

Deutsche Kälte-Klima-Tagung 1997

Hamburg – Radisson SAS Hotel

19. – 21. November 1997

Kurzfassung der Vorträge

NEUE KRYOGENE OPERATIONSTECHNIKEN AUF BASIS VON FLÜSSIGSTICKSTOFFGEKÜHLTEN HOCHLEISTUNGSKRYOSONDEN FÜR DIE TUMORCHIRURGIE UND KRYOANALGESIE

R. Herzog, A. Binneberg et al., ILK Dresden

**U. Eckelt, L. Päßler, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Uni-Klinikum der TU Dresden**

**I. Hackert, G. Sebastian, Klinik für Hautkrankheiten,
Uni-Klinikum der TU Dresden**

D. Siegismund, Klinik für Anaesthesiologie, Uni-Klinikum der TU Dresden

Internationale Entwicklungen, insbesondere in den USA, aber auch in Europa, sind darauf gerichtet, die Kryochirurgie als eine zukunftssträchtige Therapie fest in die klinische Praxis einzuordnen. Zielstellungen sind dabei blutarme, minimal-invasive Kryotherapien mit Hochleistungskryoapplikatoren, lokal begrenzte vollständige tumorzerstörende Kälteeinwirkung und intralesionale Applikationen sowie simultane Verifizierung der kryophysikalischen Therapieparameter.

Basierend auf diesen Zielstellungen werden gegenwärtig in enger Kooperation des Instituts für Luft- und Kältetechnik Dresden und des Universitätsklinikums der Technischen Universität Dresden in den klinischen Bereichen der Dermatologie, der Kiefer-Gesichtschirurgie und der Anaesthesiologie neuartige, alternative kryochirurgische Methoden und die dafür notwendigen kryomedizinischen Ausrüstungen entwickelt, labormäßig getestet und klinisch evaluiert.

Auf dem Gebiet der dermato-chirurgischen Versorgung von Patienten gestaltet sich derzeit unbefriedigend die Behandlung großlumiger und subkutan liegender vaskulärer Tumore. Somit ergibt sich Entwicklungsbedarf für minimal-invasive, einstechbare Kryosonden mit höchsten Kälteleistungen. Weiterhin wird ein neues kombiniertes Contact-spray-freezing-Applikatorsystem für dermatologische Anwendungen entwickelt und labormäßig getestet. Dieses spezielle Applikatorsystem wird insbesondere zur Kryotherapie von Tumoren in der Mundhöhle labormäßig vorbereitet.

Ein dritter Aufgabenbereich der Entwicklung von Hochleistungskryosonden ist die Kryodevitalisation des mit malignen Tumoren befallenen Unterkieferknochenareals. Ein neuartiges Flüssigstickstoff-Kühlkammerkonzept mit optimaler geometrischer und thermischer Anpassung an den Kieferknochen wird vorgestellt.

Auf dem Gebiet der Kryoanalgesie wird neben der verbesserten kryogenen Therapie zur Schmerzausschaltung bei Trigeminusneuralgie insbesondere bei Narbenneuromen und zur Fazettenblockade minimal-invasive kryogene Operationstechnik mit Lokalisation und Plazierung am Nerv durch elektrische Reizung vorgestellt.

NEUARTIGE KRYOCHIRURGISCHE APPLIKATOREN - VORKLINISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR TESTUNG DER THERMODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN

**A. Binneberg, H. Buschmann et al., ILK Dresden
U. Eckelt, L. Päßler et al., Uni-Klinikum der TU Dresden**

Der Einsatz von kryochirurgischen Applikatoren in der klinischen Praxis setzt voraus, daß die Funktionsmerkmale hinreichend untersucht wurden und daß signifikante und verifizierte thermodynamische Daten und Verfahrensabläufe vorliegen bzw. verfügbar sind. Im einzelnen geht es darum, den ort- und zeitabhängigen Verlauf der Temperatur in den für die Therapie relevanten Koordinatenrichtungen des zu behandelnden Gewebekomplexes zu kennen. In diesem Zusammenhang sind außerdem solche Sachverhalte von Interesse wie Isothermenverlauf, Gefriergeschwindigkeit, Auftaugeschwindigkeit und Gefrierregime (Gefrierzyklen).

In der vorklinischen Phase wird zur Ermittlung der thermodynamischen Eigenschaften auf Modellsubstanzen und geeignete meßtechnische Verfahren zurückgegriffen, die mit genügender Genauigkeit eine Simulation des gewebespezifischen Verhaltens reflektieren. Im Rahmen der Entwicklung neuartiger Kryoapplikatoren wurden solche Untersuchungen in Wasser und Gelatine sowie an biologischem Material durchgeführt. Mit speziellen Meßeinrichtungen wurden die Vorgänge sowohl thermisch als auch visuell erfaßt. Für die visuelle Erfassung wurde Ultraschalltechnik und Digitalvideotechnik eingesetzt.

Über das Gefrierverhalten, wie es sich bei Anwendung unterschiedlicher Modellsubstanzen und Meßverfahren zeigt, und welche Erkenntnisse durch Bilderfassung und -verarbeitung zu gewinnen sind, wird berichtet.

VERIFIZIERUNG KRYOCHIRURGISCHER THERAPIEPLANUNG IM TIERVERSUCH

**H. Hänsgen, R. Herzog et al., ILK Dresden
E. Spörl, Uni-Klinikum der TU Dresden**

Voraussetzung einer sicheren kryochirurgischen Tumortherapie ist die exakte Therapieplanung, da eine ungenügende therapeutische Dosierung hinsichtlich Applikatorgröße, Arbeitstemperatur, Gefriereschwindigkeit und Therapiezeit zu unbeabsichtigter Stimulierung in der Randzone des Tumors führt.

In Dresden wurde ein analytisches mathematisches Modell entwickelt, das diese Parameter liefert und das darüber hinaus die Möglichkeiten und Grenzen zum Erreichen kryotherapeutischer Effekte aufzeigt. Im Tierversuch werden mittels Temperaturmessungen und Ultraschallmessungen das zeitabhängige Temperaturfeld und die Ausbreitung der Gefrierfront gemessen. Mit Hilfe der Fitparameter des Modells werden der Wärmeübergang zwischen Applikator und Gewebe sowie die im lebenden Gewebe pro Volumen erzeugte Wärme bestimmt. Der Gesamtfehler der Modellrechnungen beträgt etwa 15 %, das konnte im Tierexperiment bestätigt werden und ist bei der Wahl der Sicherheitszone der Therapie zu berücksichtigen.

SANKRYO TECHNOLOGIE 2000

U. Nehrmann, M.V.T.O. Mediconsult GmbH & Co KG, Hamburg

Vorgestellt wird u. a. ein neuartiges Lagerkonzept für sehr große Mengen kryokonservierter Blutkonserven, die durch ein logistisch ausgefeiltes System in ganz Deutschland binnen kürzester Zeit verfügbar sein sollen. Bei der Entwicklung sind große deutsche Firmen beteiligt. Langfristiges Ziel ist die Verwirklichung einer Blutbank für tiefgefrorenes (Eigen- und Fremd-) Blut.

LANGZEITKONSERVIERUNG VON ROTEN BLUTKÖRPERCHEN ZUR TRANSFUSION

**A. Sputtek, Universitäts-Krankenhaus Eppendorf, Hamburg
B. Mingers, Ingenieurbüro Mingers, Willich-Anrath**

Bereits seit Jahrzehnten können sowohl zellfreie (z. B. Fresh-Frozen-Plasma = FFP) als auch zellhaltige Komponenten des menschlichen Blutes durch unterschiedliche Kältekonservierungsverfahren über einen längeren Zeitraum haltbar gemacht werden. Neben der üblicherweise praktizierten Flüssiglagerung bis zu 42 Tagen wurde hiermit prinzipiell die Möglichkeit zur Quarantäne-Lagerung eröffnet. Trotz der inzwischen äußerst effektiven Tests läßt sich dadurch das noch verbleibende Restrisiko einer Infektionsübertragung (vor allem viral bedingte chronische Lebererkrankungen bzw. das Immunsystem betreffende Erkrankungen, z. B. AIDS) noch weiter reduzieren. Ein Problem stellen nämlich solche Blutspenden dar, die während des „Diagnostischen Fensters“ geleistet werden. Darunter versteht man die bis zu einigen Wochen dauernde Periode, in der der Spender bereits infektiös ist, die Sensitivität der bislang etablierten Testmethoden aber noch nicht ausreicht, um dies zu detektieren. Für FFP ist in Deutschland bereits die mindestens 6monatige Quarantäne-Lagerung (üblicherweise bei -30 bis -40 °C mit späterer Nachtestung des Spenders) verpflichtend vorgeschrieben, sofern keine Verfahren zur Virusinaktivierung angewendet werden. Für alle zellhaltigen Blutkomponenten - wie z. B. die den Sauerstoff transportierenden roten Blutkörperchen, die das Gros des Transfusionsbedarfs darstellen - scheiden solche Virusinaktivierungsmaßnahmen jedoch aus, da sie gleichzeitig zu einer irreversiblen Schädigung der Zellen führen. Neben dem Tiefgefrieren von „eigenen“ und „fremden“ (z. B. aus Nabelschnurblut gewonnenen) Blutstammzellen, die bei der Therapie maligner Erkrankungen bereits erfolgreich eingesetzt werden, eröffnet sich durch die Kryokonservierung von roten Blutkörperchen deshalb eine weitere interessante Anwendung, auch unter dem Aspekt der Einlagerung von Eigenblut in spekulativen Depots. Voraussetzung ist jedoch, daß das eingesetzte Kryokonservierungsverfahren einfach durchzuführen ist. Daran sind allerdings die bislang benutzten Glycerin-Verfahren gescheitert. Sie blieben auf das Einfrieren von Konzentraten mit seltenen Blutgruppen beschränkt. Die technische Handhabung der Tiefkälte-Konservierung von roten Blutkörperchen konnte durch die Entwicklung eines Verfahrens unter Einsatz des Gefrierschutzadditivs Hydroxyethylstärke (= HES) und Flüssigstickstoff stark vereinfacht werden. Im Labormaßstab und in klinischen Phase-I- und Phase-II-Prüfungen an Patienten hat es sich inzwischen bewährt. Vor einem „großtechnischen“ Einsatz sind - neben medizinischen - allerdings noch eine Reihe von technischen Fragestellungen zu klären. So stellt vor allem der Betrieb eines Großlagersystems bei kryogenen Temperaturen eine besondere Herausforderung dar. Es versteht sich deshalb von selbst, daß die neue Technologie zunächst in einer maßvoll dimensionierten, am besten jedoch bereits wirtschaftlich nutzbaren Pilotanlage erprobt wird, bevor an den Bau einer kryotechnisch ausgestatteten Großblutbank zu denken ist.

I.6/III.6

GERICHTETE ERSTARRUNG VON KOLLAGENSUSPENSIONEN

**I. Heschel, H. Schoof et al., Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik
an der RWTH-Aachen**

In diesem Vortrag werden die Grundlagen aufgezeigt, um durch gerichtete Erstarrung poröse Kollagenstrukturen zu erzeugen, die im (verbrennungs-) chirurgischen Bereich langfristig als vorteilhafte Biomaterialien eingesetzt werden sollen.

NOTKÜHLEINSÄTZE MIT SYNTHETISCHER FLÜSSIGER LUFT

H. Rebhan, H. Stoltze, Linde AG, Höllriegelskreuth

Immer wieder kommt es vor, daß auftretende Störungen oder dringende Reparaturmaßnahmen in Kühlhäusern den schnellen Einsatz einer Kühlung durch Kaltgas erforderlich machen. Dabei wird die Kälteenergie des Gases genutzt, um eine gewünschte Temperatur zwischen z.B. -40 °C bis 25 °C einzustellen. Vor diesem Hintergrund bietet die Linde AG (Werksgruppe Technische Gase) jetzt synthetische flüssige Luft als Kältemittel für Notkühleinsätze in Kühlhäusern an, die gegenüber dem bisher verwendeten flüssigen Stickstoff die folgenden zwei wesentlichen Vorteile besitzt:

- Gegenüber dem direkten Einbringen von Stickstoff erfolgt bei der Verwendung von synthetischer flüssiger Luft keine Inertisierung des Kühlraumes. Somit besteht keine Gefahr für das Personal, an Sauerstoffmangel zu ersticken, und der Warenumsatz kann problemlos weitergeführt werden.
- Um diese Problematik zu vermeiden, wurde Stickstoff bisweilen auch als indirektes Kältemittel in Verdampfern genutzt, deren Installation allerdings langwierig und kostenintensiv war. Synthetische flüssige Luft kann günstig und schnell direkt eingebracht werden, wobei gleichzeitig noch ein hoher Ausnutzungsgrad der Kälte erreicht wird.

Die Linde AG stellt die synthetische flüssige Luft direkt an ihren Produktionsstätten her und gewährleistet durch ihr dichtes Vertriebsnetz eine schnelle und flächendeckende Versorgung in ganz Deutschland.

STAND UND PERSPEKTIVEN DER KRYOTECHNIK IM EINSATZ FÜR KRAFTFAHRZEUGE IN EUROPA

U. Bünger, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn
M. Kisten, Messer Griesheim GmbH, Krefeld
J. Wolf, Linde AG, Höllriegelskreuth

In den USA hat die Kryotechnik für den Einsatz in Straenbahnfahrzeugen in den letzten Jahren einen kleinen Markt gewonnen. Auch über den Einsatz von verflüssigtem Erdgas (LNG) in Lokomotiven wird nachgedacht. Hauptantriebsmoment ist die Ablösung von der starken Abhängigkeit der USA von Mineralolimporten und die damit verbundene Suche nach preiswerten Alternativen unter Ausnutzung heimischer Primarenergieressourcen. Auch der Einsatz von regenerativ oder aus Erdgas erzeugtem Wasserstoff als Kraftstoff wird intensiver denn je erwogen. Flüssigwasserstoff (LH₂) könnte dabei eine wesentliche Rolle spielen.

Wesentlich vielfältiger ist die Situation in Europa. Die Abhängigkeit von Roholimporten spielt in der politischen Meinungsbildung eine wesentlich geringere Rolle als das Problem der lokalen und partiell auch diskutierten globalen Schadstoffemissionen aus dem Individualverkehr. Das in einigen Ländern wie z. B. Deutschland engmaschige Erdgasverteilnetz fordert einen strengen Wettbewerb mit einer Flussigverteilung per Tankfahrzeug heraus. Andere Länder wie Frankreich oder Spanien beziehen einen Großteil ihrer Erdgasimporte über LNG-Transportschiffe aus Nordafrika.

Die nur zögerlich anlaufende Einführung von druckerdgasbetriebenen Straßenfahrzeugen (CNG) führt langsam auch zwangsläufig zur Erwägung des Einsatzes verflüssigten Erdgases. Zwei Anwendungen scheinen hier besonders attraktiv; zum einen die Einrichtung von sog. LCNG-Tankstellen, in denen LNG stationär und CNG und/oder LNG an Bord des Fahrzeuges gespeichert werden, zum anderen die Nutzung von LNG an Bord von verbrauchsintensiven und/oder langstreckentauglichen Straßen- oder Schienenfahrzeugen. Auch der Einsatz von LNG und LH₂ in Flugzeugen wird erwogen.

Aufbauend auf der Erfahrung zahlreicher Projekte (LH₂-PKW, LH₂-Linienbus, LH₂-Flugzeug, LNG-Lokomotive, LNG-/LH₂-Test-System, LNG-/LH₂-Tankstelle usw.) und unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte werden neuartige und ganzheitliche Speicher- und Betankungssysteme vorgestellt.

SICHERER TRANSPORT VON FLÜSSIGEM WASSERSTOFF IN GROSSEN MENGEN ÜBER SEE

**U. Schmidtchen, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
Berlin**

N. Wöhren, G. Würsig, Germanischer Lloyd, Hamburg

Flüssiger Wasserstoff gilt als sauberer und dauerhafter Energieträger der Zukunft. Seine Einführung in die Energiewirtschaft erfordert, daß er sicher gelagert und transportiert werden kann. Um bisher fehlende Daten für die Konstruktion von sehr großen Behältern für den Seetransport zu sammeln, wurden im vergangenen Jahr im Rahmen des Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project (EQHHPP) Versuche an einem 60 m³ LH₂ fassenden Modelltank durchgeführt, der Rückschlüsse auf das Verhalten eines seefähigen Tanks von 3600 m³ zulassen soll. Über die Versuche, die Ergebnisse der Auswertung und deren Übertragbarkeit auf andere flüssige/verflüssigte Gase wird im Referat berichtet.

VENTILE IN DER KRYOTECHNIK

F. Holdener, WEKA AG, Bäretswil, Schweiz

An Ventile in der Kryotechnik für den Einsatz in flüssigen, tiefkalten, kryogenen Gasen mit Temperaturen bis zu 1,8 K und tiefer werden besondere Anforderungen gestellt.

Neben der Erläuterung der Standardkonstruktion für solche Ventile werden auch noch Lösungen für besondere Einsatzfälle bezüglich Anforderungen aus der besonderen Einbauumgebung, des Betriebsdrucks und der Funktion vorgestellt.

KRYOGENE VENTILE FÜR DEN EINSATZ IM WELTRAUM

R. Hutter, K. Petersen et al., Linde AG, Höllriegelskreuth

Im Auftrag der europäischen Weltraumbehörde ESA (European Space Agency) wurde ein neuartiges, motorbetriebenes und weltraumtaugliches Ventil für den Einsatz bei flüssigem und superflüssigem Helium entwickelt und gebaut. Das Ventil könnte bei zukünftigen Weltraum-Observatorien, die LHe-gekühlte Infrarot-Sensoren enthalten, eingesetzt werden. Eine durchaus irdische oder gar unterirdische Einsatzmöglichkeit findet sich bei der Kälteversorgung von Teilchenbeschleunigern, bei denen supraleitende Magnete zum Einsatz kommen.

Neben den spezifischen Anforderungen der Weltraumtechnik (z.B. die extremen Vibrationslasten, die in der Startphase durch die Trägerrakete verursacht werden) waren vor allem folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Betriebstemperatur 1,8 - 373 K;
- höchste Dichtheitsanforderungen, auch bei verschmutzten Fluiden;
- geringes Gewicht und geringe Abmessungen;
- minimaler Energieverbrauch, minimale Wärmeeinbringung auf das System;
- höchste Betriebszuverlässigkeit.

Im Vortrag wird das völlig neu entwickelte Ventilkonzept mit dem neu entwickelten Antrieb vorgestellt. Über die derzeit noch laufenden und sehr ausführlichen Testreihen sowie deren Resultate wird berichtet.

KALTE KOMPRESSOREN FÜR HELIUMDÄMPFE

L. Decker, A. Kündig et al., Linde Kryotechnik AG, Pfungen, Schweiz

In Europa sind verschiedene neue Projekte in Planung oder Ausführung, die auf supraleitende Komponenten bei Temperaturen um rund 2 K angewiesen sind. Als Kühlmedium wird verdampfendes Helium verwendet, wobei der Siededruck bei 2 K nur 32 mbar beträgt. Bei sehr kleinem Leistungsbedarf wird ganz einfach ein Bad mit flüssigem Helium mit einer Vakuumpumpe über eine einfache Anwärmeinheit auf den gewünschten Druck abgesaugt. Bei großen Leistungen kann jedoch auf eine Rückgewinnung der enormen fühlbaren Wärme des Heliums zwischen Siede- und Umgebungstemperatur nicht verzichtet werden. Kalte Kompressoren, die den Heliumdampf bei etwa 4 K verdichten, vereinfachen die Aufgabe dramatisch. Sie reduzieren das total zu installierende Saugvolumen um den Faktor 5 bis 10. Gleichzeitig kann der Wärmeaustausch nun bei deutlich höheren Drücken, entsprechend effizienter und in wesentlich einfacheren Apparaten erfolgen. Die heute verfügbaren Maschinenkonzepte für die kalte Kompression werden vorgestellt und ihr Einsatz an Beispielen erläutert.

