels CO₂

Peter Röllig

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

Im Rahmen eines Forschungsprojektes im ILK Dresden wird ein neues Frei-Kühl-Verfahren mit Kältemittelzirkulation entwickelt. Dabei wird im Wesentlichen der Kältekreislauf der Kältemaschine genutzt, jedoch für die Freie Kühlung um eine Kältemittelpumpe sowie einem Sammler/Standrohr als Flüssigkeitsvorlage für den Pumpenzulauf erweitert.

Aus ökologischen, aber auch thermodynamisch/kältetechnischen Gründen wird das Kältemittel CO₂ für den Prozess verwendet.

Gegenüber dem weit verbreiteten Stand der Technik - der Freien Kühlung mit einem Kälte-träger-Zwischenkreis - ist mit dem neuen Verfahren theoretisch eine Erhöhung des Frei-Kühl-Anteils um bis zu 20 % möglich. Die praktische Anwendung wird vor allem bei ganzjährig mit Vollast betriebenen Direktverdampfersystemen, z. B. Klimatisierung von elektrischen Schaltanlagen, IT-/Serverräumen, Rechenzentren u. ä. gesehen.

III.01

„Quo vadis“ bei den Kältemittel: Erfahrungen und Ausblicke

Nicolas Dietl

Chemours (DuPont) Deutschland GmbH,
Technisches Marketing & Business Development für Opteon® Kältemittel
63263 Neu-Isenburg

Im Rahmen der jüngst in Kraft getretenen F-Gase Verordnung 517/2014 steht unter anderem die Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen im Fokus der europäischen Zielsetzung. Dieser „Phase-Down“ stellt dabei eine völlig neue Situation im Markt dar, denn im Gegensatz zu den bisherigen „Phase-Outs“ gibt es diesmal nur vereinzelte Verbote, jedoch soll das Produkt aus Treibhauspotential und Kältemittelmenge (=CO₂-Equivalent) bis 2030 deutlich reduziert werden.

Eine Schlüsselrolle zur Erfüllung der F-Gase Verordnung kommen dabei die neuen Kältemittel der 4. Generation zu, den sogenannten Hydrofluorolefinen (HFOs). Nur mit Hilfe dieser Stoffe ist eine erfolgreiche Umsetzung der regulatorischen Vorgaben möglich und um gleichzeitig einer tatsächlichen Mengenverknappung am Markt entgegenzuwirken.

Der Vortrag fasst diese jüngsten Entwicklungen zusammen, gibt einen Überblick über den aktuellen Stand in der Kältemittelentwicklung und bietet einen Ausblick auf die kommenden Jahre. Als konkretes Beispiel werden die neuesten Erfahrungsberichte aus der Gewerbekälte (404A-Ersatzkältemittel) mit dem Kältemittel Opteon® XP40 (R-449A) vorgestellt und erste Pilotprojekte mit den neuen A2L-Kältemitteln in der Klima- und Kältetechnik aufgegriffen und diskutiert.

III.02

R404A replacements in Commercial refrigeration

Ruediger Fleischer, Jean De Bernardi*

Honeywell Fluorine Products Europe B.V., Laarderhoogtweg 18, NL-1101 EA Amsterdam
Phone: +49 5651- 7789, Fax: +49 5651- 71565
Mail: ruediger.fleischer@honeywell.com

* Corresponding author

Commercial Refrigeration has been undergoing significant changes in order to meet the various regulations. Refrigerants like HFCs are once more under scrutiny because of their radiative properties that make them potentially Global Warming agents. It is evident that GWPs are used by, among others, policymakers to compare the impact on the climate system of emission of different greenhouse gases in order to regulate their usage.

Refrigerants with high GWP, like R404A, widely used in the retail sector have become under increasing pressure following the F-gas review. Refrigerants with GWP >2500 will be banned as from 2020. The HFC phase down based on the CO₂ equivalent will ensure high GWP refrigerants will be difficult to maintain.

A fourth generation fluorocarbon chemistry has also been identified. It incorporate the desired environmental properties, that is, low global warming potential (GWP) with respect to climate change, while maintaining desirable properties and high performance characteristics. New molecules have been identified. Blends based on these new HFO molecules have been identified to replace existing HFCs. A road map of future lower GWP refrigerants has been identified and will be presented.

Initial evaluation of these refrigerants in refrigeration systems show good energy efficiency and significant lower global warming impact than current refrigerants. Some guidance on the use of these blends is needed to achieve the desired good performance and low environmental impact.

The paper will present Performance comparison of various potential replacements to R404A in both medium and Low temperature applications. Case studies demonstrating the environmental and financial impact through the use of the new blend will also be presented.

III.03

Butan als Kältemittel für Wärmepumpen in industriellen Prozessen

Gerwin Schmid*, Michael Lauermann, Mirza Popovac

AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department, Sustainable Thermal Energy Systems,
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich
gerwin.schmid@ait.ac.at

* Korrespondenzautor

In Österreich sind Industrieunternehmen für etwa ein Drittel des Endenergieverbrauchs verantwortlich, wobei etwa 74 % davon für Prozesswärme benötigt wird, welche wiederum zu einem großen Teil aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Auf der anderen Seite werden die verursachten Abwärmeströme nur selten genutzt, beziehungsweise können auf Grund ihrer relativ geringen Temperaturen nicht direkt genutzt werden. Um das Abwärmepotential nutzen zu können, sind Industrierärmepumpen notwendig, welche Abwärme mit Temperaturen von 50 °C bis 80 °C auf 100 °C bis 130 °C heben können.

In dieser Arbeit werden mögliche industrielle Prozesse kurz allgemein erläutert, wobei auf einen spezieller eingegangen wird. Verschiedene mögliche Wärmepumpenschaltungen für diesen Prozess werden präsentiert, wobei als Kältemittel Butan zum Einsatz kommt. Butan eignet sich hervorragend für derartige Anwendungen, da es eine höhere kritische Temperatur als andere Kohlenwasserstoffe aufweist. Jedoch ist Butan leicht brennbar, weshalb besonderes Augenmerk auf die Kältemittelfüllmenge gelegt werden muss. Die verschiedenen Wärmepumpenschaltungen (Einstufig, Mehrstufig, Ejektorschaltungen) wurden mit Modelica® simuliert und ausgewertet.

Da in der vorgesehenen Wärmepumpe Plattenwärmeübertrager eingesetzt werden sollen, war eine weitere Kernfrage das Verdampfungs- und Kondensationsverhalten von Butan in eben solchen. Hierzu wurde ein Verdampfungs- und Kondensationsmodell in OpenFOAM® erstellt und einzelne Wärmetauscher (Volumen zwischen zwei Platten) mittels CFD simuliert. Um das Modell zu validieren, wurden zunächst Simulationen mit gut bekannten Kältemitteln durchgeführt und mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen. Die Simulationen mit Butan wurden an verschiedenen Wärmeübertragergeometrien durchgeführt mit dem Ziel die Kältemittelfüllmenge zu minimieren.

Eine experimentelle Validierung mittels eines Wärmepumpenfunktionsmusters sind Gegenstand der Arbeit, können jedoch noch nicht präsentiert werden.

Stichwörter:

Butan, Industrie-Wärmepumpe, Plattenwärmeübertrager, Ejektor, CFD, Dymola

III.04

Kohlendioxid als Kältemittel für Laborkühlgeräte

Joachim Germanus*, Simon Günther

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

* Korrespondenzautor

R744 wird bisher als Kältemittel aufgrund seiner vergleichsweise großen volumetrischen Kälteleistung und der guten Wärmeübertragungseigenschaften vor allem in der Gewerbekälte und in Wärmepumpen eingesetzt. Als natürliches Kältemittel besitzt es jedoch auch Potenzial für Anwendungen im Bereich kleinerer Kälteleistung, insbesondere für Laborgeräte, bei denen der Einsatz von Kohlenwasserstoffen aufgrund deren Brennbarkeit ausscheidet. Einer breiteren Anwendung von CO₂ stehen bisher vor allem am Markt nur eingeschränkt erhältliche Komponenten der entsprechenden Leistungsklasse entgegen.

Es wurden zwei Laborkühlgeräte (Umlaufkühler und Kühlbrutschrank) auf R744 umgerüstet und mit den entsprechenden, mit fluorierten Kältemitteln betriebenen Serienmodellen verglichen. Bei Umgebungstemperaturen, die dem geplanten Einsatz in Laboren entsprechen, wurden mit den umgerüsteten Geräten im Vergleich zu den Serienmodellen energieeinsparende Kühlergebnisse erzielt. Dies wurde u. a. durch Verwendung einer Magnetventil-gesteuerten Doppelkapillar-Einspritzung erreicht. Erst bei erhöhten Umgebungstemperaturen oberhalb von 30 °C sind Verschlechterungen der Kühlergebnisse in Kauf zu nehmen.

Der Einsatz von R744 hat sich als sehr vielversprechender Weg herausgestellt und lässt sich auch auf andere Anwendungen in der Kleingeräte Kühlung übertragen.

Stichwörter:

Kohlendioxid, natürliche Kältemittel, Gerätekühlung, Energieeffizienz

III.05

Effizienzsteigerung von Haushaltskühlgeräten durch polymergebundene Phasenwechselmaterialien

Gerrit Sonnenrein^{1,*}, Andreas Elsner¹, Klaus Fieback², Karsten Lessmann³,
Andreas Morbach⁴, Jadran Vrabec¹

¹ Lehrstuhl für Thermodynamik und Energietechnik, Universität Paderborn

² PCM-innovativ GmbH, Michendorf

³ Pfinder KG, Böblingen

⁴ Miele & Cie. KG, Gütersloh

* Korrespondenzautor

Obwohl der Energieverbrauch von einzelnen Kühlgeräten gering erscheint, weisen sie aufgrund ihrer nahezu vollständigen Marktdurchdringung und ihrer meist ganzjährigen Laufzeit in der Summe ein großes Energieeinsparpotential auf. Da der Energiebedarf des Kälteprozesses letztlich von der Differenz zwischen Verflüssigungs- und Verdampfungstemperatur bestimmt wird, lassen sich durch den Einsatz von Phasenwechselmaterialien (Phase Change Material, PCM), die große Wärmemengen bei nahezu konstanter Temperatur aufnehmen, sowohl die Verflüssigungstemperatur absenken als auch die Verdampfungstemperatur anheben und dadurch die Energieaufnahme signifikant reduzieren. Probleme wie die geringe Wärmeleitfähigkeit, Unterkühlungseffekte, Toxizität der

PCM sowie die Kosten ihrer Verkapselung zur Ausfallsicherheit, letzteres vor allem verflüssigerseitig, standen einer praktischen Anwendung bislang jedoch entgegen. Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts wurden hochkapazitive, formstabile Latentwärmespeicherelemente auf der Basis Block-Copolymer gebundener organischer Paraffin-Derivate entwickelt, deren Wärmeleitfähigkeit von 0,19 W/(m K) durch Additivierung mit expandiertem Graphit bis zu einem Faktor 20 auf 3,95 W/(m K) erhöht wurde. Durch ihre Integration auf der Verflüssiger- als auch der Verdampferseite konnte die Energieaufnahme von Haushaltskühlgeräten jeweils um ca. 10 % reduziert werden, in Kombination sogar bis zu 17 %.

III.06

Kältespeicherung in Haushaltskühlgeräten

Jörg Waschull*, Roland Müller, Wolfgang Herschier, Ronny Künanz

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

* Korrespondenzautor

Kühlanwendungen haben das Potenzial, in einem Smart-Grid als flexible Last zu wirken. Dazu müssen allerdings einige technische Voraussetzungen geschaffen werden. So ist es dazu notwendig, Kälteanlagen nicht mehr wie allgemein üblich nach den Kühlanforderungen, sondern nach der Energieverfügbarkeit bzw. den Energiekosten betreiben zu können. Konkret müssen dafür folgende Aufgaben gelöst werden:

- Entwicklung eines Kältespeichers mit integrierten Wärmeübertragern,
- Beeinflussung des Wärmeübergangs zwischen Kältespeicher und Kühlraum,
- Entwicklung eines Ladezustandssensors (SOC),
- sowie die Entwicklung einer Steuereinheit mit Kommunikationsschnittstellen.

Diese Aufgaben wurden im Rahmen eines Entwicklungsprojektes bearbeitet und die Teillösungen in ihrem Zusammenspiel an einem Haushaltskühlgerät demonstriert.

Die Kältespeicherung erfolgte mit Hilfe von Salz-Wasser-Eutektika. Die bedarfsgerechte Regelung der Kühlleistung wurde durch eine ventilgesteuerte Heatpipe realisiert. Für die Ladezustandsbestimmung wurde ein Sensor auf der Basis eines leitfähigen Polymers entwickelt. Die Kommunikation zum übergeordneten Energiesystem erfolgte über eine WLAN-gekoppelte Steuereinheit mit Nutzerschnittstelle. Die angewandten Prinzipien sind auf andere Kühleinrichtungen übertragbar.

Stichwörter:

PCM, Kältespeicher, SOC, Smart-Grid

III.07

Der „Global Standard“ - die neue Norm IEC 62552 zur Prüfung von Haushaltskältegeräten

Andreas Elsner^{1,*}, Jochen Härten²

¹ Universität Paderborn, Lehrstuhl für Thermodynamik und Energietechnik
33098 Paderborn, Deutschland
elsner@thet.uni-paderborn.de

² BSH Hausgeräte GmbH, 89537 Giengen, Deutschland

* Korrespondenzautor

Im Februar 2015 wurde die neue Norm IEC 62552 mit den Teilen 1 bis 3 veröffentlicht.

Wie der Arbeitstitel „Global Standard“ bereits andeutet, ist damit eine Norm geschaffen worden, die weltweit zur Anwendung kommen soll. Sie stellt einen Satz von Standardprüfungen zur Verfügung, welche die Merkmale und Anforderungen der wichtigsten Märkte berücksichtigen. Regionale Unterschiede, die sich z. B. aus nationalen Label- oder Effizienzvorschriften ergeben, können dadurch berücksichtigt werden, indem diverse Umrechnungsfaktoren auf die mit den Standardprüfungen gewonnenen Daten angewendet werden.

Ein sehr großer Teil der Norm beschäftigt sich mit der Ermittlung der Energieaufnahme. Mit einer neuen Messmethodik sollen möglichst viele Faktoren berücksichtigt werden, welche die Energieaufnahme von Haushaltskältegeräten beeinflussen (z. B. auch das Nutzerverhalten).

Im Vortrag werden die wesentlichen Neuerungen und Unterschiede zur derzeit in Europa noch gültigen Norm EN 62552 aufgeführt und die Methodik zur Ermittlung der Energieaufnahme anhand von aktuellen Messungen dargestellt.

