

# Forschungsbericht 2010

## Vorwort der Geschäftsleitung



Das Jahr 2010 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH ein besonderes Jahr. Im Dezember 2010 beging das ILK das 20-jährige Firmenjubiläum als freies, unabhängiges, privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologieunternehmen.

Seit nunmehr 20 Jahren arbeitet das ILK als privates Unternehmen am nationalen und internationalen Markt. Forschung, Entwicklung, zahlreiche kommerzielle FuE-Dienstleistungen sowie der Prototyp- und Musterbau in einem breiten Feld von Technologien und Wissenschaftsgebieten sind die Markenzeichen unseres Unternehmens.

Mit einem interdisziplinären Team von 130 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von 10 Mio. € ist das ILK eines der größten privatwirtschaftlichen Forschungsunternehmen.

Unsere Unternehmensphilosophie besteht im komplexen Technologieangebot. Physik und Technik tiefer Temperaturen, Kälte- und Wärmepumpentechnik, Klima- und Lüftungstechnik, Luftreinhaltung und Umwelttechnik, angewandte Analytik und Werkstoffforschung sowie angewandte Energie- und Solartechnik sind auf die grundlegenden Themenstellungen, wie Energie, Umwelt und Lebensqualität ausgerichtet.

Im Jahr 2010 wurden 64 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben am ILK bearbeitet und eine Vielzahl von freifinanzierten FuE-Aufträgen für die Industrie durchgeführt.

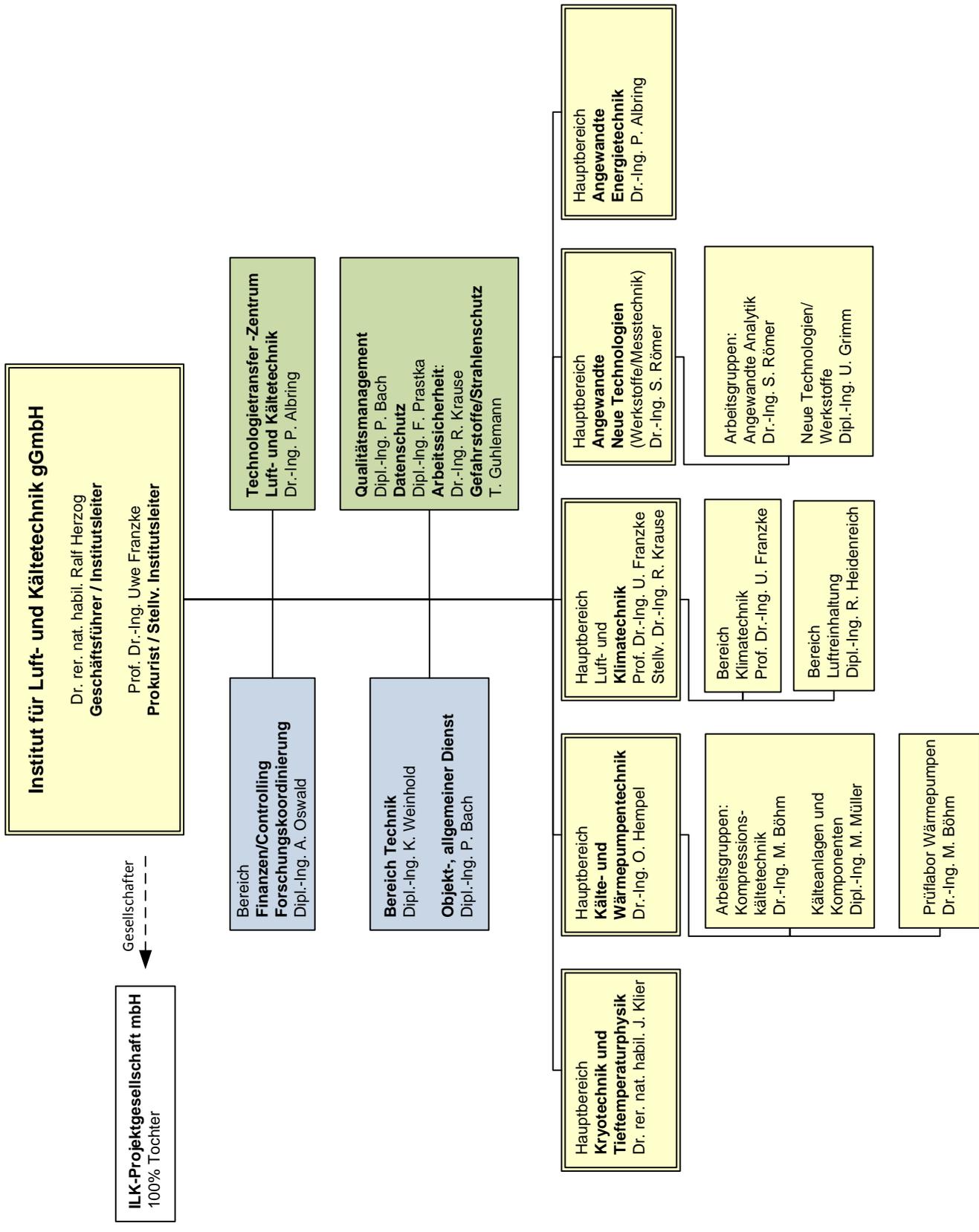
Der ILK-Forschungsbericht 2010 beinhaltet ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung sowie ausgewählte Beispiele von wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen des ILK.

Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Partnern in Wirtschaft, Forschung und im öffentlichen Bereich für die gute Zusammenarbeit im Geschäftsjahr 2010 und bei den ILK-Mitarbeitern für die aktive Mitarbeit und das persönliche Engagement.

Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke

# Organigramm: Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH



## Inhalt

Kryotechnik und Tieftemperaturphysik	2
Kältetechnik	8
Klimatechnik	17
Luftreinigungstechnik	23
Angewandte neue Technologien / Werkstoffe /Messtechnik	27
Angewandte Energietechnik	33
Normungsarbeit am ILK	38
Mitwirkung des ILK in wissen-schaftlichen Organisationen und Fachgremien	39
Ausgewählte Veranstaltungen des ILK für den Wissenstransfer 2010	42
Anlagen	44

# Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung, Entwicklung und Technologietransfer im Jahr 2010

## 1. Kryotechnik und Tieftemperaturphysik

### Kryoflüssigkeitspumpe

Ein verstärktes Interesse an Fördersystemen für kryogene Flüssigkeiten ergibt sich aus der Entwicklung alternativer Antriebe für Kraftfahrzeuge auf der Basis von flüssigem Wasserstoff/Brennstoffzellen und Erdgas.

Die bisher verfügbaren technischen Lösungen für dieses Problem basieren auf Pumpen mit warmem Antrieb bei mechanischer oder pneumatischer Kraftübertragung. Teilweise werden sogar Heizer im Tank zur Erzeugung eines Überdrucks eingesetzt. Neben dem erheblichen Wärmeeintrag ist bei den Pumpen die Abdichtung des Systems in Verbindung mit dessen thermischer Längenänderung zu bewältigen.

Als vorteilhafte Lösung wird im Forschungsvorhaben eine Kryoflüssigkeitspumpe entwickelt, die einen hohen Wirkungsgrad des Antriebs mit einem einfachen und kompakten Aufbau kombiniert. Die Einleitung elektrischer Energie in die sogenannte „kalte“ Pumpe führt in Verbindung mit dem geringen elektrischen Widerstand von Kupfer bei tiefen Temperaturen zu sehr geringen elektrischen Verlusten.

Basierend auf Auslegungsrechnungen wurde eine doppelt wirkende Kolbenpumpe mit direktem elektrodynamischem Linearantrieb entwickelt, die mit Kugel-Rückschlagventilen arbeitet.

Die Konstruktion der Kryoflüssigkeitspumpe wird in Bild 1 gezeigt. Die beiden eigenständigen Ventileinheiten ermöglichen die doppelte Wirkung des Kolbens. Der Linearantrieb basiert auf dem Prinzip des bewegten Magneten. Für den Permanentmagneten wird NdFeB einge-

setzt, da sich AlNiCo und SmCo als weniger geeignete Werkstoffe für diese Anwendung herausstellten. Der Motor konnte mit einer Länge von 200 mm und einem Durchmesser von 80 mm als kompaktes System aufgebaut werden, was verschiedenartige Anwendungen ermöglicht.

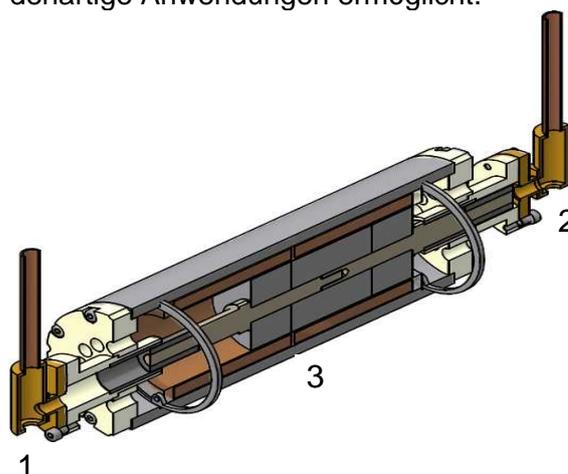


Bild 1: 3-D-Schnittmodell der Kryoflüssigkeitspumpe  
(1) und (2) Ventileinheiten, jeweils mit Ein- und Auslass, (3) beweglicher Kolben

Dieser Aufbau wurde Ende 2010 erstmals komplett realisiert und die Funktion der Pumpe demonstriert. Die ersten Tests fanden in flüssigem Stickstoff bei atmosphärischem Gegendruck statt (siehe Bild 2).



Bild 2: Kryoflüssigkeitspumpe in Flüssigstickstoff während der Erprobung

Wesentliche Betriebsparameter der Pumpe sind Arbeitsfrequenz und Antriebsspannung. Zur Erprobung wurden ver-

schiedenartige Konzepte angewendet. Bei der unregelmäßigen Auslenkung der Kolben werden feste Werte für Frequenz und Spannung eingestellt, wobei keine Information über die Kolbenposition vorliegt.

Bei der elektronischen Regelung der Spannung auf Basis des Stromanstiegs nahe der Endlage des Kolbens kann entweder mit konstanter Frequenz bei variierendem Spannungsbetrag oder mit fester Spannung bei veränderbarer Frequenz gearbeitet werden. Für alle diese Betriebsarten sind in Bild 3 resultierende Förderleistungen zusammengestellt.

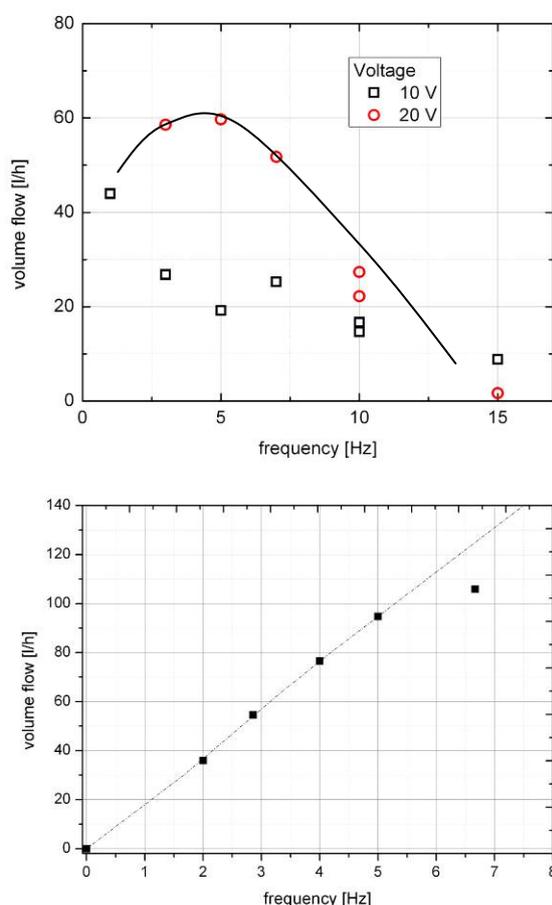


Bild 3: Förderleistung der Pumpe in flüssigem Stickstoff gegen atmosphärischen Druck in Abhängigkeit von der Frequenz für: (oben) unregelmäßigen Betrieb bei variierender Spannung; (unten) Regelung der Spannung bei konstanter Frequenz. Die eingezeichneten Linien dienen lediglich zur Veranschaulichung.

Im oberen Diagramm von Bild 3 sind Ergebnisse bei unregelmäßiger Kolbenauslenkung gezeigt. Es wird insbesondere für die

Werte bei 20 V deutlich, dass bei fester Spannung eine optimale Frequenz existiert, während bei deutlich höheren Frequenzen das Pumpvolumen nicht ausreichend genutzt wird. Da bei geringeren Frequenzen der Anschlag des Kolbens in der Endlage erfolgt, ist auch dieser Fall ungünstig.

Für weitere Untersuchungen wurde deshalb eine elektronische Regelung aufgebaut. Die dafür gemessenen Pumpleistungen sind im unteren Diagramm von Bild 3 dargestellt.

Unter Nutzung der elektronischen Regelung konnten Förderleistungen bis zu mehr als 100 l/h gemessen werden. Dabei ist zu betonen, dass gegen atmosphärischen Druck gepumpt wurde. Bei Förderung gegen Überdruck steigt die Beschleunigungskraft auf die Ventilkörper, wodurch höhere Frequenzen und Förderleistungen erreicht werden. Derzeit werden erweiterte Untersuchungen mit einer optimierten Ansteuerung sowie Tests in Helium durchgeführt. Die angestrebte Förderleistung der Pumpe liegt bei 360 l/h bei einem Förderdruck bis 15 bar.

Haupteinsatzgebiete dieser Innovation - „kalte“ Pumpe - sind neben der Kryotechnik auch Anwendungen im Kfz-Bereich. Einen weiteren Markt bietet die Antriebstechnologie der Pumpe, die sowohl für kalte Aktorik (z. B. Stellmotoren) als auch für Entwicklungen im Generatorbereich (z. B. für Wärmekraftmaschinen, Verdichter für Kühler) genutzt werden kann.

### Kühltechnologien für Tieftemperatur-Materialprüfkammern

Das Projekt wurde mit einem Industriepartner durchgeführt, wobei die Schwerpunkte der einzelnen Projektpartner sich in die Aufgabenbereiche thermische Auslegung und Versuche (ILK) sowie mechanische Auslegung und Kammeraufbau (Industriepartner) teilten.

Zu Beginn des Projektes wurden anhand der Zielspezifikation und der angestrebten Temperierungseigenschaften die wich-

tigsten Systembestandteile und die grundlegendsten Anlagenteile (Kühlung, Beheizung, Regelung) festgelegt. Im Ergebnis kam eine Anordnung mit direkter Stickstoffbeaufschlagung zum Einsatz, bei der die Prozessgasumwälzung über einen Radiallüfter realisiert wurde (siehe Bild 1 und 2).

Die wichtigsten zu untersuchenden Größen waren die Anordnung und Ausführung der Düsen, Heizer, Wärmeübertrager und Strahlungsschilde sowie Heiz- und Kühlsolen, wobei die Untersuchungsschwerpunkte hauptsächlich in der Abstimmung der einzelnen Leistungsparameter und Systemcharakteristiken der Einzelkomponenten lagen. So zum Beispiel im Anfahr- und Dauerbetriebsverhalten der Heizer und Düsen inkl. Stickstoffversorgung und deren Anpassung bei unterschiedlichen Temperaturniveaus. Weitere Arbeitspunkte innerhalb des Projektes lagen in der Ausstattung der Isolation des Rohranschlusses, vor allem der anwenderseitigen Anschlusssituation sowie der Regelungs- und der Sicherheitstechnik.

Dabei musste speziell darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Flüssigkeitsvorlage an den Düsen realisiert wird, Bereiche an denen sich ein Überdruck einstellen könnte, ausreichend abgesichert und auch die Abfuhr des verdampfenden Stickstoffs im Prozess sichergestellt werden kann. Letzterer Punkt wurde über die Abstimmung von Rückschlagklappen und Sicherheitsventilen realisiert, welche an die unterschiedlichen Gasvolumenströme bei verschiedenen Betriebspunkten angepasst werden konnten.



Bild 1: Materialprüfkammer mit geöffneter Tür und Probenstisch



Bild 2: Lüfter in der Kammer zur Prozessgasumwälzung

Als Isolationsmaterial der Kammer wurde eine Perlitschüttung eingesetzt, die Rohrinsolation wurde mit Feststoffisolation bzw. über vakuumisolierte Schlauchleitungen realisiert.

Die Isolation der Schlauchleitung stellte sich als entscheidende Komponente für die Regelungseigenschaften der Kammer heraus, da in der Schlauchleitung verdampfender Stickstoff wesentlich zur Reduzierung des einströmenden Stickstoffs beitrug.

Außerdem wurde aufgrund des verdampfenden Stickstoffs immer wieder Flüssigkeit aus dem Schlauch in den Versorgungstank zurückgedrängt, was ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Regelungscharakteristik der Einspritzkühlung bedeutete.

Neben den Regelungseigenschaften und der zeitlichen Temperaturhomogenität und Regelungsstabilität kam es auch auf eine homogene örtliche Stabilität und Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung an (max. +/- 1 K).

Um dies erreichen zu können, musste im Verlauf der Untersuchungen zusätzlich ein speziell angepasstes Leitblech entlang der radialen Kammerwände installiert werden (Bild 3).



Bild 3: Innenansicht der Kammer mit Leitblech (radial angeordnet)

Aufgrund dieses Leitbleches konnte nun global eine bessere Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung realisiert werden, jedoch verstärkte sich der Einfluss der Abströmcharakteristik des Radiallüfters, was an exponierten Punkten innerhalb der Kammer zu lokalen Maxima bzw. Minima der Temperatur führte. Dieses Strömungsverhalten und die notwendigen Einflussgrößen werden mit Hilfe von Strömungssimulationen noch weiter untersucht.

Aus diesen Punkten heraus wurde die Regelung über eine frei programmierbare SPS realisiert, welche gut an die komplizierten Abstimmvorgänge der Temperierorgane (Heizer, Düsen, Versorgungsleitung) angepasst werden konnte.

Diese Regelung kann damit auch sehr gut an wechselnde Anforderungen (Temperaturniveau, Abkühlgeschwindigkeit, Probenabmessungen) angepasst werden. In der derzeitigen Version sind 30 Temperatursensoren zur Ermittlung der Temperaturverteilung des gesamten Systems installiert.

Die Tests haben gezeigt, dass mit der ermittelten Ausführung eine hohe Temperaturstabilität (max.  $\pm 1$  K), schnelle Temperaturwechsel (bis zu 20 K/min) und sehr präzise Haltepunkte erreicht werden können.

Im verbleibenden Projektzeitraum werden die Düsenausführung und die Beeinflussung des Prozessgasstromes bzw. dessen Gleichrichtung im Hinblick auf eine Gleichverteilung im Probenraum (lokale Temperaturunterschiede) untersucht. Darüber

hinaus werden weitere Berechnungen zur Analyse der Ausführung von Leitblechen bzw. Gleichrichtern durchgeführt. Die nächsten Messungen dazu werden parallel vorbereitet. Mit den abschließenden Ergebnissen kann im April 2011 gerechnet werden.