DIE HELIUMKÄLTEVERSORGUNG FÜR DAS FEL-PROJEKT BEI DESY

B. Petersen, H. Lierl et al., Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) Hamburg

Der Linearbeschleuniger der TESLA-Test-Facility (TTF) soll als Quelle eines Freien Elektronen Lasers (FEL) genutzt werden. Die notwendige Verdopplung der Strahlenergie von 500 MeV auf 1 GeV erfordert den Ausbau des TTF-Linearbeschleunigers aus supraleitenden Hochfrequenzresonatoren und eine erhebliche Erweiterung der Heliumkälteversorgung.

Unter Berücksichtigung erster Erfahrungen mit dem TTF-Linearbeschleuniger wird das Konzept für den Ausbau der Heliumkälteversorgung vorgestellt: Unter Einbeziehung der bestehenden TTF-Installationen soll die Kälteversorgung von der HERA-Kälteanlage übernommen werden.

KÄLTEVERSORGUNGSSYSTEM DES KERNFUSIONSEXPERIMENTES WENDELSTEIN 7-X

F. Schauer, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

Die Arbeiten am Aufbau des weltweit größten Stellarator-Fusionsexperimentes Wendelstein 7-X (W7-X) sind am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching sowie am künftigen Standort der Maschine, dem IPP-Teilinstitut Greifswald, angelaufen. W7-X soll die grundsätzliche Eignung dieses speziellen, in Garching entwickelten Stellarator-Typs als Energiequelle für Fusionkraftwerke nachweisen.

Das torusförmige Magnetsystem zum Einschluß des Plasmas setzt sich aus 50 nichtplanaren und 20 planaren supraleitenden Spulen zusammen, wobei der große und kleine Durchmesser dieser Konfiguration im Mittel etwa 11 m bzw. 3 m beträgt. Die Spulenleiter bestehen aus einem NbTi-Cu-Kabel, das von einer als Kühlkanal dienenden Hülle aus einer aushärtbaren Al-Legierung umgeben ist. Das Magnetsystem ist unterteilt in 7 Gruppen zu je 10 in Serie geschalteten und gleichmäßig über den Torus verteilten Spulen eines Typs. Die Gruppen sind jeweils an ein eigenes Netzgerät angeschlossen; es werden somit 14 Stromzuführungen für die Verbindung der bei ca. 4 K betriebenen Supraleiter mit den auf 300 K befindlichen Stromanschlüssen benötigt. In bezug auf die Kühlhelium-Strömung sind die Kabel aller nichtplanaren und aller planaren Spulen jeweils parallelgeschaltet. Das System ist ausgelegt für einen Spulenstrom von 16 kA sowie eine Induktion von 3 T auf der Plasma-Achse und 6 T am Supraleiter; die dabei gespeicherte magnetische Energie beträgt 600 MJ.

Im wesentlichen werden sechs Kühlkreise benötigt: Je einer für die Supraleiterkabel der nichtplanaren und planaren Spulen, für die Spulengehäuse, das Spulen-Traggerüst, die Stromzuführung und die Wärmestrahlungsschilde. Die gesamten auf 4 K bezogenen Wärmeverluste betragen maximal etwa 4 kW, wobei der größte Verlustbeitrag von den Stromzuführungen herrührt.

Derzeit werden zur Vorbereitung der Spezifikation der Kältemaschine sowie des Kältemittelspeicher- und -leitungssystems verschiedene Anlagenvarianten untersucht. Alternativen sind beispielsweise der Einsatz kalter He-Pumpen im Gegensatz zur direkten Kühlung einzelner Kreise mit dem Kältemaschinenstrom sowie die Verwendung kalter oder warmer Vakuumpumpen zur Unterkühlung des Heliums auf bis zu 3,5 K. Weiter wird der Einsatz von Stromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern geprüft, wodurch die Verluste und Anlagenkosten deutlich gesenkt werden könnten. Zahlreiche Variationen ergeben sich u. a. auch aus verschiedenen Kompressor-Kombinationen sowie mehreren Möglichkeiten der Aufstellung der Hauptkomponenten. Die wichtigsten Anlagenvariationen werden vorgestellt und diskutiert.

KRYOTECHNISCHE APPLIKATIONEN FÜR DIE FUSIONSTECHNOLOGIE

W.-H. Reese, J. Lesser et al., Linde AG, Höllriegelskreuth

Das weltweit größte Stellarator-Experiment wird derzeit vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching bei München vorbereitet. Aufgabe dieses Projektes ist es, die prinzipielle Eignung eines optimierten Stellarators als Fusionsreaktor zu demonstrieren.

Die komplexe, sehr beeindruckende und stark gewendelte Form der Plasma-Kammer mit den umgebenden supraleitenden Magnetspulen stand offensichtlich Pate bei der Namensgebung des Projektes: Wendelstein 7 X. Die komplexe Form der ringförmigen Plasma-Kammer (Durchmesser ca. 1.5m) mit der endlos erscheinenden Anzahl von Durchführungen zur Kälteversorgung und Aufrechterhaltung des Vakuums stellt aber auch besondere Anforderungen an die Art, die Auslegung, die Fertigung und Montage der thermischen Isolation.

Gegenwärtig wird ein Teil des Gesamt-Experimentes als sogenannter ‚Testkryostat‘ gebaut. Der Vortrag beschreibt die Besonderheiten des Isolations- und des Kühlkonzeptes, das von LINDE erarbeitet wurde.

UNTERSUCHUNGEN ZUR ERHÖHUNG DER LEISTUNGSDICHTE THERMOAKUSTISCHER MASCHINEN

**J. Bösel, Ch. Trepp, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik,
Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Schweiz**

In den letzten Jahrzehnten ist ein zunehmendes Interesse an alternativen Kaltgasmaschinen - wie z.B. der Gifford-McMahon-Kältemaschine oder dem Pulsrohrkühler - beobachtbar. Seit etwa 15 Jahren werden auch im Bereich der akustischen Kälteerzeugung vermehrt Anstrengungen unternommen, um derartige Maschinen zur technischen Reife weiter zu entwickeln. Die Hauptvorteile thermoakustischer Maschinen liegen in ihrer Einfachheit und Zuverlässigkeit. Es ist sogar möglich, nahezu vibrationsfreie Maschinen ohne bewegte Teile zu bauen.

Ein großer Nachteil allerdings sind die geringen Leistungen, die bisher realisiert werden konnten. Eine Ursache hierfür ist in dem relativ großen Anteil von „unproduktivem“ und „dissipativem“ Volumen im Apparat zu suchen.

Seit ca. 3 ½ Jahren wird in einem Projekt am Institut für Verfahrens- und Kältetechnik der ETH Zürich untersucht, wie sich die Leistungsdichte thermoakustischer Apparate vor allem durch konstruktive Maßnahmen - nämlich einer alternativen Gestaltung des sogenannten „Stacks“ - erhöhen läßt. Im „Stack“, der gewöhnlich aus einem Stapel von parallel ausgerichteten Platten eines schlecht wärmeleitenden Materials besteht, findet der thermoakustische Wärmetransport statt. Eine Alternative stellt der „Intermittent Stack“ dar: statt der ununterbrochenen Platten werden kurze Segmente paralleler Platten verwendet, die immer wieder um 90° versetzt sind. Es bildet sich an den Kanten der Platten jedes Mal eine Anlauf-Strömung mit jetzt steileren Temperatur-Gradienten und verbessertem Wärmeübergang aus. Da die Anlaufgrenzschicht dünner ist als die ausgebildete Schicht, kann auch mehr Plattenoberfläche im gleichen Volumen untergebracht werden.

Eine weitere Möglichkeit ist der „Regenerator Stack“. Statt der Platten werden jetzt etwa im Abstand der Schwingungsamplitude dünne Elemente aus Drahtgewebesieben (Regeneratoren) in den Resonator eingebaut. Hier wird die Wärme - ähnlich wie in den Platten - zwischengespeichert, jedoch läßt sich nun vor allem der Anteil des unproduktiven Volumens verringern.

Im Vortrag werden theoretische Modelle zur Berechnung der verschiedenen Stack-Geometrien und Ergebnisse aus Experimenten vorgestellt. Die drei Stacktypen werden abschließend beurteilt und Empfehlungen zum Bau thermoakustischer Maschinen gegeben.

I.17

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES DRUCKVERLUSTES UND WÄRMEÜBERGANGS AN REGENERATORMATERIALIEN FÜR GASKÄLTEMASCHINEN

O. Hempel, M. Böhm, ILK Dresden

Der Regenerator einer Gaskältemaschine bestimmt die Verluste des Prozesses wesentlich. Für die Optimierung ist die Kenntnis von Druckverlust und Wärmeübergang in Abhängigkeit vom Durchfluß des Arbeitsgases notwendig. In dem für Gaskältemaschinen interessanten Bereich wurden Messungen durchgeführt.

Die Versuchsstände zur Messung des Druckverlustes und Wärmeübergangs sowie die Meßmethode werden erläutert und ausgewählte Meßergebnisse an Drahtgeweben und Metallfaservlies vorgestellt.

AUSLEGUNG UND TEST VON KRYOREFRIGERATOREN FÜR HT_c-TELECOM-FILTER ANWENDUNGEN

A. Fiedler, H.U. Häfner; Leybold Vakuum GmbH, Köln

Durch den Einsatz von sog. „HT_c-Filtern“ und anderen gekühlten Objekten in Basisstationen des Mobilfunks und anderer Telekommunikationsanwendungen versprechen sich die Entwickler eine erhebliche Verbesserung der Übertragungsqualität und der Flächendeckung. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für den Erfolg solcher Technologien ist die Bereitstellung kostengünstiger, zuverlässiger und kompakter Kühler mit einer Kälteleistung von ca. 4-6 W bei 60-70 K. In den USA werden diesbezüglich verschiedene Kühlprinzipien im Rahmen des DARPA Programms auf ihre Tauglichkeit hin verglichen. Basierend auf Erfahrungen mit den zuverlässigen großen Gifford-McMahon Kühlern (100 W/80 K Klasse) wurden bei Leybold verschiedene Ansätze verglichen und getestet, bestehend aus

- Gifford-McMahon Kleinkühler
- Pulsrohrkühler (GM-Typ)
- Split-Stirling Kleinkühler

Die technischen Daten sowie die Vor- und Nachteile dieser Ansätze für den Einsatz in der genannten Anwendung werden miteinander verglichen. Zwei ausgewählte Varianten werden im Rahmen des europäischen Telekommunikationsprojekts „SUCOMS“ erprobt werden.

ZWEISTUFIGER PULSROHRKÜHLER MIT MAGNETVENTILEN BIS 6 K

S. Wild, AEG Infrarot-Module, Heilbronn
T.L.R. Oellrich, Inst. f. Techn. Thermodynamik u. Kältetechnik,
Universität Karlsruhe
A. Hofmann, Forschungszentrum Karlsruhe

Pulsrohrkühler sind regenerativ arbeitende Gaskältemaschinen aus der Familie der Stirling-Kältemaschinen. Im Gegensatz zu Stirling-Kühlern funktionieren Pulsrohrkühler jedoch ohne bewegte Komponenten im Kaltteil. Dies erfordert geeignete Mechanismen zur Steuerung des Gasflusses im Pulsrohrkühler.

Dieser Beitrag beschreibt zwei Steuerungsvarianten am Beispiel eines zweistufigen Pulsrohrkühlers. Es werden eine aktive Steuerung mit schnellschaltenden Magnetventilen und eine passive Steuerung mit Puffervolumen und Drosselventilen vorgestellt. Mit diesen Varianten wurden ohne Kältelast Minimaltemperaturen von 8 K bzw. 6,2 K erreicht.

OPTIMIERUNG VON ZWEISTUFIGEN 4 KELVIN PULSRÖHRENKÜHLERN

**C. Wang, G. Thummes et al., Institut für Angewandte Physik,
Justus-Liebig-Universität Gießen**

Bei einer Reihe von Anwendungen konventioneller Supraleiter besteht der Bedarf an zuverlässigen und störarmen Kältemaschinen für die Kühlung auf Flüssighelium-Temperaturen. Der Pulsröhrenkühler kommt den Anforderungen nach Zuverlässigkeit und Störarmut nahe, da er im Gegensatz zu den traditionellen Gaskältemaschinen ohne bewegten Verdränger im Kaltteil arbeitet. Wie bereits auf der letzten DKV-Tagung von uns berichtet, lassen sich mit einem zweistufigen Pulsröhrenkühler Temperaturen bis 4 K und darunter erreichen, wenn in der kältesten Stufe ein Regenerator mit Seltenerdmatrix verwendet wird. Ein Hindernis auf dem Weg zum praktischen Einsatz von 4 K Pulsröhrenkühlern war bisher noch ihr vergleichsweise geringer Wirkungsgrad.

Mit dem Ziel, den Wirkungsgrad von Pulsröhrenkühlern bei 4 K weiter zu erhöhen, wurden verschiedene Modifikationen des zweistufigen Kühleraufbaus untersucht. Bei allen getesteten Kühlern wurde die Druckwelle über ein Drehventil in Kombination mit einem 6 kW Heliumkompressor (Leybold, Modell RW 6000) erzeugt. Die besten Leistungsdaten konnten bislang mit einer Parallelanordnung der beiden Pulsrohre und zusätzlichen Strömungsimpedanzen an den warmen Pulsrohrenden erzielt werden. Hier ergab sich eine maximale Kälteleistung von 0,50 W bei 4,2 K. Bei einer Heizlast von 20 W bei 69 K an der ersten Stufe steht noch eine Kühlleistung von 0,42 W bei 4,2 K an der zweiten Stufe zur Verfügung. Kühlleistung und Wirkungsgrad bei 4 K sind damit bereits mit denen kommerzieller zweistufiger Gifford-McMahon-Kühler vergleichbar.

ERFAHRUNGSBERICHT ÜBER DEN PRAKTISCHEN EINSATZ VON WIRBELROHREN ALS KÄLTEMASCHINE

W. Sibbertsen, FH Hamburg

Im Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch werden komprimierte Gase in zwei Teilströme entspannt, deren Temperaturen über bzw. unter der Eingangstemperatur liegen. Da in einem Wirbelrohr keine beweglichen Teile existieren, kann dieser dynamische Separationseffekt in vielen Fällen vorteilhaft zur Kühlung genutzt werden.

In dem vorliegenden Erfahrungsbericht werden einige praktische Anwendungen vorgestellt und ihre Funktion erörtert.

- Kühlpistole
 - Rohreinfriergerät
 - Reagenzglaskühler
 - Kältekabine
 - Abziehen von Folien durch Kühlung
- Kühlung von Fluchtkabinen
Arbeitsplätzen
Krankkabinen
Trolleys

AFEAS-TEWI III-STUDIE: ERGEBNISSE UND BEWERTUNG VON ALTERNATIVEN KÄLTEMITTELN

J. Hellmann, P. Barthélemy, Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover

Die Bewertung von alternativen Kältemitteln nach dem TEWI-Konzept ist ein wesentliches Kriterium zur Abschätzung des Umwelteinflusses bei der Anwendung dieser Kältemittel. Im Auftrag von AFEAS und dem DOE (Department of Energy, USA) wurde bereits die dritte TEWI-Studie bezüglich des Einsatzes alternativer Kältemittel und Technologien durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Grundlagen der TEWI-Berechnung dargestellt und die Ergebnisse dieser Studie zusammengefaßt. Auf die Berechnungsbasis dieser Studie wird näher eingegangen, Beispiele werden dargestellt, wobei regionale Unterschiede im TEWI, begründet auf unterschiedliche CO₂-Emissionsfaktoren bei der Elektrizitätserzeugung, diskutiert werden.

Ferner wurde von der BRA (British Refrigeration Association) eine Richtlinie zur TEWI-Berechnung erarbeitet. Die Inhalte dieser Richtlinie werden zusammengefaßt und an einer beispielhaften Anwendung die einzelnen Berechnungsschritte erläutert. Die Ergebnisse gemäß dieser Richtlinie werden für verschiedene Kältemittel (HFCKW, HFKW, Kohlenwasserstoffe, Ammoniak) verglichen.

Im Ergebnis dieser Betrachtung wird festgestellt, daß der Energieverbrauch der Anwendung (indirekter Beitrag zum TEWI) den größeren Einfluß auf den Gesamt-TEWI hat als der direkte Beitrag des Kältemittels. Der Einsatz von toxischen oder brennbaren Kältemitteln führt nicht zwangsläufig zu einer Reduktion des Gesamt-TEWI. Insbesondere nicht, wenn Kälteanlagen mit teilhalogenierten Kältemitteln ordnungsgemäß gewartet werden und damit Kältemittel-Emissionen deutlich reduziert werden.

DISPLAY CASES ENERGY LABELLING

S. M. v. d. Sluis, TNO, Apeldoorn, Niederlande

About 60% of the electricity consumption in modern supermarkets is used by display cabinets for frozen and refrigerated foodstuffs. For short term energy saving a number of energy saving options are applicable on existing cabinets, like night covers, strip curtains, and glass covers. For long term energy saving, it is desirable that when a new cabinet is installed, it has a good energy efficiency. In today's market supply of refrigerated display cases, it is possible to select existing cases that use only half of the current average energy consumption (The - supply side - market share of these „high-efficiency“ cabinets is just over 3%). The information given by manufacturers of refrigerated cabinets is generally not a sufficient base for comparing the energy use of different cabinets, and it does not give an indication of the energy use of a specific cabinet in relation to the market average. Therefore, an energy conscious choice for a new cabinet cannot be made without the help of an energy label, even when the client would like to do so. An energy label indicates the energy efficiency of a specific cabinet, compared to the market average for comparable cabinets. This rating can be expressed by single letters („A“ to „G“) with an „A“ for high-efficiency cabinets, and a „G“ for inefficient models. The label provides readily available information for the selection of energy efficient models when acquiring a new refrigerated cabinet.

At this point it is necessary to emphasise that the question at this moment is restrained to the efficiency of the cabinet only, which means that for cabinets connected to a central refrigeration system the efficiency of the cabinet alone is under investigation, and not the efficiency of the refrigeration plant. The cabinet efficiency is the efficiency that arises when the cabinet is connected to a „standard“ refrigeration plant.

II.1.3/II.2.3

ENERGIEVERBRAUCHSREDUZIERUNG UND -KENNZEICHNUNG SOWIE DAMIT ZUSAMMENHÄNGENDE MARKTVERKAUFSVERBOTE BEI HAUSHALT-KÄLTEGERÄTEN

H. Lotz, Bosch-Siemens-Hausgeräte GmbH, Giengen

- Technische Möglichkeiten der Energieverbrauchsreduzierung
- Einfluß auf andere Gebrauchseigenschaften
- Vergangene Erfolge bei der Verringerung des Energieverbrauches
- Auswirkungen dieser Erfolge auf die in Deutschland spezifische zum Betrieb aller Haushalt-Kältegeräte erforderliche elektrische Arbeit und die gesamte TEWI-Emission
- Die europäische / deutsche Verordnung zur Gerätekennzeichnung
- Das ab September 1999 wirksame Marktverkaufs-Verbot von energieverbrauchsineffizienteren Geräten
- Die weitere vorausschaubare Entwicklung

AMMONIAK-KÄLTEANLAGEN FÜR SUPERMÄRKTE - EIN BEITRAG ZUR TEWI-REDUZIERUNG

S. Haaf, Linde AG, Köln

Bei Direktverdampfungsanlagen für Supermärkte mit dem H-FKW-Kältemittel R404A beruht ein wesentlicher Teil des gesamten Treibhauseffektes TEWI auf der Emission von Kältemittel. Durch indirekte Kühlung mit Kälte-trägerkreisläufen unter Verwendung kompakter NH₃-Flüssigkeitskühlaggregate läßt sich der TEWI-Wert erheblich reduzieren.

Es wird über anlagen- und komponentenspezifische Entwicklungen berichtet, insbesondere bezüglich Kälte-träger, Regelung, Abtauverfahren, Sicherheitstechnik, Kältemittelverdichter, NH₃-lösliche Schmieröle, Wärmeaustauscher. An einer ausgeführten Anlage in einem Verbrauchermarkt wurden umfangreiche Messungen über das Betriebsverhalten sowie den Energieverbrauch durchgeführt und mit Meßergebnissen an einer Direktverdampfungsanlage verglichen.