Stichwörter:

Haushaltskältegeräte, Energieaufnahme, Normung, Global Standard

III.08

Simulationsgestützte Optimierung eines Haushaltsgefrierschranks

Martin Heimel^{1,*}, Stefan Posch¹, Johann Hopfgartner¹, Erwin Berger¹,
Axel Stupnik², Raimund Almbauer¹

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

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

* Korrespondenzautor

Die thermodynamische Optimierung von Haushaltskühlgeräten wird in der Praxis größtenteils durch aufwendige experimentelle Untersuchungen am Gerät vollzogen, wobei das zu optimierende Maß der Normenergieverbrauch ist. Anhand eines Gefrierschranks soll eine Analyse sowie Optimierung unter Zuhilfenahme einer Kreislaufsimulation durchgeführt werden. Die Kreislaufsimulation selbst besteht aus mehreren validierten Komponenten. Kondensator, Verdampfer, Kapillarrohr inklusive Saugrohr-Wärmeübertrager, Kompressor sowie Innenraum sind Einzelbestandteile dieses Werkzeuges und wurden entkoppelt vom Gesamtsystem anhand realer Komponenten abgestimmt.

Es wird gezeigt, dass ein gut abgestimmtes, transientes Simulationsmodell in der Lage sein kann, die energetisch relevanten Vorgänge im Kühlkreislauf zu erfassen. Durch Ändern von Parametern wie Kondensatormasse, Rohrlänge, Wärmeübergang, Druckverlust oder Einschaltzeit zeigt sich die Auswirkung auf den Energieverbrauch. Dieser wird für jeden untersuchten Fall durch eine transiente Berechnung bis hin zu einem zyklisch stationären Betrieb ermittelt. Die Vorteile dieser Methode sind der vergleichsweise geringe zeitliche Aufwand gegenüber einer experimentellen Untersuchung, konstante thermische Randbedingungen sowie die freie Wahl an änderbaren Parametern.

Stichwörter:

Kreislaufsimulation, Wärmeübertrager, transient, Normenergieverbrauch

III.09

Exergieoptimierter Produktionsbetrieb

Einbindung einer NH₃-Kälteanlage in das Wärmeversorgungssystem eines Schlachthofes

David Wöss^{1,*}, Alexander Schumergruber², Tobias Pröll¹

¹ Institut für Verfahrens- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich
david.woess@boku.ac.at, tobias.proell@boku.ac.at

² Rudolf Großfurtner GmbH, Hofmark 1, 4972 Utzenaich, Österreich
alexander.schumergruber@grossfurtner.at

* Korrespondenzautor

Am Betriebsstandort der Fa. Großfurtner in Utzenaich/Österreich wurden im Zuge der Erneuerung der Kältezentrale 2014 integrierte Energiekonzepte erstellt. Die fleischproduzierende Betriebsstätte benötigt neben dem Kältebedarf für Kühl- und Gefrierlagerung auch produktionsbedingt Wärme für die Brauchwasserbereitung bzw. für die Heizung der Produktionshalle.

Mithilfe von dynamischen Jahressimulationen auf Basis von hydraulischen Berechnungen, Massen- und Energiebilanzen konnten verschiedene Konzepte theoretisch verglichen werden. Dabei zeigte sich, dass durch verbraucherseitige Temperaturniveauoptimierungen ein Großteil der Kondensationsabwärme der Kälteanlage verwendet werden kann, wenn diese auf ein Temperaturniveau von 40 °C angehoben wird.

Auf Basis einer Exergie-Analyse konnte eine optimierte Einbindung der Warmwasserbereitung und der Hallenbeheizung erstellt werden. Diese Einbindung bietet verglichen mit derzeitigen Standardkonzepten (Kälteanlage bei Kondensationstemperatur 25 °C, Zentrale Brauchwasserbereitung mit Erdgas) neben ökonomischen auch ökologische Vorteile im Sinne einer CO₂-Emissionsvermeidung.

Diese Arbeit zeigt anhand eines realen Beispiels, dass durch optimierte Abwärmenutzung vor Ort langfristig eine CO₂-Emissionsreduktion von Betrieben bei gleichzeitigen wirtschaftlichen Vorteilen erreicht werden kann.

III.10

Wärmerückgewinnung (WRG) bei der gewerblichen Kälteerzeugung erfolgreich eingesetzt

Robert Baust

Robert Schiessl GmbH, Kolpingring 14, 82041 Oberhaching
Telefon: +49 (0)89 61306-133, Telefax: +49 (0)89 61306-171
E-Mail: r.baust@schuessl-kaelte.de

Es gehört mittlerweile fast zum Allgemeinwissen der Branche, dass 14 % der erzeugten elektrischen Energie für Klima- u. Kälteanwendungen benötigt werden. Hingegen sind die absoluten Zahlen schon weniger bekannt. Man kann beispielsweise recht einfach abschätzen, dass man mit nur einem Prozent der erzeugten Verflüssigungswärme den Heizwärmebedarf aller Haushalte der Stadt Dresden für ein Jahr lang decken könnte. Dieser Vergleich macht das enorme Potential der WRG deutlich.

Leider wird die WRG bei gewerblichen Kälteanlagen häufig gar nicht eingesetzt oder nicht optimal ausgenutzt. Bei kalten Außentemperaturen mit Kältemittel durchströmte Außenverflüssiger und dauerhaft zu niedrige oder zu hohe Verflüssigungstemperaturen verhindern häufig optimale Ergebnisse.

Am Beispiel einer ausgeführten Kälteanlage für eine mittelständische Metzgerei wird aufgezeigt, dass eine optimale WRG einen beträchtlichen Beitrag zur Minderung der Betriebskosten und letztlich der CO₂-Emissionen leisten kann.

Der Wärmebedarf der Metzgerei wird zu 100 % mit der WRG gedeckt und das bei einem Heißwasserbedarf von bis zu 12 m³ pro Tag. Durch eine optimierte Heißgasenthitzung werden Wassertemperaturen bis zu 90 °C erreicht, ohne starke Minderung des COP.

Im zweiten Teil wird gezeigt, wie sich einfach, die wirtschaftlich maximal sinnvolle Temperatur ermitteln lässt, die mit Verflüssigungswärme erzeugt werden kann. Da der Wärmebedarf häufig auf hohem Temperaturniveau gedeckt werden muss, ist die Kenntnis dieser Temperatur für die Anwendung der WRG sehr wichtig.

III.11

“Smart Chilling & Heating” im verarbeitenden Lebensmittelbetrieb

D. Lukas

SSP Kälteplaner AG, Bittertenstr. 15, 4702 Oensingen, Schweiz

Ein Projekt der **SSP Kälteplaner AG** war die Umstellung der **Kälteerzeugung der Metzgerei Feneberg** von einer NH₃-Pumpenanlage mit hoher Kältemittelmenge auf eine NH₃-Schwerkraftanlage mit Kälte-trägersystem.

Feneberg ist ein familiengeführtes Unternehmen aus Kempten im Allgäu und betreibt 75 Lebensmittelmärkte. “Aus der Region für die Region” – das ist das Motto der Fenebergs. So ist das Unternehmen nicht nur an vielen Orten in der Region präsent, es setzt sich auch stark für regionale Lebensmittel ein.

Die Aufgabenstellung von Feneberg lautete:

- Einbau einer energieeffizienten Kälteerzeugung
- Kältemittelmenge drastisch reduzieren
- Umbau bei laufendem Betrieb
- Hohe Nutzbarkeit der Abwärme.

Die neue Anlage hat eine installierte Kälteleistung von 1800 kW. Eine Erweiterung bis auf 2700 kW ist möglich.

Mit der neuen Anlage wurde die Kältemittelmenge von über 3 t auf 1,15 t reduziert.

Optimale Nutzung der Wärmerückgewinnung:

- Abwärmenutzung auf drei Temperaturniveaus (25°C / 47°C / 60°C)
- Die Abwärme wird in den Wintermonaten zu 100 % genutzt und nicht an die Umgebung abgegeben.
- In den Sommermonaten kann die Abwärme bis zu 50 % genutzt werden.
- Die Abwärme wird genutzt für
 - o Warmwassererwärmung
 - o Waschwassererwärmung
 - o Lüftungsanlage

Das Projekt wurde unter Erfüllung der genannten Punkte erfolgreich ausgeführt.

III.12

Parallelbetrieb von Kaltwassersätzen: Die hydraulische Weiche, der Pufferspeicher und die Freigabe

Yves Wild

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

In Kaltwassersystemen muss der Primärkreislauf (Erzeugerkreislauf), der normalerweise mit konstantem Volumenstrom an den Kaltwassersätzen arbeitet, vom Sekundärkreislauf (Verbraucherkreislauf), der mit variablen Volumenströmen betrieben wird, hydraulisch entkoppelt werden. Dies geschieht mittels einer sogenannten hydraulischen Weiche. Darüber hinaus müssen für den sicheren Betrieb der Kältemittelverdichter gewisse Mindestlaufzeiten eingehalten werden, um die Verdichter nicht übermäßig takten zu lassen. Daher wird ein Mindestanlagenvolumen benötigt, welches oft mit Hilfe eines Pufferspeichers zur Verfügung gestellt wird. Schließlich müssen, sofern mehrere Kaltwassererzeuger vorhanden sind, diese kontrolliert zu- und abgeschaltet werden. Dies erfolgt üblicherweise durch die Gebäudeleittechnik (GLT).

In der Praxis werden bei der Auslegung entsprechender Systeme immer wieder Fehler gemacht, die dazu führen, dass die Kaltwassersätze nicht optimal betrieben werden. Dabei können sogar ernstzunehmende Schäden an den Kaltwassersätzen auftreten.

In dem Vortrag sollen

- die grundlegenden hydraulischen Schaltungen erklärt,
- die Dimensionierung des Pufferspeichers nach unterschiedlichen Ansätzen erläutert sowie
- das Konzept der Freigabe der Kaltwassersätze und das Zusammenspiel mit der internen Regelung der Geräte beschrieben werden.

Anhand von Schadensbeispielen werden die Auswirkungen dargestellt, die vor allem durch falsche Regelungskonzepte eintreten können.

Stichwörter:

Kaltwassersatz, Hydraulische Weiche; Pufferspeicher, Freigabe, Regelung

III.13

Gestaltung luftgekühlter Erdgasverflüssigungsanlagen

Christoph Windmeier*, Sebastian Ulmer, Philipp Lückerath, Rainer Hoffmann

Linde AG, Engineering Division, Dr.-Carl-von-Linde-Str. 6-14, 82049 Pullach
Christoph.Windmeier@Linde-LE.com

* Korrespondenzautor

Der Einsatz von luftgekühlten Kondensatoren im Bereich der Erdgasverflüssigung (LNG) ermöglicht es potentiell negative Umwelteinflüsse durch Wärmeeintrag in Fluss- oder Seewasser und durch die erforderliche Kühlwasserbehandlung zu minimieren. Zudem zeichnen sich luftgekühlte Anlagen bei vergleichbaren Installationskosten durch einen geringeren Wartungsaufwand und damit durch eine deutlich höhere Verfügbarkeit gegenüber Anlagen mit klassischer Wasserkühlung aus.

Für mittlere bis große Produktionskapazitäten müssen typischerweise Wärmeströme im Bereich von 10 - 500 MW an die Umgebungsluft abgegeben werden. Um eine hohe Anlagenleistung unter Berücksichtigung der lokalen Wetterbedingungen garantieren zu können ist besonderes Augenmerk auf die Gestaltung der Kühlerbänke sowie deren Anordnung innerhalb der Anlage zu richten. Dabei gilt es, ein möglichst kompaktes Aufstellungskonzept zu entwickeln, welches sowohl thermische Rückkopplungen innerhalb der Kühlerbank als auch Wechselwirkungen zu externen Prozesseinheiten minimiert und gleichzeitig Effizienzeinbußen durch Fehlanströmung der Wärmeübertrager vermeidet.

Mit Hilfe von numerischen Strömungssimulationen (CFD) und Langzeitmessungen im Feld wurden Regeln und Methoden abgeleitet, die sowohl eine effiziente Gestaltung des Aufstellungsplans in einer frühen Projektphase ermöglichen als auch eine belastbare Abschätzung der erforderlichen Überdimensionierung der Kühlerbank zur Kompensation unvermeidbarer Effizienzeinbußen liefern.

Stichwörter:

Erdgasverflüssigung, LNG, Luftkühlung, Kondensatoren, Umwelteinflüsse

III.14

Erdgas-Speichersystem mit hoher Energiedichte

Martin Klupsch*, Daniel Schmidt, Sandra Tippmann

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
martin.klupsch@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

In Deutschland gibt es derzeit etwa 100.000 Kraftfahrzeuge, welche druckförmig gespeichertes Erdgas (CNG¹) als Kraftstoff verwenden. Trotz umwelt- und kostentechnischer Vorteile gegenüber den traditionellen Kraftstoffen Benzin und Diesel stagnierte der Zuwachs dieser Antriebsart in den letzten Jahren. Insbesondere die geringe Erdgas-Speicherdichte, und damit Reichweite, im Vergleich zu den konventionell angetriebenen Kraftfahrzeugen, wird dabei auch als problematisch angesehen.

Es wird eine am ILK Dresden entwickelte neuartige Speicherlösung vorgestellt. Dabei wird druckförmiges Erdgas im Temperaturbereich zwischen –70 bis –50 °C gespeichert und damit die Dichte des Erdgases verdoppelt. Der Aufbau eines ersten Prototypen-Speichersystems wird dargestellt, welches im Wesentlichen aus Druckspeicher, Isolation und einem separat entwickelten, mobilen, Kfz-tauglichen Kleinkühler besteht, der bei langen Standzeiten und resultierendem Wärmeeintrag eine Drucksteigerung verhindert. Es werden wesentliche Versuchs- und Entwicklungsergebnisse speziell zum Kleinkühler und abschließend zum Gesamt-Speichersystem vorgestellt.

¹ CNG: Compressed Natural Gas, Nennspeicherdruck 200 bar

III.15

„Kälteanlage zur Erdgas-Trocknung - maßgeschneiderte Technik im Ex-Bereich“

Felix Lindau

Johnson Controls Systems & Service GmbH
Gottlieb- Daimler Strasse 8, 68165 Mannheim, Germany
Felix.Lindau@jci.com

Erdgas wird nach der Förderung einer mehrstufigen Aufbereitung unterzogen, um es in erforderlicher Qualität in das Ferngasleitungsnetz einspeisen zu können. In diesem Rahmen ist es notwendig, den Taupunkt auf einen definierten Wert abzusenken. Dies wird mit Hilfe einer kundenspezifisch ausgeführten Kältetrocknungsanlage erreicht, die Ihre Schnittstelle direkt zum Hauptgasstrom hat.

Die Kälteanlage ist auf Kundenwunsch in 100 % redundanter Ausführung hergestellt, wobei die Komponenten zweier Kreisläufe komplett über Kreuz geschaltet werden können. Als Kältemittel wird Propan eingesetzt und die gesamte Anlage ist in explosionsgeschützter Ausführung hergestellt.