## Kompakte Lösungskältemaschine

Als neues Technologiefeld am ILK Dresden ist die Kühlung für den Temperaturbereich unterhalb von 500 mK entstanden. Auf diesem Gebiet werden seit Ende 2009 zwei FuE-Vorhaben bearbeitet.

Derartige mK-Technologien werden insbesondere für die Kühlung hochempfindlicher Sensorik benötigt, da das thermische Rauschen deren Signalauflösung stark beeinflusst. In einem Kooperationsvorhaben ist das geplante Einsatzgebiet die Radioastronomie, in einem weiteren geht es um eine Entwicklung im Bereich der Sicherheitstechnik (Terahertz-Detektoren).

Prinzipiell sind Kühlgeräte für diesen Temperaturbereich auf Basis der Entmischung im System  $^3\text{He}/^4\text{He}$  („Lösungskälte“) seit ca. 50 Jahren technisch realisiert. Herkömmliche Systeme sind jedoch durch hohen Bedienungsaufwand und Platzbedarf sowie durch die notwendige Versorgung mit Kryoflüssigkeiten gekennzeichnet.

Seit etwa 20 Jahren wird daran gearbeitet, die Vorkühlung des Lösungskälte-Aggregats auf ca. 2 K mittels eines mehrstufigen Pulsrohrkühlers zu realisieren. Damit erhält man ein sogenanntes „kryoflüssigkeitsfreies“ System. Auf Grund ihres Aufbaus und ihrer Funktionsweise können derartige Geräte kaum aus ihrer vertikalen Position heraus verändert werden, was jedoch beispielsweise bei astronomischen Anwendungen (Schwenken der Teleskope) sehr wünschenswert ist.

Für solche Einsatzgebiete wird ein spezielles System aufgebaut, welches eine Verkipfung des gesamten Geräts um bis zu  $\pm 45^\circ$  erlaubt. Eine wesentliche Komponente ist dabei die Ausführung der Mischkammer mit integrierten, speziell angeord-

neten Füllkörpern (gekennzeichnet durch den langen Pfeil in der Konstruktionszeichnung, Bild 1).

Diese patentierte Gestaltung (Patent-Nr. DE 10 2009 025 544) erlaubt die weitgehende Verkippung bei großflächiger Phasengrenze, üblicher äußerer Geometrie und insbesondere der Flüssigkeitsentnahme aus der und Flüssigkeitszufuhr in die jeweils notwendige Phase.

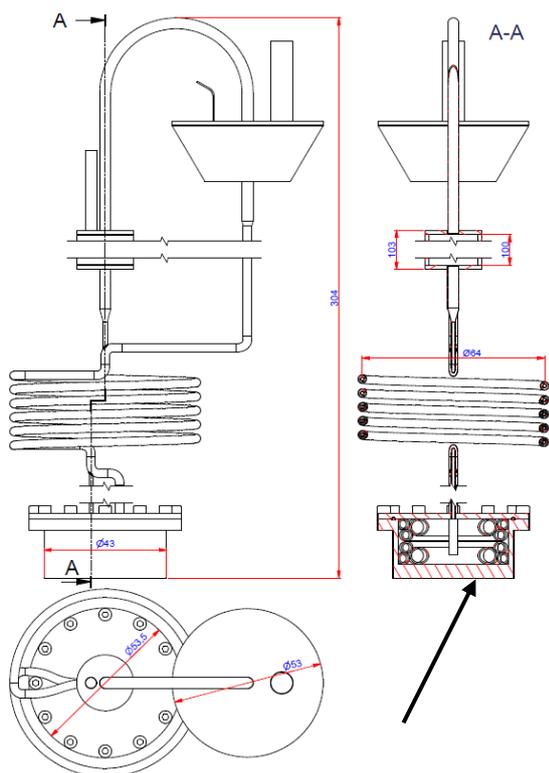


Bild 1: Konstruktionszeichnung des Gemischkreislaufs (Ansichten und Schnittdarstellung)

Ein weiteres Element des Gemischkreislaufs sind die Wärmetauscher, welche „Rohr-in-Rohr“ aus Neusilber-Kapillaren gefertigt wurden. Andere wesentliche Bestandteile der Lösungskältemaschine sind die ineinander gekoppelten  $^3\text{He}$ -Kreisläufe, der  $^4\text{He}$ -Kreis und die Sorptionspumpen. Die Optimierung des Pulsrohrkühlers für die Verkippung findet beim Projektpartner statt. Einen weiteren, gemeinsamen Schwerpunkt in diesem Vorhaben stellt die Minimierung von Störeinflüssen, insbesondere von mechanischen Schwingungen dar. Der Zusammenbau des Gemischkreislaufs wird in Bild 2 gezeigt (noch ohne spezielle Halterungen).



Bild 2:  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ -Kreislauf mit Mischkammer (unten), Wärmetauscher (Mitte), Destille (oben rechts) und Kondensator (oben links, in provisorischer Halterung für Dichtstests)

Für systematische Untersuchungen der mit dem Pulsrohrkühler kombinierten Lösungskältemaschine steht eine spezielle Vorrichtung zur Verfügung, die eine Verkippung und Drehung des Gesamtaufbaus ermöglicht (siehe Bild 3). Sie beinhaltet zudem eine aktive mechanische Dämpfung zur Entkopplung von Umgebungseinflüssen.

Die beschriebenen Bauteile und Vorrichtungen werden auch für das zweite Entwicklungsvorhaben (Kühlung für Sicherheitstechnik) genutzt. Bei diesem liegt der Schwerpunkt auf einem langzeitstabilen, mobilen und bedienfreundlichen Gerät.

Dafür wird eine umfangreiche Sensorik eingesetzt. So zeigt z. B. Bild 4 einen angepassten Füllstandssensor.

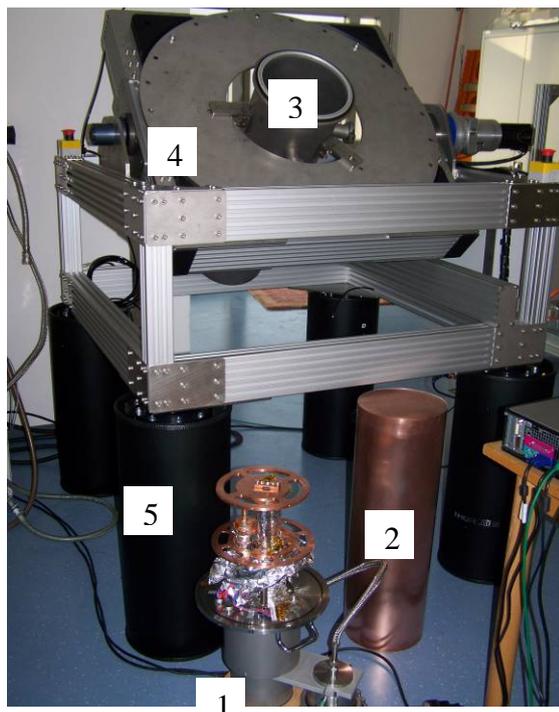


Bild 3: Kipp-Dreh-Vorrichtung mit  
 (1) Pulsrohrkühler,  
 (2) Strahlungsschirm,  
 (3) Vakuumpfäß,  
 (4) Aufnahmeplatte und  
 (5) mech. Dämpfung (air legs)

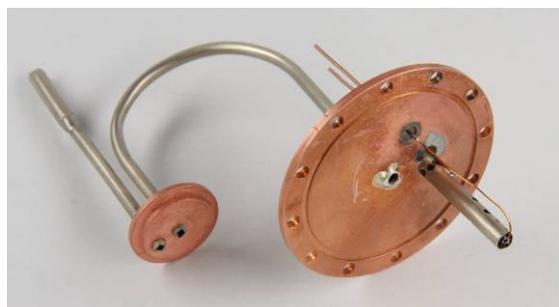


Bild 4: Abdeckungen von Kondensator (links) und Still (rechts), letztere mit integriertem kapazitiven Füllstandssensor

Unter Nutzung der im Projekt gewonnenen Berechnungen und Messergebnisse wird beim Projektpartner eine automatische Steuerung für das Gesamtsystem entwickelt. Ziel dieses Vorhabens ist der Einsatz mobiler Kühltechnik für die Detektion von Terahertz-Strahlung ohne Verwendung externer Strahlenquellen (passives System).

### 3-Zyklen-Pulse-Tube-Kühler

Preiswerte Kühler für den Tieftemperaturbereich zwischen 55 und 130 K und einer Kälteleistung von mehreren hundert Watt sind am Markt nicht verfügbar. Bestehende Hochleistungskühler sind teuer, vibrationsanfällig und mit häufigen Wartungsintervallen belastet. Dieser Zustand erschwert die Markteinführung innovativer Systeme, die auf große Kälteleistungen sowie wartungsarme und kompakte Kühler angewiesen sind. Zu nennen wären beispielsweise Kryostatierungen oder auch die Kühlung von Anwendungen mit Hochtemperatursupraleitern (HTSL).

Ein erster HTSL-Fehlerstrombegrenzer der Firma Nexan ist beispielsweise zur Absicherung der Kraftwerkseigenversorgung im Braunkohlekraftwerk Boxberg in Betrieb. Von der Firma Siemens sind erste Synchronmotoren als Prototypen im Einsatz. Mit der Entwicklung eines energieeffizienten Hochleistungskühlers, der kompakt, preiswert und nahezu wartungsfrei ist, sollen solche Entwicklungen unterstützt und neue Einsatzfelder erschlossen werden.

Der Lösungsansatz zur Entwicklung eines Hochleistungskühlers baut auf eine am ILK Dresden bestehende Entwicklung des Active-Reservoir-Pulse-Tube-Kühlers (AR-PTK) auf. Beim AR-PTK wird die am kalten Wärmeübertrager aufgenommene Wärme wie bei jedem Pulse-Tube-Kühler durch Volumenarbeit erzeugt und über das Pulse-Tube übertragen. Anstatt die Wärme wie bei herkömmlichen Kühlern am warmen Ende des Pulse-Tube ungenutzt an die Umgebung abzuführen, wird diese in mechanische Arbeit umgewandelt. Der Wärmeübertrager am warmen Ende des Pulse-Tube wird durch einen Expansionskolben ersetzt. Im Falle des AR-PTK unterstützt so der Expansionskolben über einen Kurbeltrieb den Kompressionskolben, der zur Erzeugung der Druckwelle dient. Dies hat jedoch starke Vibrationen und eine hohe Geräuschentwicklung zur Folge.

Die Innovation im aktuellen Projekt - des 3-Zyklen-Pulse-Tube-Kühlers (3-Z-PTK) - ist die in der 3-zyklischen Anordnung von

Kompressions- und Expansionskolben gebildete Einheit. Die am warmen Ende des Pulse-Tubes gewonnene Arbeit unterstützt somit direkt die Kompression. Gleichzeitig sind auf diese Weise die Nachteile in Bezug auf starke Vibrationen und Geräuschemissionen konstruktiv gelöst, indem annähernd ein Impulsausgleich hergestellt wird. Durch die Anordnung von drei Zyklen ist die Phasenverschiebung zwischen Druckwelle und Volumenstrom exakt bei  $120^\circ$  fixiert.

Der Prozess lässt sich in vier Arbeitstakte unterteilen. In der Kompressionsphase wird das Arbeitsgas beim 3-Z-PTK Helium bei einem Mitteldruck von 30 bar verdichtet. Kompressionswärme wird in einem Vorkühler an die Umgebung abgegeben. Ein Teil der Wärme wird im Regenerator aufgenommen. In der nächsten Phase wird das Gas in den Expansionsraum geschoben und anschließend in der Expansionsphase entspannt. Dabei kühlt sich das Gas ab, so dass Wärme im kalten Wärmeübertrager entzogen wird. Danach wird das Gas in den Kompressionsraum geschoben, dem kalten Wärmeübertrager wird weiter Wärme entzogen, der Regenerator rückgekühlt und der Prozess beginnt von vorn.

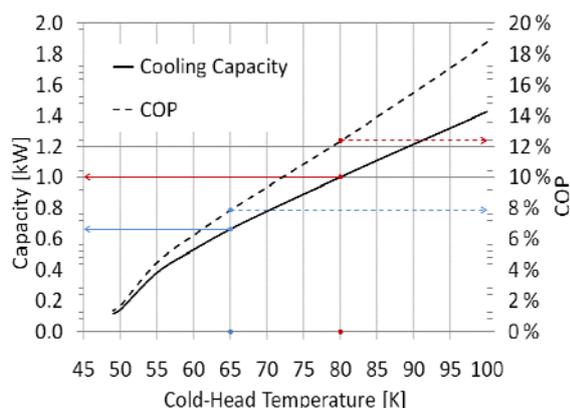


Bild 1: Leistungsdiagramm 3-Zyklen-PTK

Bild 1 zeigt das Leistungsdiagramm des 3-Z-PTK. Bei einer Kaltkopf-Temperatur von 80 K beträgt die berechnete Kälteleistung 1 000 Watt bei einem COP von über 12 %.

Für Anwendungen bei tieferen Temperaturen (typisch ca. 65 K) beträgt die Kälteleistung immerhin noch fast 700 Watt bei einem COP von 8 % (bei gleicher Auslegung). Eine genaue Anpassung und Aus-

legung an die geforderte niedrigere Kaltkopf-Temperatur (z. B. 65 K) würde wieder zu höheren Wirkungsgraden führen.

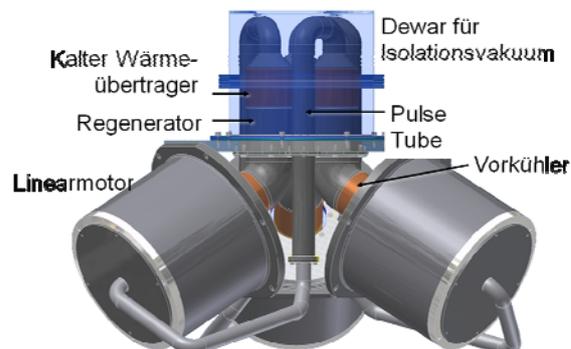


Bild 2: CAD des 3-Zyklen-PTK

Gegenwärtig befindet sich der 3-Z-PTK in der Fertigung. Bild 2 zeigt das Konstruktionsmodell des Kühlers. Er erfordert eine Aufstellfläche von weniger als  $1 \text{ m}^2$  und 1 m in der Höhe. Mit einer Eingangsleistung von 10 kW kann der 3-Z-PTK mittels Frequenzumrichter an jedem dreiphasigen Wechselstromnetz betrieben werden. Der Kühler wird sich durch einen nahezu wartungsfreien sowie geräusch- und vibrationsarmen Betrieb auszeichnen. Die Energieeffizienz liegt dabei deutlich über der herkömmlicher Systeme. Kostenabschätzungen zeigen dabei einen niedrigeren Wert gegenüber etablierten Systemen.

## 2. Kältetechnik

### Expansionsventile kleiner Leistung

Kälteanlagen kleiner Leistung werden auch heute noch oft mit Drosselrohrkapillaren ausgerüstet. Diese Expansionseinrichtung besteht nur aus einem Rohr und ist deshalb sehr preiswert. Mit diesem System kann aber die Überhitzung des Verdampfers nicht geregelt werden. Dadurch wird der Verdampfer in vielen Betriebspunkten nicht ausreichend mit Kältemittel gefüllt und die Wärmeübertragerfläche wird somit nicht optimal genutzt.

Andererseits besteht auch immer die Gefahr, dass unverdampftes Kältemittel den Verdampfer passiert und den Verdichter schädigt. Aus diesen Gründen sind große Kälteanlagen immer mit Expansionsventi-

len zur Regelung der Verdampferüberhitzung ausgerüstet.

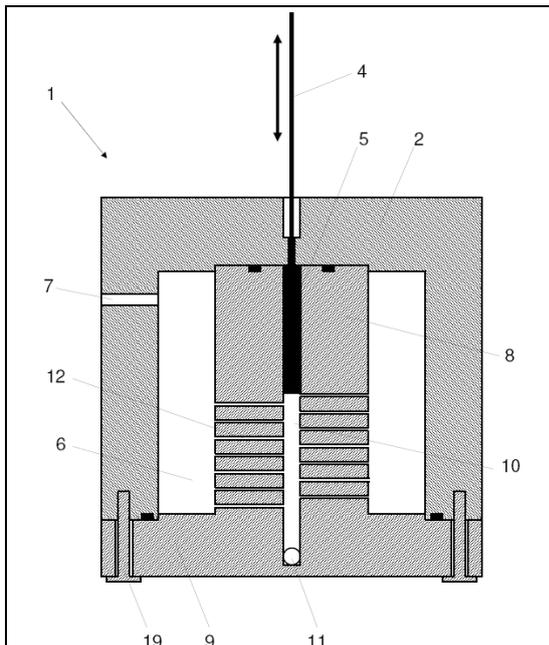


Bild 1: Funktionsprinzip

Bei Kälteleistungen bis zu einigen hundert Watt ist die Regelung des Kältemitteldurchflusses mit einem Nadelventil ein Kostenproblem.

Die zum Patent angemeldete Grundidee der Neuentwicklung besteht darin, dass einzelne Bohrungen nacheinander freigegeben werden. Durch diese stufenweise Freigabe des Drosselquerschnittes entsteht eine quasilineare Kennlinie des Ventils. Die feinen Bohrungen wurden durch Laserbohren hergestellt. Dadurch ist es nicht mehr erforderlich, die Kontur eines Nadelventils exakt zu fertigen.

Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des neuen Drosselprinzips konnte experimentell bestätigt werden.



Bild 2: Expansionsventil mit Schrittmotor

Für die Verstellung der Ventilschneide wurde ein eigener Stellantrieb für einen Schrittmotor entwickelt. Dafür wurde auch die Elektronikentwicklung im ILK durchgeführt.

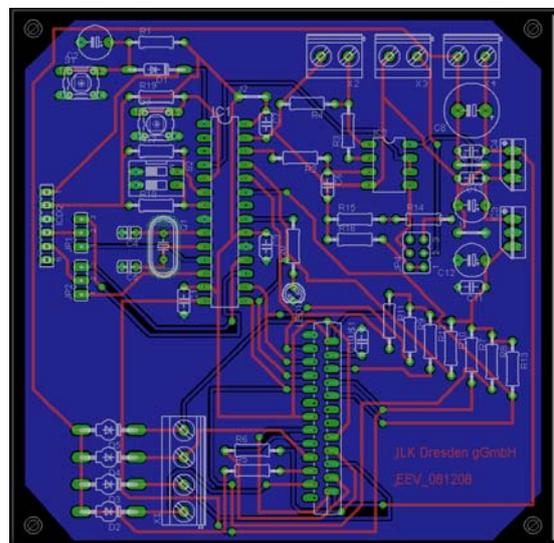


Bild 3: Leiterplattenentwurf

Die Elektronik kann auch für andere Anwendungen und andere Schrittmotoren verwendet werden. Für dieses Teilergebnis gibt es bereits Interesse aus der Industrie.

Ziel ist es, eine kompakte Regelung für die gesamte Kälteanlage zu entwickeln. Dafür ist auch die Integration der Steuerung von Schrittmotoren unterschiedlicher Hersteller notwendig.

Es bestehen Überlegungen, auf der Basis des Ventil-Grundprinzips ein sehr preiswertes elektronisches Expansionsventil für Kühlschränke zu entwickeln.