PHASEN VERHALTEN BINÄRER SYSTEME VON KOHLENDIOXID ALS KÄLTEMITTEL UND KÄLTEMASCHINENÖLEN

**E. Weidner, Universität Erlangen-Nürnberg
J. Wertenbach, Daimler-Benz AG, Stuttgart**

Aufgrund wachsender Nachfrage von Fahrzeugklimaanlagen stellt sich der ökologisch sensibilisierten Öffentlichkeit die Frage nach der Umweltverträglichkeit. Der Verbrauch fossiler Energie zum Antrieb des Kompressors und die direkten Kältemittlemissionen tragen zum zusätzlichen Treibhauseffekt in der Atmosphäre bei. Die Substitution des heute eingeführten Kältemittels R134a durch Kohlendioxid reduziert die Emissionen klimawirksamer Gase.

Innerhalb eines Projektes mit verschiedenen europäischen Firmen wurde Kohlendioxid als Kältemittel in Fahrzeugklimaanlagen untersucht. Studien zum Kältekreislauf und Tests auf entsprechenden Prüfständen und in Versuchsträgern zeigten verschiedene Probleme auf. So können z. B. für den Kompressor im Kältekreislauf vorwiegend höhermolekulare natürliche oder synthetisch organische Verbindungen als Schmiermittel in Betracht kommen. Kohlendioxid verfügt im allgemeinen über ein hohes Lösungsvermögen für diese Substanzen und ist umgekehrt in vielen organischen Flüssigkeiten gut löslich.

Dieses Papier berichtet über Untersuchungen zum Phasenverhalten im binären System aus Schmiermittel und nahekritischem CO₂ hinsichtlich dessen Eignung als Betriebsmittel in Klimaanlagen von Fahrzeugen.

II.1.6

SCHMIERSTOFFE FÜR DEN EINSATZ MIT KOHLENDIOXID ALS NATÜRLICHES KÄLTEMITTEL

J. Fahl, DEA Mineraloel AG, Hamburg

Kohlendioxid wird in jüngster Zeit wieder als natürliches Kältemittel in Betracht gezogen. Entwicklungen für unterkritisch arbeitende Anlagensysteme wie auch transkritische Anwendungen werden vorgestellt und es wird die dazugehörige Schmierungsproblematik betrachtet. Untersuchungsergebnisse zu Gemischviskosität, Löslichkeitsverhalten und Phasengleichgewichtsbetrachtungen unterschiedlicher Schmierstoffe werden diskutiert.

MISCHBARKEIT, LÖSLICHKEIT UND LÖSEVERHALTEN VON ESTERÖLEN - URSACHEN UND WIRKUNG

K. Schwennesen, Deutsche ICI GmbH, Frankfurt am Main

S. Randles, ICI Americas, Wilmington, USA

A. Whittaker, ICI Performane Chemicals, Wilton, GB

Bei der Auswahl von Kältemaschinenölen ist neben guten Tief- und Hochtemperatureigenschaften die Wechselwirkung mit dem jeweiligen Kältemittel ein besonders wichtiger Aspekt. Parameter wie Mischbarkeit, Löslichkeit und Löseverhalten der Esteröle leisten einen wichtigen Beitrag zur Sicherstellung einer ausreichenden Ölrückführung, zur Verhinderung von Ablagerungen und damit zur Betriebssicherheit der Kälteanlagen. Durch gezielte chemische Synthese lassen sich diese Eigenschaften bei Esterölen direkt beeinflussen.

In dieser Arbeit werden die Einflüsse der Struktur verschiedener Esteröle auf Mischbarkeit, Löslichkeit und Löseverhalten im Zusammenwirken mit HFKW diskutiert. Anhand von Beispielen wird die Bedeutung dieser Eigenschaften im Hinblick auf die Vermeidung von Ablagerungen in verschiedenen Anlagenkomponenten aufgezeigt.

UNTERSUCHUNG DER LÖSUNGSEIGENSCHAFTEN, MISCHBARKEIT UND ÖLRÜCKFÜHRUNG VERSCHIEDENER ÖL- KÄLTEMITTEL KOMBINATIONEN

**P. Fauvarque, S. Macaudiere, Centre d'Application de Lavallois, Elf Atochem,
Levallois-Perret, Frankreich**

Die Ölrückführung in einer Kälteanlage hängt nicht nur von der Betrachtung der statischen Mischungslücke für die Auswahl des Öls und Kältemittels ab, sondern ebenfalls von anderen Parametern, wie die Lösung des Kältemittels im Öl, die Viskosität der Öl-Kältemittelmischung und die Gasgeschwindigkeit im Verdampfer.

Es wurde eine praktische Prüfeinrichtung entwickelt, um mengenmäßig den Transport des Öls durch das Kältemittel in der Flüssig- oder Dampfphase bei -30°C und 0°C zu messen, und dies für die verschiedenen Geschwindigkeiten.

Die mit einem Standardmineralöl und diversen für R-12 bekannten Ersatzkältemitteln erzielten Resultate helfen den wahren Mechanismus der Ölrückführung besser zu verstehen und festzulegen, unter welchen Bedingungen ein Ölwechsel für die Umrüstung einer bestehenden R-12-Anlage notwendig ist oder nicht.

Diese experimentelle Untersuchung wird auch bei anderen Öl-Kältemittel Kombinationen Anwendung finden, speziell mit dem Ziel, das Kältemittel R-22 bei Kühl- und Klimaanlage zu ersetzen.

KÄLTEMASCHINENÖLE IN DER ANWENDUNG - NEUE ENTWICKLUNG, ZUKUNFTSASPEKTE

W. Bock, Fuchs Mineraloelwerke GmbH, Mannheim

Die Schmierung von Kältemaschinen blickt auf eine lange Geschichte zurück. Kältemaschinenöle als Konstruktionselement sind ein wichtiger Teil von Kälteanlagen. Der Vortrag versucht, einen Überblick über die klassischen Einsatzgebiete von Kältemaschinenölen zu geben.

- Mobile PKW-, Bus-, Transportkälteanlagen
- Industrie-, Gewerbekälte
- Haushaltskälte

In Kälteanlagen werden in Verbindung mit den zu verdichtenden Kältemitteln die Kältemaschinenöle unterschiedlicher chemischer Struktur und Viskosität eingesetzt. Der Vortrag beschreibt die unterschiedlichen Typen von Kältemaschinenölen und deren spezifische Anforderungsprofile in den Anwendungen. Aktuelle Informationen über den Stand der Normungsaktivitäten im Bereich der Kältemaschinenöle werden gegeben.

BLASENBILDUNG UND WÄRMEÜBERGANG BEIM BEHÄLTERSIEDEN VON R134A-ÖL-GEMISCHEN

**C. Möller, K. Spindler et al.,
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart**

Die Kältemittelverdampfung in ölgeschmierten Kältemaschinen wird durch die Verschleppung geringer Ölmengen in den Verdampfer beeinträchtigt. Das Öl reichert sich an der Heizfläche an, da nur das Kältemittel verdampft. Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß der Wärmeübergangskoeffizient in der Regel durch das Öl verringert wird, in einzelnen Fällen aber größer als bei reinem Kältemittel ist.

In Gemischen aus R134a und verschiedenen Ölen wurde die Blasenbildung und der Wärmeübergang beim Sieden am Draht und Rohr untersucht. Die lokale Ölkonzentration an den Blasenkeimstellen steigt mit zunehmender Wärmestromdichte stark an. Das Öl bewirkt eine drastische Reduzierung der Blasenwachstumsgeschwindigkeit und des Blasenabreißdurchmessers. Die Anzahl der aktiven Blasenkeimstellen und die Blasenfrequenz erhöhen sich dagegen zum Teil erheblich. Aus dem Zusammenwirken verschiedener Effekte resultiert eine Verringerung des Wärmeübergangskoeffizienten am Draht und eine teilweise Erhöhung am Rohr. Da mit zunehmender Siedetemperatur und Wärmestromdichte mehr Kältemittel aus dem Gemisch verdampft und damit die lokale Ölkonzentration ansteigt, ist die Verringerung des Wärmeübergangskoeffizienten stärker. Die Blasenbildung und der Wärmeübergangskoeffizient im Gemisch lassen sich mit neuen empirischen Gleichungen beschreiben.

VERGLEICH DES WÄRMEÜBERGANGS BEIM BEHÄLTERSIEDEN VON R410A MIT R22 AN EINEM FEINSANDGESTRAHLTEN KUPFERROHR

**P. Englich, K. Spindler et al.,
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart**

In einem aus zwei konzentrischen Glaszylindern bestehenden Verdampferbehälter wurde der Wärmeübergang beim Behältersieden von R22 und R410A an einem feinsandgestrahlten Kupferrohr (ϕ 18 mm) gemessen. Der innere Glaszylinder (ϕ 130 mm x 3 mm, L=500 mm) wird durch das im konzentrischen Ringspalt strömende Temperierfluid auf konstanter Temperatur gehalten. Die Messungen wurden für jedes Kältemittel bei gleichen Siedetemperaturen im Bereich von -30°C bis $+20^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Die Wärmestromdichte wurde von 80000 W/m^2 bis 1000 W/m^2 variiert. Die Meßergebnisse für den Wärmeübergangskoeffizienten für R22 werden durch die Korrelation im VDI-Wärmeatlas mit einer Genauigkeit von $\pm 20\%$ wiedergegeben. Der für $p^*=p_s/p_{kr}=0,1$ und $q=20000\text{ W/m}^2$ ermittelte Meßwert weicht um $+3\%$ von dem im VDI-Wärmeatlas angegebenen Wert für α_0 ab. Die Meßergebnisse für R410A werden durch das Modell von Schlünder mit einer Genauigkeit von $\pm 20\%$ wiedergegeben. Der Vergleich der Meßergebnisse von R410A mit R22 bei Wärmestromdichten von 80000 bis 10000 W/m^2 und Siedetemperaturen von -10°C bis $\pm 20^{\circ}\text{C}$ zeigt, daß der Wärmeübergangskoeffizient von R410A um 20% bis 40% über dem von R22 liegt. Bei Wärmestromdichten $< 10000\text{ W/m}^2$ liegt der Wärmeübergangskoeffizient von R410A um 50% bis 90% über dem von R22. Bei den Siedetemperaturen -30°C und -20°C ist diese Verbesserung annähernd unabhängig von der Wärmestromdichte und beträgt 10% .

EIN KOMBINIERTER ANSATZ ZUR BESCHREIBUNG DES WÄRMEÜBERGANGS BEIM BLASENSIEDEN VON GEMISCHEN

S. Bonekamp, J. A. Ulrich et al., Universität Karlsruhe (TH)

Die bekannte Verschlechterung des Wärmeübergangs beim Blasensieden von Gemischen im Vergleich zu den reinen Stoffen wird üblicherweise mit Korrelationen oder Modellen beschrieben, die in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Die erste enthält als wesentlichen Parameter die Konzentrationsdifferenz des Leichtersiedenden, die sich im Phasengleichgewicht zwischen Dampf und Flüssigkeit einstellen würde, die zweite dagegen die Temperaturdifferenz zwischen Tau- und Siedepunkt für eine Verdampfung bei konstanter Zusammensetzung. Für eine zufriedenstellende Beschreibung der gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten ist allerdings bei allen Ansätzen eine Anpassung an (beschränkte) Meßergebnisse für das betreffende Stoffsystem erforderlich. Während damit die Absolutwerte des Wärmeübergangskoeffizienten im Mittel recht gut beschrieben werden, wird seine Abhängigkeit von der Gemischzusammensetzung oft noch nicht richtig erfaßt. Tatsächlich liegt der Vorgang der Blasenbildung an der Heizfläche zwischen den Grenzfällen einer hinreichend langsamen Verdampfung im Phasengleichgewicht und einer schnellen Verdampfung bei konstanter Zusammensetzung. Es lag daher nahe, eine Korrelation aufzustellen, in der ein Ansatz der ersten und der zweiten Gruppe kombiniert werden, wobei die jeweiligen Beiträge zum Wärmeübergangskoeffizienten von der Wärmestromdichte und vom normierten Siededruck abhängen sollten. Die Anwendung dieses kombinierten Ansatzes auf verschiedene, relativ weitsiedende Mischungen von Kältemitteln (R23 / R134a, R23 / R115) und von Kohlenwasserstoffen (Ethan / Propan, Propan / n-Butan) wird im Vortrag diskutiert.

KOMPAKTE ABSORPTIONSWÄRMEPUMPE MIT HOHEM TEMPERATURHUB ZUR GEBÄUDEBEHEIZUNG

M. Schröder-Schulze, F. Ziegler, ZAE Bayern, Garching

Die heute gängigen Absorptionswärmepumpen mit dem Stoffpaar Wasser/Lithiumbromid erreichen zwar hohe Leistungsziffern, sie können jedoch nicht zur energiesparenden Gebäudebeheizung eingesetzt werden: Der durch das Stoffpaar bedingte maximal erreichbare Temperaturhub ist zu gering für den Betrieb von Radiatorenheizungen. Das Arbeitsstoffpaar Wasser / binäres Laugengemisch erlaubt hingegen einen Temperaturhub, der es ermöglicht, Heizsysteme mit einer Auslegungstemperatur von z. B. 55/45°C zu betreiben. Um dies zu demonstrieren wurde am ZAE eine einstufige Laugen-Absorptionswärmepumpe gebaut. Die direkt mit Gas befeuerte Maschine kann zum Heizen und/oder Kühlen benutzt werden. Durch die Verwendung von kompakten Plattenwärmetauschern in Kombination mit dem Konzept der adiabaten Absorption ist die Maschine nur wenig größer als ein Gaskessel.

Bisherige Meßergebnisse zeigen, daß Temperaturhübe von über 40 K erreichbar sind, die Leistungsziffer für Heizbetrieb liegt zwischen 1,3 und 1,6. Im Vortrag wird die Funktionsweise der Maschine vorgestellt sowie über die Meßergebnisse berichtet.

KÄLTE AUS FERNWÄRME - BETRIEBSERGEBNISSE MIT DEM SE/DL-ABSORPTIONS-KALTWASSERSATZ

C. Schweigler, S. Demmel et al., ZAE Bayern, Garching

Die neuartige zweistufige Kreislaufvariante Single-Effect/Double-Lift erlaubt den Einsatz von Absorptions-Kaltwassersätzen in Fernwärmenetzen bei niedriger Fernwärme-Vorlauftemperatur und begrenztem Heißwassermassenstrom. Dadurch kann ganzjährig ein gleichmäßiger Wärmeabsatz über das Fernwärmenetz gewährleistet werden.

Im Rahmen eines Verbundvorhabens wurden zwei Pilotanlagen des neuen Anlagentyps mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/LiBr entwickelt und im Fernwärmenetz der BEWAG, Berlin, und bei den Stadtwerken Düsseldorf erprobt.

Die beiden Pilotanlagen sind für Heißwasservor-/rücklauf 95/62°C bzw. 85/60°C und Kälteleistungen von 400 kW bzw. 300 kW ausgelegt. Seit August 1996 werden die Anlagen im Feldversuch betrieben und die Einsatzgrenzen für die neue Kreislaufvariante ausgetestet. In Teillast ist eine Auskühlung bis unter 60°C möglich. Bei Vorlauftemperaturen unter 100°C werden dabei Temperaturspreizungen zwischen Heißwasservor- und -rücklauf von über 50 K erzielt. Durch Regelung der Heißwasserrücklauftemperatur auf den Auslegungswert kann in Teillast eine Steigerung der Kältezahl bis hin zum einstufigen Betrieb erzielt werden.

NUTZUNG VON NIEDERTEMPERATURWÄRME ZUR ERZEUGUNG VON KÄLTE IM GEFRIERTEMPERATURBEREICH MIT HILFE NEUARTIGER ABSORPTIONSKÄLTEANLAGEN

**C. Mostofizadeh, C. Kuliek et al.,
Institut für Energie- und Verfahrenstechnik (IEV), Bremerhaven**

In vielen Bereichen der Industrie fällt Prozeßwärme im Niedertemperaturbereich an, welche insbesondere im Sommer nicht weiter verwertet werden kann. Meistens wird diese Abwärme an die Umgebung abgegeben. Auch für die Fernwärme werden in neuerer Zeit Anwendungen für die wärmere Jahreszeit gesucht.

Es wird eine neuartige Absorptionskälteanlage für die Nutzung von Niedertemperaturwärme im Bereich von 70-90°C vorgestellt, welche in der Lage ist, Kälte bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes (0°C) zu erzeugen.

Die Anlage arbeitet mit dem Stoffpaar NH₃/Wasser und enthält folgende Hauptkomponenten: Desorber, Kondensator, Verdampfer sowie einen Niederdruck- und einen Hochdruckabsorber.

In der Kernkomponente, dem Niederdruckabsorber, erfolgt die Absorption des Kältemitteldampfes aus dem Verdampfer mit Hilfe der armen Lösung. Die erforderliche Kühlung bei tieferen Temperaturen wird dort durch Verdampfen eines Teils des kondensierten Ammoniaks sichergestellt, welches nach Verdampfung im nachgeschalteten, wassergekühlten Hochdruckabsorber durch die bereits etwas angereicherte Lösung aufgenommen wird. Der Niederdruckabsorber bewirkt eine Vergrößerung der Entgasungsbreite bei vorgegebenen externen Temperaturen und erweitert dadurch den Einsatzbereich im Vergleich zur einstufigen Absorptionskälteanlage. Verglichen mit einer zweistufigen Absorptionskälteanlage erreicht die beschriebene Entwicklung Leistungszahlen oder „Kälteverhältnisse“, die 30 % oder mehr größer sind und somit eine effizientere Energienutzung ermöglichen.

Eine Anlage des beschriebenen Typs befindet sich im Bau und soll eine Kälteleistung von 85 kW bei -10°C für einen Lebensmittelbetrieb erzeugen. Über Erfahrungen und Betriebsmessungen wird in zusammengefaßter Form berichtet. Darauf basierend werden die Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsrechnung präsentiert.

EINE UMFASSENDE KANONISCHE ZUSTANDSGLEICHUNG FÜR DAS GEMISCH WASSER-AMMONIAK

R. Tillner-Roth, Institut für Thermodynamik, Universität Hannover

Das Gemisch aus Wasser und Ammoniak ist ein weit verbreitetes Arbeitsfluid in Absorptionskälteanlagen und -wärmepumpen. Dieses Gemisch ist weiterhin das Arbeitsmedium im Kalina-Prozeß zur Abwärmenutzung und Elektrizitätserzeugung. Für eine sichere Auslegung solcher Prozesse wird eine Zustandsgleichung benötigt, die sowohl thermische als auch kalorische Zustandsgrößen des Gemisches thermodynamisch konsistent beschreibt. Im vorliegenden Beitrag wird eine neue umfassende Fundamentalgleichung für das Gemisch Wasser/Ammoniak vorgestellt. Es handelt sich dabei um eine Formulierung für die freie Energie oder Helmholtz-Funktion, welche zwischen der Tripellinie und der kritischen Linie sowie im gesamten Einphasengebiet bis zu Drücken von 40 Mpa das thermodynamische Verhalten dieses Gemisches beschreibt. Verfügbare Meßwerte in allen genannten Zustandsgebieten werden innerhalb der Meßunsicherheit wiedergegeben. Der Ansatz stützt sich auf genaue Zustandsgleichungen für die reinen Stoffe und gilt im gesamten Konzentrationsbereich. Eine Extrapolation ins überkritische Gebiet, wo so gut wie keine experimentellen Daten vorliegen, liefert qualitativ sinnvolle Ergebnisse.

PRINZIP, EINSATZMÖGLICHKEITEN UND VORTEILE/NACHTEILE, ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN FÜR KÄLTEERZEUGUNG MIT ADSORPTIONSTECHNIK

F. Hunold, enco energie-consulting gmbh, Kassel

Das grundsätzliche Prinzip der Adsorptionstechnik wird dargelegt in Verbindung mit den u. a. bekannten Prozessen der Absorptionstechnik.