Die Kältekreisläufe bestehen aus 2 kundenspezifisch ausgeführten Schraubenverdichteraggregaten, luftgekühlten Verflüssigern, Sammlern, Economizern sowie überfluteten Verdampfern.

Erdgasseitig gehören neben den Gaskühlern auch die Flüssigkeits-Abscheidetechnik sowie die Vorkühler bzw. Nach-Erhitzer zum Lieferumfang in diesem Projekt.

Eine weitere Besonderheit der Kälteanlage ist die Ausführung in Containerbauweise für Außenaufstellung.



III.16

Schalt- und Proportionalantriebe für Ventile in mobilen Klimakreisläufen auf Basis von Funktionselementen aus einer Formgedächtnislegierung

Jürgen Sohn*, Eike Willers

OTTO EGELHOF GmbH, Entwicklung, Stuttgarter Str. 60, 70736 Fellbach
j.sohn@egelhof.com, e.willers@egelhof.com

* Korrespondenzautor

In modernen Kraftfahrzeugen ist eine große Anzahl von Elektromotoren und Magnetventile verbaut, die unterschiedlichste Steuer- und Regelaufgaben erfüllen. Speziell in Kältekreisläufen finden sich motorisch oder magnetisch angetriebene Ventile zur Klimatisierung von Fahrgastzellen oder elektrischen Bauteilen wie Batterien. Der Vorteil dieser Antriebe liegt in der guten Verfügbarkeit und

einem akzeptablen Preis/Leistungsverhältnis. Nachteilig wirken sich oft das Gewicht der Antriebe sowie die Geräuschentwicklung beim Schalten aus, die speziell beim Einbau der Antriebe im Fahrgastraum als störend empfunden wird.

Alternativ dazu steht die Entwicklung von Antrieben für Klimaventile auf Basis eines vorgespannten Drahtelements aus einer Formgedächtnislegierung (FGL). Formgedächtnislegierungen werden auch als „Smart Materials“ bezeichnet und haben die Eigenschaft, reibungsfrei und völlig geräuschlos zwischen zwei eingestellten Zuständen zu wechseln und Aktor- und Sensoreigenschaften zu besitzen. Die Aktivierung des FGL-Elements im umgebenden Kältemittel erfolgt über eine angelegte Spannung mit Hilfe des ohmschen Widerstands. Die FGL-basierende Antriebe werden im Klimakreislauf als Schaltventil oder mit entsprechender widerstand- oder lagebasierender Regelung als Proportionalventil eingesetzt. Die Vorteile dieser Entwicklungen liegen in geräuschlos arbeitenden, leichten Antrieben mit Positionsrückmeldung durch die integrierte Sensoreigenschaft der FGL-Elemente.

Stichwörter:

FGL-Ventil, FGL-Antrieb, Klimaventil, Formgedächtnislegierung

III.17

Indirekte Kälteanlage mit Wärmepumpenfunktion für Hybrid- und E-Fahrzeuge

Peter Schrank¹, Benedikt Rabl^{1,*}, Alois Steiner¹, Matthias Hütter², René Rieberer³

¹ Virtual Vehicle Research Center, Inffeldgasse 21/A, 8010 Graz, Österreich
peter.schrank@v2c2.at, benedikt.rabl@v2c2.at, alois.steiner@v2c2.at

² AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, Österreich
matthias.huetter@avl.com

³ Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Österreich
rene.rieberer@tugraz.at

* Korrespondenzautor

Die Klimatisierung des Fahrgastraumes eines PKW verursacht einen erheblichen Energieverbrauch. Bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen spielt vor allem die Beheizung der Kabine in der kalten Jahreszeit eine wesentliche Rolle, da die beim herkömmlichen Verbrennungsmotor erzeugte Abwärme teilweise oder sogar gänzlich wegfällt. Rein elektrische Heizungen reduzieren die Reichweite der Fahrzeuge drastisch. Zusätzlich besteht speziell bei Elektrofahrzeugen bei hohen Umgebungstemperaturen oft der Bedarf der Batteriekühlung. Umgekehrt kann die Abwärme der Leistungselektronik die Konditionierung der Fahrzeugkabine bei geringen Umgebungstemperaturen unterstützen, wenn das Temperaturniveau mittels Wärmepumpe angehoben wird.

In diesem Manuskript werden Simulations- sowie Messergebnisse einer indirekten Kälteanlage mit Wärmepumpenfunktion vorgestellt, welche den Energiebedarf für die Innenraumkonditionierung deutlich senken könnte und die einfache Einbindung weiterer Wärmequellen und -senken ermöglicht. Das verwendete System soll vor allem im Entfeuchtungs- und Heizbetrieb eine Effizienzsteigerung ermöglichen und das Thermomanagement im gesamten Fahrzeug vereinfachen. Als Kältemittel kommt R744 zum Einsatz, welches sich aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften besonders für den Wärmepumpenbetrieb eignet.

Stichwörter:

Elektrofahrzeug, Hybridfahrzeug, R744, Wärmepumpe, Klimatisierung

III.18

R-744-Kälteanlage mit Wärmepumpenfunktion für Schienenfahrzeuge

Alois Steiner^{1,*}, Christian Kollik¹, Andreas Presetschnik², René Rieberer³

¹ Virtual Vehicle Research Center, Inffeldgasse 21/A, 8010 Graz, Österreich
aloi.steiner@v2c2.at, christian.kollik@v2c2.at

² Liebherr-Transportation Systems GmbH & Co KG, Liebherrstrasse 1, A-2100 Korneuburg, Österreich
andreas.presetschnik@liebherr.com

³ Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Österreich
rene.rieverer@tugraz.at

* Korrespondenzautor

Durch die Verwendung des natürlichen Kältemittels R-744 (CO₂) in Schienenfahrzeugen, anstatt der bisher verwendeten HFKWs mit deutlich höherem Treibhauspotential, könnten die direkten Treibhausmissionen deutlich reduziert werden. Zusätzlich eignet sich R-744 hervorragend für den Wärmepumpenbetrieb, wodurch in der kalten Jahreszeit der Energiebedarf im Vergleich zur rein elektrischen Beheizung ca. halbiert werden kann. Die Nutzung der Außenluft als Wärmequelle führt bei niedrigen Umgebungstemperaturen zur Vereisung des Außenraumwärmetauschers, wodurch auch ein Abtaubetrieb vorgesehen werden muss. In diesem Manuskript werden Ergebnisse einer R-744-Versuchsanlage für Schienenfahrzeuge im Heiz- sowie Enteisungsbetrieb vorgestellt und diskutiert.

Stichwörter:

Schienenfahrzeuge, R-744, Wärmepumpe, Enteisung

III.19

Neue Ansätze zur effizienten Klimatisierung von Flugzeugen durch den Einsatz des Kaltdampfprozesses

Steffen Golle^{1,*}, Ullrich Hesse¹, Frank Klimpel²

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik,
Bitzer-Stiftungsprofessur für Kälte-, Kryo- und Kompressorentchnik,
Münchner Platz 3, 01062 Dresden
Steffen.Golle@tu-dresden.de, Ullrich.Hesse@tu-dresden.de

² Airbus Operations GmbH, Spezialist Kaltluftklimaanlage,
Kreetslag 10, 21129 Hamburg-Finkenwerder
Frank.Klimpel@airbus.com

* Korrespondenzautor

Die Entwicklung neuer, effizienter Flugzeugtriebwerke mit höherem Nebenstromverhältnis beeinflusst auch die Bewertung der Flugzeugklimaanlagen, die in heutigen Passagierflugzeugen auf einen offenen Kaltluftprozess basieren und durch Zapfluft aus dem Triebwerk angetrieben werden. Jede Reduzierung der für die Klimatisierung benötigten Zapfluft ermöglicht damit eine umso höhere Treibstoffeinsparung. Das größte Verbesserungspotential bietet der Ersatz des Kaltluftprozesses durch einen Kaltdampfprozess. Es werden daher in einem Forschungsprojekt verschiedene Ansätze für neue Klimatisierungssysteme mit pneumatischem Antrieb für aktuelle Flugzeuge und elektrischem Antrieb für zukünftige Flugzeuge untersucht.

Zu Beginn werden dabei die verschiedenen Anforderungen und Randbedingungen, sowie die Systemgrenzen und Referenzsysteme analysiert. Anschließend werden die neuen Flugzeugklimaanlagen ausgelegt und mit einem detaillierten Modell berechnet. Die Bewertung der neuen Systeme erfolgt durch einen Vergleich mit den jeweiligen Referenzsystemen. Die Ergebnisse zeigen bei der pneumatisch angetriebenen Flugzeugklimaanlage eine deutliche Verringerung des benötigten Zapfluftmassenstroms von 21 % für den Referenzfall am Boden und 25 % für den Betriebsfall im Flug, jeweils bei heißen Umgebungsbedingungen.

Stichwörter:

Flugzeugklimatisierung, Kaltdampfprozess

III.20

Lebenszykluskosten verschiedener Klimatisierungssysteme für Elektro-Linienbusse

Dominic Jefferies*, Tu-Anh Ly, Alexander Kunith, Dietmar Göhlich

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik,
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Deutschland

dominic.jefferies@tu-berlin.de, tu-anh.ly@tu-berlin.de, alexander.kunith@tu-berlin.de,
dietmar.goehlich@tu-berlin.de

* Korrespondenzautor

Das Heiz- und Kühlsystem (HVAC-System) ist der wichtigste Nebenverbraucher in elektrischen Fahrzeugen. Bei ungünstigen Bedingungen kann sein Verbrauch in der gleichen Größenordnung liegen wie der Traktionsverbrauch, sodass das HVAC-System die Batteriereichweite des Fahrzeugs empfindlich beeinflussen kann, insbesondere bei Verwendung elektrischer Widerstandsheizung. Innovative Wärmepumpenlösungen, die den Verbrauch im Heizbetrieb deutlich reduzieren, befinden sich derzeit in Erprobung.

Vor diesem Hintergrund wurde ein technisch-wirtschaftlicher Vergleich dreier konkurrierender HVAC-Lösungen für Elektro-Linienbusse durchgeführt: (1) R134a-Klimaanlage mit elektrischer Widerstandsheizung, (2) R744-(CO₂)-Wärmepumpe mit Kühl- und Heizfunktion und (3) R134a-Klimaanlage mit Dieselheizung. Zur Ermittlung des jährlichen Energiebedarfs der Klimasysteme wurden in der Simulationssprache Modelica Simulationsmodelle eines Omnibus-Fahrgastraums und der HVAC-Systeme entwickelt. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden die Lebenszykluskosten der Klimasysteme untersucht, wobei auch eine an das jeweilige System angepasste Kapazität der Traktionsbatterie berücksichtigt wurde.

Die Untersuchung ergab, dass für den Standort Berlin Energiebedarf und Betriebskosten vom Heizbedarf dominiert werden, der – je nach Klimasystem – einen Anteil von ca. 70 % bis über 90 % am jährlichen Gesamtenergiebedarf hat. Bei aktuellen Preisen für Energie, Klimasystem und Batterie ist das System mit Dieselheizung am wirtschaftlichsten zu betreiben. Das Wärmepumpensystem ermöglicht jedoch energetische Einsparungen von ca. 50 % und eine Ersparnis der Betriebskosten von etwa 40 % gegenüber den anderen, untersuchten Systemen. Seine Wettbewerbsfähigkeit wird momentan noch durch hohe Investitionskosten gehemmt; es darf allerdings davon ausgegangen werden, dass der Preis des Wärmepumpensystems künftig fallen wird, da es sich um eine relativ neue Technologie handelt. Das Heizen mit elektrischer Widerstandsheizung ist aufgrund der notwendigen, erheblich größeren Traktionsbatterie nicht wirtschaftlich.

Stichwörter:

Elektrobus, Klimatisierung, Heizung, Wärmepumpe, Simulation

Development of climate friendlier truck refrigeration systems with R290 in South Africa

Daniel Colbourne^{1,*}, Johanna Gloël¹,
Zhongjie Huan², Dietram Oppelt¹, Michael Schuster³, Peter Solomon⁴

¹ HEAT GmbH, Germany
kontakt@heat-international.de

² Tshwane University of Technology, Department of Mechanical Engineering,
Mechatronics and Industrial Design, South Africa
HuanZ@tut.ac.za

³ GIZ, Transport Refrigeration Project, South Africa
Michael.Schuster@giz.de

⁴ Transfrig, South Africa
peter@transfrig.co.za

* Korrespondenzautor

This paper describes the development of low-GWP refrigerated transport systems for small and large trucks using R290 by Transfrig, a South African manufacturer. The overall climate impact of the refrigeration system is minimised both through improving energy efficiency and eliminating the GWP of leaked refrigerants.

The existing systems use R404A for all unit sizes and temperature levels and compressors are direct driven from the on-board diesel engine. The new systems using R290 are electrically powered via a diesel engine and alternator and include a variable speed drive for capacity control. For the redesign of the systems, the main aspects that were addressed were circuit optimisation and integration of safety measures.

Circuit optimisation comprised system simulations in order to select compressors and redesign of heat exchangers in order to achieve the same cooling capacities as R404A, whilst maximising improvement in COP and reducing refrigerant charge as much as possible. Subsequent to this, measurements were carried out to validate the performance with R290.

In order to mitigate the flammability risk of using R290, several aspects were addressed. In terms of the equipment redesign, other than charge size reduction, the main changes were to remove potential sources of ignition or apply pre-ventilation to remove any build-up of potentially flammable mixtures. Additionally, a leak identification feature was integrated into the system controls whereby a suspected substantial leak would result in a shut-down of the system and a warning signal to ensure no additional refrigerant can leak into the refrigerated space. Furthermore, extensive leak simulation tests were carried out to characterise the development of potentially flammable concentrations around the condensing unit and surrounding area, within the refrigerated space and adjacent to the doors.

Finally, conformity to the relevant parts of EN 378 and the essential health and safety requirements of the Atex (equipment) directive were confirmed. Currently a number of systems are undergoing field trials.

This paper is funded by the German Government and implemented by the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH under the International Climate Initiative (IKI) Project "Emission mitigation in transport refrigeration sector through the introduction of innovative logistic and supply structures in South Africa".

Praxistests mit Propan im Kühl-Container Leckage-Versuche und Simulation

Holger König^{1,*}, Marius Bararu², Klaus Jensen², Kai Holtappels³, Abdelkarim Habib³,
Christian Liebner³, Michael Kreißig³

^{1*} ref-tech engineering, Kressbronn, Deutschland
holger.Koenig@ref-tech.de

² Maersk Container Industry, Tinglev, Dänemark

³ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

* Korrespondenzautor

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

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse aus praktischen Versuchen zur Untersuchung des Brand- und Explosionsrisikos durch Propan-Kältemittel-Leckagen bei Kühlcontainern vorgestellt. Ein Sicherheitskonzept für Kühlcontainer mit Propan wurde getestet und validiert. Darüber hinaus erfolgten umfangreiche Leckage-Simulationen und ein Abgleich mit den Ergebnissen der praktischen Versuche.