**Luftkühlvorsatz für Rückkühler**

In den warmen Sommermonaten ist die Wärmeabfuhr von Energieanlagen an die Umgebungsluft eine zunehmende Herausforderung, da die Maximaltemperaturen in den letzten 10 Jahren teilweise erheblich über den Auslegungstemperaturen lagen. In diesen Zeiten werden beispielsweise luftgekühlte Verflüssiger von Kälteanlagen im Notbetrieb mit Wasser direkt besprüht. Dabei können sich aber hygienische Probleme durch Legionellen ergeben.

Durch die Entwicklung eines Luftkühlvorsatzes für Trockenkühler konnte das Problem gelöst werden. Der besondere Vorteil ist die Nachrüstbarkeit in Bestandsanlagen.

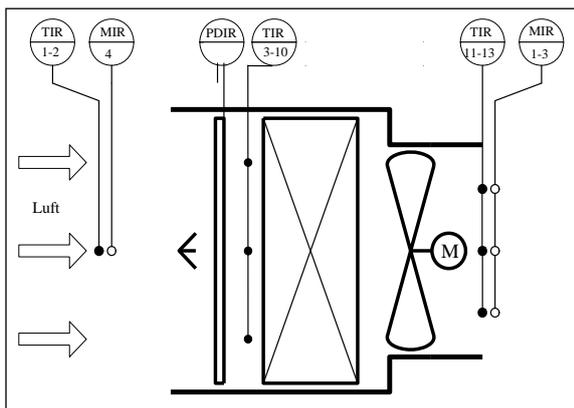


Bild 1: Anordnung des Luftkühlvorsatzes

Der Luftkühlvorsatz besteht aus einer Befeuchtungsmatte und einer Wassersprüh-einrichtung, die vor dem Wärmeübertrager angeordnet werden.



Bild 2: Befeuchtungsmatte

Durch die Verdunstung des Wassers erfolgt eine adiabate Abkühlung der durchströmenden Luft.

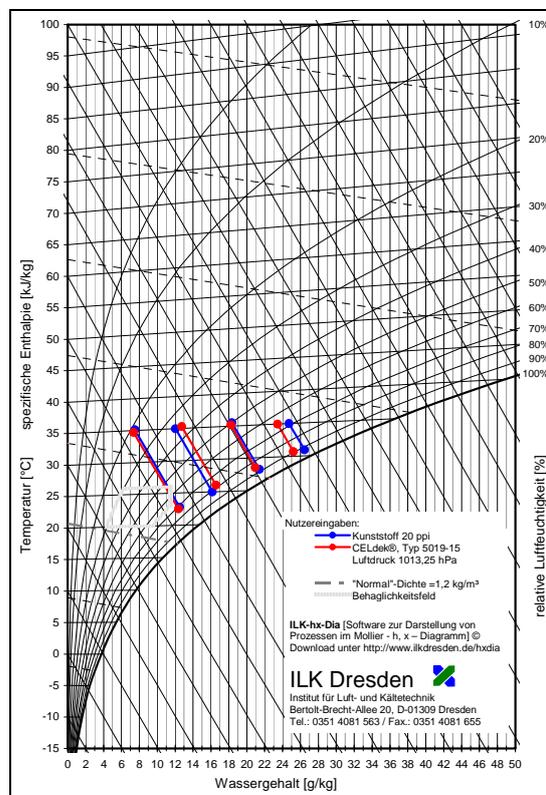


Bild 3: Verlauf der Luftabkühlung

Dabei ergaben sich Temperaturabsenkungen bis zu 85 % des theoretisch möglichen Wertes. Die Oberfläche des Lamellenwärmetauschers bleibt dabei trocken.

Es wurden verschiedene Mattingeometrien und -materialien auf ihre Lebensdauer und die Abkühleffektivität untersucht. Für unterschiedliche Befeuchtungseinrichtungen wurden die Benetzung der Matten und der Wasserverbrauch getestet. Eine Wasseraufbereitung ist nicht erforderlich.

Die Industrie hat bereits ihr Interesse an diesem System bekundet. Die Anwendung wird insbesondere auch in Ländern des Mittelmeerraumes gesehen.

### **Reduzierung der Schallemission von Luft-Wasser-Wärmepumpen**

Luft-Wasser-Wärmepumpen stellen aufgrund ihrer Bauart in der Regel eine Schallquelle am Aufstellort dar. Entweder die Wärmepumpe selbst oder der Splitverdampfer mit Lüfter werden im Garten des Hauses platziert. Nicht selten kommt es in der Folge zu einer Lärmbelastung des Eigentümers oder der Nachbarn.

Die Ursache ist nicht nur die Schalleistung der Quelle. Bei ungünstiger Aufstellung können sich die Schallwellen auch überlagern und somit das Problem erheblich verstärken. Deshalb wurden gemeinsam mit dem Projektpartner ITEC Messungen im Feld durchgeführt, um die Hauptfehler bei der Aufstellung der Wärmepumpen aufzudecken. Die Messungen dauern derzeit noch an.



Bild 1: Feldmessungen

An Maschinen im Feld kann im Normalfall die Schalleistung nicht direkt gemessen werden, da definierte Randbedingungen erforderlich sind. Diese erreicht man nur in schalltoten oder Hallräumen. Für Messungen außerhalb derartiger Spezialräume kommt insbesondere die Schalldruckmessung mit der Intensitätssonde infrage.

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Messergebnisse unterschiedlicher Schallmessverfahren wurde ein Splitverdampfer mit Lüfter vermessen. Zuerst erfolgte die

Schalleistungsmessung im Hallraum und danach außerhalb die Intensitätsmessung.

Der Vergleich der beiden Experimente zeigte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Bei der Intensitätsmessung ist aber der Einfluss der Umgebungsgeräusche zu beachten. Insbesondere Schwankungen führen zu Messfehlern, da sie im Gegensatz zu konstanten Nebengeräuschen nicht herausgerechnet werden können.



Bild 2: Hallraummessungen

Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse wird die Intensitätsmessung weiterverfolgt. Diese Messmethode ist grundsätzlich auch geeignet, während einer Leistungsmessung einer Wärmepumpe oder eines Verdichters gleichzeitig die Schallmessung durchzuführen. Das führt z. B. zu einer signifikanten Kostenreduzierung für die Messungen zur Erteilung des EHPA/DACH-Gütesiegels.

Da auch für die Kältemittelverdichter neben der Leistungsmessung die Schallmessung zunehmend gefordert wird, ist im letzten Abschnitt des Projektes die Konstruktion einer Schallschutzhaube geplant.

In diese Haube wird die notwendige Messtechnik für die Intensitätsmessung integriert, so dass in Zukunft bei ASERCOM-Messungen die neuen Anforderungen für die Zertifizierung erfüllt werden.

Nach Abschluss des Projektes soll das Prüflabor Wärmepumpen auch für die Schalldruckmessung mit der Intensitätssonde akkreditiert werden.

## Luft-Wasser-WP mit verbesserter JAZ

Luft-Wasser-Wärmepumpen haben einen Marktanteil von ca. 50 %. Sie zeichnen sich durch geringe Investitionskosten aus. Aufgrund der universalen Wärmequelle Luft können sie an nahezu jedem Standort aufgestellt werden. Der Nachteil dieser Bauart ist die ca. 10 - 20 % geringere Jahresarbeitszahl (JAZ) gegenüber den erdgekoppelten Wärmepumpen. Die Verbesserung der JAZ ist somit ein vorrangiges Ziel.

Zur Bewertung von technischen Änderungen an den Geräten ist es notwendig, relativ geringe Leistungsunterschiede messtechnisch zu erfassen. Dafür sind entsprechende Prüfeinrichtungen notwendig.



Bild 1:: Wärmepumpe im Prüffeld

Das ILK hat in seinem Teilprojekt verschiedene normative Prüfmethoden miteinander verglichen. Im Ergebnis wurde ein Doppelkammerkonzept mit reduziertem Volumen der Prüfkammern im ILK-Prüffeld realisiert. Nur durch diese beiden

Maßnahmen können die Messunsicherheiten soweit reduziert werden, dass auch Hauswärmepumpen mit einer Heizleistung von etwa 5 kW noch normgerecht geprüft werden können.

Innerhalb des Projektes wurde eine Diplomarbeit zur Wirksamkeit von Kältemittelverteilern für Lamellenwärmetauscher betreut.

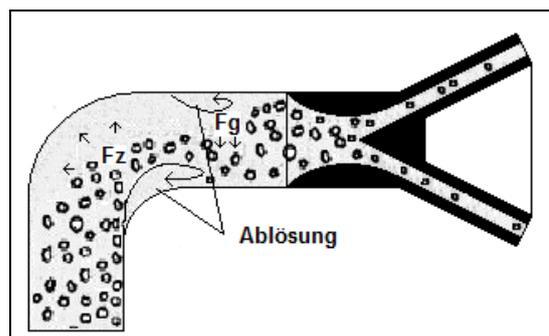


Bild 2: Bogen vor dem Kältemittelverteiler

Die experimentellen Untersuchungen bestätigten die These, dass die Rohrführung zwischen Expansionsventil und Verteiler einen Einfluss auf die Güte der Kältemittelverteilung im Wärmeübertrager haben. So führen Rohrbögen oder eine waagerechte Verlegung der Rohrleitung zur Separierung der Zweiphasenströmung und somit zur Fehlverteilung.

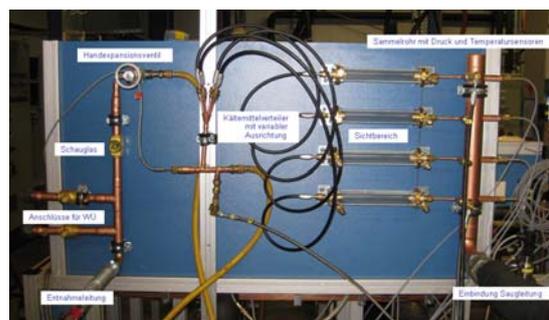


Bild 3: Versuchsaufbau für den Verteiler

Gegenwärtig konnte leider kein Messverfahren ermittelt werden, mit dem eine quantitative Bestimmung der Verteilungsunterschiede bei Zweiphasenströmung möglich ist.

Der Projektpartner WÄTAS entwickelte in seinem Teilprojekt eine neue Luft-Wasser-Wärmepumpe. In die Konstruktion flossen auch die Erkenntnisse zum Kältemittelverteiler und zu Abtauverfahren des Ver-

dampfers ein, die am ILK gewonnen wurden.

Im letzten Abschnitt des Projektes ist noch die messtechnische Untersuchung dieser Wärmepumpe mit dem neuen Prüfkonzept geplant. Dabei soll die verbesserte Energieeffizienz nachgewiesen werden.

### Mikrowärmetauscher in der Kältetechnik

Zielsetzungen des Projektes sind die Grundlagenuntersuchen zur konstruktiven Gestaltung und Herstellung von Mikrowärmetauschern für die Kältetechnik. Dabei wird dem Grundgedanken Rechnung getragen, dass die Fertigungstechnologie wesentlich die Grenzen der Konstruktion bestimmen wird. Mikrowärmetauscher sind bis zu 50-mal kompakter als die heute üblichen Plattenwärmetauscher. Damit wäre eine enorme Reduzierung der Bau-Größen und des Materialverbrauchs möglich.

Das erste Muster wurde mit einer Ätztechnologie im IMM hergestellt. Die Kanäle werden beidseitig in Edelstahlplatten geätzt. Anschließend werden die Platten gestapelt und zusammengeschweißt und mit den Medienanschlüssen versehen.



Bild 1: Mikrowärmetauscher - Muster IMM

Für die notwendige Druckfestigkeit des Apparates sind massive Endplatten erforderlich. Die Technologie wurde bereits bei Mikromischern der Chemieindustrie erprobt und wird beherrscht. Die Kosten sind zurzeit aber noch sehr hoch. Für die Fertigung von komplizierten Mikrostrukturen, wie sie z. B. in Kreuzgegenstromwärmetauschern vorherrschen, sind stereolitho-

grafische Verfahren grundsätzlich geeignet. Diese haben den Vorteil, dass die 3D-Konstruktionsdaten direkt in die Steuerung der Fertigungseinrichtung übertragen werden können. Das verspricht für die Zukunft eine kostengünstige, anwendungsbezogene Konstruktion und Fertigung der Wärmetauscher.

Für Bauteile aus Metallen wurde das selektive Laserschmelzen ausgewählt. Bei diesem Verfahren wird Metallpulver schichtweise aufgetragen und geschmolzen. In einem ersten Test konnte die prinzipielle Eignung des Verfahrens für die Herstellung der Kanäle mit 100 µm Abmessung demonstriert werden. Bei der Fertigung arbeitet das ILK mit dem LIM in Mittweida zusammen.

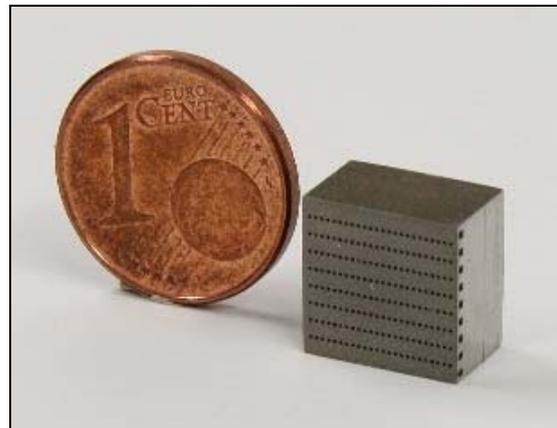


Bild 2: Kreuzgegenströmer - Fertigungstest ILK-Muster

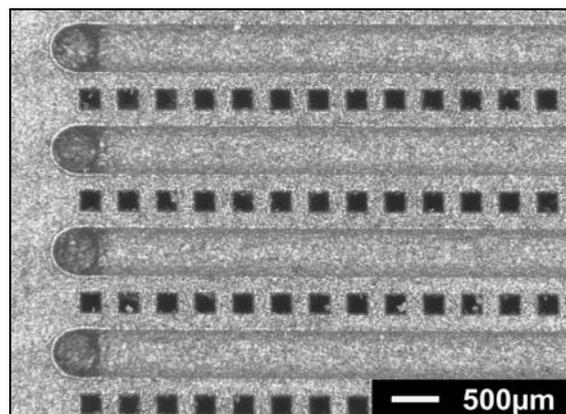


Bild 3: Kreuzgegenströmer - Innenstruktur

Gegenwärtig treten während der Fertigung noch Probleme durch Rissbildung auf. Das zeigt das hohe Risiko bei der Entwicklung von neuen, weit in die Zukunft reichenden Technologien. Die technologischen Unter-

suchungen werden gegenwärtig fortgesetzt.

### 3. FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2010

#### Wärmepumpen

Die Akkreditierung des Prüflabors Wärmepumpen im ILK Dresden wurde in diesem Jahr erneut erfolgreich erweitert.

Neben dem Prüfgebiet „Ermittlung der Heiz- und Kühlleistung an Fluidenergiermaschinen und kältetechnischen Bauteilen“ wurde ein Schallmessverfahren nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.



Somit sind alle Voraussetzungen als zugelassenes Prüflabor für das D-A-CH/EHPA-Gütesiegel an Wärmepumpen erfüllt. Damit wird im Bereich der Dienstleistungen das europäische Spitzenniveau mitbestimmt.

Ende des Jahres konnte der erste Prüfauftrag für das Gütesiegel akquiriert werden.

Zusätzlich wurden Untersuchungen an Heiz- und Brauchwasserwärmepumpen im Industrieauftrag durchgeführt. Dafür war es notwendig, spezielle Prüfzyklen und Messmethoden zu entwickeln, da die Wärmepumpen mit internen Speichern ausgerüstet waren. Dadurch sind die standardisierten Prüfverfahren nicht mehr anwendbar.

Für die Wärmepumpenhersteller ist der Nachweis einer hohen Energieeffizienz entscheidend für die Vermarktung, da sonst für den Endkunden die Beantragung von Fördermitteln nicht möglich ist. Deshalb ist die messtechnische Prüfung von Sonderfällen eine sehr gefragte Dienstleistung.

#### Komponenten und Verdichter

Das Angebot an messtechnischen Untersuchungen ergibt sich oftmals direkt aus den öffentlich geförderten Forschungsprojekten. Zur Durchführung dieser Projekte werden in der Regel im ILK-Versuchsfeld Prüfeinrichtungen aufgebaut, die nach Abschluss des Projektes auch für Dienstleistungsmessungen eingesetzt werden. Dabei kommen die aus der Forschung gewonnen Erkenntnisse direkt zum Tragen.

Beispielsweise wurden Untersuchungen an Wärmemengenzählern durchgeführt, wie sie standardmäßig in Heizkesselanlagen verwendet werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass diese Messgeräte auch bei Wärmepumpenanlagen zuverlässige Ergebnisse liefern. Aus der Praxis bestanden daran erhebliche Zweifel, da bei drehzahlregulierten Wärmepumpen sehr geringe Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf auftreten können.



Bild 1: Wärmemengenzähler

Im Bereich der Kältemittelverdichter wird verstärkt die Beurteilung von Schäden und deren Ursachen nachgefragt. So wurden ausgefallene Kältemittelverdichter aus

Bahnklimaanlagen hinsichtlich der mechanischen Schäden bewertet.

Zur Ermittlung der Schadensursachen wurden Prüfzyklen mit gezielten Fehlbelastungen entwickelt und experimentell getestet. Die Ergebnisse erlauben dem Kunden die Abschätzung der Gewährleistungsrisiken.



Bild 2: Verdichterkolben mit Schaden

Im Jahr 2010 erfolgte die erste Leistungsmessung an einem überkritischen CO<sub>2</sub>-Verdichter für einen Kunden im ILK. Durch entsprechende Forschungsprojekte für das Kältemittel Kohlendioxid wurden in den letzten Jahren rechtzeitig die notwendigen Voraussetzungen geschaffen.

In den nächsten Jahren ist mit der Zertifizierung dieser Verdichter durch die ASERCOM zu rechnen. In der Folge wird der Bedarf nach entsprechenden Leistungsmessungen ansteigen.

In der Industrie spielt das Thema Energieeinsparung weiterhin eine zunehmende Rolle. Insbesondere für Firmen mit einem hohen absoluten Energieverbrauch ist das ein Kostenfaktor. Dadurch ergibt sich aber auch ein großes Einsparpotential einer mit einer interessanten Rückflussdauer für die Investitionen.

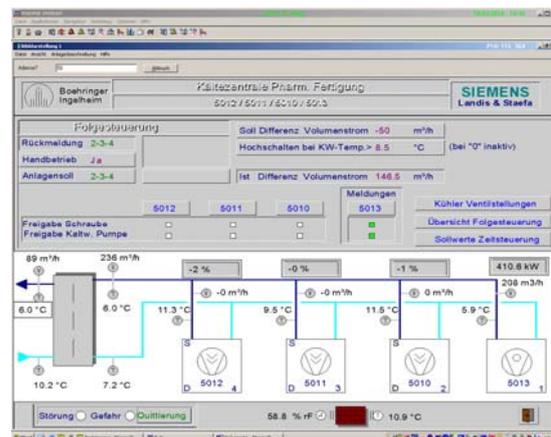


Bild 3: Kaltwasserversorgung

Das ILK konzentriert sich bei der Energieeffizienzberatung auf die Industrie, insbesondere auf Fälle mit Kälteanlagen. So wurde im Jahr 2010 die Kaltwasserversorgung eines Pharmaunternehmens untersucht. Dafür wurden die Lastprofile der unterschiedlichen Verbraucher aufgestellt. Verschiedene Maßnahmen wurden vorgeschlagen, die zu einer weiteren Reduzierung der Energiekosten führen. Interessante Möglichkeiten sind die freie Kühlung in der kalten Jahreszeit und die Integration eines Eisspeichers.