Speziell in der Industrie und im Gewerbe ist der Einsatz von Adsorptionstechniken geeignet u. a. um Abwärmepotential für Kälteerzeugung zu nutzen auf einem Temperaturniveau der Abwärmequelle, welches deutlich unter dem bisher bekannten von ca. 100-120 °C liegt. Anhand von Beispielen wird die Einsatzmöglichkeit der Adsorptionstechnik aufgezeigt für

- Abwärmenutzung,
- Kaltwassererzeugung.

Vorteile und Nachteile werden dargelegt u. a. zu

- CO₂-Reduzierung,
- Ozonabbauproblematik,
- Reduzierung Betriebsrisiko bei Kaltwassererzeugung,
- Abwärmequellen.

Eine seit Sommer 1995 in Betrieb befindliche Adsorptionsanlage (nach unserem Kenntnisstand die erste Großanlage in Europa) wird dargestellt hinsichtlich Installation und Betriebserfahrungen.

DAS VERHALTEN ZEOTROPER GEMISCHE ALS FCKW ALTERNATIVEN IN WÄRMEPUMPEN

**T. Engler, L.R. Oellrich, Institut für Technische Thermodynamik und
Kältetechnik, Universität Karlsruhe**

**S. Srinivasa Murthy, G. Venkatarathnam, Indian Institute of Technology,
Madras, Indien**

Es ist dringend geboten, auch für den Anwendungsbereich von Wärmepumpen Alternativen zu den FCKW zu finden. Während R134a für R12 eingesetzt werden kann, ist der Ersatz von R14, speziell bei höheren Temperaturen, nicht so einfach zu lösen. Viele Alternativen wurden vorgeschlagen, die Gemische von Kohlenwasserstoffen einschließen oder Gemische aus HFKW236ca, HFKW236fa, HFKW254cb und HFKW236ea. Während die Leistungszahlen einiger Kombinationen höher liegen als für R14, sind andere Kenngrößen, z. B. erforderliche Kompressorgröße für die Gemische, unterschiedlich. Die Temperaturänderung beim Phasenwechsel liegt für die Gemische zwischen 5 und 40 K. Während eine große Temperaturänderung oft als Vorteil angesehen wird, kann das Auftreten von unzulässigen Temperaturannäherungen („pinch points“) zu Problemen für einen effektiven Einsatz führen. Im Vortrag wird das Verhalten verschiedener Gemische in einer Wärmepumpe verglichen. Das Auftreten der „pinch points“ für die unterschiedlichen Kandidaten wird aufgezeigt.

EINE EINFACHE METHODE ZUR BESTIMMUNG DER FLÜSSIGKEITSDICHTE VON ALTERNATIVEN KÄLTEMITTELN

**D. Günther, F. Steimle, Institut für Angewandte Thermodynamik und
Klimatechnik, Universität Essen**

Die Flüssigkeitsdichten von teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffgemischen aus R134a, R152a, R125, R143a und R32 wurden im Temperaturbereich von -20°C bis $TR < 0,98$ bei Drücken bis zu 60 bar bestimmt. Eine Biegeschwingerapparatur wurde eingesetzt, um die Dichte der unterkühlten Flüssigkeit zu messen. Die Meßunsicherheit ist im Temperaturbereich $-20^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$ geringer als 0,1 %.

Da für das Zweiphasengebiet aus der Literatur bereits zahlreiche p, v, T, x -Daten verfügbar waren, konnte die generalisierte Zustandsgleichung nach Hankinson-Brost-Thomson so weit modifiziert werden, daß bis auf wenige Ausnahmen alle Meßdaten innerhalb $\pm 0,2$ % wiedergegeben werden. Diese Gleichung bietet den Vorteil, daß man neben den kritischen Größen nur zwei stoffspezifische Parameter benötigt, um die Dichte präzise berechnen zu können. Die gute Wiedergabe der Meßwerte auch im Bereich hoher Temperaturen ($TR > 0,95$) ist dabei auf die Einführung einer Ausgleichsfunktion zurückzuführen.

VERGLEICH UND ENTWICKLUNG VON BERECHNUNGSGLEICHUNGEN FÜR THERMODYNAMISCHE STOFFDATEN VON BINÄREN UND TERNÄREN KÄLTEMITTELGEMISCHEN

C. Meurer, H. König, Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover

Die Suche nach FCKW-Ersatzstoffen hat gezeigt, daß für einige Einsatzgebiete die Verwendung von binären oder ternären Gemischen mit mehr oder minder stark ausgeprägtem zeotropen Verhalten unumgänglich ist. Kubische Zustandsgleichungen sind, unter der Verwendung von Mischungsregeln, generell in der Lage, das Dampf-Flüssiggleichgewicht sowie die *Stoff*-daten der Dampfphase von Mehrstoffsystemen zu beschreiben. In der Regel werden solche Gleichungen für beliebige Zusammensetzungen von Mehrstoffsystemen entwickelt.

Die nahe azeotropen Kältemittelgemische R404A und R410A sowie das zeotrope Gemisch R407C sind mittlerweile als langfristige Alternativen weltweit anerkannt. Es liegt daher nahe, Gleichungssysteme zu entwickeln, die zum Zwecke der Kreislaufberechnung die thermodynamischen Stoffdaten der oben genannten Gemische in einem engen Fenster der Zusammensetzungen hoch genau beschreiben. Im Falle einer Leckage oder auch bei dem Entleeren einer Kältemittelflasche aus der Gasphase kann die Zusammensetzung von zeotropen Gemischen von der Spezifikation abweichen. Für diesen Fall muß eine Gleichung zur Verfügung stehen, die auch in einem weiteren Bereich der Zusammensetzung hinreichend genaue Ergebnisse liefert.

Die vorliegende Arbeit vergleicht verschiedene Ansätze zur Lösung dieser Problematik und stellt ein Gleichungssystem vor, welches die oben genannten Anforderungen erfüllt.

NEUE METHODE ZUR UNTERSUCHUNG DER THERMISCHEN STABILITÄT VON FLÜSSIGEN ZWEISTOFFGEMISCHEN

R. Böhr, F. Steimle, Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Universität Essen

Im Rahmen des Vortrags wird eine neuentwickelte Methode zur Untersuchung der thermischen Stabilität von flüssigen Zweistoffgemischen vorgestellt. Die neukonzipierte Thermosyphon-Versuchsapparatur gestattet den Einsatz von binären Stoffsystemen, welche sowohl als Gemisch zweier Flüssigkeiten und auch als Lösung eines Feststoffes in einer Flüssigkeit vorliegen können. Für eine Vielzahl von Anwendungsfällen, in denen eine flüssige binäre Substanz thermischer Belastung ausgesetzt ist, kann das Verhalten der thermischen Stabilität der entsprechenden Stoffe innerhalb eines weiten und technisch bedeutsamen Druck- und Temperaturbereichs bestimmt werden. Die grobe Abschätzung der Eignung der Stoffe anhand der Auswertung durch die aufgestellte Berechnungsmethode zur Indikation von Zersetzungsreaktionen während des Versuchsablaufs ist problemlos möglich und bedarf allein einer gezielten Temperaturmessung. Für eine differenzierte Auswertung und konkrete Angaben über die Eignung der Stoffe für einen bestimmten Prozeß ist jedoch die Konzentrationsbestimmung der Proben und gegebenenfalls die Bestimmung von Zersetzungsprodukten unvermeidbar, was einen nicht unerheblichen Aufwand zur Folge hat, jedoch für diesen Fall grundsätzlich und unabhängig vom Untersuchungsverfahren erforderlich ist.

Insbesondere auf dem Gebiet der thermischen Stabilität binärer Stoffsysteme für den Einsatz in der Kältetechnik ist die Anwendung der hier entwickelten Methode naheliegend. Nicht nur die Untersuchung von neuen Kältemittelgemischen ist dabei von entscheidender Bedeutung, sondern auch von neuen Kältemitteln in Kontakt mit ebenfalls neuentwickelten Kompressorenölen. Zwar stellt die Konzentrationsbestimmung eines Gemisches aus leichtsiedendem Kältemittel und schwersiedendem Öl nach erfolgter thermischer Zersetzung gewisse Anforderungen an die Geräteausstattung eines Analyse-Labors, aber bereits die Auswertung mit Hilfe der Berechnungsmethode zur Indikation von Zersetzung während des Versuchsablaufs gestattet verwertbare Aussagen.

KRITERIEN ZUR KONSTRUKTIVEN GESTALTUNG VON VERDICHTERN FÜR KOHLENDIOXID ALS KÄLTEMITTEL IN KOMPRESSIONSKÄLTEANLAGEN

**J. Süß, H. Kruse, Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik,
Universität Hannover**

Ausgelöst durch die Diskussion um umweltverträgliche Technologien zur Kälteerzeugung wird die Verwendung von Kohlendioxid (CO₂) als Kältemittel für Kompressionskälteanlagen in jüngster Zeit zunehmend in Erwägung gezogen. Kohlendioxid ist das einzige unbrennbare und nicht toxische nahezu umweltneutrale natürliche Kältemittel, das für Kaldampfprozesse geeignet ist. Folglich kann diese Technologie eine umweltverträgliche Alternative für bestimmte kältetechnische Anwendungen darstellen, sofern die Effizienz des Prozesses, die maßgeblich vom eingesetzten Verdichter abhängig ist, mindestens der bereits eingesetzter Technologien entsprechen kann.

Bei Temperaturlagen, wie sie bei einstufigen Kompressionskälteprozessen üblich sind, ergeben sich aufgrund der Stoffeigenschaften von Kohlendioxid ein vergleichsweise geringes Druckverhältnis, aber eine große Druckdifferenz der Anlagendrücke. Es wird erläutert inwiefern bei diesen Randbedingungen und geeigneter Konstruktion des Verdichters eine hohe volumetrische und energetische Effizienz der Maschine resultieren kann. Im Mittelpunkt des Vortrages steht die Überprüfung unterschiedlicher Verdichterkonstruktionen im Hinblick auf deren Eignung für die erwähnte Anwendung und die Ausarbeitung eines geeigneten Konzeptes.

Die im Vortrag vorgeschlagenen Konstruktionsmerkmale eines CO₂-Verdichters, die sich aufgrund geeigneter theoretischer Verfahren, die auf der Basis experimenteller Untersuchungen verifiziert worden sind, ergaben, tragen den hohen Drücken, der hohen Dichte und den guten Wärmeübertragungseigenschaften von Kohlendioxid im Kälteprozeß Rechnung. Darüber hinaus wird auf die Auslegung und Tribologie des Triebwerks eingegangen.

CO₂ ALS KÄLTEMITTEL IN KLIMAKÄLTEANLAGEN

S. Grohmann, ILK Dresden

Der Kaltdampfkälteprozeß mit CO₂ als Kältemittel unterscheidet sich vom konventionellen Kaltdampfprozeß dadurch, daß die Wärmeabgabe bei hohen Umgebungstemperaturen bei überkritischer Prozeßführung erfolgt.

In diesem Vortrag wird eine Anlagenschaltung vorgestellt, die auf einfache Weise die Regelung des Hochdruckes ermöglicht. Diese Schaltung hat den Vorteil, daß der Hochdruck und die Verdampferbeaufschlagung (TEV) getrennt geregelt werden. In Abhängigkeit der Umgebungstemperatur sind unter- und überkritische Betriebsbedingungen möglich. Mit dieser Schaltung können CO₂-Kälteanlagen mit der jeweils maximalen Leistungszahl bei optimaler Ausnutzung der Verdampferfläche betrieben werden.

An dem CO₂-Kälte-/WP-Satz des ILK Dresden wurde die Funktion der Schaltung praktisch erprobt. Diese Anlage ist unter Ausnutzung der warmen und der kalten Seite Bestandteil einer DEC-Klimaanlage. Es werden Meßergebnisse vorgestellt und das Betriebsverhalten der Anlage beschrieben.

Aus theoretischen Berechnungen und der Gegenüberstellung dieser Werte mit den Meßergebnissen entstand eine Regelungsfunktion zur Führung des Hochdruckes unter verschiedenen Betriebsbedingungen. Auf der Grundlage von Kreisprozeßberechnungen wird der Einfluß der Kältemittelüberhitzung auf die Effizienz des CO₂-Kreisprozesses dargestellt.

In der Literatur werden für den CO₂-Kaltdampfprozeß im Vergleich zu gebräuchlichen Kältemitteln (z. B. R134a) meist deutlich niedrigere Leistungszahlen angegeben. Diese Aussage trifft jedoch nur für hohe Umgebungstemperaturen (Auslegungspunkt der Kälteanlagen) zu, die nur in wenigen Stunden des Jahres auftreten. Bei sinkenden Außenlufttemperaturen kehrt sich diese Tendenz um. An einem Beispiel wird gezeigt, daß in geeigneten Anwendungsfällen im Jahresmittel mit CO₂ gleiche Leistungszahlen wie mit R134a erreicht werden können.

CO₂-WÄRMEPUMPE ZUR WARMWASSERBEREITUNG - ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN

P. Heyl, W. E. Kraus et al., Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, TU Dresden

Kohlendioxid wird als Kältemittel und als Kälteträger in einer Reihe von FuE-Projekten erprobt. Es steht dabei im Spannungsfeld zwischen Umweltverträglichkeit, technischer Sicherheit, energetischer Effektivität und Anlagengestaltung.

Der für Kaltdampfprozesse unübliche transkritische Kreislauf zeigt im Anwendungsfall der Wärmepumpe spezielle energetische Vorteile, wenn für Zwecke der Warmwasserbereitung große Temperaturspreizungen zu bewältigen sind. Es wurde eine Wärmepumpenanlage im Labor aufgebaut und dabei für die Wassererwärmung von etwa 10 °C auf 60 °C ausgelegt. Sie besteht aus den vier Hauptkomponenten: Verdichter, Drosselventil, Hochdruck-Wärmeübertrager und Verdampfer in Rohrbündel-Bauweise. Über das Betriebsverhalten, die Leistungsdaten und diverse Verluste in der Anlage bzw. im Verdichter wird berichtet. Schlußfolgerungen für eine verbesserte Pilotanlage bzw. den möglichen Einsatz in der Praxis werden gezogen.

VERSUCHE MIT AMMONIAK-KÄLTEANLAGEN FÜR KLEINE LEISTUNGEN MIT LUFTBEAUFSCHLAGTEN TROCKENEXPANSIONSVERDAMPFERN UND MIT AMMONIAKLÖSLICHEN ÖLEN

T. Boyman, P. Lochmann, Ingenieurschule Luzern (ZTL), Horw, Schweiz

Das Verhalten und die Einsatzgrenzen von zwei kompakten Ammoniak-Kälteanlagen mit je 15 kW Kälteleistung wurden in den Versuchsständen unserer Schule und bei ausgewählten Kunden getestet und ermittelt. Beide Anlagen arbeiten nach dem Kaltdampfkompressionsprinzip und wurden mit ammoniaklöslichen Ölen (PAG) als Verdichterschmiermittel betrieben.

Es wurden ausschließlich Komponenten verwendet, die auf dem Markt erhältlich sind:

- Luftbeaufschlagte Verdampfer mit Stahlrohren und Aluminium-Lamellen: In der ersten Anlage mit drei und in der zweiten Anlage mit zwei parallel betriebenen Registern zur Trockenexpansionsverdampfung des Ammoniak-Öl-Gemisches.
- Kolbenverdichter: In der ersten Anlage mit wassergekühlten Zylinderköpfen, in der zweiten Anlage mit Lufikühlung.
- Wassergekühlte Kondensatoren: In der ersten Anlage Röhrenkessel-Wärmeübertrager, in der zweiten Anlage geschweißter Platten-Wärmeübertrager mit einer stark reduzierten Ammoniakfüllung.
- Verschiedene Expansionsvorrichtungen: Thermostatische Expansionsventile, elektronisch geregelte Expansionsventile (mit Pulslängenmodulation), Kapillarrohre.

Die Versuche wurden bei Verdampfungstemperaturen zwischen $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit Ammoniak-Massenstromdichten von 30 bis $65\text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$ und Ölgehalten von 0 bis 5 % (w/w) durchgeführt. Die Strömungsformen im Rohr wurden mit speziellen Glasbausteinen an verschiedenen Stellen des Verdampfers beobachtet. Eine empirische Gleichung für die Verdampfung des Ammoniaks in einem horizontalen Rohr wurde erstellt und anhand einer vereinfachten Modellierung überprüft.

R718-WASSERKÜHLER MIT WASSER ALS KÄLTEMITTEL

P. Albring, R. Apley et al., ILK Dresden

Im Beitrag werden die aktuellen Ergebnisse des Forschungsprojektes „Wasser als Kältemittel“ mitgeteilt. Innerhalb des Vorhabens wurden grundsätzliche Untersuchungen zu Fragen der Verdampfung und Kondensation und insbesondere zur Verdichtung durchgeführt.

In einer Versuchsanlage wurden alle neuartigen Komponenten aufgebaut und erprobt. Die Grundlage zur erfolgreichen Bearbeitung der Aufgaben bildete die Entwicklung eines neuartigen, für die speziellen Belange in Wasserkühlsätzen ausgelegten Turboverdichters, der nunmehr einen technischen Stand erreicht hat, der einen Feldeinsatz in kompakten Kälteanlagen erlaubt.

Für einen Leistungsbereich zwischen 350 kW und 800 kW, bei Kaltwassertemperaturen zwischen 0°C und 15°C ist eine erprobte Konstruktion vorhanden. Für den Nachweis der Zuverlässigkeit des Systems läuft ein weiterer Test. R718-Wasserkühler sind kompakte anschlussfertige Einheiten, die in jedem Kältemaschinenraum untergebracht werden können. Leistungen und Betriebserfahrungen der R718-Versuchsanlage werden dargestellt.

ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN UND EINSATZGRENZEN VON LITHIUMBROMID-WASSER-ABSORPTIONSKÄLTEMASCHINEN

K. Hartmann, Carrier GmbH, München

Die in den letzten Jahren stark veränderte Energiesituation läßt vermuten, daß elektrische Energie nicht mehr im gewünschten Maße zur Verfügung stehen wird. Es ist daher erforderlich, bei jedem Anwendungsfall vorurteilslos zu prüfen, ob das gewünschte Ziel nicht auch ohne Inanspruchnahme von Elektrizität erreicht werden kann. Nicht nur für Klimaanlageanlagen bieten sich dafür Lithium-Wasser-Absorptionskältemaschinen an.

Auch in ökologischer Hinsicht sind kompakte LiBr-Wasser-Absorptionskältemaschinen eine sinnvolle Alternative zur Lösung der FCKW/HFKW-Problematik, da als Kältemittel normales, umweltfreundliches Wasser verwendet wird.

Natürliche Einsatzgrenzen bestehen nicht nur hinsichtlich der minimal möglichen Kaltwasseraustrittstemperatur von ca. 5°C, sondern vor allem bei den Heiztemperaturen im Austreiber, um den Kreisprozeß der wässrigen Lithiumbromidlösung stabil zu halten.

ÖLAUSGLEICHSSYSTEME BEI VERBUNDANLAGEN MIT SCROLL VERDICHTERN GRÖßERER LEISTUNG

U. Menninghaus, Danfoss Wärme- und Kältetechnik GmbH, Heusenstamm

Die hermetische Verdichtertechnologie verfügt über Merkmale, die sie zur ersten Wahl bei zahlreichen Klima- und Kälteanwendungen gemacht haben. Jedoch war bis vor kurzem die Verwendung von hermetischen Verdichtern auf Kälteleistungen bis zu ca. 30 kW begrenzt. Der wachsende Bedarf an vollhermetischen Verdichtern für größere Leistungen hat zu der Entwicklung von Verbundsystemen mit Maneurop Performer®-Scroll Technologie geführt.

Die Anwendung der Performer®-Scroll Technologie bei Systemen mit mehreren parallelen Verdichtern hat eine Vielzahl von konstruktiven Anpassungen erforderlich gemacht. Um den Systemanforderungen optimal zu entsprechen, sind die Anpassungen spezifisch auf das gewählte Konzept der Parallelschaltung von Verdichtern abgestimmt worden.