Die Experimente und die Simulationen wurden auf dem Testgelände der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung durchgeführt, weitere Versuche erfolgen beim Hersteller mit Unterstützung des Danish Institute of Fire and Security Technology (DBI).

Die gute Übereinstimmung der praktischen Ergebnisse mit den Leckage-Simulationen lassen eine Verallgemeinerung und ein Studium der verschiedenen Betriebsbedingungen und Betriebsorte von Kühlcontainern hinsichtlich einer potentiellen Gefährdung durch Kältemittel-Leckagen zu. Explosionsgefährdete Bereiche lassen sich leichter identifizieren und geeignete Maßnahmen ableiten.

Es zeigt sich, dass Gefahrensituationen bei kleinen, mittleren und Rohrbruch-Leckagen gut beherrscht werden.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Gefahren von austretendem brennbarem Kältemittel im Fall einer Leckage vielfach überbewertet werden.

[1] König, H., Bararu: Risk Assessment for Reefer Containers with Flammable Refrigerants, 11th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, August 31-September 2, 2014, Hangzhou, China

Stichwörter:

Kühlcontainer, Sicherheit, Explosionsschutz, Praxisversuche, Leckagesimulationen, Propan, brennbare Kältemittel

IV.01

Die DIN EN 16798 wirft ihre Schatten voraus - neue europäische Auslegungs- und Berechnungsnormen für Klimaanlage

Ronny Mai*, Andreas Hantsch

ILK Dresden gGmbH, Hauptbereich Luft- und Klimatechnik,
Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden
Tel. 0351-4081-658, E-Mail: ronny.mai@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

Die Auslegung von Klimaanlage erfolgte seit 2007 nach den Normen DIN EN 15251 (Anforderungen an das Raumklima) und DIN EN 13779 (Anforderungen an die Anlagentechnik). Voraussichtlich im Frühjahr 2016 werden diese Normen durch die neue europäische Normenreihe EN 16798 mit insgesamt 18 Teilen abgelöst. Diese Normenreihe entstand in verschiedenen Expertengremien beim europäischen Normungsinstitut CEN auf der Basis des Normungsmandates 480 für eine integrierte Energiebewertung und die Förderung der Energieeffizienz von Gebäuden. Die Autoren sind Mitarbeiter in diesen Gremien.

Gegenüber den bisherigen Normen unterscheidet sich die Normenreihe durch die inhaltliche Trennung in einen normativen einen informativen Normenteil, wobei der normative Teil durch die Norm und der informative Teil durch einen separaten Technischen Bericht abgebildet werden. Inhaltlich werden neben der Auslegung von Lüftungs- und Klimaanlage auch die Bewertung der Energieeffizienz und die Anforderungen an die Energetische Inspektion von Klimaanlage neu definiert. Aufgrund der hierarchischen Normenstruktur in Europa müssen alle Inhalte in den Nationalstaaten direkt umgesetzt werden.

Anhand der Normenstruktur werden die einzelnen Normenteile inhaltlich kurz vorgestellt und die mit der Umsetzung verbundenen Konsequenzen erläutert. Am praktischen Beispiel werden die wesentlichen Neuerungen gegenüber dem derzeitigen nationalen Normungsstand verdeutlicht.

IV.02

Relevanz von Nutzungseinflüssen auf die tatsächliche Effizienz von energetischen Sanierungsmaßnahmen

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

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

*Korrespondenzautor

Etwa 70 % der Gebäude in Deutschland wurden vor 1979 erbaut [1], das Potential dieses Sektors in Bezug auf die Primärenergieeinsparung ist dementsprechend hoch. Das im Dezember 2014 beschlossene „Aktionsprogramm Klimaschutz“ der Bundesregierung legt deshalb einen Schwerpunkt auf die Sanierung von Gebäuden. In Verbindung mit dem „Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz“ (NAPE) gilt die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden als ein wichtiger Eckpfeiler [2]. Das Forschungsvorhaben „Auswirkungen des Reboundeffektes bei der Sanierung von Bestandswohngebäuden“ bildet die Basis für eine umfangreiche Untersuchung von energetischen Sanierungsmaßnahmen und die damit einhergehenden erzielbaren Energie- und CO₂-Einsparungen.

Durch die Novellierung der EnEV werden die Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäude strenger. Eine Analyse der Wärmeverschiebung innerhalb der sanierten Gebäude zeigt, dass die

Wärmegewinne durch die Nachbarwohnungen die Verluste durch Transmission nach außen und in das Treppenhaus teilweise oder sogar vollständig kompensieren können. Andererseits können die Wärmeverschiebungen zu den Nachbarwohnungen mehr als 25 % der gesamten Wärmeverluste der jeweiligen Wohnung ausmachen. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das Heizverhalten benachbarter Nutzer und die damit einhergehenden Wärmeverschiebungen innerhalb des Gebäudes einen hohen Einfluss auf den Wärmebedarf der jeweiligen Wohnung haben.

Durch die Auswertung von Messdaten der Untersuchungsobjekte über drei Heizperioden (2011 bis 2013) kann zudem festgestellt werden, dass der gemessene Verbrauch im Bereich Trinkwarmwasser und Heizwärme stark vom Nutzerverhalten abhängig ist. Die Spreizung der Trinkwarmwasserverbräuche liegt für das Jahr 2012 im Bereich von unter 5 bis zu 30 kWh/(m²a). Die Varianz in den Werten entsteht zum einen durch die Belegung der Wohnungen (ein- bis vier-Personen-Haushalt), als auch durch die Häufigkeit und Länge der Dusch- und teilweise Badevorgänge. Im Vergleich mit den im Jahr 2012 gemessenen Verbräuchen ist im Mittel eine gute Übereinstimmung mit den Bedarfswerten nach DIN 4108-6 und DIN V 18599 feststellbar. In Bezug auf den Heizwärmeverbrauch ist eine andere Spannweite von kleiner 5 bis zu 85 kWh/(m²a) vorhanden. Die meisten Wohnungen (52 WE von 60 WE) befinden sich im Bereich von bis zu 45 kWh/(m²a). Eine gewisse Schwankung im Heizwärmeverbrauch ergibt sich durch die Lage der Wohnungen im Gebäude, z. B. Randbereich sowie unterschiedliche wärmeübertragende Umfassungsflächen. Die hier festgestellte Bandbreite an Verbrauchswerten lässt sich nicht nur auf diese Parameter zurückführen, sondern auch auf das Nutzerverhalten.

Trotz der nicht vollständig erreichten Einsparungsziele kann im Projekt gezeigt werden, dass eine energetische Gebäudesanierung zur Reduzierung des Energieverbrauchs und damit einhergehend der Energiekosten und der Treibhausgasemission beiträgt.

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

Stichwörter:

Energetische Sanierung, EnEV Nachweisverfahren, Gebäudeenergieverbrauch, Nutzungseinflüsse, Energy-Performance-Gap

[1] Bundesregierung: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5. Version: 2010

[2] BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE). Berlin, Dezember 2014

IV.03

Energetische Effizienz unterschiedlicher Sanierungsstrategien am Beispiel von Prototypgebäuden

Katrin Ansorge*, Rita Streblow, Dirk Müller

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

* Korrespondenzautor

Mit ihrem Energiekonzept formuliert die Bundesregierung Leitlinien für eine bis 2050 reichende Gesamtstrategie, um den Gesamtenergieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen in Deutschland deutlich zu reduzieren. So soll unter anderem der Wärmebedarf in Gebäuden bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 80 % reduziert werden.

Der Bau von neuen Niedrigenergie-, Passiv- oder „Nullemissionshäusern“ kann bei geringen Neubauquoten hierzu nur einen begrenzten Beitrag leisten. Im Wohngebäudebestand von über 18 Millionen bestehenden Wohngebäuden liegen hingegen große Energieeinsparpotentiale. Die energetische Sanierung von Wohngebäuden bietet daher gute Möglichkeiten den Gesamtenergiebedarf in Deutschland zu senken. Ein Großteil der Wohneinheiten in Deutschland entfällt auf Ein- und Zweifamilien-

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

Bei der energetischen Optimierung von Wohngebäuden konkurrieren unterschiedliche bauliche und technische Maßnahmen um das zur Verfügung stehende Kapital. Baulich-technische und sozioökonomische Barrieren schränken die Effizienzpotenziale für den in diesem Vorhaben untersuchten Teil des Gebäudebestandes ein. Daher ist es von großer Bedeutung optimale Sanierungsstrategien für den Wohngebäudebestand zu identifizieren.

Aufbauend auf die im vergangenen Jahr vorgestellten ersten energetischen Berechnungen, werden nun vergleichende Untersuchungen für die sieben im Projekt entwickelten Prototypgebäude durchgeführt. Hierbei wird analysiert, welche Auswirkungen einzelne Sanierungsmaßnahmen auf den Energiebedarf der unterschiedlichen Typgebäude haben. Die Prototypen repräsentieren typische Gebäude des Wohngebäudebestands und sollen somit eine Hochrechnung der Energieeinsparungen ermöglichen.

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

Stichwörter:

Energetische Sanierung, EnEV, Nachweisverfahren, Wohngebäude

IV.04

Hygrisch aktiver Luftherhitzer

Hygienische und energieeffiziente Luftbefeuchtung über Membranen

Hannes Rosenbaum

ILK Dresden gGmbH, Hauptbereich Luft- und Klimatechnik
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

Tel.: 0351 4081-667, Fax: 0351 4081-655, hannes.rosenbaum@ilkdresden.de

Wirtschaftlichkeit und Notwendigkeit des Einsatzes von Luftbefeuchtern in der Klimatechnik werden häufig diskutiert. Während eine Befeuchtung der Zuluft in Produktionsstätten (Papier-, Textilindustrie) für den wirtschaftlichen Betrieb unerlässlich ist, wird bei der Klimatisierung von Aufenthaltsbereichen (Kindergärten, Bildungseinrichtungen, Büroräume) oftmals auf Luftbefeuchtungssysteme verzichtet. Besonders im Winter führt der sehr niedrige Wassergehalt der Außenluft ohne Befeuchtung zu einer Verminderung der Luftqualität. Hygiene und Gesundheit werden negativ belastet. Unwohlsein und Leistungsminderung bis hin zur Erkrankung der Atemwege können die Folgen sein. Während im Ergebnis medizinischer Studien eine relative Feuchte der Raumluft von mindestens 40 % gefordert wird, können als Grund für den Verzicht auf Befeuchtungssysteme letztlich nur deren Funktionsweise und die damit verbundenen Betriebs- und/oder Energiekosten der bestehenden Systeme ausgemacht werden:

Befeuchtungssysteme mit Wasser sind energieeffizient, jedoch verbunden mit erhöhtem Platzbedarf (Verdunstungsstrecke, Tropfenabscheider, Nacherhitzer) und hohen Aufwendungen für Wartung und Reinigung (Hygiene). Befeuchtungssysteme mit Dampf sind hingegen hygienisch unbedenklich, jedoch geprägt von sehr hohen energetischen Aufwendungen (Betriebskosten) zur Dampferzeugung.

Mit Membran- Wärme- und Stoffübertragern lassen sich die hygienischen Vorteile des Dampfefeuchters mit den energetischen Vorteilen konventioneller Verdunstungsluftbefeuchter in einer Komponente zum Heizen und Befeuchten zusammenfassen. Zur Befeuchtung verdunstet Wasser durch die Membran. Für die Bereitstellung der Verdampfungswärme genügt ein niedriges Temperaturniveau. Die Membran als hermetische Trennschicht zwischen Wasser- und Luftstrom beugt zudem der biologischen Kontamination (Pilze, Keime, Bakterien) auf der Luftseite vor und minimiert die Aufwendungen für Wartung und Reinigung.

Der Vortrag stellt die ILK-Entwicklung eines „hygrisch aktiven Luftherhitzers“ vor. Beschrieben werden Anlass, Verfahren und Testergebnisse ebenso, wie Potentiale und Herausforderungen.

IV.05

Kältemaschinen mit Eisspeicher in Smart Grids

Modellbasierte Betriebsführung zur Kostenoptimierung

Sebastian Thiem^{1,2,*}, Vladimir Danov¹, Jochen Schäfer¹, Thomas Hamacher²

¹ Corporate Technology, Siemens AG, Günther-Scharowsky-Str. 1, 91058 Erlangen
Tel.: +49-9131-722552, E-Mail: sebastian.thiem.ext@siemens.com

² Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme, TU München
Parkring 37, 85748 Garching

* Korrespondenzautor

Die zunehmende, fluktuierende Einspeisung erneuerbarer Energien in das Stromnetz erfordert kostengünstige Flexibilitätsoptionen zur wirtschaftlichen und zuverlässigen Stromversorgung. Kompressionskältemaschinen mit thermischem Energiespeicher ermöglichen durch eine Entkopplung des Strombezugs vom Kältebedarf Lastverschiebungen (Demand side management). Für eine Versuchsanlage bestehend aus einer zweistufigen Kompressionskältemaschine und einem Eisspeicher wurden Modelle entwickelt und in einer Simulation mit experimentellen Daten validiert. Hierauf aufbauend wurde ein modellbasierter Regler für die Kälteanlage entwickelt. Annahmen für die Regelung sind, dass dem Anlagenbetreiber ein dynamischer Strompreis zur Verfügung steht, und dass determinierte Vorhersagen für die Kältelast und die Umgebungstemperatur vorliegen. In der auf einem Dynamic-Programming-Algorithmus basierenden Regelung werden sowohl Anfahrkosten wie auch Betriebsgrenzen der einzelnen Komponenten berücksichtigt. Die vorgestellte Strategie ist unter den genannten Annahmen in der Lage, die Betriebskosten einer solchen Kälteanlage deutlich zu senken. In einer Szenario-Simulation für ein Hotel in München an einem Beispieltag im Sommer können die Betriebskosten der Anlage um 11 % gegenüber einer konventionellen Betriebsweise der Kältemaschine gesenkt werden.

IV.06

Optimierungspotential einer Absorptionskältemaschine mit Fernwärmeregeneration und Integration eines Eisspeichers

Fleming Bethke¹, Arndt-Erik Schael²

¹ Siemens AG (RC-DE BT NORD BPS), Lindenplatz 2, 20099 Hamburg
fleming.bethke@siemens.com

² Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Mannheim, Fakultät Technik
Coblitzallee 1 - 9, 68193 Mannheim

Bei dem Ziel die Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 40 % zu senken muss die Energieeffizienz von Kälteanlagen verbessert werden. Bei einem Kundenobjekt ist die derzeitige Kompressionskältemaschine über 15 Jahre alt und zudem nicht mehr für die Spitzenlast dieser Liegenschaft ausreichend dimensioniert. Durch einen günstig vorhandenen Fernwärmepreis eignet sich dieses Objekt für die Einbindung einer Absorptionskältemaschine (AKM). Da jedoch der Kältebedarf im Sommer am größten ist und der Wirkungsgrad einer AKM mit Fernwärmeanschluss in diesem Zeitraum wegen des Fernwärmeverlauf-Temperaturbereichs einen geringen thermischen Wirkungsgrad aufweist, wird hier das Potential eines Eisspeichers analysiert. Für die wirtschaftliche Betrachtung werden die Investitionskosten sowie die Energieverluste des Eisspeichers berücksichtigt. Für die Optimierung der Systemlösung wird für die Ermittlung des Beladungszeitraumes der exergetische Wirkungsgrad einer AKM in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur der Fernwärme analysiert und mit den Verlusten und den dazu gehörigen Kosten des Eisspeichers gegenübergestellt.