#### 4. Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen

Auch im abgelaufenen Geschäftsjahr wurden wieder einige kältetechnischer Prüfstände für die Industrie entwickelt.

Ein wichtiges Verkaufskriterium bei Haushaltskühlschränken ist das Geräuschverhalten. Da Kühlschränke auch in der Nacht in Betrieb sind, werden die Geräusche oft besonders kritisch bewertet.

Die Hauptquelle für den Lärm ist der Verdichter. Deshalb werden für Geräte der „Weißen Ware“ Hermetikverdichter verwendet. Diese sind so konstruiert, dass die Entstehung des Schalls reduziert wird. Das wird durch die Aufhängung des Verdichters an Federn in der Druckkapsel erreicht. Obwohl dadurch die Weiterleitung des Schalls vom Verdichter zur Kapsel stark behindert wird, können dennoch Geräuschprobleme entstehen. Deshalb werden die Hermetikverdichter hinsichtlich ihres Lärmpegels und des Frequenzban-

des untersucht, bevor sie für die Fertigung freigegeben werden.



Bild 1: Akustikprüfstand

Das ILK entwickelte einen Prüfstand, der es gestattet, die relevanten Betriebspunkte des Verdichters einzustellen. An diesen Betriebspunkten erfolgen dann die schalltechnischen Messungen. Für die praktische Umsetzung wurden wesentliche Erkenntnisse des Förderprojektes „Regelverfahren kleiner Leistung“ herangezogen.

In den letzten Jahren hat sich das Kältemittel CO<sub>2</sub> wieder in der Kältetechnik etabliert. Hintergrund der Wiedereinführung ist die Klimaschutzdebatte. Da die fluorierten Kältemittel starke Treibhausgase sind, erhält Kohlendioxid eine neue Chance. Das Kältemittel war bereits in den Jahren 1870 bis 1930 insbesondere in der Schiffskältetechnik im Einsatz.

Mit der Renaissance von Kohlendioxid wurden bei allen namhaften Herstellern neue Verdichter entwickelt, die speziell für die hohen Betriebdrücke bis zu 150 bar ausgelegt sind. Damit können sogenannte überkritische Kältekreisläufe realisiert werden. Das ist beispielsweise für Supermarktkälteanlagen notwendig.



Bild 2: Prüfstand für CO<sub>2</sub>-Verdichter

Für die hohen Drücke wurde zum ersten Mal ein Leistungsprüfstand entwickelt, der halbautomatische Messungen nach EN 13771-1 erlaubt. Der Verdichterhersteller kann damit seinen Kunden verlässliche Leistungsangaben zu seinen Verdichtern bereitstellen.

Da gegenwärtig die Verkaufszahlen der CO<sub>2</sub>-Verdichter ansteigen, ist auch in der Zukunft mit einem weiteren Bedarf an Prüfständen für Kohlendioxid zu rechnen.

Die Entwicklung dieser Prüfstände ist gegenwärtig noch mit einem erheblichen Risiko verbunden. Das ILK konnte diese Risiken nur tragen, da in der Vergangenheit bereits Vorentwicklungen in Förderprojekten erfolgten. So wurde im Projekt „Komponenten für CO<sub>2</sub>-Kreisläufe“ ein universeller Prüfstand im ILK-Versuchsfeld errichtet. Somit konnten rechtzeitig experimentelle Erfahrungen gesammelt werden.

Das Geschäftsfeld der Prüfstände wird durch weitere Dienstleistungen im Umfeld sinnvoll ergänzt. So übernimmt das ILK für die selbst entwickelten Prüfstände auch auf Kundenwunsch die weitere Betreuung. Das betrifft in erster Linie die regelmäßige Kalibrierung der Messtechnik, so dass die Qualität der normgerechten Prüfungen ständig gesichert ist.

## 5. Klimatechnik

### Entwicklung einer aktiven Innenfensterbanklüftung

Dieses Projekt ist ein Kooperationsvorhaben zwischen der Bavaria Fensterbau GmbH Ergolding und dem ILK Dresden. Es wird von der AiF im Rahmen des ProInno-Förderprogrammes gefördert. Die Bearbeitung begann im Juli 2008 und endet gemäß Beantragung im Mai 2011. Im Ergebnis steht eine seriennahe Lösung für ein Lüftungssystem für Räume, welches im Bereich der Fensterbank als fester Bestandteil eines Fensters integriert wird.

#### Zielstellung

Das wesentliche Ziel in diesem Projekt ist die Entwicklung, der Aufbau und der Nachweis der Leistungsfähigkeit einer aktiven Fensterbanklüftung, die der Regulierung der Feuchtebelastung in Räumen dient. Dieses System soll dann voll automatisch in Betrieb gehen, wenn die Raumfeuchte durch eine regelmäßige manuelle Fensterlüftung (Stoßlüftung) nicht geregelt werden kann.

Ein solches Lüftungssystem ist als fester Bestandteil des Fensters konzipiert. Im Hohlraum der Innenfensterbank werden dafür die Funktionen der Wärmerückgewinnung und der Luftführungen zwischen Raum- und Außenbereich realisiert. Im Falle einer Sanierung garantieren diese Rahmenbedingungen die Nutzung vorhandener Maueröffnungen ohne Reduzierung der Glasfläche. Die Sicherstellung der Wartungsfreundlichkeit ist ein wesentliches Entwicklungskriterium.

Der Prototyp soll in der ersten Ausführung eine Breite weniger als 300 mm, eine Länge von 1000 mm und eine Höhe von maximal 40 mm haben. Der beengte Bauraum ist die eigentliche Herausforderung für ein strömungstechnisch und akustisch praktikables System.

Die automatische Steuerung und Regelung wird über Feuchte-/ Temperatursensoren realisiert. Der dafür auszuwertende Parameter ist der Feuchtegehalt der Luft jeweils im Raum bzw. in der Umgebung.

Zu berücksichtigen sind Grenzwerte für den Betrieb des Systems. Verschiedene Betriebsmodi für den manuellen und zeitgesteuerten Betrieb werden zusätzlich integriert.

#### Auslegung, Entwicklung und Aufbau

Die Auslegung des Lüftungssystems beinhaltet neben der Festlegung der Betriebsparameter die Definition und die Auswahl der Hauptkomponenten. Für die Funktion der Luftentfeuchtung wird ein Volumenstrom von ca. 20 m<sup>3</sup>/h erforderlich. Die dabei zu realisierende Luftwechselrate im Raum wird mit 0,5 1/h empfohlen.

Das Ergebnis einer aktiven Fensterbanklüftung auf Basis des Funktionsprinzips „Luftförderung“ zeigen die Bilder in Bild 1.

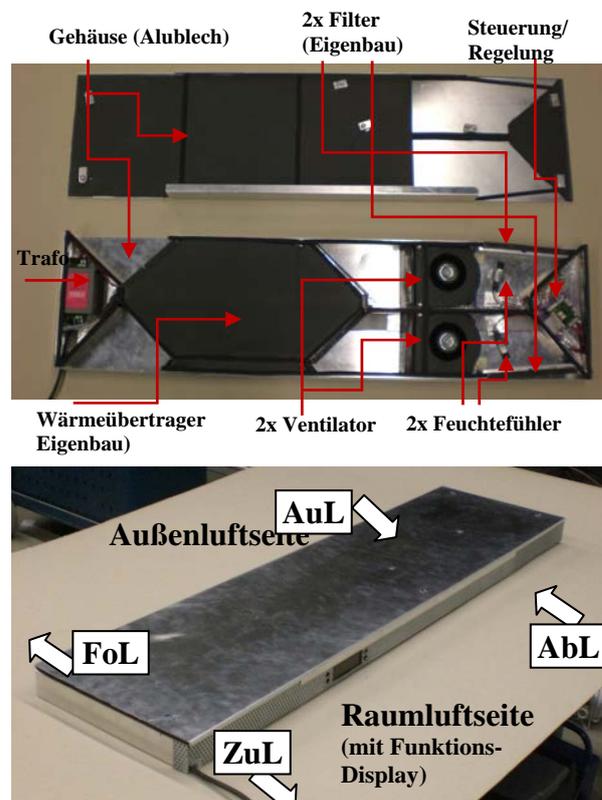


Bild 1: Prototyp aktive Fensterbanklüftung, oben: Innensicht, unten: Außenansicht

Für die Wärmerückgewinnung ist ein Plattenwärmeübertrager aus Aluminium dimensioniert, entwickelt und aufgebaut worden. Die Filter an den Lufteinlässen wurden ebenfalls speziell für diese Anwendung konzipiert. Am Markt verfügbare Komponenten sind die Gleichstromventilatoren und die Feuchte-/ Temperaturfühler. Mit der entwickelten Steuerung und

Regelung können Leistungsstufen zwischen Minimum, Mittel und Maximum gewählt werden. Die Simulation einer Stoßlüftung erfolgt in der maximalen Leistungsstufe. Diese Leistungsstufen können in den Betriebsmodi „automatisch“, „zeitgesteuert“ und manuell generiert werden. Zurzeit sind noch zwei weitere Leistungsstufen implementiert.

### Leistungsdaten

Das Leistungsvermögen der aktiven Fensterbanklüftung unterteilt sich in die Kategorien

- geförderter Luftvolumenstrom,
- Wärmerückgewinnung und
- Akustik

in Abhängigkeit der Leistungsstufen und eingebauter Filter. Letztere beeinflussen wesentlich die Leistungscharakteristik, weil z. B. Feinfilter gegenüber Grobfiltern einen messbar höheren Druckverlust verursachen. Für die Fensterbanklüftung ist ein Grobfilter ausreichend.

Bild 2 zeigt ein Diagramm mit den gemessenen Luftvolumenströmen in Abhängigkeit der Leistungsstufen.

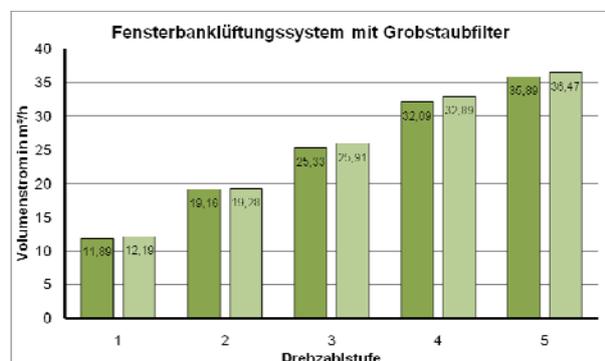


Bild 2: Volumenstrom in Abhängigkeit der Leistungsstufen

Für die Funktion einer Raumentfeuchtung sollte in Räumen bis 30 m² ein Luftvolumenstrom von 18 bis 22 m³/h gefördert werden. Die mittlere Leistungsstufe 3 erfüllt diese Empfehlung.

Die Wärmerückgewinnung ist vom Funktionsprinzip des Wärmeübertragers, dem Volumenstrom und den Enthalpiezuständen an den Lufteintritten abhängig. Aufgrund der Luftführung im Gerät dominiert das Gleichstromprinzip. Theoretisch sind damit maximale Rückwärmzahlen von

50 % möglich. Bild 3 zeigt die thermische Leistungsfähigkeit des entwickelten Plattenwärmeübertragers in der aktiven Fensterbank.

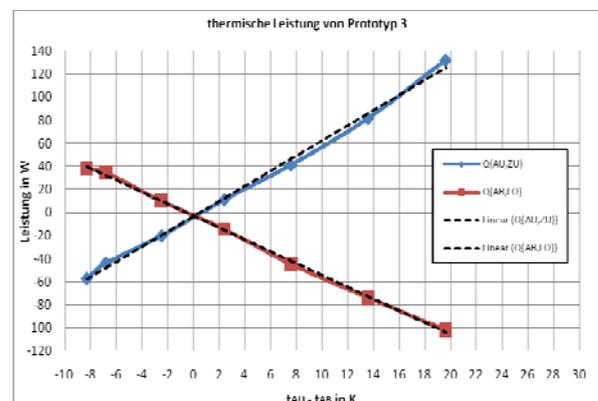


Bild 3: thermische Leistung für die Zu- und Abluftseite

Für einen Volumenstrom von 25 m³/h werden zuluftseitig Rückwärmzahlen von nahezu 50 % erreicht.

Die akustischen Eigenschaften verlieren dann an Bedeutung, wenn die Lüftung nur dann in Betrieb geht, wenn sich keine Personen im Raum aufhalten. Jedoch kann ein solches System auch dann in Betrieb genommen werden, wenn Personen im Raum sind. Ähnlich wie bei der PKW-Belüftung werden Strömungsgeräusche auftreten, die mit dem Luftvolumenstrom zunehmen. Bei 25 m³/h können 60 dB(A) erreicht werden (Bild 4).

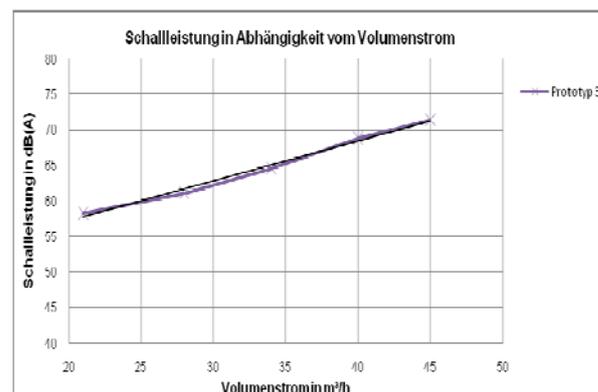


Bild 4: Schalleistung (A-bewertet) der aktiven Fensterbanklüftung.

### Fazit

Die Zielstellungen dieses Kooperationsvorhabens zwischen der Bavaria GmbH und dem ILK Dresden gGmbH sind erreicht worden. Mit Abschluss des Projektes steht ein Prototyp zur Verfügung, der eine gute Basis für einen Serienaufbau

und Grundlage für die Definition von Baugruppengrößen ist. Optimierungspotential besteht noch hinsichtlich der Akustik.

## Entwicklung eines Enthalpietauschers

Ziel des Verbundprojekts „Katube.X-changer“ ist es, einen neuen Enthalpietauscher zu entwickeln, mit dem der Energieverbrauch von RLT-Anlagen entscheidend reduziert werden kann. Aufgabe des ILK Dresden sind die Leistungsmessungen an verschiedenen Entwicklungsetappen des Enthalpietauschers und die praktische Erprobung kompletter Prototypen im Versuchsstand.

Folgende Firmen und Institute sind an diesem Projekt beteiligt:

- BeKa Heiz- und Kühlmatten GmbH
- Herbst Umwelttechnik GmbH
- Riccius + Sohn Regelungstechnik und Gebäudeautomation GmbH
- Wolfgang Rupp Schlossermeister GmbH
- Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH
- Technische Fachhochschule Berlin

Kernstück des neuen Enthalpietauschers ist eine völlig neu entwickelte Kapillarrohrmatte aus Polypropylen. Sie ist leicht, chemikalienresistent und bietet eine große Fläche für die Wärmeübertragung. Mehrere solcher Matten werden zu einem Paket zusammengeschlossen, wodurch eine Wärmerückgewinnungseinheit entsteht.

Bereits nach Vorlage der ersten Kapillarrohrmatten erfolgten Simulationsrechnungen durch das ILK Dresden. Diese Berechnungen schufen ein grundlegendes Verständnis für die thermodynamischen und hydraulischen Besonderheiten der Matte. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden zunächst einzelne Matten in einem separaten Versuchsstand und später komplette Pakete, bestehend aus bis zu 30 einzelnen Matten untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war die Bestimmung der übertragenen Wärmeleistung in Abhängigkeit von Mattenausführung und dem Abstand zwischen den ein-

zelnen Matten. Die übertragene Wärmeleistung musste gegen die für den Transport der beiden Medien (Luft und Wasser) benötigte Leistung abgewogen werden.

Zusammen mit Erkenntnissen auch aus anderen Forschungsvorhaben konnte dargestellt werden, dass die Anordnung der Matten untereinander eine wichtige Voraussetzung für einen guten Wärmeübergang ist. So sind die übertragenen Leistungen bei versetzt angeordneten Matten höher als bei gleichsinniger Anordnung.

Ausgehend von der Spaltströmung wurde festgestellt, dass die theoretischen Leistungen im praktischen Einsatz nicht erreicht wurden. Die Ursachenforschung mit Simulationsrechnungen und laseroptischen Verfahren (Particle-Image-Velocimetry) zeigte, dass zwischen den Matten nicht die angedachte Spaltströmung vorliegt. Vielmehr bilden sich aufgrund der Oberflächenstruktur parallel zur Strömungsrichtung einzelne Strömungskanäle. Diese Kanäle führen zu niedrigeren Wärmeübertragungsgraden und in Summe zu einer etwas niedrigeren Betriebscharakteristik.

In Hinblick auf das Projektziel war eine weitere Aufgabe, den Einfluss einer Beschichtung der Matten für die sorptive Entfeuchtung auf den Wärmedurchgang einzuschätzen. Dazu erfolgten Berechnungen für unterschiedliche Mattengeometrien und Beschichtungsmaterialien. Aus den Ergebnissen konnten für den Projektpartner wesentliche Hinweise für die Gestaltung seines beschichteten Enthalpietauschers abgeleitet werden. Die Messungen für den Einsatz als System werden noch vor Projektende durchgeführt.



Bild 1: Ausschnitt zweier Matten mit Luftspalt

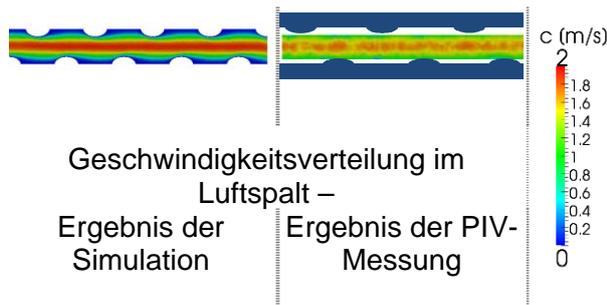


Bild 2: Vergleich der Ergebnisse von Simulation und PIV-Messung für die Geschwindigkeitsverteilung der Luft zwischen zwei Matten

### Optimierung von strukturierten Rohren mit Nanofluiden

Energie ist in Zeiten knapper werdender Ressourcen ein kostbares Gut. Sollen Transport, Übertragung und Speicherung so effektiv wie möglich erfolgen, so sind innovative Ideen gefragt. Stehen thermofluidmechanische Fragestellungen im Vordergrund, sind es zumeist überströmte Oberflächen bzw. durchströmte Kanäle, die durch Formgebung und Oberflächenstrukturierung optimiert werden. Die Fähigkeit des Wärmeträgers, Wärme zu leiten, bleibt davon unberührt. Schon seit langem gibt es daher Versuche, zumeist durch Beimengung von Partikeln auch die Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten zu erhöhen.