Der Vortrag behandelt sowohl die spezifischen Systemanforderungen als auch die Konstruktionskonzepte, welche umgesetzt wurden, um die Systemanforderungen zu erfüllen. Ferner wird das Ölrückführ- und Ölausgleichssystem der Maneurop Performer®-Scroll bei Einheiten mit zwei, drei und vier parallelen Verdichtern (Tandem, Trio und Quadro) vorgestellt.

Die Abhandlung vergleicht unterschiedliche Ölrückführ- und Ölausgleichssysteme, bewertet ihre jeweiligen Eigenschaften und zeigt die Gründe für die Auswahl des gewählten Systems auf.

Ziel dieses Vortrags ist es, einen detaillierten Überblick über die Konstruktionsmerkmale und das Funktionsprinzip sowie die Vorzüge des Systems zu geben. Ferner werden die Testreihen vorgestellt, nach deren Abschluß eine Freigabe des Systems steht.

AMMONIAK-FLÜSSIGKEITSKÜHLSATZE MIT TROCKENER VERDAMPFUNG / BETRIEBSERFAHRUNGEN MIT PAG-ÖL

T. Spänich, Grasso GmbH RT Berlin

- Flüssigkeitskühlsätze mit Schraubenverdichtern
- Einzelheiten der Konstruktion
- Drive line und Wärmetauscher
- Werkstoff-Fragen am Verdichter
- Ölkühlerlose Bauweise, elektronisch geregelte Kältemitelein-spritzkühlung
- Verdampfer Einspritzregelung mit pulsbreiten modulierten Magnetventilen
- Schmierung mit kältemittellöslichen PAG-Ölen, Teillastverhalten
- Ölrückführungsverhalten
- Invest- und Betriebskostenvergleich zu Flüssigkeitskühlsätzen mit überfluteten Verdampfern

AUSWIRKUNG VON VERUNREINIGUNGEN AUS LÖTPROZESSEN AUF DEN KÄLTEMITTELKREISLAUF UND DIE STABILITÄT VON R134A

H. König, Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover

In der Kältetechnik wird der Einsatz von Aluminium als Werkstoff verstärkt diskutiert, wobei die Frage der möglichen Verbindungstechniken im Vordergrund steht. Insbesondere bei der Wärmetauscherproduktion werden zur Zeit verschiedene Lötverfahren angewandt. Bei allen Lötverfahren entstehen jedoch Rückstände wie Ruß, Oxidschichten oder andere Verunreinigungen.

Der sogenannte Nocolok Flux Hartlötprozeß wird bei der Produktion von Aluminium-Wärmetauschem - insbesondere im Automobilbereich - eingesetzt. Die Stabilität von R134a in der Gegenwart von Nocolok Flux Rückständen und die Wirkungen dieser Rückstände auf den Kältemittelkreislauf werden vorgestellt.

Hierzu wurde eine Versuchskälteanlage aufgebaut, die es ermöglicht, Löt- und Flußmittelrückstände sowie gelötete Rohrverbindungen in einem R134a Kreislauf unter realistischen Bedingungen zu prüfen. Die Wechselwirkungen zwischen dem Kältemittel, dem Kältemaschinenöl und den Löt- und Flußmittelrückständen wurden eingehend studiert, darüber hinaus die installierten Microfilter und die beweglichen Teile des Verdichters. Die bei der Fertigung und beim Betrieb von Kälteanlagen anfallenden Rückstände aus Löt- sowie Alterungsprozessen, die Wirkung und der Verbleib dieser Rückstände wurde untersucht.

Ein Einfluß auf die Lebensdauer der Komponenten konnte nicht nachgewiesen werden, obwohl verschiedene Alterungsprozesse eindeutig beobachtet wurden. Als weiteres Ergebnis wird in dieser Grundlagenuntersuchung dokumentiert, daß die Stabilität des Kältemittels R134a durch Löt- und Flußmittel nicht verändert wird.

AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER EVAKUIERUNGSGRADE AUF DIE KÄLTETECHNISCHEN PARAMETER VON HAUSHALTKÄLTEGERÄTEN

**A. Meyer, FORON Haus- und Küchentechnik GmbH, Niederschmiedeberg
J. Philipp, Lehrstuhl für Kälte- und Kryotechnik, TU Dresden**

An Kühl- und Gefriergeräte werden zunehmend höhere Ansprüche für den Energieverbrauch, das Regelverhalten, die Geräuschabstrahlung und die Lebensdauer gestellt. Zur Realisierung dieser Eigenschaften wurden die Geräte ständig weiterentwickelt und optimiert. Für die sorgfältige Herstellung der Kälteanlage stellt die Sicherung der geforderten Evakuierungsgrade vor dem Befüllen ein permanentes Problem dar. Es soll untersucht werden, welchen Einfluß der Evakuierungsgrad eines Kleinkältegerätes auf dessen Innentemperatur und die relative Einschaltzeit und Leistungsaufnahme des Hermetikverdichters haben.

SIMULATION DER UMSTRÖMUNG EINES OFFENEN VERKAUFSKUHLMÖBELS IM KLIMARAUM

R. Kröger, Linde AG, Köln

Verkaufskühlmöbel werden nach der Europäischen Norm (EN 441) in Klimäräumen mit einer definierten seitlichen Luftströmung von 25 °C und 60 % relativer Luftfeuchte getestet. Bei offenen Verkaufskühlmöbeln wie z. B. großen vertikalen Kühlregalen fällt bauartbedingt im unteren Bereich des Möbels immer kalte Luft aus dem Möbel und vermischt sich mit der Luft der Klimaraumströmung.

Mit dem CFD-Programm FIDAP wurde die dreidimensionale Klimaraumströmung um ein idealisiertes vertikales Kühlregal simuliert. Berechnet wurde das Geschwindigkeitsfeld sowie die Verteilung von Temperatur, Druck und relativer Feuchte. Bei den Rechnungen wurde erzwungene und freie Konvektion berücksichtigt, wobei die Dichte der feuchten Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Wassergehalt berechnet wurde. Der Einfluß der Klimaraumabmessungen auf das Strömungsbild und auf die Temperaturverteilung wurde untersucht. Die Simulationsergebnisse wurden mit Messungen im Klimaraum verglichen.

SIMULATION VON HAUSHALTSKÜHLGERÄTEN AUF DER BASIS VON MEßDATEN

**R. Heidelek, T. Tiedemann et al.,
Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik, Universität Hannover**

Bei der Neuentwicklung von Haushaltskühlgeräten sind eine große Anzahl von experimentellen Untersuchungen notwendig. Das vorgestellte Programm zur Simulation des instationären Betriebsverhaltens von Haushaltskühlgeräten kann zur Reduktion der Anzahl derartiger Untersuchungen eingesetzt werden.

Während bisher eingesetzte Simulationsprogramme überwiegend geometrische Grunddaten der Haushaltskühlgeräte zugrunde legten, ist der besondere Ansatz dieser Simulation, daß überwiegend experimentelle Daten eines bekannten Haushaltskühlgerätes verwendet werden. Mit diesen Daten wird die Simulation angepaßt. Das Simulationsprogramm ist speziell auf eine unkomplizierte, praxisnahe und schnelle Bedienung ausgerichtet.

Ausgehend von der Anpassung ist das Programm in der Lage, das instationäre Betriebsverhalten vergleichbarer Haushaltskühlgeräte zu simulieren. Als wichtigste Parameter können die Masse und die Wärmeübertragungseigenschaften des Verflüssigers und des Verdampfers, die Güte der Isolierung und die Verdichterkennlinie geändert werden.

Um die Güte der Simulationsergebnisse abschätzen zu können, wird für verschiedene Variationsrechnungen ein Vergleich mit einem wesentlich komplexeren Simulationsprogramm durchgeführt, das in den letzten Jahren am Institut entwickelt wurde.

AUTOMATISIERUNG IN DER KÄLTETECHNIK - NOTWENDIGES ÜBEL ODER CHANCE?

M. Becker, Transferstelle für Informations- und Automatisierungssysteme in der Kältetechnik, Universität Kaiserslautern

Moderne elektronische Automatisierungsgeräte auf Basis mikroelektronischer Komponenten stehen in zunehmender Vielfalt für die Kältebranche zur Verfügung. Beispiele hierfür sind elektronische Kühlstellen- und Bedarfsabtauregler, elektronische Expansionsventilregler, elektronische Druckregler, integrierte Leitsysteme mit Überwachungs- und Diagnosemöglichkeit über Telefon und PC. Obwohl die Technik hierzu ausgereift ist und ihr Einsatz vielfältige Vorteile bietet, ist eine eher bescheidene Marktdurchdringung zu beobachten.

Wo liegen die Ursachen hierfür? Wie steht es um den Stellenwert der Automatisierung in der gewerblichen Kältetechnik? Wo lohnt sich der Einsatz moderner Automatisierungsgeräte auf Mikrocontrollerbasis? Welche Vor- und Nachteile bringt die Elektronik? Welche aktuellen Trends sind zu erkennen?

Diese und weitere Fragen werden in diesem Beitrag kritisch hinterfragt und zur Diskussion gestellt.

BETRIEBSOPTIMIERUNG VON KOMPLEXEN KÄLTEANLAGEN MIT FUZZY-CONTROL

**R. Talebi-Daryani, Lehrgebiet und Laboratorium für Regelungstechnik, FH Köln
C. Luther, JCI, Köln**

Das Projekt entstand durch eine Kooperation zwischen der Fachhochschule Köln mit der Firma JCI-Regelungstechnik GmbH, um neue Einsatzmöglichkeiten der Fuzzy-Logic zu erproben. Der Auftrag der Firma JCI umfaßte die Entwicklung und Inbetriebnahme sämtlicher Automatisierungsfunktionen für die Kälteanlage im Max-Planck-Institut in Bonn. Die Anlage zur Kühlung der EDV- und Laborräume besteht aus drei Kaltwassersätzen, drei Glycolrückkühlern im Freikühltrieb sowie zwei Eisspeichern. Von den acht zur Verfügung stehenden Aggregaten sollten jeweils die zur Bereitstellung der im Gebäude benötigten Kälteleistungen herangezogen werden, die zum entsprechenden Zeitpunkt am wirtschaftlichsten betrieben werden konnten.

Ziel dieser Arbeit war der Entwurf und der Test eines Betriebsoptimierungsprogramms für die bestehende Anlage. Im Mittelpunkt stand dabei die Entwicklung eines Fuzzy-Controllers auf Software-Basis mittels SUCOsoft Fuzzy TECH 4.0, der die gestellte Anforderung an die wirtschaftliche Betriebsweise realisieren konnte.

REGELUNGSKONZEPT FÜR EISBREIANLAGEN IN INDIREKTEN KÄLTEANLAGEN IM SB-MARKTBEREICH

C. Bendtsen, J. Zangenberg, Danfoss A/S, Nordborg, Dänemark

Im Zuge der allgemeinen Unsicherheit hinsichtlich der neuen, synthetischen Kältemittel R134a, R404A u. a. sowie deren Einfluß auf die Umwelt und ein daraus eventuell folgendes Anwendungsverbot hat sich im SB-Marktbereich ein steigendes Interesse für die sogenannten natürlichen Kältemittel, z. B. Ammoniak (NH_3 -R7 17) und Propan (C_3H_8 -R290) u. a. gezeigt.

Für den Kundenbereich in Läden und Supermärkten wird ein paniksicheres, nicht giftiges und nicht brennbares Kältemittel verlangt, welches die Anwendung von Ammoniak und Propan u. a. problematisch machen würde.

Mit einer sogenannten indirekten Kälteanlage ist es jedoch möglich, sowohl die Umwelt zu schonen als auch den Menschen zu schützen. Bei dieser Anlage befindet sich die Kältemaschine, z. B. mit Ammoniak betrieben, in einem abgesonderten Maschinenraum, während die Kälte über den Sekundärkreislauf mit Hilfe nicht giftiger und nicht brennbarer Medien zu den einzelnen Kühlstellen im Ladenbereich geleitet wird.

Im Zusammenhang mit einem gerade abgeschlossenen dänischen Forschungsprojekt (EFP-94) mit dem Thema „Indirekte Kälteanlagen mit FCKW und H-FCKW-freien Kältemitteln“ wurde im Kältelabor der Fa. Danfoss A/S eine Minisupermarkt-Kälteanlage mit indirekter Kühlung aufgebaut, die im Sekundärkreis eine FLO-ICE®-Anlage verwendet. An dieser Anlage wurde eine Reihe von Tests durchgeführt und Ermittlungen erbracht über Rohrdruckabtiefe und Ventil- und Pumpendimensionierung, außerdem wurden Messungen von Wärmeübergangszahlen vorgenommen und letztlich ein Regelungskonzept entwickelt.

ELEKTRONISCHE ÜBERWACHUNGSSYSTEME ZUR NACHRÜSTUNG IN KONVENTIONELLEN SUPERMÄRKTEN

**H. Miemitz, HEIFO Rüterbories GmbH & Co., Osnabrück
H. Wendelborn, Danfoss Wärme- und Kältetechnik GmbH, Heusenstamm**

Bisher wurden Kälteanlagen in kleineren und mittleren Supermärkten häufig konventionell, d. h. ohne ein zentrales Überwachungssystem betrieben.

Der Vortrag zeigt Möglichkeiten zur Nachrüstung von Überwachungssystemen in Supermärkten auf. Es handelt sich hierbei um ein System, das Daten per Fernübertragung aus der Kälteanlage erfaßt. Bereits bei ersten Anzeichen eines kritischen Betriebs der Anlage, die ohne Veränderung zu einer Störung führen würde, ist damit die Möglichkeit eines gezielten Service-Einsatzes gegeben.

Zudem ist die Erkennung eines unwirtschaftlichen Betriebs und die Vermeidung von Warenschäden möglich. Die Weitermeldung erfolgt über Modem von den Supermärkten an eine zentrale Stelle, der ein Alarmmanagement aufgeschaltet ist.

Damit kann eine Diagnose mittels PC von fern in die Kälteanlage erfolgen und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Die registrierten Energieverbrauchsdaten eröffnen einen Einblick in die Verbrauchsspitzen eines Tages und bieten die Grundlage zu weiteren Energiekostenreduzierungen auch im Bereich der Energiebereitstellungskosten.

VENTILATOR-LUFTKÜHLER MIT INNENBERIPPTE N ROHREN

M. Arnemann, P. Starp, FKU GmbH, Berlin

Der Einsatz von innenberippten Rohren lässt im Vergleich zu glatten Rohren einen deutlich verbesserten Wärmeübergang erwarten.

Zur Abschätzung der Größenordnung dieser Verbesserungen wurden die Wärmeübergangskoeffizienten und die Druckverluste von glatten und innenberippten Rohren experimentell bestimmt. Dazu wurden zwei bis auf die Rohre baugleiche Ventilator-Luftkühler in einem Kalorimeter untersucht. Mit dem Kältemittel R22 wurden für verschiedene Kältemittelmassenströme, Verdampfungstemperaturen und Lufttemperaturen die Kennzahlen bestimmt, die zur Charakterisierung der Rohre dienlich sind.

Im Vergleich zu glatten Rohren lässt sich durch den Einsatz von innenberippten Rohren der innere Wärmeübergang bei der Verdampfung nachweislich deutlich verbessern.

Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für eine Neuentwicklung im Hause Walter Roller.

Die energetische Bewertung des neuen Verdampfertyps erfolgte in Anlehnung an die Normen DIN 8955 bzw. ENV 328.

Die Untersuchungen und die Ergebnisse werden präsentiert.

EINSATZ VON MODULVERSCHWEIßTEN PLATTENWÄRMEÜBERTRAGERN IN DER KÄLTETECHNIK

M. Bleistein, F. Schenker, Güntner GmbH, Fürstenfeldbruck

Mit der Substitution von vollhalogenierten Kältemitteln durch teilhalogenierte und alternative Kältemittel werden neue Anforderungen an die Wärmeübertrager in der Kälteanlage gestellt.

In vielen Bereichen werden neue Wärmeübertragerkonzepte realisiert, die neben Verbesserungen in der Technik auch wirtschaftliche Vorteile bieten.

Der seit Jahrzehnten in vielen verfahrenstechnischen Prozessen sehr erfolgreich eingesetzte Plattenwärmeübertrager wurde gezielt für den Einsatz in der Kälteanlage weiterentwickelt. Dabei wurde vor allem den Forderungen aus dem Umweltschutz und dem steigenden Sicherheitsanspruch, der an kältetechnische Anlagen in den letzten Jahren gestellt wird, Rechnung getragen.

Für viele Aufgaben mit schwierigen Medien bzw. kritischen Prozeßparametern konnte bisher mit ausschließlich gedichteten Plattenwärmeübertragern keine optimale Lösung angeboten werden, da hier die Einsatzgrenzen im wesentlichen durch das Dichtungsmaterial bestimmt sind. Mit der Entwicklung von verschweißten Modulen ergeben sich, vor allem in der Kältetechnik, neue Anwendungsgebiete, da bei der Konstruktion die gestellten Umwelt- und Sicherheitsansprüche berücksichtigt wurden.

Zwei Wärmeübertragungsplatten werden in einer Laseranlage zu einem gasdichten Modul verschweißt. Dadurch entsteht ein hermetisch nach außen abgeriegelter Strömungskanal, in dem das aggressive oder für die Dichtung kritische Medium fließt. Zwei Ringdichtungen aus speziellen hochresistenten Werkstoffen, die den Übergang von einem Modul zum nächsten gewährleisten, sind die einzigen Dichtungen, die mit dem aggressiven Medium in Berührung kommen. Die Abdichtung des Strömungsraumes für das weniger kritische Medium erfolgt durch Dichtungen aus den üblichen Elastomeren, die für den konkreten Anwendungsfall festgelegt werden. Die Dichtungen werden kleberfrei befestigt oder eingeklebt.

Eine doppelte Schweißnaht bzw. eine doppelte Dichtung im Bereich der Durchtrittsöffnungen verhindert die Vermischung der beiden Medien. Bei einer eventuell auftretenden Leckage ist das austretende Produkt sofort feststellbar.

Beim Einsatz von Modulen bleibt die vorteilhafte Flexibilität des Plattenwärmeübertragers erhalten. Durch den Austausch bzw. nachträglichen Einbau von Plattenpaaren kann der Wärmeübertrager optimal an Leistungsänderungen angepaßt werden. Geschweißte Module können bei Betriebstemperaturen von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ und bei Betriebsdrücken bis 25 bar eingesetzt werden.

Plattenwärmeübertrager mit laserverschweißten Modulen werden als Verdampfer im Schwerkraft- und Direktexpansionsbetrieb, als Kondensatoren, Enthitzer und Ölkühler eingesetzt. Pro Apparat können Leistungen bis zu 3 MW realisiert werden.

NEUE TECHNOLOGIEN FÜR EXPANSIONS VENTILE

E. Kobbarn, Danfoss A/S, Nordborg, Dänemark

Das starke Umweltbewußtsein hat Danfoss als führenden Hersteller von Expansionsventilen für Klimaanlage und Kältesysteme dazu veranlaßt, gänzlich neue Technologien im Bereich der Entwicklung und Fertigung von Expansionsventilen zu untersuchen und zu nutzen. Die Expansionsventile der Baureihe TU bestehen aufgrund ihrer neuartigen Konstruktion hauptsächlich aus Edelstahl.

Das Ventildesign basiert auf der Nutzung von tiefgezogenen Edelstahlteilen, welche eine Gesamtkonstruktion ermöglichen, die durch ressourcenschonenden Materialverbrauch und den Wegfall der Notwendigkeit von Flußmitteln während der Ventulfertigung gekennzeichnet ist.