Latentwärmespeicher für Kälteanwendungen

Christoph Rathgeber*, Andreas Krönauer, Stefan Hiebler

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern),
Bereich Energiespeicherung, Walther-Meißner-Str. 6, D-85748 Garching
christoph.rathgeber@zae-bayern.de

* Korrespondenzautor

Latentwärmespeichermaterialien (Phasenwechselmaterialien, engl.: phase change materials = PCM) nehmen beim Phasenübergang fest-flüssig große Mengen an Wärme auf bzw. geben diese ab. Der reversible Phasenwechsel fest-flüssig ist für die technische Nutzung wegen der geringen Volumenänderungen des PCM interessant. Durch die annähernd konstante Temperatur während des Phasenwechsels erreichen thermische Energiespeicher auf der Basis von PCM hohe Speicherkapazitäten in kleinen Temperaturintervallen. Deshalb sind PCM besonders für Kälteanwendungen eine energetisch sinnvolle Alternative zu herkömmlichen sensiblen Speichern, da in der Regel nur geringe Temperaturdifferenzen zum Laden und Entladen des Speichers zur Verfügung stehen. Für Anwendungen um 0 °C werden Eisspeicher bereits vielfach erfolgreich eingesetzt. Für Temperaturen unter -20 °C sowie im Bereich zwischen 10 °C und 20 °C werden jedoch andere PCM benötigt, die Gegenstand aktueller Forschungsprojekte sind.

In den Projekten *Entwicklung eines Latentwärmespeichers und eines PCM-Slurry auf Salzhydratbasis mit Phasenwechseltemperatur 15 °C* („PC-Cools_S“, FKZ: 03ESP138D) sowie *Thermische Speicher als verschiebbare Lasten im elektrischen Netz* („DiTES4Grid“, FKZ: 03ESP330A) werden daher PCM für Kälteanwendungen entwickelt und charakterisiert.

In „PC-Cools_S“ werden sowohl ein PCM auf Salzhydratbasis mit einer Phasenwechseltemperatur von ca. 15 °C als auch ein PCM-Slurry auf Salzhydratbasis für den Temperaturbereich 15 – 20 °C entwickelt und untersucht. Des Weiteren wird in Zusammenarbeit mit der *Vaillant GmbH* ein zentraler Latentwärmespeicher konzipiert und getestet. Dieser ermöglicht es die bei der Warmwassererzeugung im Sommer anfallende Kälte einer Wärmepumpe zu speichern und zur Gebäudekühlung z. B. über eine Fußbodenheizung wieder abzugeben.

Ziel des Projektes „DiTES4Grid“ ist die Entwicklung eines Latentwärmespeichers zur Integration in eine Kühl-/Gefrierkombination des Industriepartners *BSH Hausgeräte GmbH* um diese als elektrische verschiebbare Last verwenden zu können. Das ausgewählte Gerät und das gewählte Speicherkonzept legen die Phasenwechseltemperatur fest. Geeignete PCM auf Basis eutektischer Salzlösungen werden im Hinblick auf Phasenwechseltemperatur, Korrosion, Zyklusstabilität, Volumenänderung und Preis untersucht.

Stichwörter:

Thermische Energiespeicher, Phase change materials (PCM), Salzhydrat, Gebäudekühlung, elektrische verschiebbare Last

IV.08

Fallstudie zum Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik

Andreas Hantsch*, Hannes Rosenbaum, Karsten Hackeschmidt

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH, Hauptbereich Luft- und Klimatechnik
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Tel.: 0351 4081-684, andreas.hantsch@ilkdresden.de

* Korrespondenzautor

Sich ändernde Lastprofile erfordern Energiespeicher, um unnötig große Heiz- oder Kühlleistungen zu vermeiden. In der Gebäudetechnik gibt es unter anderem durch den Tagesgang der Sonne ausgeprägte Kühllastspitzen am Nachmittag, während Heizlastspitzen in den zeitigen Morgenstunden auftreten. Dies betrifft prinzipiell alle Gebäudetypen, wie Wohn- und Geschäftshäuser, Industriehallen, Rechenzentren, etc. Die erforderlichen Energiespeicher können verschieden ausgeführt werden. Zur Erhöhung der Leistungsdichte empfiehlt es sich jedoch, die Phasenwechselenthalpie von speziellen Materialien (Phasenwechselmaterialien, PCM) auszunutzen.

Im Rahmen dieser Fallstudie wurden verschiedene Szenarien ausgewählt, um den Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik zu untersuchen. Diese umfassen verschiedene Gebäudetypen, Nutzungsverhalten, die Art des PCM-Einsatzes sowie klimatische Bedingungen. Zu diesem Zweck wurde ein TRNSYS-Modell für Jahressimulationen entwickelt. Ausgewertet wurden zum einen die Heiz- und Kühllastverläufe und zum anderen die frei schwingende Raumtemperatur.

Der Vergleich der Varianten zeigt Szenarien auf, in denen der Einsatz von PCM lohnenswert ist. Aus diesen Ergebnissen der Studie lassen sich konkrete Planungsempfehlungen herleiten.

IV.09

Night time cooling by ventilation or night sky radiation combined with in-room radiant cooling panels including Phase Change Materials

Eleftherios Bourdakis, Bjarne W. Olesen*, Fabio Grossule

Technical University of Denmark, International Centre for Indoor Environment and Energy
Nils Koppels Allé, Building 40, Kongens Lyngby, Denmark
bwo@byg.dtu.dk

* Corresponding author

Night sky radiative cooling technology using PhotoVoltaic/Thermal panels (PVT) and night time ventilation have been studied both by means of simulations and experiments to evaluate their potential and to validate the created simulation model used to describe it. An experimental setup has been constructed at the Technical University of Denmark, where the outside PVT panels are connected through a storage tank to in-room radiant ceiling panels. The radiant ceiling panels include phase change material (PCM) and embedded pipes for circulating water. Due to the phase change material it is possible to store the heat generated during the day from internal sources. Then during the night the panels can be cooled down again and regenerated. The possibility of cooling down the panels during the night with outside air was also studied. The night cooling power of the PVT panels ranged from 92 to 119 W/m² depending on the sky clearness. This cooling power was enough to remove the stored heat and regenerate the ceiling panels. The validation simulation model results related to PCM were close to the corresponding results extracted from the experiment, while the results related to the production of cold water through the night sky radiative cooling differed significantly. The possibility of night time ventilation was studied through simulations for three different latitudes. It was concluded that for Danish climatic conditions night time ventilation would also be able to regenerate the panels while its contribution is not sufficient in warmer South-European climates.

IV.10

Höchste Energie Label Klassifizierung durch Optimierung des Bivalenzpunktes

Christian Köfinger*, Markus Köfinger, Andreas Zottl

AIT – Austrian Institute of Technology, Energy Department
Giefinggasse 2, A-1210 Vienna, Austria
Telefon: +43 50550-6509
E-Mail: christian.koefinger@ait.ac.at, Web: <http://ait.ac.at>

* Korrespondenzautor

Durch die Verordnung zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Geräten und die Veröffentlichung der Norm EN 14825 ist es möglich, die Effizienz eines Gerätes nicht nur an einem einzelnen Punkt anzugeben, sondern die am Markt befindlichen Geräte bezogen auf ihre Saisonale Effizienz (SCOP) zu vergleichen. Für diesen Vergleich wird nicht nur eine Leistungszahl (COP) verwendet, sondern mit den COP Werte bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen SCOP errechnet. Prüfstandsmessungen zeigen, dass je nach Auslegung der Wärmepumpe und Wahl des Bivalenzpunktes für Luft Wärmepumpen SCOP-Werte bis zu 4,5 erreicht werden können.

Anhand der Norm EN 14825 wurde weiters untersucht, welche Auswirkung die Variation des Bivalenzpunktes auf den resultierenden SCOP und somit das Energie Label einer Wärmepumpe hat. Hierzu wurden die Daten von 15 Wärmepumpen von 15 verschiedenen Herstellern betrachtet, diese Geräte nutzen die Außenluft, das Erdreich und das Grundwassers als Energiequelle. Zur Optimierung wurden die Berechnungen für die drei im Energie-Label hinterlegten Klimazonen durchgeführt

Für die Untersuchung und Optimierung startet, je nach Klima, die Untersuchung bei -22 °C (kaltes Klima), -10 °C (mittleres Klima) oder 2 °C (warmes Klima). Der Bivalenzpunkt der Wärmepumpen wird für die Berechnung des SCOP in 0,1 °C-Schritten bis zu 15,9 °C erhöht.

Auch bei den üblicherweise monovalent betriebenen Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen kann eine deutliche Verbesserung des SCOP erzielt werden.

Stichwörter:

Energieeffizienz, Energielabel, Wärmepumpenoptimierung

IV.11

Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen

Franziska Bockelmann*, M. Norbert Fisch, Mathias Schlosser, Markus Peter

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

* Korrespondenzautor

Die Entwicklung im Bereich des Energiebedarfs und der bedarfsgerechten Energieversorgung von Gebäuden zeigt eine zunehmend wirtschaftliche und ökologische Bedeutung im Zusammenhang mit der Nutzung von regenerativen Energiequellen. Die optimierte Auslegung einer Wärmepumpe, die Auswahl der dazugehörenden Energiequelle sowie die Ankopplung an das Gebäude sind wesentliche Voraussetzungen zur Erreichung eines energieeffizienten und dauerhaft wirtschaftlichen Betriebs. Die Zahl der potentiell nutzbaren Niedertemperaturwärmequellen und Wärmeübertragersysteme am Markt nimmt mit dem wachsenden Einsatz von Wärmepumpen zu. Dabei kommen Produkte wie Eis-

speicher, Luftzäune oder Hochleistungs-Energiepfähle zum Einsatz, ohne das wissenschaftliche Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit oder das Kosten-Nutzen Verhältnis vorliegen.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Forschungsprojektes soll eine ganzheitliche, energetische und wirtschaftliche Bewertung der auf dem Markt vorhandenen Wärmequellen (Wärmeübertragungssysteme) für Wärmepumpen durchgeführt werden. Ziel ist dabei die Ermittlung der Plausibilität der einzelnen Quellen-Systeme sowie die Performance (u.a. Jahresarbeitszahl). Darüber hinaus soll die wirtschaftliche Einschätzung (Investitions- und Betriebskosten) eingebunden werden.

Der Fokus des Vortrages liegt auf der Darstellung der geplanten Ziele, dem Vorgehen und der Bearbeitung des Forschungsprojektes. Zudem werden erste Ergebnisse zur Bewertung und vergleichenden Darstellungen der Wärmequellen vorgestellt.

Die auf dem Markt angebotenen Wärmequellen für Wärmepumpen sind zum Teil sehr unterschiedlich in ihrer Funktionsweise und Performance. Bisher wurden diese Systeme nur gruppenspezifisch (erdgekoppelt, Einfamilienhausbau, o.ä.) oder nur im Einzelnen ohne Vergleich zu anderen Systemen analysiert und messtechnisch erfasst. Eine ganzheitliche Vergleichsbetrachtung u.a. in Hinblick auf die Leistungszahlen und die Performance ist nicht verfügbar.

Im Rahmen des Projektes werden im Bereich der Wohngebäude Systeme für Ein- und Mehrfamilienhäuser zur Gebäudeheizung und Trinkwassererwärmung untersucht, bei Nichtwohngebäuden (Bürogebäude) erfolgt die Betrachtung für den Heiz- und Kühlbetrieb.

Zu Beginn werden Simulationsmodelle für ausgewählte Wärmequellen und Übertragungssysteme erstellt. Anschließend erfolgt die energetische und ökologische Bewertung der einzelnen Systeme.

Zum qualitativen Vergleich der verschiedenen Simulationsergebnisse werden in einem projektbegleitenden Monitoring verschiedene Anlagen und Quellsysteme messtechnisch erfasst.

Stichwörter:

Wärmepumpen, Niedertemperatur-Wärmequellen, Wärmeübertrager, energetische und wirtschaftliche Bewertung, Monitoring, Simulation

IV.12

GreenHP: Design und Effizienz der nächsten Luft-Wärmepumpengeneration für die Sanierung im urbanen Raum

Andreas Zottl^{1*}, Michael Monsberger¹, Thomas Fleckl¹, Björn Palm²

¹ AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Energy Department
Giefinggasse 2, A-1210 Wien, Österreich
andreas.zottl@ait.ac.at

² KTH Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology
Brinellvägen 68, SE-100 44 Stockholm, Schweden
bjorn.palm@energy.kth.se

* Korrespondenzautor

Das Projekt Green Heat Pump (www.greenhp.eu) zielt auf die Entwicklung von Wärmepumpen der nächsten Generation für den Einsatz im renovierten großvolumigen Bestandsbau in urbanen Gebieten. Innovative Ansätze werden auf Komponenten-, Geräte- und Systemebene getroffen. Im Zuge der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten wird ein 30 kW L/W-WP Laborprototyp gebaut. Die Forschungsergebnisse werden auch für Systeme im größeren Maßstab mit Heizleistungen von 100 kW und mehr für Mehrfamilienhäuser oder Bürogebäude anwendbar sein, die in der Infrastruktur von Smart Cities der Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden. Das vorgeschlagene GreenHP-System wird mit einem natürlichen Kältemittel betrieben, mit großen (erneuerbaren) Energiesystemen wie vor allem Smart Grids interagieren und erneuerbare Energietechnologien, wie Photovoltaik und Solarthermie, beinhalten.

Das Design der GreenHP zielt darauf ab ein Heizungssystem mit hoher Effizienz und minimalen Auswirkungen auf die Umwelt zu realisieren. Im Zuge eines Life Cycle Assessments wurden Kältemittel unter diesen Aspekten untersucht und das natürliche Kältemittel R290 ausgewählt. Einen weiteren Schritt in Richtung Reduktion der Umweltauswirkungen bietet der Einsatz von Aluminium Multi-Port Extrusion-Tubes (MPE-Tubes) im Verflüssiger und Verdampfer, wodurch die Kältemittelfüllmenge minimiert werden kann. Die Verwendung von Aluminium für den Kondensator ermöglicht im Vergleich zu herkömmlichen Designs eine verbesserte Wärmeübertragung. Auf der Luftseite des Verdampfers werden hocheffiziente Lamellen entwickelt, die weniger empfindlich hinsichtlich Vereisung sind. Ein optimiertes Design des Ventilators sorgt für einen effizienteren Betrieb unter Vereisungsbedingungen. Auf der Kältemittelseite sorgt ein neu entwickelter bionischer Kältemittelverteiler für eine gleichmäßige Verteilung des Kältemittels in den MPE-Tubes des Verdampfers. Zusätzlich wird ein neuer Verdichter inklusive Regelkonzept entwickelt. Das Regelkonzept ist in einer ganzheitlichen Regelstrategie für ein effizientes Energiemanagement integriert.