Nanofluiden bestehen aus einem Basisfluid und den sogenannten Nanopartikeln. Zumeist handelt es sich bei dem Basisfluid um Wasser. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden Nanofluiden auf Basis Wasser mit Beimengungen von Aluminium-, Silizium- und Titanoxid untersucht. Die Fragestellungen gliedern sich dabei in zwei Schwerpunkte. Zunächst geht es um die Bestimmung der Stoffwerte und hier insbesondere um die Wärmeleitfähigkeit. Hierzu steht am ILK die innovative Zylinderspaltmethode zur Verfügung (Nikolaus et al., 2011). Zum Zweiten werden ausgewählte Nanofluiden in einer Rohrströmung bzgl. ihres thermofluidmechanischen Verhaltens untersucht (Bild 1).

Die durchgeführten Messungen der Wärmeleitfähigkeit von drei verschiedenen Nanofluiden ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{TiO}_2$ -Wasser) mit wechselnden Konzentrationen

an Nanopartikeln ergab, dass dieser Stoffwert sich entsprechend der klassischen Theorie nach Nan et al. (1997) verhält (Ehle et al., 2011). Die Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Nanofluiden kann, basierend auf dieser Erkenntnis, direkt aus den Stoffwerten der einzelnen Komponenten sowie der Konzentration der Nanopartikel bestimmt werden.

Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit neueren Benchmarkuntersuchungen des MIT (Buongiorno et al., 2009). Die Steigerung der Wärmeleitfähigkeit kann dabei in Abhängigkeit vom Material und der Konzentration der Nanopartikel bis zu 30 % gegenüber purem Wasser betragen.

Die bisher durchgeführten Messungen des Wärmeübergangs von Nanofluiden zeigen, dass Nanofluiden sich als einphasige Fluide verhalten. Ihr Wärmeübergang kann daher höchstwahrscheinlich mit bekannten Nußeltzahl-Gleichungen berechnet werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch die exakte Kenntnis der Stoffwerte. Auch dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit internationalen Veröffentlichungen (Rea et al., 2009).

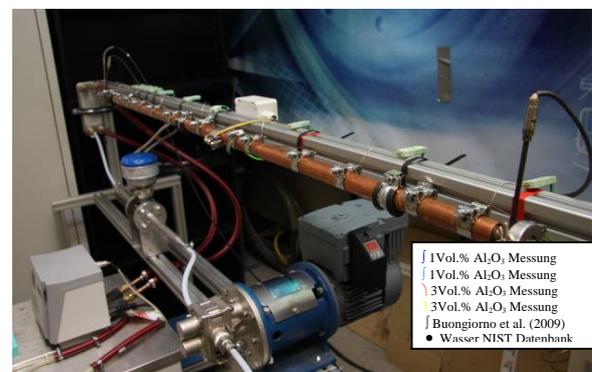


Bild 1: Versuchsaufbau ohne Isolation

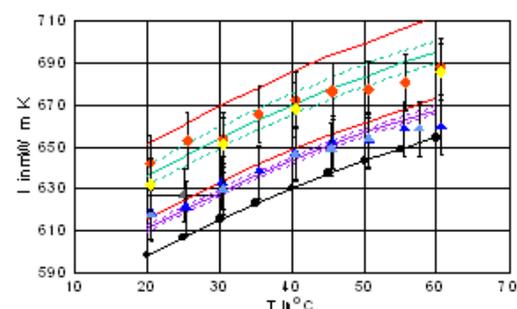


Bild 2: Wärmeleitfähigkeiten der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Nanofluiden  
Rote Maxwell-Theorie, violette Nan-Theorie für einen mittleren Wert von  $\alpha$ .

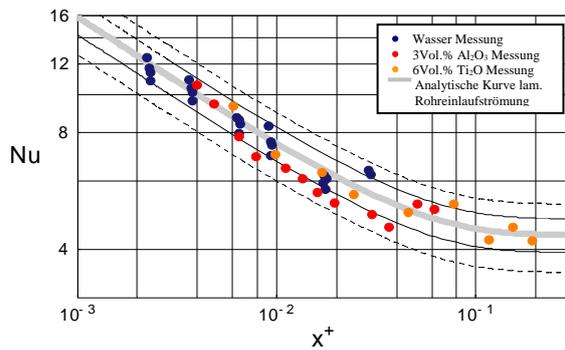


Bild 3: Nußeltzahl in Abhängigkeit von der dimensionslosen Lauflänge

### Literatur

Buongiorno J. et al. A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids. *J Appl Phys* 106:094312, 2009.

Ehle, A., Feja, S., Buschmann, M. H. Temperature dependency of ceramic nanofluids shows classical behavior. *J. Thermophysics & Heat Transfer* (in press), 2011.

Nan, C.-W., Birringer, R., Clarke D.R., Gleiter H. Effective thermal conductivity of particulate composites with interfacial thermal resistance. *J Appl Phys* 81:6692-6699, 1997.

Nikolaus, M., Feja, S., Buschmann, M.H. Nanofluidе – Besser als Wasser?, *KI Kälte-, Luft- und Klimatechnik* 2011.

Rea, U. McKrell, T., Hu, L., Buongiorno, J.: Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina–water and zirconia–water nanofluids. *J. of Heat and Mass Transfer* 52: 2042–2048, 2009.

### Entwicklung eines Mess- und Analysensystems zur energetischen Inspektion von Klimaanlage

In der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wird vom Gesetzgeber in §12 die Prüfung der Effizienz der wesentlichen Komponenten von Klimaanlage mit einem Kältebedarf von mehr als 12 kW in einem Intervall von 10 Jahren gefordert.

In einem Klima- bzw. Lüftungsgerät sind von den zahlreichen Prozessschritten die Luftzustandsgrößen sowie die Luftvolumenströme nur bedingt oder mit sehr hohem Aufwand messbar. Zudem wird ein RLT-Gerät durch verschiedene Energieträger versorgt, zu deren Erfassung und Bewertung eine entsprechend hohe Sensorausstattung erforderlich ist. Trotz der hohen Anzahl an Messstellen unterliegen die unter praktischen Bedingungen ermit-

telten Messwerte verschiedenen Störeinflüssen. Bei der Bewertung des sich aus den Messwerten ergebenden Prozessverlaufes erweist sich daher ein hoher Interpretationsspielraum. Dies ist nicht im Sinn der EnEV, in der der Gesetzgeber die energetischen Inspektionen zum Erkennen von Energieeinsparpotentialen fordert.



Bild 1: Energetische Optimierung von Klimaanlage

Intention des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Mess- und Diagnosesystems, welches es ermöglicht, mit geringem Aufwand, jedoch hoher Zuverlässigkeit, alle für die energetische Bewertung von Klimaanlage notwendigen Prozesskenngrößen zu ermitteln. Die Kenntnis von zuverlässigen Luftzustands- und Leistungsparametern ist für die aussagekräftige Bewertung der Energieeffizienz der Klimaanlagekomponenten zwingend erforderlich.

Dazu stützt sich das Entwicklungsvorhaben auf nachfolgende Schwerpunkte:

- Erstellung von Modellen für die messwertgestützte Simulation der Prozesse in einem Klimagerät sowie Entwicklung von Algorithmen zur Selbstdiagnose und Validierung der Messdaten im Interesse der eindeutigen Bestimmung von Energiekennwerten,
- Entwicklung von kostengünstigen Verfahren zur integralen Messung von Prozessgrößen in Klimaanlage,
- Überführung der Erkenntnisse in die Entwicklung eines „Messkoffers“ zur Bestimmung der Energiekennwerte.

Im Ergebnis entsteht ein mobiles und anwenderfreundliches Gerät, in dem die notwendige Sensortechnik, die Rechen-

technik für die Prozesssimulation sowie softwarebasierte Verfahrensvorschriften und die Auswertungen enthalten sind.

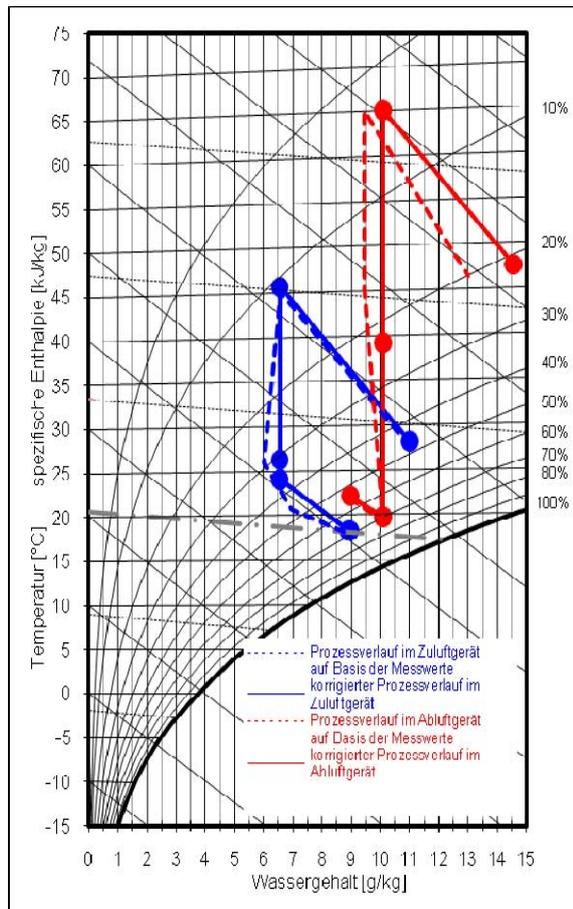


Bild 2: Gegenüberstellung der Prozesszustandsänderungen Messwerte / Modellberechnung im Mollier h,x-Diagramm

## 6. Innovative TGA-Planung am ILK 2010

### Staatliche Kunstsammlungen Dresden Energieeffizienzmaßnahmen Dresdener Schloss Technische Ausrüstungen

Die Grundlagen für die Realisierung der Energieeffizienzmaßnahmen leiten sich aus einer gesamthaften ILK-Studie zur Bewertung möglicher Energieeffizienzmaßnahmen dieser Liegenschaft ab. Als besonders wirtschaftlich werden die Teilmaßnahmen

- Geregelt Veränderung der Luftvolumenströme in RLT-Anlagen,
- Integration / Erweiterung von WRG-Systemen und
- Volumenstromsplitting in RLT-Anlagen

eingestuft und im Jahr 2010 bis 2011 zur Realisierung gebracht.

Im Hinblick auf die Realisierung wurden die einzelnen Maßnahmen nochmals einer detaillierten Untersuchung der praktischen Randbedingungen und der Wirtschaftlichkeitsbewertung unterzogen. Die Einzelmaßnahmen waren gemäß VwV Energieeffizienz wirtschaftlich darstellbar.

Der Gesamtvolumenstrom wird in Abhängigkeit von Stofflasten, Luftqualität und Nutzungs- und Anforderungszeiträumen für die RLT-Anlagen RLT S/03 (Klimaanlage Werkstätten Südteil) geregelt. Auf Grundlage einer durchgeführten Gefahrstoffanalyse werden dazu folgende Regelfunktionen ausgeführt:

- definierter schadstoffabhängiger Mindestvolumenstrom nur innerhalb der regulären Nutzungszeiten der Restauratoren, Luftmengenerhöhung bei Anforderung Punktabsaugung,
- außerhalb der Nutzungszeit (Nacht, Wochenende) raumbezogene Abschaltung der Luftversorgung,
- bedarfsabhängige Luftmengenerhöhung durch Anforderung der Restauratoren mittels „Lüftungsbedarfstaster“ (auch innerhalb der Abschaltzeiten) mit definierter Nachlaufzeit
- übergeordnete Raumtemperatur- und Feuchteregeung mittels variabler Volumenstromregelung.

Des Weiteren wird vorgeschlagen, in der RLT S/03 (Klimaanlage Werkstätten Südteil, 20.000 m<sup>3</sup>/h) im Ergebnis der Gefahrstoffanalyse den derzeit vorhandenen Plattenwärmeübertrager durch einen Kondensationsrotor zu ersetzen.

Der Kondensationsrotor ermöglicht neben der Wärme- auch eine Feuchterückgewinnung und damit eine deutliche

Reduzierung der Befeuchtungsleistung der nachgeschalteten Dampfbefeuchter.

Für die RLT-Anlage RLT GG 33.01C (Zentrale Außenluftaufbereitung Grünes Gewölbe) wird die Aufteilung der Luftvolumenströme auf die Haupt- und die Redundanzanlage als wirtschaftliche Maßnahme eingestuft. Da sich die Redundanzanlage durch eine fehlende Wärmerückgewinnung von der Hauptanlage unterscheidet, bedarf es, um durch die Volumenstromaufteilung einen erhöhten Wärmeenergieverbrauch auszuschließen, der Nachrüstung eines WRG-Systems als Kreislauf-Verbund-System.

Im Ergebnis der detaillierteren Untersuchung und der Analyse der Gerätekarten zeigt sich, dass bei ganzheitlicher Betrachtungsweise gegenüber der Nachrüstung eines KV-Systems durch den hohen baulichen Aufwand, die erhöhten Druckverluste und die für Dauerbetrieb unzureichenden schalldämpfenden Maßnahmen im Bestand ein vollständiger Ersatz der Redundanzanlage die wirtschaftlichere Lösung darstellt.

Das schafft neben der Möglichkeit einer effizienten lufttechnischen Auslegung der neuen Redundanzanlage die Gelegenheit, eine hocheffiziente Enthalpierückgewinnung vorzusehen und damit auch eine energetisch optimale Anlagenkonfiguration zu schaffen.

Bei der Auslegung der neuen Redundanzanlage ist die elektrische Anschlussleistung an die Bestandswerte anzupassen. Die Anlagen können nach dem Umbau im Parallelbetrieb genutzt werden, was den elektrischen Energiebedarf der Hauptanlage für den Lufttransport drastisch reduziert.



Bild 1: Dresdner Schloss

## 7. Luftreinigungstechnik

### Klimagerät Airflower

Das Klima in Räumen mit den wichtigen Charakteristika Temperatur, Feuchte und Luftreinheit beeinflusst das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. In Räumen mit Publikumsverkehr, wie beispielsweise Büros, Praxen, Schulungs- oder Verkaufsräumen treten höhere Konzentrationen an Luftschadstoffen auf.

Das Ziel des mit der Firma novus Verfahrenstechnik bearbeiteten FuE-Vorhabens war die Entwicklung eines mobilen, dezentralen Raumklimagerätes mit dem Arbeitsschwerpunkt der kombinierten Luftreinigung von gas- und partikelförmigen Schadstoffen. Das Betriebsverhalten des Systems Airflower wurde im ILK Dresden untersucht. Die Untersuchungen wurden an einem Funktionsmuster durchgeführt, an dem die Einflüsse auf das System im Sommer- und Winterbetrieb simuliert wurden.



Bild 1: Prototyp Klimagerät Airflower

Die Prüfstandsergebnisse waren Grundlage für den Bau eines Prototyps durch die Firma novus Verfahrenstechnik. Das Raumklimagerät mit den gewählten Produktnahmen Airflower verbindet eine kontinuierliche Luftreinigung mit einer Luftkonditionierung in einer Baueinheit.

Mit der gleichzeitigen Nutzung verschiedener, aber sich ergänzender Abscheidemechanismen in einem System wurde ein neuer, unkonventioneller Weg beschritten. Hierzu zählen ein biologischer Schadstoffabbau durch Grünpflanzen, ein elektrostatischer Schadstoffabbau durch Ionisation, das Auswaschen von Schadstoffen an einer berieselten Schüttung und die Adsorption an einem Blähton-Aktivkohlegemisch. Innovativ ist auch die aktive Luftkonditionierung mit der Abkühlung des Luftstromes und der Anhebung der Luftfeuchte durch die erhöhte Verdunstung an der berieselten Blähton-Aktivkohleschicht. Ein nicht unwesentlicher und für Klimageräte unüblicher Aspekt ergibt sich durch den Einsatz von Grünpflanzen, ein möbelartiges, äußeres Design und die Möglichkeit zum Einsatz als standortveränderlicher Raumteiler.

Das System Airflower besteht aus einem Luftwäscher und dem darüber angeordneten Bioreaktor. Luftwäscher und Bioreaktor sind durch einen Wasserkreislauf verbunden. Über die Luftstrecke mit Luftwäscher und Ionisator erfolgt die Ansaugung, Reinigung, Konditionierung und Abgabe der Raumluft.

Im Bioreaktor werden die über den Wasserkreislauf in den Wurzelbereich der Grünpflanzen eingetragenen und aus dem Luftkreislauf abgeschiedenen Schadstoffe in einer Symbiose von Mikroorganismen und Pflanzen biologisch abgebaut.



Bild 2: Prüfstand Airflowersystem als Funktionsmuster

## Biomassesystem

Einzelraumfeuerstätten, welche derzeit am Markt verfügbar sind, zeigen Abgastemperaturen von ca. 200 - 250°C und erreichen damit Wirkungsgrade von ca. 80 %. Die Feuerungsleistung liegt meist bei 7 kW. Kamine sind sehr beliebt, weisen allerdings energetische Nachteile gegenüber Zentralheizkesseln und deren Wirkungsgraden von über 90 % auf. Gleichzeitig ist das mit Einzelraumfeuerstätten verbundene Emissionsniveau höher.

Das Ziel des kooperativ mit 3 weiteren Projektpartnern bearbeiteten FuE-Vorhabens ist die Entwicklung eines Wärmespeicherheizsystems für Festbrennstoffe im häuslichen Bereich, welches die Komponenten

- Kamin,
- Wärmespeicher,
- Abscheider,
- Regelung

beinhaltet.

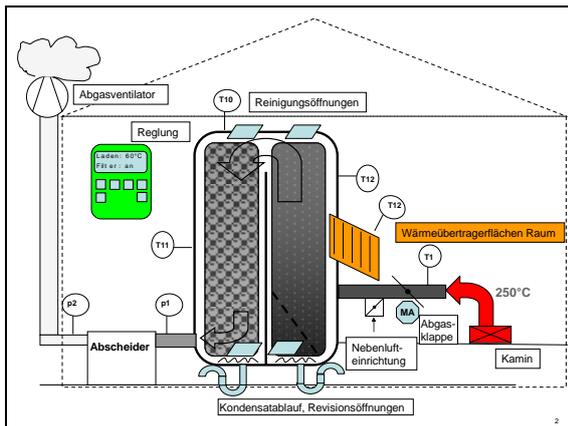


Bild 1: Gesamtschaubild

Teilprojekt des ILK Dresden ist die verfahrenstechnische Gesamtlösung sowie speziell die Aufgabe der Partikelabscheidung. Dabei wird eine innovative Kombinationslösung aus Agglomeration sowie elektrostatischer Abscheidung verfolgt und ein Filtergerät entwickelt, welches den hohen Anforderungen beim Einsatz in Kleinfeuerungsanlagen innerhalb des Systems, aber auch als einzeln gerecht wird.

Um das Filtergerät praxiswirksam einsetzen zu können, sind folgende Zielstellungen gesetzt worden:

- Reingasstaubgehalt lt.1. BImSchV, Stufe 2
- naturzugangepasstes Druckverlustverhalten
- integrierte Abreinigung
- geringe Anwenderkosten.

Bisherige Versuchsergebnisse am Labormusterprüfstand zeigen, dass mit dem Feststoffspeichersystem der Wirkungsgrad des Feuerungssystems um bis zu 14 % erhöht werden kann und Staubkonzentrationen im Reingas von  $< 15 \text{ mg/m}^3$  mittels des Staubfilters erzielt werden können.