Der Vortrag beinhaltet folgende Punkte:

1. Vergleich einer konventionellen Messing-Ventilkonstruktion und der neuen Edelstahlventilkonstruktion sowie deren unterschiedlicher Einfluß auf unsere Umwelt.
2. Aufzeigen der neuen, verbesserten Installationsmöglichkeiten aufgrund der Edelstahlkonstruktion, bei der z. B. Bimetallanschlüsse eine verkürzte Montagezeit ermöglichen.
3. Präsentation der weltweit modernsten Fertigung für Expansionsventile und Darstellung einiger in der Fertigung integrierter Qualitätssicherungsprogramme.
4. Die notwendige Entwicklung von neuen Fühlerfüllungen für Expansionsventile sowie die teilweise notwendige Überarbeitung der Ventilkonstruktion im Hinblick auf die höheren Arbeitsdrücke der neuen Kältemittel und das Verbot einiger bestehender Kältemittel.

III.7

WASSERBLANCHIEREN UND WIRBELSCHICHTGEFRIEREN VON OBST UND GEMÜSE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON METHODEN DER BETRIEBLICHEN QUALITÄTSKONTROLLE

**H.-A. Kurzhals, Fachbereich Lebensmitteltechnologie, Hochschule
Bremerhaven**

Zunächst werden Vorschläge zur Optimierung der Prozeßbedingungen beim Wasserblanchieren von Gemüse formuliert. Es wird dabei ein Überblick über die für einzelne Gemüsesorten spezifischen Bedingungen gegeben.

In einer alle Randbedingungen berücksichtigenden Berechnung werden für eine Reihe von Obst- und Gemüsesorten die Gefrierzeiten ermittelt. Dabei werden auch verschiedene Berechnungsmethoden miteinander verglichen.

In den Ausführungen zum Themenbereich Qualitätskontrolle werden die Methoden vorgestellt, mit deren Hilfe eine komplexe Überwachung des Betriebsablaufes möglich ist.

GEFRIEREN VON BACKWAREN

J. Lamparter, Kern & Sammet GmbH, Eisleben

- Bedarfsanalyse: Was soll gefroren werden?
 - nicht gegärte Teiglinge
 - gegärte Teiglinge
 - teilgebackenes Gebäck
 - Gebäckvolumen
 - Gefrieranlagen

- Technische Anforderungen
 - Gefriermenge
 - Durchlaufzeit
 - Gefriertemperatur
 - Luftgeschwindigkeit
 - Verdampfergröße
 - Abtaurhythmus
 - Reinigung

KÄLTETECHNIK ZUR ANWENDUNG IM SCHLACHTHOF

**H. Ortner, H. Ortner - A. Sauter - D. Sperber Ingenieurbüro für Kältetechnik,
Aichach**

Für den Betreiber eines Schlachthofes ist die Bedeutung der Kälteversorgung äußerst wichtig, da die Kältetechnik auf das Endprodukt „Fleisch“ einen dominierenden Einfluß ausübt. Kriterien wie Fleischoptik, Gewichtsverluste, Fleischhygiene und Fleischqualität sind innerhalb der Fleischbranche ein Maßstab unter wettbewerblichen Gesichtspunkten für den Erfolg eines jeden Schlachtbetriebes. Unter dem Aspekt BSE, Schweinepest, Hormonskandale hat sich das Image der Fleischbranche in den letzten zwei bis drei Jahren negativ verändert, der Verbraucher wurde verunsichert und hat sein Kaufverhalten kritisch überprüft, Folgeerscheinung davon ist, daß in der Bundesrepublik der Fleischkonsum allgemein und insbesondere beim Rindfleisch zurückgegangen ist. Diese Probleme haben letztendlich dazu geführt, daß die Preise für Frischfleisch und die Erträge für die Erzeuger und Vermarkter teilweise dramatisch zurückgegangen sind. Kommt nun zu diesem negativen Trend noch eine mangelnde Fleischqualität hinzu, so wird die Existenz von Frischfleischerzeugungsbetrieben in Frage gestellt.

Das Produkt Fleisch wird natürlich nicht ausschließlich von der Kältebehandlung beeinflusst, sondern von Parametern wie Fütterung, Aufzucht, Mastzeiten, Tiertransport (Streß), Tötung, Entblutung u.v.m., jedoch auch in erheblichem Maße von der angewendeten Kältetechnik.

Deshalb ist die bestmögliche Auslegung der Kälteanlage im Schlachthof unter Berücksichtigung der fleischspezifischen Gesichtspunkte eine Voraussetzung zum Erreichen eines optimalen Produktes. Es nützt dem Betreiber nichts, wenn eine Kälteanlage technisch funktionierend installiert wurde, jedoch die Auslegungskriterien bei der Konzeption der Kälteanlage, aus mangelnder Erfahrung oder gar aus Unwissenheit, keine Berücksichtigung fanden.

Um die Kälteanlage optimal zu gestalten, ist es erforderlich, daß bei der Ermittlung des Kältebedarfes alle fleischbezogenen Spezialitäten berücksichtigt werden, um im nachhinein die Anlagenkomponenten (Verdichter, Verdampfer etc.) leistungsgerecht auszulegen. Das Referat beinhaltet daher die praxisbezogene Basiskonzeption und die besonderen Merkmale bei der Kältebedarfsermittlung als Grundlage für die Planung der Kälteanlage.

THERMODYNAMISCHE BETRACHTUNG DES DRUCKWECHSELGEFRIERENS

O. Schlüter, D. Knorr, Institut für Lebensmitteltechnologie, TU Berlin

Hoher hydrostatischer Druck wird bereits in der Lebensmitteltechnologie erfolgreich eingesetzt. Seine Anwendung ermöglicht u. a. das Blanchieren und die Pasteurisation bei moderaten Temperaturen sowie Proteinmodifizierungen und Texturierungen. Der Einfluß von hohen Drücken auf den Phasenübergang von Wasser eröffnet weiterhin zahlreiche Einsatzgebiete im Gefrierbereich. Besonders interessant ist hierbei das schnelle und gleichmäßige Gefrieren bei Druck unterkühlter Produkte mittels Druckentspannung (Druckwechselgefrieren), das Auftauen gefrorener Güter mit hohen Drücken und das Drucklagern bei Temperaturen bis $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohne Eisbildung im Produkt. Die thermophysikalischen Größen werden maßgeblich vom Druck beeinflusst. Für eine Berechnung von Wärmeübergängen beim Druckwechselgefrieren ist eine möglichst genaue Schätzung dieser Größen notwendig. Erste empirische Ergebnisse zum Druckwechselgefrieren bzw. -auftauen sollen anhand von Temperaturverläufen und Phasendiagrammen dargestellt und energetisch betrachtet sowie Aussichten und Möglichkeiten zur Optimierung diskutiert werden.

BETRIEBSBEDINGUNGEN IN GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN BEI EINSATZ VON SCHRAUBEN- UND HUBKOLBENVERDICHTERN

P. Haseley, AMSCO Finn-Aqua GmbH, Hürth

Um die Kühlaufgaben in einer Gefriertrocknungsanlage zu erfüllen, werden überwiegend ein und zweistufige Hubkolbenkompressoren eingesetzt. Diese Maschinen sind robust und haben sich technisch bewährt. Sie bieten ausreichende Kälteleistungen und Betriebssicherheit. Seit einiger Zeit stehen zweistufige Schraubenverdichter zur Verfügung, die aufgrund ihrer Leistungen eine Alternative zu Hubkolbenmaschinen darstellen. Im Vortrag sollen das Leistungsspektrum und die Betriebswirtschaftlichkeit beider Verdichtertypen bei Einsatz in Gefriertrocknungsanlagen untersucht werden.

ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER GEWERBLICHEN KÜHLHAUSER IN DEN NIEDERLANDEN

J. Duiven, Niederländischer Verband der gewerblichen Kühl- und Gefrierhäuser

In den Niederlanden sind etwa 95 % der gewerblichen Kühlhäuser Mitglied des Verbandes der gewerblichen Kühl- und Gefrierhäuser (NEKOVRI). Dem Verband gehören 100 Mitglieder an. Er vertritt etwa 7 Mio. m³ Lagerraum. Im Vergleich dazu vertritt der Verband Deutscher Kühlhäuser (VDK) 5,5 Mio. m³ Lagerraum.

Die niederländischen Kühl- und Tiefkühlhäuser leisten neben der Lagerung von Nahrungs und Genußmitteln zahlreiche logistische Dienste. Sie lassen sich deshalb schwer in eng umschriebene Kategorien einteilen. Eine Möglichkeit besteht in der Einteilung in

- Hafenkühlhäuser,
- Produktionskühlhäuser,
- Distributionskühlhäuser.

Es wird auf folgende Aspekte eingegangen:

- Leckdichtheitsvorschriften für synthetische Kältemittel (Verwendung von 70 % R22 und 30% R717),
- HACCP (zur Erhöhung der Sicherheit von Nahrungsmitteln),
- Richtlinie zur sicheren Anwendung von R717 (basierend auf EN 378),
- Ersatz von R22,
- Optimierung des Gefrierprozesses in Gefriertunneln,
- Agrarlogistik,
- Merkmale niederländischer Kühlhäuser,

FLUGZEUGKLIMATISIERUNG

E. Schlagenhaft, Liebherr Aerospace Lindenberg GmbH, Lindenberg

- Anforderungen an Flugzeugklimaanlage
Umgebung, Komfort, Sicherheit, verfügbare Energie
- Luftsysteme im Flugzeug

Energiequelle, Zapfluftanlage, Kühlaggregat, Verteilsystem, Kabinendruckregelsystem
- Zapfluftanlage
- Kühlprinzipien

Wärmeaustauscher, Expansionsturbine, Verdampfung, Komponentenverschaltung
- Luftfeuchtigkeit

realisierte Konzepte zur Trocknung, Kabinenbefeuchtung
- Kühlaggregat

3 Rad Turbomaschine, Hochdruckwasserabscheidung, Regeleinrichtungen
- Turbomaschinen

Rotordynamik, wartungsfreie Luftlager
- Regelung und Überwachung

Einrichtungen, Redundanzkonzept, Fehlermanagement
- Kabinendruckregelung
Sauerstoffpartialdruck, Druckänderungsgeschwindigkeiten

ENTWICKLUNGSSTAND UND TENDENZEN BEI DER KLIMATISIERUNG VON SCHIENENFAHRZEUGEN

U. Adolph, HFG Hagenuk Faiveley GmbH & Co, Schkeuditz

Aus den Einsatzbedingungen der verschiedenen Schienenfahrzeuge ergeben sich die Auslegungsparameter, wobei als wesentliche Randbedingungen die Fahrzeugstruktur, die äußeren Umwelteinflüsse, die Fahrgeschwindigkeit und das Streckenprofil sowie die mechanischen Beanspruchungen zu berücksichtigen sind. Innerhalb des Fahrzeuges sind Behaglichkeitsparameter zu gewährleisten, die durch Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Schalldruck, Druckänderungsgeschwindigkeit und Luftqualität beschrieben werden.

Neuzeitliche Klimageräte werden bevorzugt als Kompaktklimageräte ausgeführt und schließen die Funktionen Kühlen, Lüften, Heizen - und bei Hochgeschwindigkeitszügen den Druckschutz - ein. Bei manchen Anwendungen sind aus wagenbaulichen Gründen Splitlösungen erforderlich, manchmal erweisen sich auch indirekte Systeme als zweckmäßig. Die Anordnung der Geräte bzw. der Komponenten kann sowohl im Dach, unter dem Fahrzeugboden als auch innerhalb der Fahrzeugstruktur erfolgen.

Bevorzugtes Kältemittel ist R134a, jedoch gibt es auch Lösungen mit anderen Kältemitteln, z. B. R407C. Das neueste Klimatisierungssystem für den Hochgeschwindigkeitszug ICE 3 setzt mit Luft als Kältemittel Maßstäbe für zukünftige Lösungen. Entwicklungsarbeiten mit anderen natürlichen Stoffen als Kältemittel und mit Verwendung der aktiven Isolierung geben Hinweise für zukünftige Möglichkeiten zur Schaffung verbesserter Systeme.

LUFTKLIMAAANLAGEN IN MODERNEN REISEZUGWAGGONS

A. Schiedel, Liebherr-Aerospace Lmdenberg GmbH, Lindenbcrg

- Anforderungen an Lufiklimaanlagen in Reisezugwaggons
Umgebungsbedingungen
Auslegung gemäß UIC (Komfort: Feuchte, Schallschutz, Druckschutz, CO₂-Gehalt)
Sicherheitsaspekte
Spannungsversorgung
- Gegenüberstellung des offenen und geschlossenen Systems als Unterdruck- und Überdruck-Varianten
Vorstellung der Systeme
Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile
- Vorstellung der ICE 3 Klimaanlage
Funktion der Komponenten
Funktion des Systems
Temperatur- und Druckverlauf (schematisch) über Pack
- Gegenüberstellung von herkömmlichen Klimaanlagen und luftgestützten Klimaanlagen
Zuverlässigkeit
Life Cycle Costs (Wartungskosten, Ausfallkosten, Anschaffungskosten)
Fehlerfall- und Auswirkungen-Analyse
Umweltverträglichkeit
Energiebilanz
- Ausblick auf Möglichkeiten dieser Kühltechnik
Anwendungsmöglichkeiten (Bus, PKW, Nutzfahrzeuge, Schiffe, Gebäude)
Umweltaspekte

HEUTIGER STAND DER WELTWEITEN KÜHLSCHIFFFAHRT

K.-H. Hochhaus, Technische Universität Hamburg-Harburg

Nach einer Bestandsaufnahme der weltweiten Kühlschiffs- und Kühlcontainerschiffsflotte wird der heutige Stand der Technik in der Kühlsschiffahrt beschrieben.

Im Jahr 1996 wurden etwa 41 Mio. t verderbliche Güter über See von 1.400 Kühlschiffen und 1.700 Kühlcontainerschiffen transportiert. Etwa 2/3 der Kühlschiffe sind mit Ladungskühlanlagen für den Transport aller Kühlgüter eingerichtet. Der Rest kann nur Tiefkühlladung wie Fisch, Fleisch oder Molkereiprodukte transportieren. Von den Kühlcontainerschiffen sind etwa 100 mit schiffsfesten Ladungskühlanlagen und kaltluftdurchströmten Kühlstäben in den Laderäumen ausgerüstet. An diesen Kühlstäben werden isolierte Container angeschlossen und mit der Kaltluft gekühlt (CON-AIR-Prinzip). Etwa 1.600 Kühlcontainerschiffe sind mit Kühlcontainersteckdosen ausgestattet, an denen überwiegend an Deck Integral-Kühlcontainer (mit eigenem Kälteaggregat) elektrisch angeschlossen werden. Die technischen Verbesserungen der Integral-Container in den vergangenen 25 Jahren haben dazu geführt, daß sie dem anfangs überlegenen CON-AIR-System ebenbürtig geworden sind. Bei dem derzeit anstehenden großen Flottenerneuerungsprogramm der Kühlcontainerschiffe für den Australien-Dienst ist daher noch offen, ob das bisherige CON-AIR-System bestehen bleibt oder von den Integral-Containern abgelöst wird.

Bei den Kühlcontainern und den Kühlschiffen setzt sich die kontrollierte Atmosphäre für wichtige Segmente des Fruchttransportes durch, dazu wird ein Überblick gegeben. An Deck der Kühlschiffe wird Kühlladung in zusätzlichen Integral-Kühlcontainern gefahren. Das FCKW-Verbot hat die partielle Rückkehr zum Ammoniak als Kältemittel bewirkt. Damit werden auch Absorptionskälteanlagen wieder interessant, da auf Schiffen ausreichend Abwärme zur Verfügung steht. Hierzu werden als Ausblick von möglichen künftigen Entwicklungen einige Ergebnisse vorgestellt.

AUSLEGUNGSKRITERIEN VON MODERNEN SCHIFFSKÄLTEANLAGEN

S. Rodermund, Ships Refrigeration Consulting, Hohenfelde

Die Auslegung einer optimalen Kälteanlage für den Betrieb an Bord von Schiffen gehört seit dem Einsatz der ersten Kälteanlage (ca. 1875) auf einem Schiff zu den interessantesten Aufgaben der Kälte-Ingenieure. Während stationäre Kälteanlagen zumeist unter nahezu konstanten Betriebstemperaturen betrieben werden, unterliegt die Schiffskälteanlage den natürlichen Umgebungsbedingungen tropischer und nordatlantischer Zonen. So hat die Kälteanlage zum Beispiel für ein Kühlschiff eine Transport-Kälteversorgung der Kühlgüter in einem Temperaturbereich von -15°C bis -30°C bei unterschiedlichen Kühlwassertemperaturen mit einer geregelten Kühl-Luft-Temperaturgenauigkeit von max. $\pm 0,15\text{ K}$ zu gewährleisten.

Schiffskälteingenieure haben schon bald den Einsatz von Kälteanlagen an Bord in verschiedene Betriebsgruppen unterteilt, die jede für sich ein spezielles Sachgebiet darstellen.

Gruppe:	Temperatur-Bereich:	
Klima-Kälteanlagen	± 5	/ $+12^{\circ}\text{C}$
Proviand-Kälteanlagen	± 5	/ -38°C
Ladungs-Kälteanlagen	$+15$	/ -42°C
Fisch Prozeß- u. Gefrieranlagen	± 0	/ -45°C
Flüssiggas-Transport	$+5$	/ -104°C
Flüssiggas-Prozeßanlagen	± 10	/ -104°C

Jede der obigen Gruppen erfordert in der Planung, Konstruktion und im Betrieb eine Reihe von spezifischen Erfahrungen und Kenntnisse über den damit verbundenen Schiffsbetrieb. Der Entwurf einer Schiffskälteanlage setzt voraus, daß wesentliche Kriterien der Auslegung vom Reeder als Betreiber, von der Prozeßtechnik oder auch vom Charterer in Zusammenarbeit mit der Bauwerft und den Kälteanlagen-Lieferanten rechtzeitig vor dem Bau des Schiffes festgelegt werden. Hieraus ergeben sich Konstruktionen und Anforderungen, die die Auslegung der Kälteanlage wesentlich beeinflussen. Spezialschiffe wie Kühlschiffe, Fisch-Fabrikschiffe, Flüssiggastanker usw. sind ohne eine gut funktionierende Kälteanlage nicht einsatzfähig. Aus diesem Grund ist die Kälteanlage als gravierender Bestandteil des Schiffes anzusehen und unterliegt den Vorschriften einer Schiffsklassifikationsgesellschaft. Bedingt durch die enge Zusammenarbeit der weltweit verteilten Reedereien und Bauwerften in Verbindung mit immer kürzeren Projektlaufzeiten wurden sowohl für die Kälteanlagen von Kühl-schiffen und Kühl-Containerschiffen als auch für die Rückverflüssigungsanlagen von LPGTankern Computerprogramme entwickelt, die eine Optimierung sämtlicher Auslegungs- und Betriebsdaten dieser Anlagentypen ermöglichen.

Die FCKW-Verordnungen stellen die Schifffahrt weltweit vor große Probleme. Während die Umstellung der R 12-Anlagen nahezu abgeschlossen ist, wird der Ersatz von R22 weltweit diskutiert. Da mit den Substituten von R22 z. Zt. keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen, erwartet die Schifffahrt von der Kälteindustrie eine weltweite Aktivität, mit der auch die Verfügbarkeit eines Substitutes in allen Handelshäfen der Welt gegeben ist. Ammoniak und Wasser werden in der Zukunft auch im Schiffsbetrieb als Kältemittel wieder eingeführt.

ENTWICKLUNG DER PKW-KLIMATISIERUNG

IH. Holdack-Janssen, Fachhochschule Braunschweig[Wolfenbüttel

Die PKW-Klimatisierung hat sich anfänglich aus der Notwendigkeit der Kühlung von Fahrzeugkabinen durch den Einsatz von Fahrzeugen in warmen Klimazonen ergeben. Heute versteht man darunter die Versorgung mit reiner Frischluft, das Kühlen, Entfeuchten und Heizen von Fahrzeugkabinen.

Am Beispiel der Kälteverdichter (Kompressoren) wird die Entwicklung der Pkw-Klimatisierung dargestellt. Dabei wird auf die zahlenmäßige Entwicklung in den verschiedenen Klimaregionen eingegangen und die Entwicklung der Ausstattungsraten betrachtet.