Die neu entwickelten Komponenten werden zu einer Prototypenwärmepumpe zusammengebaut und nach internationalen Standards (z. B. EN 14825) in den akkreditierten Prüfeinrichtungen des AIT getestet. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Analyse des Gesamtkonzepts und die Bewertung der Leistung und Effizienz des GreenHP-Prototypen. Im Folgendem wird das technische Design (Komponentenauslegung, Kältemittelauswahl, ...) der GreenHP beschrieben und erste Messergebnisse präsentiert.

Stichwörter:

Wärmepumpe, Wärmequelle Luft, MPE-Tubes Wärmeübertrager, Propan, Sanierung, Smart Grids

IV.13

Wärmepumpen als Teil eines Smart Thermal Grids

John Clauss¹, Stefan Schumacher¹, Hanne Kauko^{2,*}, Armin Hafner², Trygve M. Eikevik¹

¹Norwegian University of Science and Technology, Trondheim

²SINTEF Energy Research

[*hanne.kauko@sintef.no](mailto:hanne.kauko@sintef.no)

* Korrespondenzautor

Der Einsatz effizienterer Technologien im Gebäudesektor wird in der Zukunft unumgänglich sein, um Energie einzusparen und Emissionen zu reduzieren. Gebäude sind für ca. 30 % des Gesamtenergieverbrauches in Norwegen verantwortlich, wobei das Potential zur Energieeinsparung für Altbauten besonders hoch ist. Durch die Integration von Wärmepumpen in ein bestehendes Fernwärmenetz kann Fernwärme mit einer wesentlich geringeren Temperatur verwendet werden, weil Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung und Warmwassererzeugung angewendet werden können.

Ein bereits vorhandenes, privates Fernwärmenetz, welches zur Warmwasserversorgung eines Wohngebietes genutzt wird, soll zu einem Smart Thermal Grid erneuert werden. Die Integration von Solarthermie, Geothermiespeichern und Wärmepumpen führt zu einer Verringerung der Vorlauftemperatur des Smart Grids und somit zu einer signifikanten Verringerung des Energieverbrauches. CO₂-Wärmepumpen können Warmwasser von niedriger Temperatur auf ein Temperaturniveau von 70°C anheben. Je nach Jahreszeit können die Wärmepumpen zur Heizung oder Kühlung der Gebäude verwendet werden und bilden somit eine ausgezeichnete Möglichkeit zur Energieeinsparung in Wohngebäuden.

Stichwörter:

Smart Thermal Grid, Wärmepumpe, Energieeffizienz, Fernwärme

IV.14

Heizen und Kühlen mittels Abwasser-Gaswärmepumpen/-Kältemaschinen

Johannes Goebel*, Lena Frank, Mario Adam

Zentrum für Innovative Energiesysteme (ZIES), Hochschule Düsseldorf
Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf
johannes.goebel@fh-duesseldorf.de

* Korrespondenzautor

Abwasser wird als Wärmequelle für Wärmepumpen selten genutzt, obwohl dies aufgrund vergleichsweise hoher Jahresmitteltemperaturen energetisch sehr interessant wäre. Sorptionswärmepumpen sind primärenergetisch sehr effizient und benötigen im Vergleich zu elektrischen Kompressionswärmepumpen weniger als die Hälfte an Wärmequellenleistung, was sie auch für kleine Abwasserabflüsse attraktiv macht. Gleichzeitig sind dann die Kosten für den Abwasserwärmeübertrager geringer. Die Nutzung von Abwasser als Wärmesenke zur Kühlung von Gebäuden ist noch unüblicher als die Nutzung als Wärmequelle. Das macht das Gesamtsystem aufgrund der wegfallenden Kosten und der Platzeinsparung für herkömmliche Rückkühler noch interessanter.

Die Eigenschaften der Wärmequelle/-senke Abwasser werden anhand von Auswertungen diverser Messungen an Kläranlagen und in einem Sammelkanal vorgestellt. Unter anderem wird ersichtlich, dass sich Abwasser nur bedingt zur passiven Kühlung von Gebäuden eignet, wohingegen die Nutzung zur Abwärmeaufnahme bei aktiver Kühlung sehr gut möglich ist.

Davon ausgehend werden das Nutzungspotential in zwei Städten (Mülheim und Wuppertal) vorgestellt, die Methodik zur Erstellung der Potentialstudien erläutert und ein Vergleich mit anderen Studien dieser Art gezogen.

Gassorptionswärmepumpe/-Kältemaschinen mit Wärmequelle/-senke Abwasser haben im Vergleich zu anderen technischen Lösungen Vor- und Nachteile. Zum Beispiel stehen den Vorteilen beim Heizen die vergleichsweise geringe Effizienz und Leistung bei der aktiven Kühlung gegenüber. Davon ausgehend wird gezeigt, bis zu welchem Verhältnis von Kälte-/Wärmebedarf der Einsatz einer Abwasser-Gas-WP/KM-Lösung gegenüber einem Standard-System aus Gasbrennwertkessel und Kompressionskältemaschine vorteilhaft ist.

Dieses Projekt ist gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Förderkennzeichen: 03FH038PX3

Stichwörter:

Abwasserwärmenutzung, Kühlung, Wärmequelle, Wärmesenke, Gaswärmepumpe

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

IV.15

Einsatz von Wärmepumpen zur Wärmerückgewinnung für kommunale und industrielle Anwendungen

Johann Geyer

Enertec Naftz & Partner GmbH & Co KG, Asperngasse 2-4, 8081 Graz, Österreich
j.geyer@enertec.at

Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung und Raumheizung haben im privaten Bereich in West- und Mitteleuropa einen beachtlichen Marktanteil erreicht. Die Nutzung von Wärmepumpen im industriellen Bereich bietet zwar grundsätzlich ein ebenso hohes Anwendungspotenzial, insbesondere

wegen der starken Fokussierung auf möglichst hohe Wirtschaftlichkeit und kurze Amortisationszeiten wurden Anwendungen in diesem Bereich bisher nur vereinzelt umgesetzt.

Im Rahmen des Vortrages werden grundsätzliche Rahmenbedingungen und Anforderungen diskutiert, die wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen im industriellen und kommunalen Bereich darstellen. Am Beispiel der Ergebnisse von aktuell durchgeführten Konzeptstudien werden zwei mögliche konkrete Anwendungen vorgestellt. Diese betreffen einerseits die Wärmerückgewinnung aus einer Großkläranlage, sowie aus dem Kältesystem eines Eislaufstadions. Die Wärmelieferung erfolgt dabei in ein städtisches Fernwärmesystem.

Weiters wird das Konzept einer realisierten Anlage (kombinierte Kälte-Wärmeproduktion in einem Halbleiterwerk) vorgestellt. Anhand dieses Beispiels wird aufgezeigt, wie im Zuge eines mehrstufigen integralen Planungsprozesse, eine für den Anwendungsfall optimale Anlagenkonzeption entwickelt werden konnte.

Stichwörter:

Industriewärmepumpe, Wärmerückgewinnung, Energieeffizienz

IV.16

Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Produktionsprozesse mit simultaner Heiz- und Kühlanforderung

**Michael Hartl^{1,*}, Michael Lauermann¹, Thomas Fleckl¹,
Bernhard Rittenschober², Konstantinos Kontomaris³**

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

² ALPEX Technologies GmbH, Gewerbepark 38, A-6068 Mils, Österreich
bernhard.rittenschober@aplex-tec.com

² Chemours, DuPont Fluoroproducts, P.O.Box 2915, DE 19805 Wilmington, USA
muster@email.de

* Korrespondenzautor

Die vorliegende Arbeit zeigt das technische Potential von Hochtemperaturwärmepumpen in der stark automatisierten industriellen Fertigung. Dabei liegt der Fokus auf Fertigungsprozesse die gleichzeitig sowohl Heiz- als auch Kühlbedarf haben. Für diese Art von Prozessen sind Wärmepumpen im Allgemeinen prädestiniert und bieten eine hohe Systemeffizienz.

Drei Fallbeispiele werden näher untersucht und mittels dynamischer Simulation bewertet. Das erste Fallbeispiel ist die Fertigung von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen für die Automobilindustrie. Im sogenannten RTM Verfahren (resin transfer moulding) werden in der Serienproduktion die erforderlichen Werkzeuge bis etwa 130 °C beheizt und anschließend zum Werkzeugwechsel wieder auf etwa 70 bis 80 °C gekühlt. Das zweite Fallbeispiel ist die Sterilisation von Produkten aus der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie in Autoklaven. Diese werden auf etwa 125 °C beheizt und anschließend wieder auf rund 30 bis 50 °C abgekühlt. Das dritte Fallbeispiel ist die Fertigung von Spritzgussbauteilen aus Kunststoff. Dabei wird das Kunststoffgranulat im Extruder auf rund 200 bis 300 °C erwärmt und in der Spritzgussform anschließend wieder auf 30 bis 90°C abgekühlt.

Von den drei Fallbeispielen liegt die Anforderung bei der Herstellung von Spritzgussbauteilen aus Kunststoff sehr hoch. Es werden daher Zusatzmaßnahmen, wie z. B. Nach- bzw. Begleitbeheizung untersucht.

Alle Fallbeispiele haben gemein, dass die Heiz- und die Kühlanforderung bezogen auf die einzelne Fertigungsmaschine nicht simultan sind und ein thermischer Speicher zum Ausgleich der Lasten

erforderlich ist. Durch intelligente Verschaltung von mehreren Fertigungsmaschinen, abgestimmt auf den jeweiligen Produktionszyklus, kann das Speichervolumen reduziert werden.

Das technische Potential zur Energieeinsparung liegt bei den gezeigten Fallbeispielen in einem Bereich von 20 bis 70 % gegenüber den heute verwendeten Heiz- und Kühlsystemen. Dies ist insbesondere davon abhängig, wie die hydraulische Eibindung der Wärmepumpenanlage erfolgt. Muss die Wärmepumpe ohne Speicher oft zwischen Heiz- und Kühlanforderung wechseln, stellen sich höherer Verluste ein. Ist dies nicht der Fall, kann die Wärmepumpe gleichmäßig und ohne zusätzliche Aufheiz- und Abkühlverluste betrieben werden.

Für die Simulation der Wärmepumpenanlage werden unterschiedliche Kältemittel verwendet, die teilweise am Markt etabliert sind oder vor Markteinführung stehen. Neben dem gezeigten technischen Potential zur Energieeinsparung werden in dieser Arbeit auch die Anforderungen von Hochtemperaturwärmepumpen in industriellen Prozessen diskutiert. Diese sind vor allem die erforderliche Leistung und Leistungsregelung. Die notwendige Temperatur auf der Quellen- und Nutzungsseite der Wärmepumpe über die Produktionszyklen, sowie die Anforderungen an den Verdichter hinsichtlich Saugdruck, Sauggastemperatur und Verdichtungsendtemperatur in Abhängigkeit der Kältekreis-konfiguration.

Stichwörter:

Hochtemperaturwärmepumpe, Wärmepumpe, Prozessintegration

IV.17

Thermischer Komfort von Quelllüftungskonzepten bei verschiedenen mittleren Raumtemperaturen

Martin Möhlenkamp*, Martin Schmidt, Dirk Müller

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

* Korrespondenzautor

Die Bewertung und Vorhersage des lokalen Komforts in Raumluftrömungen wird durch neue Belüftungskonzepte und den Einsatz von Komfortmodellen immer komplexer. Am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimattechnik wurde im Rahmen früherer Projekte das 33 Knotenkomfortmodell (33NCM) entwickelt, welches in seinem Anwendungsbereich erweitert wird. Die Modellparametrierung beruht auf Probandenversuchen unter unterschiedlichen thermischen Randbedingungen. Die genaue Erfassung und Reproduzierbarkeit der Randbedingungen ist dabei häufig schwierig. Zur Erweiterung des Anwendungsbereichs des Modells wurden deshalb Probandenexperimente in einem hochmodularen Komfortkubus, dem Aachener Comfort Cube (ACCu) durchgeführt.

Der ACCu hat eine Grundfläche von 2 m x 2 m und eine Höhe von 2,5 m. Die Temperatur kann für jede Oberfläche separat geregelt werden. Von den vier Seitenwänden in Umfangsrichtung sind drei in Höhenrichtung feiner unterteilt. Insgesamt können 16 Flächensegmente separat temperiert werden. Die Segmentierung ermöglicht die Berücksichtigung von Einflüssen wie Strahlungsasymmetrien und verschiedene Temperaturgradienten. Die Belüftung kann wahlweise durch eine Quell- oder Mischlüftung realisiert werden. Im Komfortkubus können jeweils drei Probanden gleichzeitig den thermischen Komfort bewerten.

In dieser Untersuchung werden Ergebnisse zur thermischen Komfortbewertung eines Quellluftkonzeptes mit vertikalen Temperaturgradienten zwischen $\Delta T/\Delta y = 1 \text{ K/m}$ und $\Delta T/\Delta y = 12 \text{ K/m}$ bei einer mittleren Raumtemperatur von 23 °C zusammengefasst. Zusätzlich werden Ergebnisse bei mittleren Raumtemperaturen von 20 °C und 26 °C vorgestellt. Hieraus lässt sich eine Gesamtaussage über den Einfluss des vertikalen Temperaturgradienten auf den thermischen Komfort ableiten. Die Ergebnisse werden abschließend mit der bisherigen Norm DIN EN ISO 7730 verglichen.

Stichwörter:

Thermische Behaglichkeit, thermisches Empfinden, Quellluftkonzepte

Vergleichende Betrachtung der Luftqualität im gesamten Raum und im direkten Umfeld von Personen bei ausgewählten Lüftungssystemen

Ralf Gritzki*, Claudia Kandzia, Markus Rösler, Clemens Felsmann

Institut für Energietechnik, TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland
ralf.gritzki@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Eine effektive Luftführung und die daraus resultierende Ausbildung der Raumluftströmung sind maßgeblich für die Luftqualität in einem Raum. Um Aussagen über den Luftaustauschwirkungsgrad einerseits und die Lüftungswirksamkeit andererseits treffen zu können, werden gekoppelte Gebäude-, Anlagen- und Strömungssimulationen für drei verschiedene Lüftungssituationen (Mischlüftung, Quelläftung und Persönliche Lüftung) sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlbetrieb durchgeführt.