Bild 2: Messungen am Labormusterprüfstand im ILK

Durch Messungen mit modernster Messtechnik konnte ein emissions-technisch günstiges Verhalten des Feststoffspeichers und eine Veränderung in der Partikelgrößenverteilung durch heterogene Kondensation und Agglomeration bei der Abkühlung der Rauchgase im Speicher nachgewiesen werden.

### Entwicklung eines Verfahrens zum simultanen Vergleich von Filtern

Die Prüfung von Filtern zur Luftfiltration basiert auf genormten Prüfzyklen. Die zur Prüfung vorgeschriebenen Stäube und Salzaerosole bestehen aus einem hohen Anteil an groben Staubpartikeln und weisen nur geringe Anteile an feinem und ultrafeinem Material im Mikronen- und Submikronen-Partikelgrößenbereich auf.

Zunehmend von Interesse bei der Filtration ist jedoch die Prüfung der Abscheidewirkung von ultrafeinen Partikeln, wie z.B. Rußpartikeln aus motorischen Abgasen des Straßenverkehrs. Hierzu sind die Aussagefähigkeit der derzeitigen Verfahren

und der sinnvolle direkte qualitative Vergleich verschiedener Filter begrenzt.

In eigenen Untersuchungen des Antragstellers zur Filterprüfung nach den geltenden Normen konnte immer wieder die geringe Praxisrelevanz festgestellt werden. In Folge der Trennung von Bestäubung mit Teststäuben und der Untersuchung der Filtereffizienz mit aus Flüssigkeiten generierten Testaerosolen ergibt sich eine Diskrepanz zwischen den sehr guten Testergebnissen im Labor und in den in der realen Anwendung des Filters festzustellenden weitaus niedrigeren Wirkungsgraden.

Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Prüfverfahrens zur effektiven, kostengünstigen, schnellen und simultanen Untersuchung von Filtern für die Luftfiltration mittels Generierung eines Prüfaerosols mit variabel wählbarer Größenverteilung im Bereich 0,05 bis 2  $\mu\text{m}$  und in variabel wählbarer Konzentration auf der Basis von industriell erzeugtem Ruß. Das Prüfverfahren soll einen schnellen, direkten und aussagekräftigen Vergleich verschiedener Filter ermöglichen und gleichzeitig die Effektivität der Filter in der Abscheidung von Mikronen und Submikronen Partikeln quantitativ ermitteln. Über die Beladung der Filter mit industriell erzeugtem Ruß soll ein schnelles Verfahren zur Alterung in das Prüfverfahren integriert werden, welches potentielle Aussagen zur erwarteten Lebensdauer der Filter liefert.

Das Prüfverfahren bietet damit die Möglichkeit eines Einsatzes als schneller Produktionstest zur Qualitätssicherung, als eigentliches Werkzeug in der Filterentwicklung und in der Filterprüfung.



Bild 1: Simultane Prüfung von Filterelementen mit Umgebungsaerosol

In ersten Untersuchungen zur Konzeption der Dispergiereinheiten erfolgte die Erzeugung eines Rußaerosols mittels Trockendispergierung im Vergleich zur Erzeugung mittels eines Flammen-Rußgenerators.

In Anlehnung an die Norm ISO 5011 erfolgt eine serielle Verschaltung von modifizierten Düsen für die Trockendispergierung des Rußaerosols. Es lässt sich zeigen, dass durch die Verschaltung von Düsen eine Rußaerosolerzeugung im geforderten Partikelgrößenbereich möglich und sich gerätetechnisch einfach darstellen lässt.

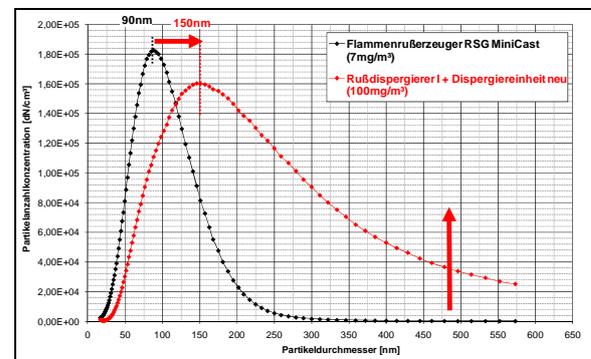


Bild 2: Erzeugung von Rußaerosol

## 8. FuE-Dienstleistungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung 2010

### FuE-Dienstleistungen am Beispiel der Bestimmung der Konzentration ultrafeiner Stäube an einem Laser-Arbeitsplatz

An Laserbearbeitungsmaschinen wurden im Technikum der Fa. Agie Charmilles Messungen zur Exposition am Arbeitsplatz mit Staub und zur Beladung der rückgeführten Reinluft aus den der Maschine zugeordneten Absauggeräten unterschiedlichen Typs durchgeführt.

Dabei wurden auch die Staubinhaltsstoffe Nickel und Chrom untersucht. Weiterhin wurden Messungen zur Partikelgrößenverteilung und Partikelanzahl im ultrafeinen Partikelgrößenbereich durchgeführt.



Bild 1: Messaufbau mit Mobilitätsspektrometer

### Messmethodik

Für die Bearbeitung des Auftrages konnten die Erkenntnisse aus dem Projekt „Kontaminationsfreier Baugruppenträger und Baugruppen“ und die daraus gewonnenen Erfahrungen in der Bestimmung von Abscheidegrenzen für nanoskalige Laseraerosole genutzt werden. Dabei konnte insbesondere das Leistungs- und Emissionsniveau von Abscheidern in Verbindung mit industriellem Laseraerosol sowie die Charakteristik des Laseraerosols aus der Bearbeitung von hochlegiertem Stahl gewonnen werden.

Die Untersuchungen zeigen eine sehr niedrige Konzentration an Gesamtstaub sowie Chrom- und Nickel im Reingas der Absauganlagen.

### Ergebnisse

Die Reingas- Partikelkonzentration zeigt keine Abhängigkeit von der Art des bearbeiteten Werkstoffes. Die Konzentration an krebserzeugenden Metallen im Arbeitsbereich ist sehr niedrig und befindet sich unter dem Grenzwert.

Grundlegend konnte festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Konzentrationsmessung im Arbeitsbereich von den Prozessen der umgebenden Maschinen überlagert sind, d. h. die Staubgehalte und Gehalte an krebserzeugenden Metallen müssen nicht ursächlich und ausschließ-

lich den Prozessen an den untersuchten Maschinen entstammen.

Die Partikelgrößenverteilungen im Arbeitsplatzbereich sind meist trimodal und weisen bei den Partikelklassen 25 nm, 130 nm und 450 nm lokale Maxima auf. Im Zuge der Untersuchungen konnte die Messmethodik für nanoskalige Laseraerosole weiter verbessert werden.

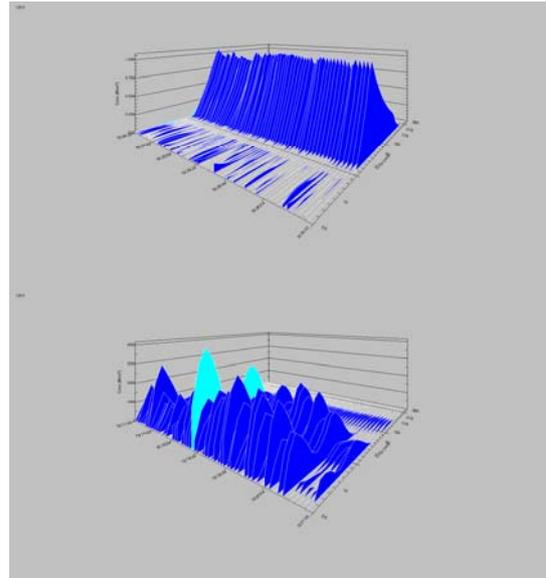


Bild 2 : Partikelgrößenverteilung im Rohgas / Reingas

## 9. Angewandte neue Technologien / Werkstoffe / Messtechnik

### Kältemittelazeotrop Ammoniak – DME

Das Kältemittelazeotrop Ammoniak und Dimethylether (DME) wurde bereits vor mehr als 10 Jahren am ILK entwickelt und es konnte dabei nachgewiesen werden, dass es im Vergleich zu reinem Ammoniak mit Kältemaschinenölen (Mineralöle, Poly-alphaolefine, Alkybenzole) bessere Mischungseigenschaften aufweist. Ein weiterer Vorteil des auch mit R723 bezeichneten Azeotropgemisches wurde auch in der besseren Handhabung als quasi Einstoffkältemittel und einer um ca. 20 - 25 K reduzierten Verdichtertemperatur im Vergleich zur Anwendung mit reinem Ammoniak gesehen.

Seither ist die Entwicklung von Kältemaschinenölen vorangeschritten. Das Anliegen des Forschungsprojektes bestand zunächst in der Qualifizierung von neuen Ölen für die technische Anwendung und der Messung sicherheitstechnischer Kenngrößen des Kältemittelazeotropes. Im Ergebnis der ersten Untersuchungen in Form von sogenannten Seal Tube Tests wurden drei Öle ausgewählt, mit denen stoffspezifische Versuche mit dem Kältemittelazeotrop sowie Materialkompatibilitätsbestimmungen mit verschiedenen Elastomer- und Kunststoffen vorgenommen wurden. Bei den ausgewählten Ölen handelt es sich um ein PAO-Öl der Fa. Fuchs mit der Bezeichnung Reniso Synth 68 und zwei PAO/AB-Öle der Fa. Mobil mit der Bezeichnung Arctic SHC NH 68 sowie der Fa. Klüber mit der Bezeichnung RPA 68.

Bild 1 bis 3 zeigt am Beispiel des Klüber-Öls RPA 68 gemessene Stoffdaten für Dampfdruck, Dichte und Viskosität. Darüber hinaus wurde auch die Mischbarkeiten des Kältemittels mit den verschiedenen Ölen bestimmt.

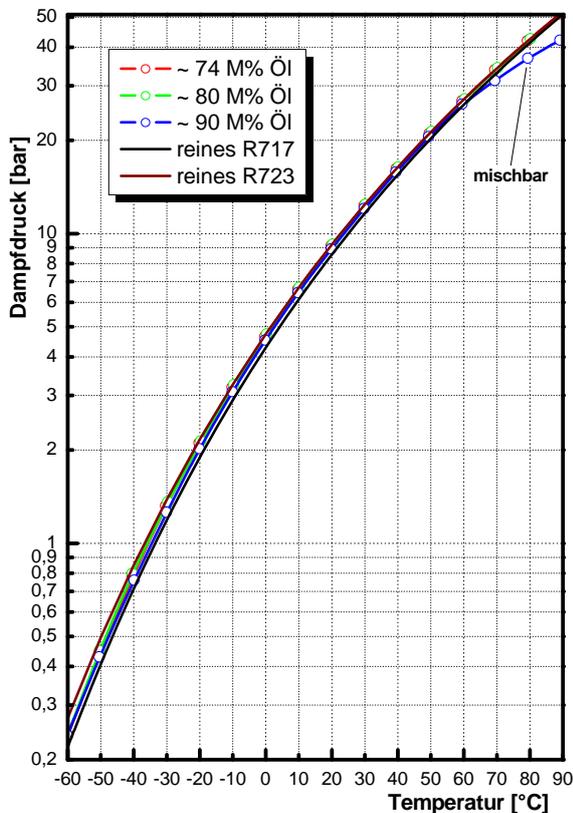


Bild 1: Dampfdruck im System RPA 68 und R723

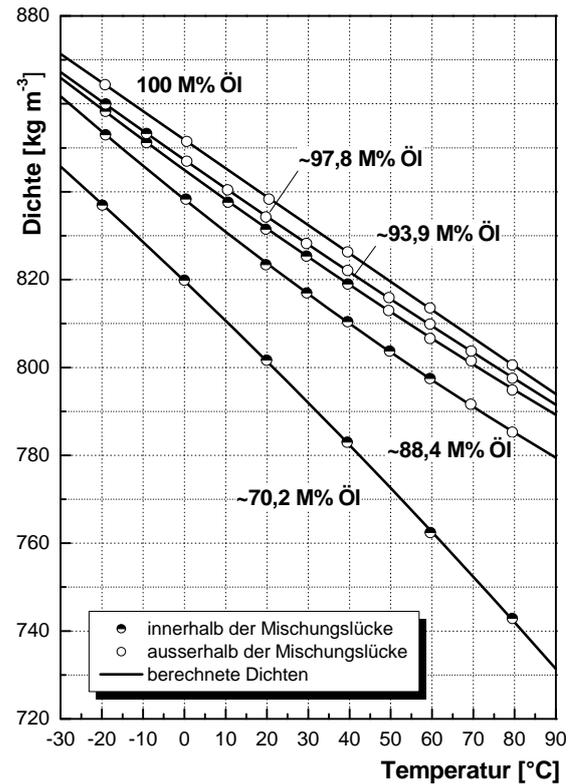


Bild 2: Dichte im System RPA 68 und R723

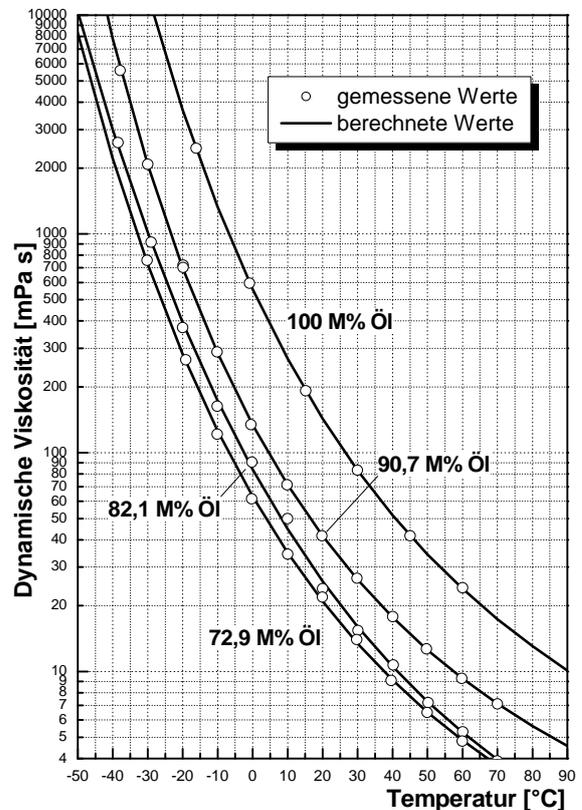


Bild 3: Viskosität im System RPA 68 und R723

Die Ermittlung der unteren Explosionsgrenze von drei Ammoniak-Dimethylether-Gemischen (1. Kältemittelazeotrop mit 60 mass% NH<sub>3</sub> und 40 mass% DME, 2. WCF-Gemisch mit 58 mass% NH<sub>3</sub> und 42 mass% DME, 3. WCFE-Gemisch mit 42,8 mass% NH<sub>3</sub> und 57,2 mass% DME) unter verschiedenen Temperaturbedingungen bei 25, 60 und 100 °C war Inhalt weiterer Untersuchungen, die gemeinsam mit dem Institut für Sicherheitstechnik GmbH IBE-xU vorgenommen wurden und eine Voraussetzung für die Listung des Kältemittels gemäß dem ASHRAE-Standard 34 darstellt. Für alle untersuchten Gemische und Temperaturen wurden untere Explosionsgrenzen in Luft mit Werten kleiner als 0,1 kg/m<sup>3</sup> m<sup>3</sup> ermittelt.

Unter Einbeziehung von zwei HNBR-Materialien der Fa. Kautasit Gummitechnik GmbH und zwei Kunststoffmaterialien der Fa. Sintmann GmbH erfolgten Materialverträglichkeitsuntersuchungen in Form von Langzeittests über 336 h bei erhöhten Temperaturen.

Mit den Untersuchungsergebnissen sollen Voraussetzungen geschaffen werden, die eine breitere Anwendung des Ammoniak-Dimethylether-Azeotropes in industriellen bzw. gewerblichen Kälteanlagen absichern. Um dies zu erreichen, wurden auch spezielle Kenngrößen ermittelt, die u. a. Voraussetzung zur Klassifizierung und Listung des Kältemittels gemäß den ASHRAE-Festlegungen ist. Dies ist dringend erforderlich, damit Kälteanlagenbetreiber entsprechende geforderte sicherheitstechnische Maßnahmen einhalten können. Darüber hinaus werden Herstellern und Betreibern diesbezüglicher Kälteanlagen Basisdaten zur Verfügung gestellt, die eine bessere Absicherung der Anlagen ermöglichen.

### **Optoelektronischer Feuchteindikator für Kälteanlagen**

Wassergehalt und Kältemittelmenge sind wichtige Diagnoseparameter im Kältekreislauf. Vorhandenes Wasser in Kälteanlagen kann verschiedene schädigende Wirkungen haben. Zum einen kann es zu Störungen der Kälteanlagen durch Eisbil-

dung im Kapillarrohr bzw. Expansionsventil bei tiefen Verdampfungstemperaturen kommen und zum anderen können unerwünschte chemische Reaktionen auftreten. Freies Wasser in Kälteanlagen führt zu erheblichem Verschleiß metallischer Bauteile durch Korrosion und kann Hydrolyse-Reaktionen mit Kältemaschinenölen auslösen sowie einige Kältemittel selbst erheblich destabilisieren. Bei dauerhaft erhöhtem Wassergehalt sind Verdichterausfälle, Leckagen an Kältemittelleitungen und Wärmeübertragern mit erheblichen Folgekosten zu erwarten.

Ein konsequentes, systematisches Monitoring des Feuchtegehaltes von Kälteanlagen kann diese Risiken erheblich mindern und gleichzeitig die Service- und Wartungskosten von Kälteanlagen beträchtlich senken. Die in jeder größeren Kälteanlage vorhandenen Schaugläser mit Feuchteindikatoren liefern jedoch kein elektrisches Ausgangssignal der Kältemittelleigenschaften Feuchte und Kältemittelmenge. Dieses ist aber die Voraussetzung für eine automatische Anlagenüberwachung und für eine Ferndiagnose von Kälteanlagen.

Aufbauend auf den Erfahrungen und Untersuchungen bei der Entwicklung des Kältemittelsensors für Kälteanlagen im ILK wird mit modernen Materialien und Technologien ein neuer optoelektronischer Feuchteindikator für Kältemittel entwickelt.

Das Sensorsystem soll als Ergänzungsmodul an kommerzielle Feuchteindikator-schaugläser auch in Bestandsanlagen leicht angebaut werden können. Dazu ist kein Öffnen der Kälteanlage notwendig. Das optische Verfahren beruht auf der Änderung von Reflexionseigenschaften des Farbindikators bei zunehmendem Feuchtegehalt in der Kälteanlage. Die Bewertung der Veränderung dieser Eigenschaften in Abhängigkeit von eingesetztem Kältemittel in der Anlage, Temperatur und Verschmutzungsgrad des Schauglases sind Projektschwerpunkt und Kernkompetenz des ILK.