Aufgrund des Einsatzes in verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen mit hohen spezifischen Lasten auf der Luftseite unterscheidet sich die Konzeption von Fahrzeug-Kältemittelkreisläufen sehr von denen anderer Anlagen vergleichbarer Leistungsgröße. Die Anforderungen und der Arbeitsbereich der Komponenten werden beschrieben. Geometrische Abmessungen, Gewichte und Fragen der Sicherheit finden im Fahrzeug besondere Beachtung.

In erster Linie dienen Klimaanlage in Pkws der Komfortsteigerung. Zunehmend tritt dabei der Energieverbrauch in den Vordergrund. Dabei ist die Gesamtumweltbelastung ausschlaggebend.

ANFORDERUNGEN AN DEN KLIMAKOMFORT IM PKW

D. Pollehn, BMW AG, München

Das Ziel des Klimakomforts besteht in der Erzeugung einer behaglichen Atmosphäre im Fahrzeug. Diesem Ziel stehen jedoch eine Reihe von Hemmnissen entgegen. Nicht nur die Erfüllung des gewünschten Temperaturniveaus ist von Bedeutung, sondern eine Reihe weiterer Erwartungen steht - meist unausgesprochen - im Raum. Zu nennen wären in erster Linie die Luftmenge gepaart mit der Luftverteilung, die Aufheizung bzw. die Abkühlung des Innenraumes in einer bestimmten Zeit, die Luftfeuchtigkeit und die Luftqualität (Gerüche und Schadgase, Partikel) bis hin zu akustischen Einflüssen.

Untersuchungen haben gezeigt, daß es trotz aller Anstrengungen nicht möglich ist, die oben angesprochenen Erwartungen zu erfüllen. Warum das so ist, hängt im wesentlichen vom subjektiven Empfinden des Einzelnen ab, geprägt durch Konstitution, Kleidung, Tätigkeit, Tagesrhythmus, usw.

Man kann sicher einige Erfahrungen der Gebäudeklimatisierung heranziehen, um die Fahrzeugklimatisierung zu untersuchen. Die nähere Betrachtung zeigt aber recht schnell Unterschiede auf, die nicht vernachlässigbar sind. Im Gegenteil, sie führen zu Entwicklungen, die im Automobil erst das verlangte Komfortniveau ermöglichen.

Eine moderne Klimaautomatik mit der zugehörigen Sensorik wird den Fahrzeuginsassen, insbesondere den Fahrer, weitestgehend entlasten. Dem Wunsch nach individueller Einstellung (Temperatur, Gebläse, Luftverteilung) wird zusätzlich Rechnung getragen. Weitere Einflußmöglichkeiten - Heckscheibenheizung, Sonnenschutzrollo, Sitzheizung, Standheizung - sind ebenfalls gegeben.

Die Beschäftigung mit den verschiedenen Zielkonflikten soll zum Schluß die Komplexität dieses interessanten Themas aufzeigen.

KOHLENDIOXID ALS KÄLTEMITTEL FÜR PKW-KLIMAAANLAGEN

H. Gentner, BMW AG, München

A. Földi, Lehrstuhl für Energie- und Umweltverfahrenstechnik, TU München

Immer mehr neu zugelassene Personenkraftwagen (Pkw) werden mit Klimaanlage ausgestattet. Der Kraftstoffmeherverbrauch durch Klimaanlagenbetrieb und die Kältemittlemissionen durch Leckage, Service und sonstige Verluste tragen nennenswert zum Treibhauseffekt bei, zumal das heute in Fahrzeugklimaanlagen gebräuchliche Arbeitsfluid R134a ein nicht unerhebliches Treibhauspotential besitzt. Mit einer Verwendung des natürlichen Stoffes Kohlendioxid könnte der direkte Treibhauseffekt durch emittiertes Kältemittel eliminiert werden.

In diesem Beitrag werden die Besonderheiten einer Pkw-Klimaanlage mit dem Kältemittel CO₂ aufgezeigt und ihre grundlegenden Vor- und Nachteile gegenüber R134a-Systemen dargelegt. Erfahrungen und Ergebnisse aus dem europäischen Förderprojekt „RACE“, aus Windkanalmessungen mit einem Versuchsfahrzeug sowie aus Prüfstandsuntersuchungen an der TU München mit einer CO₂-Prototyp-Kälteanlage werden vorgestellt. Abschließend erfolgt eine Bewertung der erzielten Resultate anhand einer Gegenüberstellung des CO₂- und eines konventionellen R134a-Systems.

TECHNISCHER STAND UND TRENDS IN DER PKW-KLIMATISIERUNG AM BEISPIEL DES NEUEN A 6

M. Jaroch, Audi AG, Ingolstadt

Während in der automobilen Klein- und Mittelklasse der Anteil mit PKW-Klimaanlagen ausgerüsteter Fahrzeuge zwar stark im Wachsen begriffen ist, aber immer noch unter 50 % liegt, gehört die PKW-Klimaanlage im automobilen Premiumsegment praktisch zur Standardausstattung. Am Beispiel des neuen AUDI A 6 sollen einerseits die spezifischen und von der Gebäude- und Raumklimatisierung unterschiedlichen technischen Randbedingungen und Probleme dargestellt und erläutert, andererseits gegenwärtig vorhandene technische Lösungen diskutiert, Trends aufgezeigt und Ausblicke auf die Zukunft gegeben werden.

Es werden die gegenwärtig eingesetzten Technologien für Komponenten des Kältemittelkreislaufes wie Kompressoren, Kondensatoren, Verdampfer und Einspritzorgane vorgestellt und verschiedene Möglichkeiten der Klimatisierungssteuerung und -regelung diskutiert.

Im Rahmen eines kurzen Überblicks über den Entwicklungsablauf des Heiz-/Klimagerätes des neuen AUDI A 6 soll ein Einblick in die speziellen Entwicklungsabläufe und -werkzeuge der Automobilindustrie und die Anforderungen an die Entwicklungspartner in der Zulieferindustrie gegeben werden.

ÜBERSICHT UND TECHNISCHER STAND DER NUTZFAHRZEUG- KLIMATISIERUNG AM BEISPIEL DES MB-ACTROS

M. Illg, U. Jörg, Behr GmbH & Co., Stuttgart

Die starke Zunahme der Verkehrsdichte, höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten, Fernverkehrsstrecken mit unterschiedlichsten Umwelt-, Klima- und Einsatzbedingungen (Smog, Hitze, Kälte, Stop-and-go-Verkehr, Pollenflug, Abgase, lange Tunneldurchfahrten, Standzeiten an Grenzübergängen, Fahrverbote) und Termindruck stellen für das Fahrpersonal hohe Belastungen dar.

Dabei sind Komfort und Behaglichkeit, die von den Bereichen Lüftung, Heizung, Klimatisierung und Fahrerhaus-Luftqualität positiv beeinflußt werden können, entscheidende Beiträge zur Entlastung und Leistungsfähigkeit des Fahrpersonals und damit zur aktiven Sicherheit. Geleistet werden diese Beiträge in den ACTROS-Fahrzeugen durch ein vorbildliches hochleistungsfähiges, innovatives, sehr bedien- und wartungsfreundliches Lüftungs-, Heizungs- und Klimatisierungssystem. Der konstruktive Aufbau der Anlage ermöglicht es, auf die unterschiedlichsten Kundenwünsche einzugehen. Folgende Ausführungsvarianten stehen zur Auswahl:

- Heizungsanlage mit manueller Temperatursteuerung
- Heizungsanlage mit automatischer Temperaturregelung (das Nachregeln bei sich ändernden Außenbedingungen geschieht automatisch)
- Klimaanlage mit automatischer Temperaturregelung (auch mit integrierter Aktivkohlefilterung und/oder Wasser-Zusatzheizung lieferbar).

TECHNISCHER STAND DER BUSKLIMATISIERUNG

H. Mayer, Peters & Zabransky GmbH, München

Die Ausrüstungsquote neu ausgelieferter Fernreisebusse mit Klimaanlage erreicht heute in Deutschland nahezu 100 %. Bei Überlandbussen, die wochentags im Regionalverkehr und an Wochenenden im Reiseverkehr eingesetzt werden, wird etwa jedes dritte Fahrzeug mit Klimaanlage ausgeliefert. Um Anreize für den öffentlichen Nahverkehr zu schaffen, werden in zunehmendem Maße auch Stadtbusse (Solo- und Gelenk-Fahrzeuge) klimatisiert.

Die Konzepte zur Klimatisierung dieser Fahrzeuge sind durchaus unterschiedliche. Während Fernreisebusse in der Regel mit mehr oder weniger aufwendigen Split-Klimaanlagen ausgerüstet sind, hat sich bei Überland- und Stadtbusen von Anfang an der Trend zur einfacheren und damit kostengünstigeren Aufdach-Kompaktanlage, bei der alle zur Klimatisierung notwendigen Komponenten mit Ausnahme des Verdichters in einem Gerät vereint sind, durchgesetzt. Der Verdichter, häufig leistungsgeregelt, wird direkt vom Fahrmotor über Keilriemen und Elektromagnetkupplung angetrieben. Die Anlagen sind zumeist fest verrohrt, lediglich zum Verdichter hin besteht eine flexible Verbindung.

Die Leistungen der Anlagen sind so bemessen, daß im Kühlfall beim Überland- und Stadtbus eine Temperaturdifferenz von 2-3 K, beim Reisebus von etwa 5-8 K unter Umgebungstemperatur gehalten werden kann. Regelbarer Frischluftbetrieb (bis zu 100 %) ist zumeist Standard. Fast alle Anlagen sind zudem mit Kühlwasser-Heizregistem ausgestattet, so daß die Fahrzeuge auch beheizt werden können.

Aufwendige, vollautomatische Temperaturregler kommen ebenso zum Einsatz wie einfachere, von Hand durch den Fahrer zu bedienende Temperatur- und Gebläse regler.

Als Kältemittel wird heute ausschließlich R134a verwendet. Zukünftige Konzepte, die teilweise in Fahrzeugen bereits erprobt werden, sehen den Einsatz von CO₂ oder von brennbaren Kältemitteln, hier in Verbindung mit einem Kaltwassersatz, vor.

IV.1

IST DIE BISHERIGE ZUORDNUNG VON PREDICTED MEAN VOTE (PMV) UND PREDICTED PERCENTAGE OF DISSATISFIED (PPD) NOCH RICHTIG?

E. Mayer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Nach EN ISO 7730 (Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit) beträgt der kleinstmögliche Prozentsatz Unzufriedener bezügl. thermischer Behaglichkeit (PPD) 5 %; bei einer von allen zu Befragenden im Mittel als „thermisch neutral“ bewerteten Umgebung (PMV = 0). Dieser PPD-Wert setzt sich zusammen aus 2,5 % Unzufriedenen wegen Zukalt-Empfindung und aus 2,5 % wegen ZuwarmEmpfindung. Dieser Feststellung stehen die Ergebnisse von Labor- und Feldmessungen entgegen, wonach der kleinstmögliche PPD-Wert ca. 15 % beträgt, bei einem PMV-Wert von ca. 0,5. Eine einfache Erklärung für diesen Widerspruch liefert die von Fanger festgelegte Definition von PPD, wie in diesem Beitrag erläutert. Konsequenzen hieraus sind entweder die Akzeptanz der erhöhten Unzufriedenen-Rate, oder (besser) ein verstärktes Bemühen um eine individuelle Einstellbarkeit des Raumklimas.

MIKROORGANISMEN IN LAMINARER UND TURBULENTER STRÖMUNG

A. Scheer, Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Mikroorganismen werden, sobald sie in die Luft gelangen, durch die vorherrschende Luftströmung transportiert. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß es dabei keine Rolle spielt, ob es sich um Partikel oder um Bioorganismen handelt. Die Ausbreitung dieser Aerosole in der Luft wird hauptsächlich durch die Luftgeschwindigkeit und durch den Turbulenzgrad der Strömung bestimmt.

In sensiblen Bereichen, wie z. B. Operationsräumen, ist neben der Ausbreitung die Sedimentation dieser Aerosole bzw. Bioorganismen von großer Bedeutung. Da die Anzahl der Keime in der Luft einen Einfluß auf die Rate der postoperativen Infektionen hat, ist es von Interesse, unter welchen Bedingungen die Keime z. B. im Wundfeld sedimentieren. Ziel der Untersuchungen ist es, den Einfluß des Turbulenzgrades der Strömung auf diese Sedimentationsrate zu bestimmen.

DIE BEDEUTUNG DER MOLEKULGRÖÖE FLÜCHTIGER ORGANISCHER SUBSTANZEN (VOC) AUF DIE EMPFUNDENE LUFTQUALITÄT

K. Fitzner, Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Berlin

Untersuchungen von Cain et al. zeigen eine starke Abhängigkeit der Geruchsschwelle flüchtiger organischer Substanzen (VOC) von der Molekülgröße. Die Konzentration für die Geruchsschwelle für 1 -Propanol liegt um 3 bis 4 Größenordnungen über der von 1 -Octanol. Ähnlich verhalten sich die Schwellen für die Schleimhautreizungen in Nase und Augen, sie liegen allerdings bei 100-fach höherer Konzentration. Wenn man davon ausgeht, daß dieser Zusammenhang mindestens qualitativ auch für die anderen organischen Geruchsstoffe gilt, dann hat diese Tatsache eine große Bedeutung für die Beurteilung der Empfundene Luftqualität und das Verhalten von Geruchsstoffen.

Die großmolekularen Stoffe haben einen niedrigeren Dampfdruck und ihre Emission ist deshalb niedriger. Sie sind nicht nur gut wahrnehmbar, sondern ihre Emissionen halten auch lange an, ihre Quellstärke kann über Jahrzehnte nahezu konstant sein. Die unterschiedliche Wahrnehmung ist auch eine Erklärung dafür, daß Meßergebnisse der VOC-Konzentrationen keinen Zusammenhang mit Ergebnissen der Empfundene Luftqualität haben können. Es liegen hier vergleichbare Verhältnisse wie bei Angaben der Lautstärke in der Akustik vor. So sagt ein Meßergebnis der Schalleistung über alle Frequenzen wenig über die Stärke des empfundenen Geräusches in dB(A) aus.

NEUE ERGEBNISSE ÜBER DIE ZULÄSSIGE EMPFUNDENE LUFTQUALITÄT IN INNENRÄUMEN

T. Spiess, Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

In der DIN 1946 sind Angaben für zulässige Werte der Empfundene Luftqualität enthalten, die auf Untersuchungen von Fanger basieren. Ergebnisse des „European Audit Projects“ und Forschungsarbeiten am Hermann-Rietschel-Institut zeigen aber, daß die vorgeschriebenen Werte in der Praxis fast ausschließlich deutlich überschritten werden.

Am Hermann-Rietschel-Institut wurde deshalb eine Untersuchung durchgeführt, die die Ursache für diese Diskrepanz erklären soll. Dazu wurden Befragungen mit untrainierten und trainierten Testpersonen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, daß die Akzeptanz der Nutzer auch noch bei höheren Werten vorhanden ist, als in der Norm angegeben wird. In erster Näherung kann der Vorschlag von Fitzner und Finke verwendet werden, der für gute Luftqualität 2 dezipol erlaubt, für mittlere Luftqualität 4 dezipol und für ausreichende Luftqualität 6 dezipol.

Durch verschiedene Fragestellungen wurde ermittelt, in welchen Fällen die Art der Fragestellung einen Einfluß auf das Ergebnis der Befragung haben kann. Sehr wichtig ist dabei das Ergebnis, daß die Verwendung einer kontinuierlichen Skala ein genaueres Ergebnis ergibt, als die von Fanger vorgeschlagene Frage nach „akzeptabel/unakzeptabel“.

DIE BEDEUTUNG DER OLFAKTORISCHEN BEHAGLICHKEIT FÜR DIE RAUMLUFTQUALITÄT

D. v. Kempster, DVK DIOTIMA VON KEMPSKI air vitalizing system, Düsseldorf

Einen entscheidenden Faktor bei der Bewertung der Raumluftqualität stellen die Geruchsverunreinigungen dar, wie sie durch Materialien und Gegenstände, aber auch vor allem durch Ausdünstungen von Menschen entstehen.

Die Forschung zur Verbesserung der empfundenen Raumluftqualität hat sich bisher ausschließlich auf die Frage konzentriert, mit welchen technischen Mitteln Geruchsverunreinigungen in der Raumluft verringert werden können. Die Unzufriedenheitsrate der Raumnutzer konnte jedoch bisher nicht entscheidend gesenkt werden.

Ungeachtet der wirtschaftlichen und technischen Grenzen, die der Verbesserung der Raumluftqualität insoweit gesetzt sind, muß dieser Forschungsansatz aber bereits deshalb unvollständig bleiben, weil er die physiologischen und psychologischen Erkenntnisse über den Geruchssinn außer acht läßt. Dies gilt auch für neuere Lösungsansätze, die über eine Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit durch Herabsetzung der Raumtemperatur versuchen, eine subjektiv als „frisch“ empfundene Luft zu schaffen.

Wie nämlich vor allem neurophysiologische Studien zur Aromakologie zeigen, wird das Wohlbefinden eines Raumnutzers neben der thermischen entscheidend durch die olfaktorische Behaglichkeit bestimmt. Eine ausreichende Behaglichkeitsstufe läßt sich aber nicht mit einer im idealen Fall „geruchsneutralen“ Luft schaffen, sondern sie wird nur erreicht, wenn genügend positiv stimulierende olfaktorische Wirkstoffe in der Raumluft vorhanden sind. Fehlen diese, führt dies zwangsläufig zu einer niedrigeren Zufriedenheitsrate bei den Raumnutzern.

BESCHREIBEN DER FREIEN KONVEKTION AN LAMELLENROHR LUFTKÜHLERN

**B. Mengede, Institut für Angewandte Thermodynamik und Kältetechnik,
Universität Essen**

Über die durchgeführten Untersuchungen erfolgte die Bestimmung der Wärmeaufnahme an Lamellenrohrwärmeaustauschern, die überwiegend durch die sich einstellende freie Konvektion bestimmt wird. Aufbauend auf ersten Untersuchungen wurde ein Prüfraum konzipiert, der eine als Auslegungsgrundlage nutzbare Bestimmung der Wärmeaufnahme an frei im Raum zu installierenden Kühlern unter realitätsnahen Einbau- und Betriebsbedingungen ermöglicht. Messungen an zwei in der Praxis eingesetzten Kühlern zeigten den Einfluß auf, den verschiedene Einbau- und Betriebsbedingungen auf die Wärmeaufnahme an den Kühlern haben. Variiert wurden die Abstände zwischen der Kühleroberkante und der Decke, die Höhe von Schächten, die zur Forcierung der freien Konvektion an die Kühler angehängt werden können sowie die Größe der Nachströmfläche in einer Zwischendecke bei Installation der Kühler im Deckenzwischenraum.

Aufbauend auf den Ergebnissen der durchgeführten Messungen wurde auf der Basis in der Literatur bestehender Ansätze zur Beschreibung der Wärmeabgabe an parallelen senkrechten Platten infolge freier Konvektion ein halbempirischer Ansatz aufgestellt, bei dem über Korrekturfaktoren der Einfluß unterschiedlicher Einbau- und Betriebsbedingungen auf die Wärmeübergangsbedingungen an den Kühlern Berücksichtigung findet. Die Anpassung der in dem Ansatz enthaltenen Konstanten erfolgte über Regressionsrechnungen, wobei die über die Messungen für beide Kühler ermittelten Nußelt-Zahlen zugrunde gelegt wurden.

KREISPROZEßMODIFIKATIONEN FÜR ZUKÜNFTIGE WÄRMEPUMPENANWENDUNGEN

S. Preußner, S. Klingner, Institut für Energietechnik, TU Dresden

Im Vortrag wird dargestellt, auf welche Weise sich die Anforderungen an Wärmepumpen ändern und mit Hilfe welcher Lösungen die zukünftigen Aufgaben energetisch effizient erfüllt werden können.