Neben der Analyse der hygienischen Verhältnisse im gesamten Raum wird ein Bilanzgebiet definiert, das lediglich das direkte Umfeld einer Person einschließt und damit den eigentlich praktischen Anforderungen besser entspricht. Die üblicherweise genutzten Definitionen für den Luftaustauschwirkungsgrad und die Lüftungswirksamkeit werden entsprechend für dieses Bilanzgebiet angepasst. Des Weiteren werden die Definitionen, die auf der Annahme stationärer Strömungen basieren, für den Anwendungsfall der instationären Strömung erweitert.

Die Analyse der Simulationsergebnisse ergibt bei den modellierten Randbedingungen für den Heizfall, dass die Lüftungswirksamkeit im gesamten Raum für die Mischlüftung und die Persönliche Lüftung deutlich höher als im Falle der Quelläftung ist. Im Kühlfall hingegen liefert die Lüftungswirksamkeit bei allen drei Lüftungssystemen für den gesamten Raum nahezu identische Werte. Im direkten Umfeld der Personen ist die Lüftungswirksamkeit der Persönlichen Lüftung sowohl im Kühl- als auch im Heizfall deutlich höher als im Falle der beiden konventionellen Konzepte.

Betrachtet man den Luftaustauschwirkungsgrad, so erzielt die Persönliche Lüftung im Heizfall sowohl im ganzen Raum als auch im direkten Umfeld der Person einen höheren Wert als die beiden konventionellen Konzepte. Auch im Kühlfall ist der Wert des Luftaustauschwirkungsgrades im Falle der Persönlichen Lüftung höher als für die Misch- bzw. die Quelläftung. Die Werte der drei Konzepte weichen im Kühlfall jedoch weniger voneinander ab als im Heizfall.

Erhöhung der thermischen Behaglichkeit in Fahrzeugkabinen durch die Nutzung alternativer Personenanströmer

Mark Wesseling*, Kai Rewitz, Martin Schmidt, Dirk Müller

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

* Korrespondenzautor

Das Erlangen einer möglichst hohen thermischen Behaglichkeit der Insassen gehört zu den zentralen Aufgaben des Klimatisierungssystems von Kraftfahrzeugen.

Die thermische Behaglichkeit der Insassen in Fahrzeugkabinen ist nicht nur von den Lufttemperaturen, sondern auch von den in der Kabine herrschenden Luftgeschwindigkeiten abhängig. Insbesondere Randbedingungen, die große Kühllasten zur Folge haben, führen aufgrund der unteren Grenze

der Zulufttemperatur zu hohen Zuluftvolumenströmen. Eine direkte Konsequenz daraus sind hohe Austrittsgeschwindigkeiten an den Personenanströmern, die auf Höhe der Passagiere kaum abgebaut sind. Durch die Kombination aus kalter sowie impulsreicher Zuluft wird das Zugluftrisiko für die Passagiere stark erhöht.

Bei konventionellen Personenanströmern kann zumeist die Ausströmrichtung und die Intensität des Freistrahls variiert werden. Unabhängig von der Einstellung ist der Freistrahls meist gebündelt. Im Rahmen dieses Papers werden alternative Geometrien von Personanströmern untersucht, die zu tangentialen oder radialen Geschwindigkeitskomponenten im Freistrahls führen, um diesen zu vergrößern. Das Ziel der Veränderung des Freistrahls ist eine Reduktion des Betrags der Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich der Passagiere bei einem konstanten Volumenstrom. Der Bereich um den Kopf ist dabei von besonderem Interesse.

Nach einer kurzen Vorstudie durch CFD Simulationen zur Potenzialabschätzung wurde eine Auswahl an Geometrien durch selektives Lasersintern produziert. Ein Prüfstand wurde aufgebaut, in dem die Geometrien mit konventionellen Personanströmern hinsichtlich ihres strömungstechnischen Verhaltens verglichen werden können. Es wurden Visualisierungen mit LED-Lichtschnitten sowie Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten mit omnidirektionalen Geschwindigkeitssonden und einem Traversensystem gemacht. Zusätzlich wurde der bleibende Druckverlust gemessen, um Informationen darüber zu erhalten, ob mit den neuen Geometrievorschlägen der Volumenstrom bei gleicher Lüfterleistung verändert wird. In einem letzten Schritt der Untersuchung wird in Probandenversuchen die thermische Behaglichkeit und das Zugluftrisiko abgefragt.

Im Rahmen der Untersuchungen kann gezeigt werden, dass durch den Einsatz von drallerzeugenden Geometrien für Personenanströmer die Luftgeschwindigkeit in der Nähe der Probanden im Vergleich zu konventionellen Geometrien deutlich reduziert werden kann. Der bleibende Druckverlust ändert sich bei gleichem freiem Querschnitt kaum. Die Auswirkung auf die thermische Behaglichkeit sowie das Zugluftrisiko der Probanden muss in einem nächsten Schritt noch untersucht werden. Zu diesem Zweck sind sowohl Untersuchungen in einem Fahrzeug, als auch der Bau eines generischen Prüfstands für Fahrzeugkabinen geplant.

Stichwörter:

Thermische Behaglichkeit, Fahrzeugkabine, Klimatisierung, Personenanströmer

IV.20

Individuelle personennahe Klimatisierung in Kabinen

Kai Rewitz*, Mark Wesseling, Martin Schmidt, Dirk Müller

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

* Korrespondenzautor

Lüftungs- und Klimatisierungskonzepte in Kabinen lassen sich generell durch ein Hauptsystem zur Erzeugung eines Makroklimas beschreiben, welche oftmals durch eine zusätzliche personennahe Klimatisierung zur Bereitstellung von individuellen Bedürfnissen hinsichtlich des thermischen Komforts genutzt werden. In Kabinen hängt dabei der thermische Komfort von den eintretenden Temperaturen und dem Geschwindigkeitsfeld hinter den Luftauslässen ab. Aus dem geringen Abstand der Personen zu den umgebenden Wänden, respektive zu den Luftauslässen resultiert, dass sowohl für das Hauptklimatisierungssystem, als auch die individuellen Systeme ein hohes Zugluftrisiko in der Aufenthaltszone besteht. In diesem Paper wird die Kombination eines impulsarmen Hauptlüftungskonzeptes mit einem drallerzeugenden Personenausströmer vorgestellt, welches eine individuelle Mikro-Klimatisierung mit niedrigem Zugluftrisiko ermöglicht.

Zur Untersuchung dieses Konzeptes wurden Probandenversuche in einer Kabinenumgebung durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse beinhalten das thermische Empfinden, die thermische Behaglichkeit und die Präferenz der Temperaturänderung. Zudem wurden Temperaturen und Geschwindigkeiten in der Aufenthaltszone messtechnisch für verschiedene Konfigurationen ermittelt. Untersucht

wurden dabei die Nutzung von konventionellen Düsen, drallerzeugende Auslässe und eine ausschließliche Nutzung des Hauptsystems. Thermische Manikins stellen als künstliche Wärmequellen dabei eine volle Besetzung der Kabine dar. Somit lässt sich für die Aufenthaltszone eine Verknüpfung der Messdaten mit den aus den Probandentests gewonnenen Ergebnissen erzeugen.

Mit der Nutzung von individuellen drallerzeugenden Luftauslässen lassen sich im Vergleich zu konventionellen Luftausströmern ein geringeres Zugluftrisiko und ein erhöhter thermischer Komfort erzielen. Ausschlaggebend sind hierfür unter anderem die geringen Geschwindigkeiten unterhalb von 0,5 m/s im Aufenthaltsbereich. Zudem konnte durch die Nutzung der individuellen Luftauslässe die Einlasstemperatur des Hauptlüftungssystems erhöht werden, was wiederum zu einer höheren Vorlauftemperatur im Kühlkreislauf führen kann. Die Auswertung der Probandentest zeigten hierfür vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich des thermischen Komforts.

Stichwörter:

Thermischer Komfort, Kabinenklimatisierung, Individuelle Klimatisierung, Personennahe Klimatisierung

IV.21

Untersuchungen zur Auswirkung von instationären Raumtemperaturbedingungen auf die thermische Behaglichkeit

A. Buchheim*, L. Schinke, M. Beyer, S. Paulick, J. Seifert

Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 01062 Dresden

Alexander.Buchheim@tu-dresden.de

* Korrespondenzautor

Die intermittierende Betriebsweise von gebäudetechnischen Anlagen führt zu zeitlichen Schwankungen von innenraumklimatischen Parametern. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Innenraumtemperatur zu, die sowohl im Heiz- als auch Kühlfall eine relevante Größe zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit darstellt.

Zur näheren Betrachtung dieser Thematik werden an der TU Dresden Probandenuntersuchungen in einem realitätsnahen Versuchsumfeld durchgeführt. Dabei werden die Probanden definierten instationären Zuständen der Innenraumtemperatur in einem speziell dafür konfigurierten Versuchsraum ausgesetzt. Der Einfluss weiterer behaglichkeitsrelevanter Bewertungsgrößen ist dabei auf ein Minimum reduziert worden.

Im Rahmen der diesjährigen DKV-Tagung sollen erste Ergebnisse der o.g. Untersuchungen und mögliche Auswirkungen auf die Auslegung und Betriebsweise gebäudetechnischer Anlagen vorgestellt werden. Insbesondere soll dabei eine Einordnung der Ergebnisse in die etablierte Methodik der (quasi-) stationären Bewertung der thermischen Behaglichkeit in Innenräumen vorgenommen werden.

IV.22

Luftstromgeschwindigkeit: zentrale Messgröße der Raumlufthqualität

Kurt Jansen*, Thomas Rossmeissl

Kriwan Industrie-Elektronik, Allmand 11, 74670 Forchtenberg
Kurt.Jansen@kriwan.com

* Korrespondenzautor

In der Raumlufthtechnik haben sich zentrale Messgrößen heraus kristallisiert. Dazu zählen unter anderem die Temperatur, die relative Luftfeuchte sowie die Raumlufthströmung, die im Wesentlichen durch die Regelung der Luftgeschwindigkeit in Klimakanälen beeinflusst wird. Diese soll einen sicheren Luftaustausch ermöglichen, ohne dass Benutzer der Räumlichkeiten durch Luftzug beeinträchtigt werden.

Kriwan Komponenten messen und überwachen die Luftstromgeschwindigkeit in Zuluft- und/oder Abluftanlagen und Ventilatoren.

Die gängigsten Messprinzipien für die Luftstrommessung, die sich in der Gebäudetechnik durchgesetzt haben, sind die Druck- bzw. Differenzdruckmessung und die Luftstromgeschwindigkeitsmessung.

An den Beispielen der KRIWAN Luftstromtechnik werden Eigenschaften sowohl der Luftstrommessung als auch der -Überwachung aufgezeigt und die Anwendung in einem weiten Bereich der Klimatisierungstechnik vorgestellt.

IV.23

Neue Bewertungsgröße für die Effizienz der Partikelabfuhr im TAV-Reinraum

Valeria Hofer*, Benjamin Zielke, Martin Kriegel

Technische Universität Berlin, FG Gebäudeenergiesysteme, Marchstr.4, 10587 Berlin, Deutschland
kontakt@hri.tu-berlin.de

* Korrespondenzautorin

In der Reinraumtechnik ist der Schutz von Personen und Produkten vor Kontaminationen von zentraler Bedeutung. In Reinräumen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV) sind häufig Partikelquellen zu finden, welche gleichzeitig Wärmequellen darstellen. Diese Quellen können durch auftretende Konvektionsströmungen, welche der Verdrängungsströmung entgegengerichtet sind, umliegende Personen und Produkte gefährden.

Im vorliegenden Beitrag wird eine neue Bewertungsgröße eingeführt, welche die Effizienz der Raumlufthströmung bezüglich der Partikelabfuhr beschreibt: Das „kontaminierte Volumen“. Durch die Auftriebseffekte an der Quelle bildet sich ein partikelbeladenes Volumen aus, dessen Ausdehnung vom Impulsverhältnis von Auftrieb und Verdrängungsströmung abhängt. Je effektiver das Lüftungssystem funktioniert, desto kleiner ist das mit Partikeln kontaminierte Volumen. Neben dem Volumen können zudem die Form der Mantelfläche sowie der maximale Radius und die Höhe des Volumens bestimmt werden.

Im Zuge von experimentellen Untersuchungen und numerischen Strömungssimulationen konnte anhand eines Beispiels gezeigt werden, wie die neue Bewertungsgröße in praktische Untersuchungen implementiert werden kann.

Die neue Bewertungsgröße kann zukünftig Planern von Reinraumanlagen helfen, für warme Quellen im Raum passende TAV-Geschwindigkeiten zu dimensionieren. Dadurch kann eine Überdimensionierung der Luftmengen vermieden werden und somit Energie beim Betrieb der Anlagen eingespart werden.

Stichwörter:

Kontaminiertes Volumen, Reinraum, TAV, Partikelausbreitung

RZ.01

Stand der Normung zu Rechenzentren Die Überarbeitung der VDI 2054

Berthold Mengede

WSP Deutschland AG, Georg-Muche-Straße 1, 80807 München
berthold.mengede@wspgroup.de

Der Energiebedarf für den Betrieb von Rechenzentren nimmt - trotz stetig steigender Effizienz - einen stetig steigenden Anteil am Gesamtenergiebedarf ein.

Die Veränderung in Geschäftsprozessen und privatem Sektor führen zu einem kontinuierlichen Anstieg an Kapazitäten unterschiedlicher Ausprägung.

In dem Vortrag soll ein Überblick über die aktuelle Normung- und Richtlinienlage in der Rechenzentrums-Infrastruktur gegeben werden. Neben der internationalen Normung und den Leitfäden unterschiedlicher Organisationen wird die Ausrichtung der sich in Überarbeitung befindlichen VDI 2054 dargelegt und die Neuerung und Abgrenzungen aufgezeigt.

Die bestehende VDI 2054 aus dem Jahr 09/1994 „Raumluftechnische Anlagen für Datenverarbeitung“ wird derzeit grundlegenden überarbeitet und fokussiert insbesondere auf die aktuellen und zukünftigen Anforderungen an Planung, Bau und Betrieb von Rechenzentren. Dieses bezieht neben der reinen Raumluftechnik auch die Bewertung verschiedener Systemlösungen zur Kältebereitstellung mit ein.