Die Umsetzung der Zielstellung wird durch die Entwicklung einer geeigneten Elektronik gewährleistet. Zur Verifizierung werden Untersuchungen zu den optischen Eigen-

schaften, zur Stabilität und zur Reproduzierbarkeit der Messung durchgeführt. Weiterhin kann der Sensor neben der Auswertung des aktuellen Feuchtegehaltes der Kälteanlage zusätzliche Anlagenzustände wie z. B. Kältemittelmangel auswerten. Dies wird durch Beobachtung weiterer Prozessgrößen wie der Kältemitteltemperatur oder Blasenbildung realisiert. Das Sensorsystem, bestehend aus Elektronikereinheit und optischem Indikator, wird für den Einsatz mit den verschiedenen am Markt verwendeten Kältemitteltypen entwickelt. Ausgestattet mit einer energieoptimierten Betriebsweise wird das neuartige Indikatorsystem eine breite Anwendung zur Überwachung von Kälteanlagen finden. Zur Anpassung an die jeweiligen Wünsche des Anlagenbetreibers soll das System modular erweiterbar sein und kann mit weiteren Funktionsumfängen nachgerüstet werden.

Anwendungsvorteile bietet der zu entwickelnde Feuchteindikator insbesondere durch die Erhöhung der Betriebssicherheit durch frühzeitiges Erkennen von Leckagen, die Reduktion der Wartungskosten, die Minimierung des Ausfallrisikos und somit insgesamt einer deutlichen Erhöhung der Investitionssicherheit und Wirtschaftlichkeit von Kälteanlagen.



Bild 1: Elektronikbaugruppe

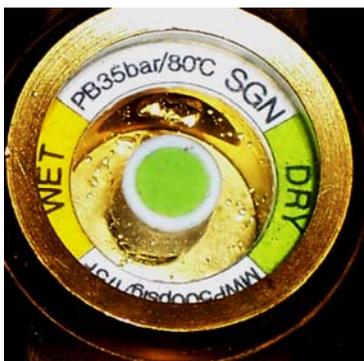


Bild 2: Feuchteindikator-Bauglas

## Entwicklung von Hochtemperatur-Latentwärmespeichermaterial

Wärmespeicherung ist eine vielversprechende Möglichkeit zur Erhöhung der Energieeffizienz insbesondere zyklischer wärmetechnischer Prozesse. Im Jahre 2010 wurde das Projekt zur Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmespeichermaterial auf der Basis von Phasen-Wechselmaterialien (HT-PCM) im Temperaturbereich um 120 °C abgeschlossen.

Für das als Schüttgut einsetzbare Composit wurden zunächst durch Gieß- oder Kaltpressverfahren kugelförmige Speichermaterial-Kerne hergestellt. Die nachfolgende Kunststoffverkapselung wurde mittels Spritzgießen von Flüssigsilikonem mit teilweise vorgefertigten Halbkugelkappen bei einem Industriepartner (Kunststoff- und Elasttechnik GmbH Liegau-Augustusbad) auf der Basis eines gemeinsam angemeldeten Patents vorgenommen. Es wurden mehrere hundert Wärmespeicherkugeln (Kerndurchmesser ca. 30 mm, Wandstärke ca. 1,3 mm) gefertigt (Bild 1).

Zum Test der Speicherkugeln wurde ein komplexes Programm von Charakterisierungs- und Prüfverfahren angewendet. Die mechanischen Eigenschaften der Speicherkugeln erlauben Schütthöhen von 6 bis 26 m. Mit einem speziellen Kalorimeter wurden Speicherkapazitäten in Höhe von 157 J/g (96 kJ/l) bei ca. 126 °C nachgewiesen sowie Leistungsmessungen am Speichermaterial durchgeführt (Bild 2).

Weitere Untersuchungen betrafen die Charakterisierung der thermischen Stabilität der HT-PCM und des Unterkühlungsverhaltens (Bild 3) sowie die Durchführung thermischer Zyklen-Tests mit mehr als 100 Schmelz- und Erstarrungszyklen (Bild 4). Die Permeabilität der gekapselten Speicherkugeln wurde durch Langzeitauslagerung bei Anwendungstemperatur in Wärmeträgermedien (Luft, Glykol, Wasser) untersucht (Bild 5). Die prinzipielle Anwendbarkeit der Speicherkugeln wurde nachgewiesen.

Ökonomische Abschätzungen auf der Basis der Kostenansätze des Entwicklungs-

partners zeigten, dass bei geeigneten Anwendungen und entsprechender Weiterqualifizierung des Wärmespeichermaterials Energiespeicherkosten ab ca. 13 Ct/kWh erwartet werden können. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf. Da der Hauptkostenfaktor bei der Kapselung liegt, wurden weitere Arbeiten zur Vereinfachung der Umhüllungstechnologie initiiert. Darüber hinaus wurden erste Materialien aus dem Entwicklungsprojekt für einen Dampf-Prototypspeicher an einen Forschungspartner geliefert.



Bild 1: Silikongekapselte HT-PCM-Wärmespeicherkugeln

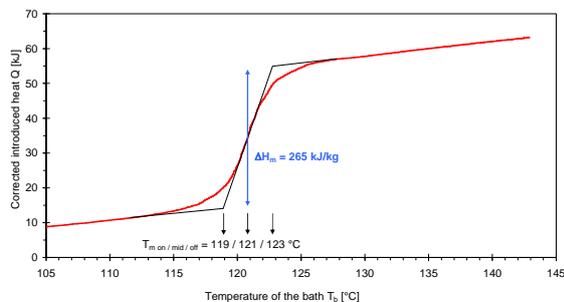


Bild 2: Kalorimetrische Messung an HT-PCM-Wärmespeicherkugeln

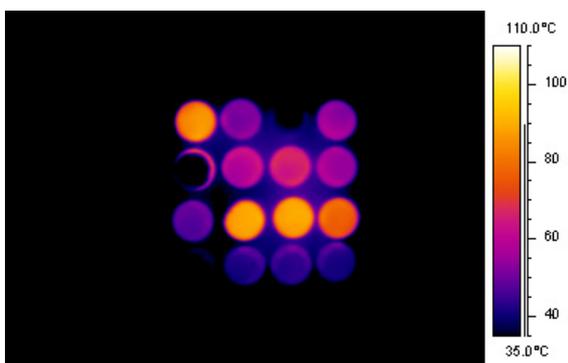


Bild 3: Unterkühlungstest an Wärmespeicherkugeln mittels IR-Thermographie

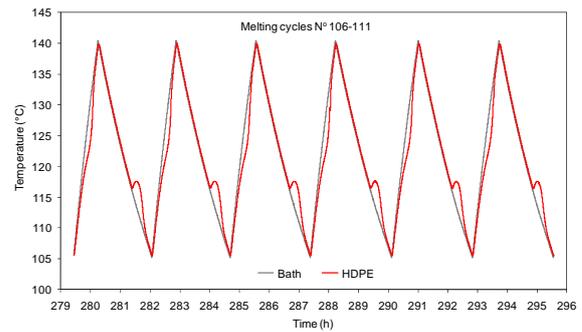


Bild 4: Untersuchung von Schmelz- und Erstarrungszyklen an HT-PCM

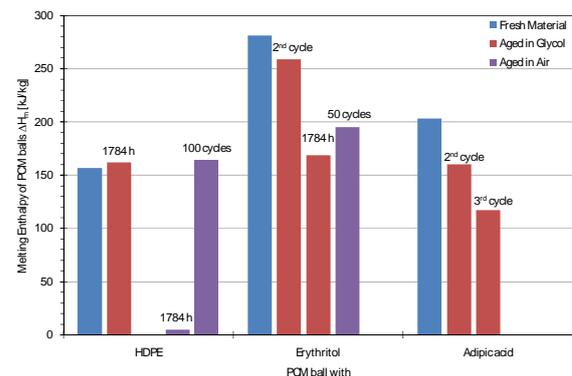


Bild 5: Entwicklung der Schmelzenthalpie von HT-PCM Kugeln nach verschiedenen Alterungsprozessen

## Prüfung von Drucktransmittern

Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung von Prüfmethode zur Qualifizierung von Drucktransmitter für anspruchsvolle, sicherheitskritische Luftfahrtanwendungen.

In dem Kooperationsprojekt mit dem Partner ADZ Nagano GmbH werden folgende Prüfumfänge zur Qualifizierung von Drucktransmittern für extreme Einsatzbedingungen im ILK bearbeitet:

- Untersuchung des Schwingungs- und Stoßverhaltens
- Untersuchungen zum Einsatz neuer Materialien und Technologien
- Untersuchungen zur elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Bestimmung von Ausgaseffekten bei Elektronikbauteilen
- Entwicklung anforderungsgerechter Zeitraffertests.

Die Signalstabilität eines Drucktransmitters wurde bei tiefen Temperaturen und unter Vibrationsbelastungen untersucht. Bei tiefen Temperaturen wurden dabei Messsignalabweichungen durch Vereisung identifiziert (Bild 1).

In EMV-Prüflaboren wurden Prüfungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit durchgeführt. Dabei wurden Probleme bei der Vorprüfung „Lightning - Cable Injection WF5A“ (500 V, 500 A) erkannt und in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner beseitigt. Damit konnte beim Kooperationspartner eine Optimierung der Bauelementauswahl unter EMV- und schwingungstechnischen Gesichtspunkten erfolgen.

An verschiedenen modifizierten Drucktransmittern wurde der Einfluss einer Gel-Beschichtung der Zellmembran durch extreme Temperaturwechselbelastungen untersucht. Unter  $-70\text{ °C}$  war die Stromaufnahme instabil. Die Ergebnisse haben Auswirkungen auf den Temperatureinsatzbereich dieser Drucktransmitter.

Beständigkeitsprüfungen von Tauchsonden für den neuen Einsatzbereich in Biodiesel wurden mit verschiedenen Dichtmaterialien durchgeführt. Die Auswertung ergab unzulässige geometrische Änderungen, eine Verringerung der Shore A-Härte sowie der Reißfestigkeit. Für die Änderung der Materialien wurden Schlussfolgerungen gezogen (Bild 2).

An Drucktransmittern wurden die Temperaturverhältnisse bei Öltemperaturen von  $140\text{ °C}$  -  $160\text{ °C}$  und Raumtemperaturen von  $85\text{ °C}$  -  $105\text{ °C}$  untersucht. Die Forderung, dass die Temperatur der Leiterplatten unter  $125\text{ °C}$  bleibt, wurde eingehalten (Bild 3). Die Ergebnisse sollen mit Simulationsrechnungen noch bestätigt werden.

Zur Beeinflussung des Vakuums durch das Elektronenstrahlschweißen auf die Stabilität der Drucktransmitter und der Prüfverfahren (Dichtheitsprüfung) wurden zunächst theoretische Betrachtungen durchgeführt. Die Ergebnisse führten zum Einsatz von Argon als Inertgas. Die Einflüsse auf die Dichtheitsprüfung werden gegenwärtig untersucht.

Mit den extremen Temperaturwechselbelastungen (200 Wechselzyklen,  $-70\text{ °C}$ ,  $110\text{ °C}$ ,  $10\text{ K/min}$ ,  $15\text{ min}$  Haltezeit) wurden Erfahrungen für anforderungsgerechte Langzeittests gesammelt.

Der Einfluss von Oberflächenbehandlungsverfahren (Passivierung), von Laserbeschriftungen und Labelkennzeichnungen wurde in Salzsprühnebeltests untersucht. Die Laserbeschriftungen führten bei dem Drucktransmitter mit der Stahlsorte 17-4PH H1025 zu Korrosionserscheinungen. In Absprache mit ADZ wurde eine zusätzliche Schutzfolie vorgeschlagen, um die Beeinflussung der Oberfläche zu verringern.

Der Kooperationspartner strebt mit seinen Entwicklungen Märkte für qualitativ hochwertige Drucktransmitter in Europa an. Die Einsatzgebiete sollen auf Luft- und Raumfahrt, Schienenfahrzeugbau, Chemische Industrie, Forstmaschinen, Turbinen und Spezialanwendungen erweitert werden. Durch die Stärkung der Sachkompetenz, dem Aufbau neuer Prüfeinrichtungen und der Etablierung neuer, qualitätsüberwachter Prüfmethode will das ILK neue Geschäftsfelder erschließen.



Bild 1: Schwingungsaufnahme Drucktransmitter



Bild 2: Tauchsonden nach Biodieselbelastung



Bild 3: Untersuchung Einfluss Öltemperaturen

## 10. FuE-Dienstleistungen auf dem Gebiet der Arbeitsstoffe und Werkstoffe 2010

Auf dem Gebiet der Arbeitsstoffe / Werkstoffe der Kälte- und Klimatechnik wurden am ILK schwerpunktmäßig Untersuchungen und Qualifizierungen neuer Low-GWP-Kältemittel und Kältemaschinenöle sowie Projekte zur Verbesserung der Energieeffizienz durch Einsatz von Kälte- bzw. Wärmespeichern durchgeführt.

Die Ermittlung von Arbeitsstoffeigenschaften und die Identifizierung geeigneter Materialien und Schmierstoffe für die neuen HFO-Kältemittel standen im Mittelpunkt des Interesses umfangreicher Untersuchungsprogramme. In diesem Zusam-

menhang wurden intensiv die Wechselwirkungen zwischen dem neuen für PKW-Anwendungen vorgesehenen Kältemittel HFO 1234yf mit weiterentwickelten PAG-Schmierstoffen sowie Elastomer- und Dichtwerkstoffen analysiert und bewertet. Dadurch kann das ILK sehr profound Beratungsleistungen bezüglich der Auswahl und Konfiguration optimaler Werk- und Arbeitsstoffsysteme für neue Low-GWP-Kältemittel anbieten. Gemeinsam mit Industriepartnern konnten erfolgreich erste Prototypsysteme aufgebaut, erprobt und detailliert hinsichtlich thermochemischer Stabilität mit stark weiterentwickelten Untersuchungsmethoden bewertet werden.

Viele Unternehmen nutzen das im ILK in eigenständigen Vorlauforschungsprojekten akquirierte Wissen zu den spezifischen Eigenschaften neuer HFO-Kältemittel, um technische Risiken bei der Umstellung vorhandener sowie der Markteinführung neuer Kälteanlagen zu minimieren.

Neue Arbeitsfelder wurden im Bereich der komplexen Umweltprüfung von Sensoren, Baugruppen oder Produkten erschlossen. Dabei können sehr flexibel mechanische Prüfungen, Schwingungs- und Temperaturprüfungen miteinander kombiniert und zudem bei definierten Medienumgebung (Flüssigkeiten, Gase) durchgeführt werden. Auf Wunsch können dabei kontinuierlich funktionsrelevante Eigenschaften dokumentiert werden.

## 11. Angewandte Energietechnik

### Verbundprojekt R718 - Kaltwassersatz der 3. Generation

Das Verbundvorhaben zwischen der Cofely Refrigeration GmbH und dem ILK Dresden, startete im Juni 2008 und schließt im Jahr 2011 ab.

Nach mehr als 50 Prozent der Projektlaufzeit, können erste Ergebnisse vorgestellt werden.



Bild 1: Blick auf die Saugseite eines Wasserdampf-Turboverdichters



Bild 2: Versuchsverdichter auf dem ILK-Verdichterprüfstand.

Ziel des Vorhabens ist es, für die Kälte-technik mit Wasser als Kältemittel Forschungs- und Entwicklungsbeiträge zu leisten. Durch die Ergebnisse sollen die Voraussetzungen zum Bau von Kaltwassersätzen mit Wasser als Kältemittel verbessert werden. Es gilt die Energieeffektivität von Turbokaltwassersätzen zu verbessern. Zugleich muss die innovative Turboverdichtertechnologie zuverlässig arbeiten. Die technologische und schließlich die wirtschaftliche Machbarkeit zur Herstellung von Hochleistungsturboverdichtern für Wasserdampf soll im Ergebnis des Projekts deutlich verbessert werden.

Ausgehend von den vorhandenen Erfahrungen mit ausgeführten Anlagen wurden Turboverdichterstufen mit einem verbesserten Wirkungsgrad entwickelt. Auf einem im Rahmen des Projekts entstandenen Verdichterprüfstand werden Turboverdichterstufen unterschiedlicher Größe vermes-

sen. Der Ansaugvolumenstrom bewegt sich von ca.  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  bis zu  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $18.000 \text{ m}^3/\text{h} \dots 180.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ) Die maximale Antriebsleistung beträgt  $90 \text{ kW}$ . Die Verdichteruntersuchungen begannen im Jahr 2009.

Es wurden neue verfahrenstechnische, konstruktive und technologische Lösungen gefunden und erprobt.

Der Vergleich der Gestaltungsideen der 1. Generation Turbo-KWS mit Wasser als Kältemittel mit der 3. Generation offenbart die grundlegenden Unterschiede. Das Prinzip des Hochleistungsturboverdichters mit CFRP-Schaufeln wurde beibehalten. Beide Verdichterstufen eines Kaltwassersatzes, einschließlich eines integrierten Zwischenkühlers, arbeiten in einem gemeinsamen unter Vakuum stehenden Gehäuse. Die Maschinen werden immer mit zwei hintereinander liegenden Verdichterstufen ausgerüstet. Der Antrieb jeder Stufe erfolgt separat, durch außen liegende, drehzahlgeregelte Motoren. Das ermöglicht eine verlustarme Anpassung an den geforderten Lastfall. Die Hauptkomponenten, vor allem Turboverdichter und Wärmeübertrager, werden für erhöhten Verdichterwirkungsgrad und höhere Leistungszahl des Kaltwassersatzes optimiert. Innovative verfahrenstechnische und konstruktive Lösungen, Verbesserungen und Vereinfachungen sollen schließlich den Herstellungsaufwand deutlich reduzieren.

### **Vakuumeisspeicher-Verfahren zur Eisherstellung und Eisspeicherung im Direktverdampfungsprozess mit Wasser als Kältemittel und mechanischem Kompressor**

Ziel dieses Projekts war die Entwicklung einer Vakuumeisspeicher-Anlage einschließlich eines geeigneten Wasserdampf-Turboverdichters. Mit dem Verfahren kann Eis bei einer Verdampfungstemperatur von nur  $1$  bis  $2 \text{ K}$  unter dem Gefrierpunkt erzeugt werden. Der Verdampfungsdruck von Wasser als Kältemittel liegt unter  $4.5 \text{ mbar}$ . Das Verfahren erfordert für die Eisherstellung einen deutlich geringeren Energieaufwand als andere, konventionelle Speichertechnologien. Die

Eisherstellung erfolgt direkt, durch Verdampfung des Kältemittels Wasser.

In der im Laufe des Projekts entstandenen ILK-Versuchsanlage sind Verdampfer und Eisspeicher räumlich voneinander getrennt angeordnet. Der Speicherbehälter steht unter Normaldruck. Diese Anordnung verschafft erheblich mehr Freiheiten für die Aufstellung des Systems besonders auch in Bestandsgebäuden. Der Speicherbehälter ist so dimensioniert, dass er die während der Ladezeit gesammelte Kälteenergie aufnehmen kann. Die Speicherkapazität ist abhängig von Speichergröße und besonders von der Eiskonzentration in der Flüssigkeit. Der Versuchsspeicher besitzt über  $6 \text{ m}^3$  Inhalt. Bei einem Eisanteil von 50 % können in diesem Behälter über 300 kWh Kälteenergie untergebracht werden. Mit einer Kälteleistung von 50 kW wird der Speicher innerhalb von 6 h vollständig geladen. Für das Speichern von 300 kWh Kälteenergie in einem Kaltwasserspeicher wäre dagegen ein Speichervolumen von über  $40 \text{ m}^3$  erforderlich. Ein Eisspeicher mit einem maximalen Eisanteil von 50 % kann die gleiche Kälteenergie in  $6 \text{ m}^3$  Speichervolumen unterbringen.