Im Niedrigenergiehaus verliert der Transmissionswärmebedarf gegenüber dem Wärmebedarf für Lüftung und Warmwasserbereitung an Bedeutung. Die traditionelle Kombination von Wärmepumpe und Fußbodenheizung sowie ineffizienter Warmwasserbereitung kann diesen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Bei der definitiv erforderlichen energetischen Gesamtbetrachtung unter Berücksichtigung der Komplexität der Wärmeversorgung von Gebäuden wird deutlich, daß der Gesamtwärmebedarf eines Niedrigenergiehauses stark nichtisotherm ist. Eine Wärmepumpe der zukünftigen Generation muß somit in der Lage sein, die Wärme nichtisotherm und bedarfsgerecht bereitzustellen. Außerdem kann durch den Einsatz von Wärmepumpen mit nichtisothermer Wärmeabgabe ein beträchtliches Energieeinsparpotential bei industriellen Prozessen erschlossen werden.

GESTERN - HEUTE - MORGEN DIE WÄRMEPUMPE IM WANDEL DER ZEIT

A. Frommann, Promotor Verlag, Karlsruhe

Nachdem in den 70er Jahren, bedingt durch die Ölkrise, die Heizungsbranche dazu aufgefordert war, alternative Technologien zu entwickeln, um dadurch eine Unabhängigkeit zu diesem bis dato neben der Kohle wichtigsten Energieträger zu schaffen, begann unter anderem die Blütezeit der Wärmepumpe. Vor inzwischen ziemlich genau 20 Jahren wurden dann die ersten serienreifen Heizwärmepumpen auf dem Markt angeboten. Die folgenden Jahre waren allerdings alles andere als ein Siegeszug. Schließlich drohte diese zunächst sehr vielversprechende Technologie sogar, wieder in Vergessenheit zu geraten. Bedingt durch die Suche nach Energieeinsparmöglichkeiten und Maßnahmen, die zum Schutz unserer Umwelt beitragen, scheint die Wärmepumpe aufgrund der weiterentwickelten Technik heute aber wieder eine Renaissance zu erleben.

Dieser Übersichtsbeitrag beschäftigt sich mit den Anfängen der Wärmepumpenentwicklung, führt in Etappen und unter Berücksichtigung wichtiger Ereignisse, sowohl in technologischer als auch politischer Hinsicht, hin bis zum heutigen Tag und wagt auch den „Blick über den Tellerrand“ hinaus in das anstehende neue Jahrtausend, in dem sich die Wärmepumpe vielleicht doch etablieren könnte.

SIMULATION DER LEISTUNGEN VON KÜHLDECKEN SOWIE DIE WÄRMETECHNISCHEN UND WÄRMEPHYSIOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE IN RAUMEN MIT KÜHLDECKEN

B. Glück, ROM-Zentrale, Hamburg

Im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsvorhabens SANIREV entwickelte ROM ein neuartiges Raummodell, das die wärmetechnische Nachbildung des Rauminnen in den Vordergrund stellt. Die Grundstruktur wurde im ki 1/97 veröffentlicht. Der modulförmige Programmaufbau sowie die offene Struktur gestatten eine laufende Anpassung an neueste wissenschaftliche Erkenntnisse und zukünftige Produktentwicklungen. Sehr interessante Ergebnisse wurden bezüglich des Leistungsverhaltens von Kühldecken in Abhängigkeit der Randbedingungen ermittelt. Ausgehend von der Simulation einer Normmessung nach DIN 4715 sind die Einsatzbedingungen in Büroräumen unter instationären thermischen Belastungen sowie unter stationären, aber stark asymmetrischen thermischen Lastverteilungen ermittelt worden. Die Ergebnisse zeigen große, einsatzbedingte Schwankungen bezüglich der Wärmestromdichten. Bei Volldeckenbelegung ist die Leistungsabweichung gegenüber der Normleistung jedoch bedeutend kleiner als die üblicherweise auftretenden Unterschiede durch Fertigungs- oder Montageungenauigkeiten. Es wird empfohlen, bei Normalräumen die Normmessung weiterhin als Planungsgrundlage zu verwenden.

KOMBINIERTER EINSATZ VON KÜHLDECKE, KÜHLKONVEKTOR UND RLT-ANLAGE

S. Hesslinger, Fachhochschule Offenburg

Durch den verstärkten Einsatz von EDV-Geräten an den Arbeitsplätzen in Büroräumen stiegen die flächenbezogenen inneren Kühllasten deutlich an. Für die Arbeitsplätze in Fensternähe müssen EDV-gerechte Lichtverhältnisse vorhanden sein. Es werden Versuchsergebnisse eines neu entwickelten Kühlkonvektors im Fensterbereich im Zusammenhang mit Innenjalousien vorgestellt. Dieser Kühlkonvektor eignet sich auch für den kombinierten Einsatz mit Kühldecken und RLT-Anlagen, wie weitere Versuche bestätigen. Der Kühlkonvektor kann auch beim Ersatz von Induktionsgeräten angewandt werden, die z. B. nach dem 4-Leiter-Prinzip angeschlossen sind.

LEISTUNGSNACHWEIS UND DIAGNOSE DES BETRIEBES EINER RLTA

G. Knabe, H. Werdin,

Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, TU Dresden

Für eine bestehende DEC-Klimaanlage erfolgten Untersuchungen zum Leistungsnachweis. Darüber hinaus wurden Algorithmen zur Fehlererkennung und Fehlerdiagnose während des Betriebes erarbeitet. Insbesondere DEC-Anlagen sind sehr fehlerempfindlich. Aus diesem Grunde sind Maßnahmen für eine rechtzeitige Erkennung und Diagnose von Fehlern nötig. Darüber hinaus wurde eine Energiediagnose durchgeführt.

ANFORDERUNGEN AN HEIZUNGS- UND LÜFTUNGSANLAGEN INFOLGE BAUPHYSIKALISCHER UND KONSTRUKTIVER MAßNAHMEN ZUR ENERGIEEINSPARUNG

H. Trümper, K. Hain et al., WIRTH-Ingenleure, Karlsruhe

Seit der Energiepreiskrise in den siebziger Jahren wurde die Wärmedämmung entscheidend und kontinuierlich verbessert. Derzeit ist eine Unterbrechung dieses Trends nicht feststellbar; im Gegenteil, die Raum- und Gebäudeheizlast von Neubauten wird durch eine noch dickere Wärmedämmung und eine dichtere Ausführung der Hüllfläche auch weiterhin reduziert werden. Hierdurch werden an die Konstruktion, an die Auslegung und an die Regelbarkeit von Heizungs- und Lüftungsanlagen neue bzw. geänderte Anforderungen gestellt werden.

Für die Gebäudebeheizung sowie für die Be- und für die Entlüftung von Wohnungen werden verschiedene Lösungsvorschläge zur Anpassung der Heizungs- und Lüftungsanlage an diese geänderten baulichen Voraussetzungen diskutiert. Hierbei erweisen sich Heizungssysteme mit hohem Strahlungsanteil und schneller Regelbarkeit als besonders günstig. Für Lüftungsanlagen in Wohnungen wird ein System mit mechanischer Entlüftung und natürlicher Außenluftnachströmung vorgeschlagen.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen in die Praxis einschl. der Meßergebnisse aus den ersten beiden Betriebsjahren wird am Beispiel einer Doppelhaushälfte vorgestellt.

RAUMLUFTTECHNIK ODER DOPPELFASSADE

R. Detzer, Kessler & Luch GmbH, Gießen

Die Fassade des Gebäudes stellt die Begrenzung des Raumes nach außen dar und bestimmt ganz wesentlich den Energieverbrauch und das Komfortempfinden des Menschen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einschaligen und zweischaligen Fassadentypen; letztere werden in jüngster Zeit häufig diskutiert, wobei insbesondere der Wunsch nach freier Lüftung im Vordergrund steht. Der Vortrag beschäftigt sich mit den thermischen Einflüssen an derartigen Fassadensystemen und beschreibt die Möglichkeiten des natürlichen Luftaustausches und der Raumkühlung. Durch Korrelation mit dynamischen Lastberechnungen können Lüftungsprognosen erstellt werden, die auch eine Analyse der Betriebskosten zulassen.

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN DURCH GEBÄUDE- UND ANLAGENSIMULATION AM BEISPIEL EINES WARENHAUSES

O. Diehl, H. Krantz-TKT, Bergisch Gladbach

Die Computersimulation gibt dem Ingenieur ein neues Werkzeug an die Hand, das ihm hilft, die in der heutigen Zeit drängenden Probleme der Energieeinsparung noch effektiver und detaillierter zu lösen. An einem realen Objekt (Warenhaus) werden die Möglichkeiten und Einsparungspotentiale vorgestellt, die durch eine Gebäude- und Anlagensimulation erreicht wurden.

Es wurde ein Warenhaus hinsichtlich seiner bauphysikalischen (Gebäudesimulation) und anlagentechnischen Konfiguration (Anlagensimulation) durch Simulationsrechnung untersucht. Die untersuchten Bereiche des Kaufhauses besitzen eine Grundfläche von ca. 16.000 m². Diese teilen sich auf in ca. 14.000 m² Verkaufsfläche und 2.000 m² Nebenbereiche (Lager, Flure und Büros). Es wurden drei Anlagenvarianten untersucht:

- Variable Volumenstromanlage (VVS-Anlage), spezifischer Zuluftvolumenstrom: 6-19 m³/(h*m²)
- Kühldecken-Anlage kombiniert mit einer VVS-Anlage, spezifischer Zuluftvolumenstrom: 6-10 m³/(h*m²)
- Kühldecken-Anlage kombiniert mit einer Konstant-Volumenstromanlage (KVS-Anlage), spezifischer Zuluftvolumenstrom: 6 m³/(h*m²)

Folgende Unterschiede im Energiebedarf konnten durch die Anlagensimulation herausgearbeitet werden:

- ⇒ Beide Kühldecken-Varianten besitzen einen um ca. 50 % geringeren Wärmebedarf als die reine VVS-Anlage
- ⇒ Der Gasverbrauch zur Kälteerzeugung steigt bei den Kühldecken-Anlagen gegenüber der reinen VVS-Anlage um 23 % (mit VVS-Anlage) bzw. 30 % (mit KVS-Anlage) an.
- ⇒ Durch Kühldecken kann der Strombedarf zur Luftförderung um 40 % (mit VVS-Anlage) bzw. um 36 % (mit KVS-Anlage) reduziert werden.
- ⇒ Der Wasserverbrauch wird durch den Einsatz von Kühldecken um ca. 30 % erhöht.

EINSATZ VON HYBRIDEN TROCKENKÜHLTÜRMEN / KONDENSATOREN

J. Güntner, W. Müller, Güntner GmbH, Fürstenfeldbruck

Der hybride Trockenkühlturm/Kondensator gehört in die Familie der kombinierten trocken/nass Kühler/Kondensatoren mit geschlossenem Kreislauf und wasserbenetzbarer, luftseitiger Wärmeübertragungsfläche. Er dient der Rückkühlung eines flüssigen Mediums (Wasser/Glykol) oder der Kondensation von Kältemitteln (NH₃, R134a etc.) mittels Umgebungsluft und durch Verdunstung von Wasser aus einem Sekundärkreislauf. Kühler und Kondensatoren haben fast das gleiche äußere Erscheinungsbild, aber mit unterschiedlichen Funktionen. Durch Trockenkühlung können je nach Auslegung zwischen 3'–6'000 Jahresstunden im Vollastbetrieb abgedeckt werden. Die „hybride“ Schaltung deckt dann die restliche Betriebszeit bei höchsten Lufttemperaturen. Bei Benetzung der Wärmetauscherfläche und Ventilatorendrehzahlen <100 % wird ein Teil der Wärme über nicht benetzte Lamellenpartien als sensible Wärme abgeführt. Daher wird dieses System „Hybride Trockenkühlung genannt“. Die Benetzung der Wärmeübertragungsfläche aus offenen Kanälen und die Sammlung des Benetzungswasser-Überschusses erzeugt praktisch keine Schallemissionen. Kombiniert mit leiselaufenden Ventilatoren kann dieses Kühlsystem meist ohne sekundäre Schallschutzmaßnahmen in Wohngebieten eingesetzt werden. Durch die Art der Benetzung nimmt die konvektive Wärmeleistung bei fallenden Lufttemperaturen und verringertem Luftdurchsatz anteilmäßig an der Gesamtwärmeleistung zu und der Wasserverbrauch durch Verdunstung ab. Frequenzregulierte Ventilatoren gewinnen daher an Bedeutung. Aluminium-Lamellen vergrößern die luftseitige Wärmeübertragungsfläche etwa um das 14-fache gegenüber der Rohrippenseite. Luftmenge, Druckverlust und Schallpegel können dadurch auf ein Minimum reduziert werden. Die gewählte Kühlergeometrie und das kaltverfestigte, walzharte Aluminium ergeben dem Kühler eine außergewöhnlich hohe Stabilität. Dieser Kühler eignet sich deshalb für eine Hochdruckreinigung mit dem Hartwasserstrahl. Hybride Trockenkühler sind standardmäßig elektrophoretisch lackiert und eingebrannt. Nebst einem sehr guten Korrosionsschutz wird auch die Haftung von Luftschadstoffen und anderen Ablagerungen erschwert bzw. sie lassen sich besser reinigen. Die gute Zugänglichkeit für Inspektion und Wartung wird vom Betriebspersonal sehr geschätzt. Die Aufbereitung und Nachbehandlung des Benetzungswassers ist ähnlich derjenigen beim Nasskühlturm, mit dem Unterschied, daß mengenmäßig nur ein sehr kleines Wasservolumen für eine beschränkte Zeit unter Kontrolle gehalten werden muß. Mit steigenden Wasserpreisen ist eine großzügige Dimensionierung der hybriden Trockenkühlung/Kondensation trotz höherer Investitionskosten in gewissen Grenzen wirtschaftlicher. Dem sparsamen Umgang mit elektrischer Energie und Wasser wird früher oder später eine größere Bedeutung zukommen. Je früher, desto besser! Hybride Trockenkühler im Leistungsbereich von 150 bis 3.000 kW/Kühlereinheit und Kondensatoren von 100 bis 1.000 kW/Kondensatoreinheit decken bei entsprechender Materialwahl praktisch alle Bereiche der Kälteerzeugung, der Industrie- und Prozeßkühlung bis hin zum Motorenheizkraftwerk oder den Müllverbrennungsanlagen. Sie werden bevorzugt eingesetzt, wenn ein geschlossener Kühlkreislauf mit völlig schwadenfreiem Betrieb, tiefen Mediumtemperaturen und tiefem Schallpegel erforderlich sind und ein beschränktes Platzangebot vorliegt. Die Kühlgrenze liegt etwa 4-5 K über der Feuchtkugeltemperatur. Alle hybriden Trockenkühler/Kondensatoren werden mit integriertem Benetzungskreislauf werksmontiert auf die Baustelle geliefert. Von diesen Kühlern wurden über 100 Anlagen mit einer Gesamtwärmeleistung von >130 MW gebaut.

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER RAUMLUFTSTRÖMUNG BEI FENSTERLÜFTUNG

O. Zeidler, Hermann-Rietschel-Institut, Berlin

Wird das Fenster in einem Raum geöffnet, dann entsteht ein Luftaustausch zwischen dem Raum und der äußeren Umgebung.

Liegt die Temperatur der Außenluft unter der Raumlufttemperatur, dann strömt die Außenluft über den unteren Teil des geöffneten Fensterquerschnitts ein. Die Dichte der zuströmenden Luft ist größer, als die der im Raum befindlichen Luft. Es bildet sich wie bei der Quelllüftung eine Zuluflschicht in Bodennähe aus.

Die Behaglichkeit der Raumnutzer hängt u. a. von den Temperaturen und Luftgeschwindigkeiten in dieser Zuluflschicht ab. Diese Parameter werden durch die Außentemperatur und die thermischen Lasten beeinflusst. Theoretische Untersuchungen haben gezeigt, daß behagliche Bedingungen mit einer dauernden Fensterlüftung zu erreichen sind. Dabei wurden Grenzen für die maximale thermische Last (30 W/m^2) und die minimale Außentemperatur ($10 \text{ }^\circ\text{C}$) gefunden. Ziel der experimentellen Untersuchungen ist es, diese Ergebnisse zu überprüfen.

INTERESSANTE LÖSUNGEN FÜR DIE STETIGE VENTILATORREGELUNG IN DER KÄLTE-KLIMA- LÜFTUNGSTECHNIK

G. Hubert, H. Güntner, Hans Güntner Elektronik GmbH, Fürstenfeldbruck

Immer mehr Anwender nutzen die Vorteile einer stetigen Drehzahlregelung der Ventilatoren von luftgekühlten, lamellierten Wärmeaustauschern. Diese Regelungsart ist mittlerweile zum Standard bei modernen Neuanlagen geworden. Sie wird bei Verflüssigern, Rückkühlern und in zunehmendem Maße auch bei Luftkühlern eingesetzt. Je nach Anwendung werden der Verflüssigungsdruck des Kältemittels, die Kühlmitteltemperatur oder die Raumtemperatur als Regelgröße verwendet.

Im Hause Güntner hat man bei der Reglerentwicklung auf applikationsspezifische Eigenschaften geachtet, so daß mit den Geräten, ohne Zusatzbausteine, interessante Lösungen für spezielle Anwendungsfälle leicht realisiert werden können. Im folgenden werden einige davon kurz dargestellt.

1. Verflüssigerregelung in einem Kältekreis mit zu-/abschaltbarer Wärmerückgewinnung (Applikation GDR...M, Drehstromventilatoren)
2. Verflüssigerregelung bei zwei luftseitig nicht getrennten Kältekreisen mit unterschiedlichem Kältemittel. (Applikation GWR...IP mit zwei Regelsystemen, Wechselstromventilatoren)
3. Rückkühlerregelung mit außen temperaturabhängigem, gleitendem Sollwert. (Applikation GDR...IP mit analogem Schiebesignaleingang, Drehstromventilatoren)
4. Verflüssiger mit integriertem Rückkühler, wie er für die Kälteerzeugung in der EDV-Klimatisierung verwendet wird, um energieverbrauchsgünstig die Kaltwasserversorgung bereitzustellen. (Wärmeaustauscher mit zwei nebeneinander angeordneten Verflüssigerblöcken und einem darunter liegenden Rückkühlerblock; alle Kreise liegen im Luftstrom derselben Ventilatoren) (Applikation GDR...M, Drehstromventilatoren)
5. Raumtemperaturgeregelte Verdampferlüfter mit eingestellter Mindestdrehzahl und Abtausperrung in Kältekammern mit wechselndem Schnellabkühl-/Lagerbetrieb. (Applikation GDR...U, Drehstromventilatoren)
6. Raumtemperaturgeregelte Luftkühler mit Solebetrieb und automatischer Schaltung des Magnetventiles der Zuleitung für Bearbeitungsräume. (Applikation GWST ...IPHTOO/2, Wechselspannungsventilatoren)

Neben den dargestellten Beispielen können wir weitere Lösungen realisieren, bis hin zum Einsatz in der Lufttechnik, wie z. B. Sammelschachtabsaugung (Unterdruckregelung), Lüftungskanäle (Volumenstromregelung) und Reinraumtechnik (Differenzdruckregelung).

KOSTENBERECHNUNG FÜR RLT-ANLAGEN

T. Rákóczy, Brandi Ingenieure, Berlin

Bei Entscheidungen über Ausbaustufen und Qualität der technischen Gebäudeausrüstung, vor allem im Bereich der RLT-, wärme- und kältetechnischen Anlagen, werden in erster Linie die Kosten herangezogen. Hierbei müssen die Investitions-, Energie- und Wartungskosten sowie der „bauseitige“ Aufwand so früh wie möglich ermittelt werden. Zur Entscheidung liegen unterschiedliche Prioritäten je nach Betrachter vor. So wie der Investor vor allem bei Mietobjekten die Investition von Bau und Technik an erster Stelle sieht, orientiert sich der Nutzer (Betreiber) neben der gewünschten Qualität primär nach den Unterhaltungs- bzw. Betriebskosten.