Stichwörter:

Rechenzentren, VDI 2054, Richtlinien Normung

RZ.02

Vergleich verschiedener Konzepte für den Einsatz erneuerbarer Energien in Rechenzentren

Noah Pflugradt, Nirendra Lal Shrestha, Thomas Oppelt, Thorsten Urbaneck*, Bernd Platzer

Technische Universität Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik
09107 Chemnitz, Germany
Tel: +49 371 531-32463
thorsten.urbaneck@mb.tu-chemnitz.de

* Korrespondenzautor

Im EU-Forschungsprojekt RenewIT (Advanced concepts and tools for renewable energy supply of IT Data Centres) [1] wurden 18 verschiedene Lösungen für den Einsatz erneuerbarer Energien in Rechenzentren entwickelt. Dieser Beitrag stellt eine Auswahl dieser Konzepte vor und vergleicht diese. Für den Vergleich verwenden die Autoren eine Referenzlösung nach dem Stand der Technik sowie verschiedene Kenn- und Bewertungsgrößen (z. B. PUE, CAPEX, OPEX, RER). Es wird gezeigt, dass Systemlösungen z. B. mit BHKWs, mit Abwärmenutzung und mit Absorptionskälte in Kombination mit Speichern deutliche Vorteile im Vergleich zu einer konventionellen Versorgung mit Kompressionskältemaschinen bieten. Weitere Konzepte befassen sich mit der Integration von Batteriespeichern, PV, Windenergie oder Kältespeichern. Die vorgestellten bzw. optimierten Lösungen sollen Betreibern als Anregung und Vorlage dienen, um den Einsatz erneuerbarer Energien bei Um- oder Neubauten von Rechenzentren stärker in Betracht zu ziehen.

Quellen:

[1] Salom, J. et al.: <http://www.renewit-project.eu>. Projektseite, 2015.

RZ.03

IT-Klimatisierung: Energieeffiziente Konzepte für kleine und mittlere Rechenzentren

J. Tennigkeit

InnovIT AG, Schloss Heiligenberg, 64342 Seeheim-Jugenheim

RZ.04

Rechenzentren und Energieeffizienz – vom einzelnen Serverschrank bis zum 60.000 m² Megarechenzentrum

Ralph Hintemann

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Clayallee 323, 14169 Berlin
Tel. 030/30645-1005, E-Mail: hintemann@borderstep.de

Rechenzentren haben mit ca. 2 % einen beachtlichen Anteil am Stromverbrauch in Deutschland. Nach aktuellen Prognosen wird der Stromverbrauch der Rechenzentren in den nächsten Jahren noch deutlich ansteigen. Für Deutschland ist mit einem Anstieg von ca. 20 % bis zum Jahr 2020 zu rechnen. Doch was ist eigentlich ein Rechenzentrum? Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis gibt es bislang keine einheitliche Definition. Rechenzentren können sich in Größe und Zweck sehr voneinander unterscheiden. Auf der einen Seite stehen kleine Gebilde mit wenigen Elementen, wie z. B. der Serverraum in einem mittelständischen Maschinenbauunternehmen mit vielleicht zehn Servern. Auf der anderen Seite stehen Fabrikhallen in der Größe eines Fußballplatzes, in denen zehntausende von Servern, Speichersystemen und Netzwerkgeräte arbeiten und die über eine umfangreiche Infrastruktur wie Anlagen zur Kühlung und Klimatisierung, Stromverteilung, unterbrechungsfreie Stromversorgung, Notstromaggregate, Brandschutz, Zugangssicherheit etc. verfügen.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die Anzahl, die Struktur und den Aufbau von Rechenzentren in Deutschland. Außerdem wird dargestellt, wie sich der Energiebedarf der Rechenzentren aktuell entwickelt. Es werden technische Trends zur Verbesserung der Energieeffizienz vorgestellt. Auch die Frage, welche Standortfaktoren für Rechenzentren von Bedeutung sind und wie sich Konzepte wie Cloud Computing auf die Rechenzentrumslandschaft auswirken, werden behandelt.

Gliederung:

- Einleitung
- Arten von Rechenzentren
- Anzahl und Struktur der Rechenzentren in Deutschland
- Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren
- Aktuelle technische Trends bei Rechenzentren
- Wie attraktiv ist Deutschland als Rechenzentrumsstandort?
- Fazit

Stichworte:

Energiebedarf von Rechenzentren, Rechenzentrumstypen, Trends bei Rechenzentren, Cloud Computing, Energiekosten, Freie Kühlung, Standortfaktoren

Energieeffiziente Kühlung von Rechenzentren durch Fan Arrays

Energieeffizienz – Eine Frage der richtigen (Komponenten-)Auswahl

Daniel Lemke

ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Bachmühle 2, 74673 Mulfingen

Phone: +49 (7938) 81 485, Fax: +49 (7938) 81 9485

Daniel.Lemke@de.ebmpapst.com

Auf dem Gebiet der Rechenzentren ist ein Ende des Wachstums nicht abzusehen. Trends wie mobiles Internet, das „Internet der Dinge“, Cloud-Computing und Internet-TV fordern immer höhere Leistungen, da das Datenvolumen ständig steigt. Energie (Strom) ist beim Betrieb der Rechenzentren der Hauptkostentreiber. Sie sind dadurch zu einem beachtlichen Energieverbraucher geworden. Schon 2008 verbrauchten gewerbliche Rechenzentren in Deutschland rund 10 Terrawattstunden Strom, was knapp 2 % des Gesamtenergieverbrauchs entsprach. Dieser Wert wird sich zukünftig noch erhöhen, wenn Rechenzentrumsbetreiber, Facility- und IT-Verantwortliche nicht in thermische Optimierungen und energieeffiziente Systeme investieren.

Die Klimatisierung eines klassischen Rechenzentrums benötigt ca. 37 % des gesamten Energiebedarfs. Dadurch ergibt sich ein enormes Energieeinsparpotential. Über Kühlkonzepte, die auf die sogenannte „freie Kühlung“ setzen, wird versucht diese Einsparpotentiale zu heben.

Fan Arrays, bei denen mehrere Ventilatoren parallel arbeiten, sind besonders geeignet, um freie Kühlung mit sehr hoher Effizienz und Sicherheit (Redundanz) zu realisieren. Dabei ist die richtige Auslegung von besonderer Bedeutung. Für Fan Arrays steht heute eine Fülle von Ventilatoren verschiedener Baugrößen und Bauformen zur Verfügung.

Unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit, der klimatischen Umgebung, des verfügbaren Bau- raumes und der spezifischen Kühlleistungsanforderungen muss das energieeffizienteste System gefunden werden. Auch die Geräuschemission darf dabei nicht vernachlässigt werden.

Doch welcher Ventilator ist der Richtige? Ein Radial-, ein Diagonal- oder doch eher ein Axialventilator?

Ist ein Fan Array mit vielen kleinen oder eines mit wenigen großen Ventilatoren effizienter?

In der Präsentation sollen die Auslegungsfaktoren für einen effizienten und geräuscharmen Betrieb erläutert werden. Anhand von Messungen und Rechenbeispielen werden die Auswirkungen „falscher“ und „richtiger“ Auslegung von Fan Arrays dargestellt.

How to avoid pressure induced resistance in the DC air circulation

Michiel de Jong

Alfa Laval & Low Speed Ventilation Datacenters
P.O. Box 2504, 3800 GB Amersfoort, The Netherlands

m.dejong@lowspeedventilation.com

In conventional DC an over pressure is applied in order to make sure that all servers are able to suck sufficient amounts of air for internal cooling. The reason for the presumed necessity of this applied over pressure comes as a consequence of choices that are made concerning the layout of the DC and the geometry of the air cooling equipment. However, this approach has a lot of negative side effects. One of them being the high consumption of energy, due to the enormous amount of air being

circulated in DC, which is usually underestimated, another being the chances on hot spots, which jeopardize the performance of the servers.

This paradigm can be challenged by shifting the focus from 'over pressure' to 'air availability'. With a slightly different layout of the DC and a different geometry of the air handling units the necessity of a situation of over pressure will disappear. This other approach leads to the concept of Low Speed Ventilation® and turned out to be more energy efficient, less sensitive to hot spots, with lower investment levels compared to the conventional approach.

RZ.07

Zukunftsorientierte Lösungen für die Rechenzentrumskühlung

M. Köster

Weiss Klimatechnik GmbH, Reiskirchen-Lindenstruth

RZ.08

Effiziente Kühlung von thermisch hochbelasteten Rechenzentren

Christian Richter

Hoval Aktiengesellschaft, LI-9490 Vaduz, Liechtenstein

Christian.Richter@Hoval.com

Der Energieverbrauch für die digitale Datenverarbeitung wird von den Nutzern oft nicht wahrgenommen. Angefangen vom Heim-PC, der mit seinem 400 Watt Netzteil den ganzen Tag läuft, dem Smartphone, das permanent Internet-Kontakt hat, bis hin zu Banken oder Industrieproduktionen, die ohne schnelle und sichere digitale Kommunikation ihre Geschäftsprozesse keine Minute aufrecht erhalten könnten, hat sich der Energieverbrauch in eine volkswirtschaftlich relevante Höhe entwickelt. In Deutschland entspricht der Stromverbrauch der IT-Industrie ungefähr dem Verbrauch von zwei Großstädten wie Hannover und München zusammen.

Die Daten, die dabei bewegt werden, befinden sich nicht mehr bei auf lokalen Festplatten, sondern werden auf externen Speichermedien in der „Cloud“, in dedizierten Rechenzentren gespeichert.

Die dabei geforderte Sicherheit und Verfügbarkeit können viele IT-Nutzer nicht mehr in eigenen Datacentern vorhalten. Es ist für ihr Geschäftsmodell sinnvoller, sich auf speziellen Flächen mit hohem Sicherheits- und Verfügbarkeitsniveau einzumieten.

Mit einem der größten Anbieter für diese Rechenzentrumsflächen hat Hoval eine Lösung zur Klimatisierung für thermisch hochbelastete IT-Flächen entwickelt.

Die Grundlage dieser hocheffizienten Lösung bilden die Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher. Mit diesen Tauschern wird die Klimatisierung des Rechenzentrums große Teile des Jahres durch indirekte Außenluftkühlung realisiert.

Ab einer Außentemperatur von ca. 18 °C – 22 °C unterstützt die Adiabatik die Erzeugung der Kälte über die Plattenwärmetauscher. Es bleiben nur wenige Stunden im Jahr übrig, in denen die mechanische Kälte im Mischbetrieb die Adiabatik ergänzen muss.

Der erzielte Wirkungsgrad und daraus resultierend der SEER des Systems weisen ein hohes Einsparpotential für die Energiekosten und die CO₂-Bilanz der Kälteanlage aus.

Stichworte:

Indirekte Außenluftkühlung, Adiabate Kühlung, mechanische Kälte, Plattenwärmetauscher, IT-Kühlung

RZ.09

Kühlung von Rechenzentren durch indirekte Verdunstungskühlung ohne Wasseraufbereitung inkl. Live Betriebskostenermittlung

Anton Immerz

Munters GmbH, Key Application Manager Datacenter
Hans-Duncker-Straße 8, 21035 Hamburg
anton.immerz@munters.at

In Rechenzentren und in Telekommunikationseinrichtungen ist es von immenser Bedeutung, die Wärmebelastung zu reduzieren, um einen permanenten ungestörten Betrieb zu ermöglichen. Möchte man dies auch noch energieeffizient und kosteneffektiv erreichen, steht man vor einer noch größeren Herausforderung.

Rechenzentren werden im Jahr 2020 mehr als 2 % des weltweit erzeugten Stroms verbrauchen und stehen daher unter großem Druck, die Betriebskosten zu senken. Architekten, Bauherren und Betreiber suchen nach alternativen Kühlmethoden, die bei weniger Stromverbrauch den ganzjährigen Betrieb, unabhängig von den Außenbedingungen, sicherstellen.

Änderungen in den "ASHRAE Thermal Guidelines for Data Processing Environments" beinhalten eine Erhöhung der empfohlenen Einblastemperatur für die Serverräume von 18 °C bis zu 27 °C. Bei diesen höheren Temperaturen kann der Einsatz von direkten und indirekten Verdunstungskühlsystemen enorme Energieeinsparungen bedeuten.

In diesem Vortrag wird die Funktionsweise der indirekten Verdunstungskühlung ohne Wasseraufbereitung vorgestellt und der Einsatz an praktischen Beispielen aufgezeigt sowie eine Live Berechnung einer Anlage inkl. Abschätzung der Betriebskosten vorgenommen.

Stichwörter:

Rechenzentren, Wärmebelastung, Kühlung, indirekte Verdunstungskühlung, Betriebskosten

RZ.10

Energieeffiziente Klimatisierung im Rechenzentrum

Ein Überblick und Praxiserfahrungen

Benjamin Petschke

Stulz GmbH, Holsteiner Chaussee 283, 22457 Hamburg
Tel.: 040/5585-459, petschke@stulz.de

Diese Präsentation gibt einen Überblick über das Thema „Energieeffiziente Klimatisierung im Rechenzentrum“.

Beginnend mit einer Erklärung, was „Energieeffiziente Klimatisierung“ bedeutet, wird dann darauf eingegangen, von welchen Faktoren selbige beeinflusst wird. Diese Einflussfaktoren werden dann im Einzelnen beschrieben und mit Erfahrungen aus der Praxis ergänzt.

Wie z. B. wirken sich die Auslastung, Lastschwankungen und Lastdichte auf die Klimatisierungseffizienz aus.

Warum ist die gut geplante und auch ausgeführte Luftführung im Rechenzentrum so wichtig für die Klimatisierungseffizienz.

Welchen Einfluss hat die Luftmengenregelung auf die Klimatisierungseffizienz und welche Möglichkeiten gibt es zur Optimierung.

Die Temperaturen im Rechenzentrum haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die Klimatisierungseffizienz. Was ist bezüglich der Temperaturen zu beachten, um größtmögliche Effizienz zu erreichen.

Im Weiteren wird erklärt, welche Komponenten des Klimasystems wieviel Energie verbrauchen und wie mit freier Kühlung dieser Energieverbrauch zielgerichtet reduziert wird. Beschrieben werden die unterschiedlichen Freikühlsysteme wie die direkte freie Kühlung und die unterschiedlichen indirekten Freikühlsysteme sowie deren Einsatzmöglichkeiten und auch Vorteile und Nachteile in Bezug auf die praktische Anwendung und die Klimatisierungseffizienz.

RZ.11

Data Centre Cooling – innovation and the missed opportunities

Oliver Titley, Adam Crookdake*

WSP UK Limited, WSP House, 70 Chancery Lane, London. WC2A 1AF, UK
Oliver.titley@wspgroup.com, adam.crookdake@wspgroup.com

* Corresponding author

As the cloud drives growth in outsourcing IT services a huge boom in the datacentre market has occurred and with it the increasing competitiveness of facility infrastructure. The drive to be energy efficient is continually driven by lowering the environmental footprint and to lower operating costs of which power consumption is a huge proportion.

In recent years institutes and hardware suppliers have expanded tight thermal and humidity envelopes to accommodate demand leading to a race to provide the most efficient solutions for these new criteria. The current innovation drive is focused around elevating IT set points to increase the free cooling hours available however this presentation aims to show that this is counterproductive on energy, water use, noise and reliability when cooler ambients allow for a reduced temperature without mechanical cooling.

Key Words:

Data centre cooling, Data centre raised temperatures, Data centre environmental controls, adiabatic cooling for data centres, ASHRAE server inlet temperatures, Data centre air quality, data centre server noise levels, data centre water useage.