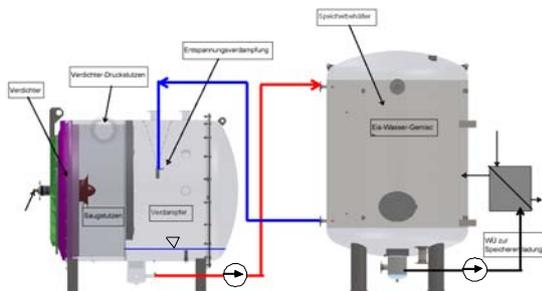


Bild 1: Vakuumeisspeichersystem

Das Speicherenladen erfolgt über einen externen Wärmeübertrager. Während der Entladung sinkt die Eiskonzentration im Speicher. Ein Vorteil des Vakuumeisspeichers ist die Möglichkeit, auch einen nicht vollständig geleerten Speicher zu laden. Der Energieaufwand für den Ladevorgang ist weitgehend unabhängig von dem Ladezustand des Speichers.

Eine erste praktische Anlage wurde bereits in der Westsächsischen Technischen Hochschule in Zwickau errichtet.



Bild 2: Erste Prototypenanlage in der WSTH Zwickau

### Thermisch angetriebene Kälteerzeugung unter $0^\circ\text{C}$ mit dem Kältemittel Wasser

Ziel des Projekts ist es, eine wärmegetriebene Wasser-LiBr-Kälteanlage, durch Zusätze in der Arbeitslösung, für Erzeugung von Kälte bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt einzusetzen. Mit Verwendung eines Wasser-Mehrkomponentensalz-Gemisches wird ein Resorptionskälteprozess gestaltet. Auf diese Weise kann Abwärme im Temperaturbereich zwischen  $95^\circ\text{C}$  und  $70^\circ\text{C}$  zur Kälteerzeugung mit Temperaturen um  $0^\circ\text{C}$  verwendet werden. Das Wärmeverhältnis liegt in dem für  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ -Sorptionsprozesse typischen hohen Bereich. Kälteanlagen dieses Typs sind bisher nicht bekannt.

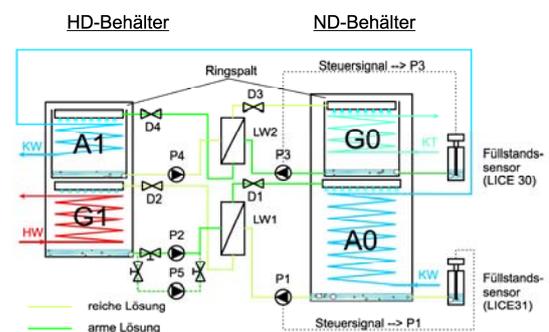


Bild 1: Prinzipschaltbild

Im Rahmen des Projekts wurde eine Versuchsanlage errichtet und mit einer wässrigen Mehrkomponentensalzlösung befüllt. Die Versuchsanlage wurde in Betrieb genommen und über einen längeren Zeit-

raum vermessen. Durch die Verwendung eines Lösungsmittelkreislaufes im Kälteteil der Anlage können Kältetemperaturen knapp unter 0 °C realisiert werden. Die erreichbare Kältenutztemperatur ist abhängig von der Heiz- und Rückkühltemperatur. Zu beachten ist die Kristallisationsgefahr der Salzlösung.

Mögliche Anwendungen solcher Anlagen sind Gemüse-, Milch- oder Getränkekühlung, die wegen der niedrigen Kältetemperaturen für LiBr-Absorptionskälteanlagen bisher nicht erschlossen waren.

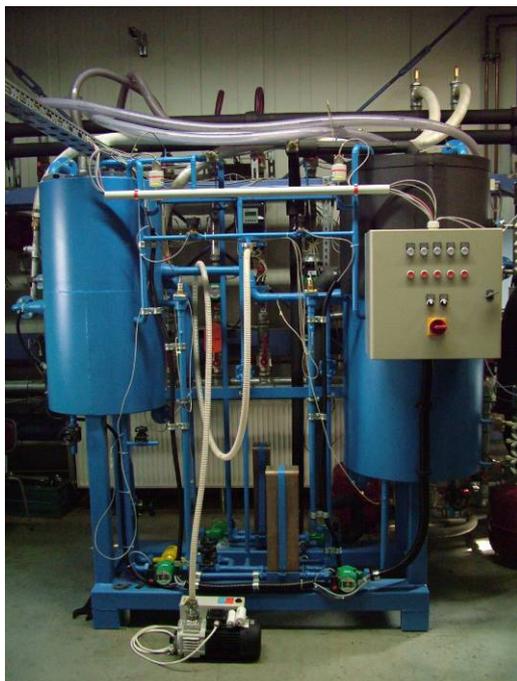


Bild 2: Versuchsanlage für Resorptionsprozess

Die Versuchsanlage besitzt eine Kälteleistung von 15 kW. Bei Kühlwassertemperaturen von 26 °C im Eintritt und 31 °C im Austritt sowie Heizmedientemperaturen von 95 °C im Eintritt und 85 °C im Austritt wird Sole von 4 °C auf 0 °C abgekühlt. Mit der Versuchsanlage wurde die Funktionstüchtigkeit der Resorptionskälteanlage nachgewiesen. Es wurden Kältenutztemperaturen bis -4 °C erreicht. Die Wärmeverhältnisse lagen in Abhängigkeit der Kältetemperatur zwischen 0,6 und 0,7.

## Komponenten für eine direkt luftgekühlte Absorptionskälteanlage kleiner Leistung

Das Projekt zielt auf die Entwicklung von direkt mit Umgebungsluft gekühlten Komponenten einer kleinen Heißwasserbeheizten Absorptionskälteanlage. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Gestaltung eines luftgekühlten Absorbers dar mit den Problemen des kombinierten Wärme- und Stoffaustausches.

Die Ziele des Projekts lauten:

- Entwicklung und Erprobung von luftgekühlten Komponenten in Absorptionskälteanlagen kleiner Leistung sowie
- Entwurf, dem Aufbau und der Erprobung der neuen Komponenten und
- Entwurf, Aufbau sowie der Erprobung einer kompletten Versuchsanlage kleiner Leistung.

Bei erfolgreicher Umsetzung des Entwicklungsprojektes eröffnen sich vollkommen neue Gestaltungsmöglichkeiten für Wasser-Lithiumbromid-Kleinabsorptions-Kälteanlagen. Durch die direkte Kühlung mit Luft können der Aufwand für thermische Kälteerzeugung sowie der elektrische Hilfsenergiebedarf wesentlich verringert werden. Bisherige Arbeiten innerhalb des Projektes befassten sich mit der Gestaltung des thermodynamischen Kreisprozesses sowie der Festlegung der Betriebsbedingungen.

Weiterhin wurden verschiedene apparative Varianten der luftgekühlten Komponenten untersucht und bewertet. Der Kondensator und Absorber werden mit stehenden, außen berippten Rohren ausgeführt. Sämtliche Wärme- und Stoffübertrager, einschließlich zugehöriger Berieselungseinrichtungen, wurden dimensioniert und konstruiert.

Die Erprobung der Komponenten erfolgt in einem Versuchsmuster, welches sich in der Fertigung befindet. Die bisherigen Ergebnisse zeigen die grundsätzliche Erreichbarkeit des Projektziels, der Gestaltung einer direkt luftgekühlten, Heißwasserbeheizten Absorptionskältemaschine im

kleinen Leistungsbereich für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung oder solare Kühlung.

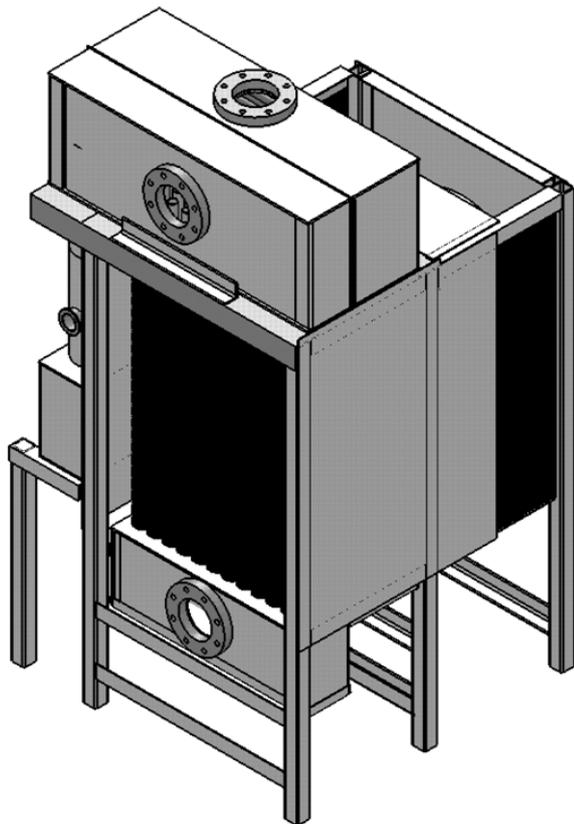


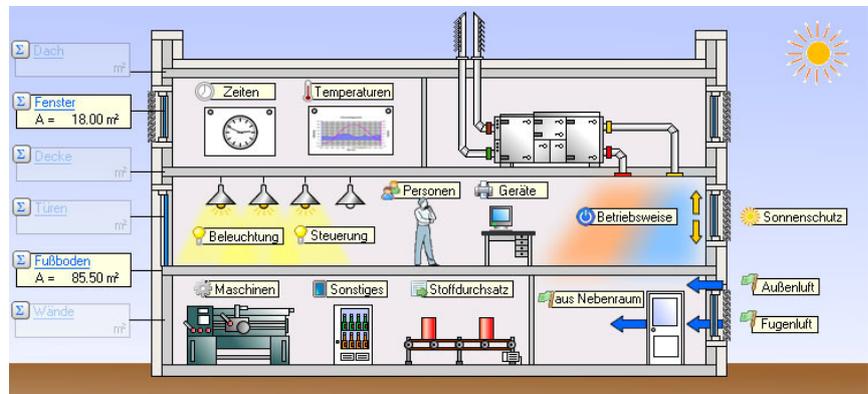
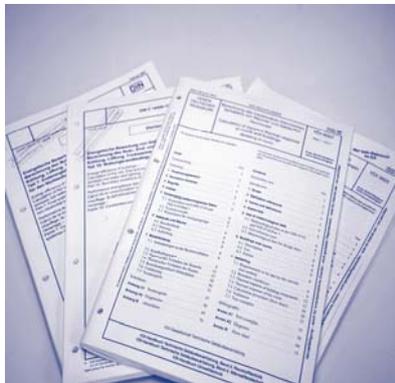
Bild 1: 3-D-Modell einer luftgekühlten kompakten Absorptionskälteanlage, Kälteleistung 8 kW

Es wurden verschiedene Varianten der Apparate wasserbeheizter Generator, luftgekühlter Kondensator, wasserbeaufschlagter Verdampfer sowie luftgekühlter Absorber untersucht und konstruktive Lösungen gefunden. Insbesondere konnte das Problem der gleichmäßigen Lösungsverteilung auf die Absorberrohre gelöst werden. Im Jahr 2011 wird die Versuchsanlage fertig gestellt und auf einem dafür zu errichtenden Prüfstand vermessen werden.

## 12. Normungsarbeit am ILK

### Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Raummodell

Die Richtlinie VDI 6007-1 beschreibt einen Algorithmus zur Berechnung der komplexen Einflüsse verschiedener Größen auf das thermische Verhalten eines Gebäudes oder eines Raumes. Dieser Algorithmus dient als einheitlicher, moderner „Rechenkern“ für Berechnungen des Energiebedarfs nach VDI 2067 und der Kühllast und der Raum- und operativen Temperaturen nach VDI 2078.



matisierter aber auch nicht klimatisierter Gebäude.

Diese neue Richtlinie, ihr Erscheinen im Gründruck ist für Ende des Jahres 2011 geplant, wird gegenüber der bisherigen Richtlinie wesentliche Neuerungen aufweisen, wie:

- korrekte Erfassung der Wandaufbauten,
- mechanische und natürliche Lüftung sowie Flächenheizung und -kühlung sind integraler Bestandteil des Rechenverfahrens,

Ziel der neuen VDI 6007-2 ist es, dem Planer ein leistungsfähiges Werkzeug zur Berechnung energetischer Kenngrößen transparenter Fassaden und Bauteile, speziell des für die sommerlichen Kühllasten entscheidenden Gesamtenergiedurchlassgrades, in die Hand zu geben.

Die Berechnung der auf ein Gebäude wirkenden solaren Strahlung wird in der VDI 6007-3 geregelt. Hier werden alle relevanten Berechnungen für die solare Einstrahlung an einer Stelle definiert. Völlig neu ist die Definition der Strahlungsbedingungen am CDD (cooling design day) und in einer CDP (cooling design period).

Die Arbeit an den vorgenannten Richtlinien konnte im Jahr 2010 abgeschlossen und der Schwerpunkt auf die „eigentliche“ Kühllastregel, die VDI 2078 gerichtet werden.

Die VDI 2078 beschreibt die Berechnung der Kühllast und der Raumtemperatur kli-

- korrekte Berücksichtigung von Betriebsweise und Regelungsstrategie,
- Berücksichtigung eines zulässigen Schwankungsbereiches für die Raumtemperatur,
- Möglichkeit der Vorgabe der operativen Temperatur als Berechnungsziel,
- Kopplung der thermischen Berechnung mit den aktiven Anlagenkomponenten, bei Leistungsänderung abhängig von der Raumtemperatur,
- Möglichkeit der Ganzjahressimulation mit Testreferenzjahrdaten,
- Berechnung von Raumlufttemperatur, operativer (empfundener) Temperatur, Kühllast sowie Heizlast bei Vorgabe der erforderlichen Randbedingungen,
- definierte Randbedingungen für das Außenklima bei der Kühllast- und Raumtemperaturberechnung.

Dass umfangreiche Testbeispiele, deren Eingabedaten und Ergebnisse auf CD erscheinen werden, sowie genaue Angaben zur Validierung von Software Bestandteil

dieser grundlegenden Richtlinie sind, kennzeichnet eine neue Qualität der Normungsarbeit.

Die verbesserte Berechnungsmethodik ist die Grundlage einer energieökonomischen und die Ressourcen schonenden Raumlufttechnik. Sie ermöglicht zudem bereits im Entwurfsstadium des Gebäudes durch entsprechende Gestaltung, den künftigen Energiebedarf zu verringern.

*Der Autor Herr Dipl.-Ing. C. Seifert ist Mitglied in den VDI-Richtlinienausschüssen 2078: VDI-Kühllastregeln, 6007: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden sowie VDI 6020: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation.*

### 13. Mitwirkung des ILK in wissenschaftlichen Organisationen und Fachgremien

Das ILK Dresden ist aktives Mitglied in zahlreichen Verbänden und Vereinigungen, u. a.:

- Verband Innovativer Unternehmen
- International Institute of Refrigeration
- eurammon / VDMA
- Forschungsrat Kältetechnik e. V.
- Fachinstitut Gebäude-Klima e. V.
- Verband Beratende Ingenieure
- Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik e. V.
- Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e. V.
- Bundesverband Wärmepumpe e. V.
- European heat pump association
- European Solar Thermal Technology Plattform
- Deutsche Gesellschaft f. zerstörungsfreie Prüfung e. V.
- Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e. V.
- Verbundinitiative Automobilzulieferer Sachsen
- Deutsches ITER Industrie Forum e. V.
- Historische Kälte- und Klimatechnik e. V.

### International Institute of Refrigeration IIR



Das International Institute of Refrigeration (IIR) ermöglicht als zwischenstaatliche wissenschaftlich-technische Organisation das Bündeln von wissenschaftlichem und industriellem Know-how in allen Bereichen der Kältetechnik und ihren Anwendungen auf globaler Ebene. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives IIR Mitglied.

Dr. Herzog ist seit 2007 als Vertreter Deutschlands Mitglied im **Science and Technology Council (STC)** des IIR. Der STC koordiniert die wissenschaftlichen und technischen Aktivitäten des IIR. Der STC umfasst 5 Haupttechnologiebereiche mit 10 fachspezifischen Kommissionen.

Das Ziel des IIR besteht vor allem in der Unterstützung und Vertiefung der wissenschaftlichen und technologischen Kenntnisse und in deren Verbreitung durch die einzelnen Kommissionen weltweit.

Dr. Herzog ist weiterhin als Präsident der Kommission A1 „Cryophysics, cryoengineering“ für das IIR tätig.

### Forschungsrat Kältetechnik e. V.

Das ILK ist seit 1991 aktives Mitglied im Forschungsrat Kältetechnik e. V. Der Forschungsrat hat die Aufgabe, die technisch-wissenschaftliche Forschung und deren praktische Auswirkungen auf dem Gebiet der Kälte- und Wärmepumpentechnik und für den kältetechnischen Teil der Klimatechnik zu fördern. Der Forschungsrat erfüllt seine Aufgaben auf gemeinnütziger Grundlage unter Beschränkung auf den wissenschaftlichen Nutzen für den durch den Mitgliederkreis gegebenen Wirtschaftssektor und für die Forschung. Das ILK arbeitet insbesondere intensiv im Arbeitskreis Energieeffizienz ehrenamtlich mit.

### VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)



Die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik ist eine von 12 Fachgesellschaften im

Verein Deutscher Ingenieure. Mit ca. 16.000 von 130.000 Mitgliedern des VDI setzt die VDI-GBG insbesondere im Bereich der Technischen Regeln Akzente. Die VDI-GBG ist außerdem fachlicher Träger zahlreicher Seminare und Tagungen in der VDI-Wissensforum GmbH. Regional ist die Gesellschaft in 45 Bezirksvereinen mit lokalen Angeboten für die Mitglieder da. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives Mitglied.

Prof. Franzke ist seit 2008 ehrenamtlicher Vorsitzender der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

Die VDI-Gesellschaft versteht sich als Moderator und Marktplatz für den Informationsaustausch, für Innovationen und Wissensvermittlung, aber auch als Initiator für Zusammenkünfte und Aktivitäten innerhalb der Branche.

Als einziger technisch-wissenschaftlicher Verein vertritt die VDI-TGA einen gewerkeübergreifenden Ansatz und weist damit den Weg zu höherer Effizienz und Qualität von Gebäuden.

Dipl.-Ing. Uwe Ritscher, Leiter der Gruppe TGA-Planung des ILK, ist aktives Mitglied im Verband Beratender Ingenieure, Landesverband Sachsen.

### VDI-Fachgebiet Umwelttechnik



Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN ist eine gemeinsame Einrichtung von VDI und DIN (Deutsches Institut für Normung) und wichtigster Ansprechpartner für die Erstellung von technischen Regeln, wie VDI-Richtlinien, DIN-Normen, DIN-Vornormen, DIN-EN-Normen und DIN-ISO-Normen zur Luftreinhaltung. In freiwilliger Selbstverantwortung und gemeinsam mit den beteiligten Behörden, der Wissenschaft und der Industrie hält die Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) den Stand von Forschung und Technik im Bereich der Luftreinhaltung in technischen Regeln fest. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives Mitglied.

Der Leiter des ILK-Technologiebereiches Luftreinhaltung, Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich, ist als ILK-Vertreter Mitglied der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL mit dem Schwerpunkt Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz KUT-1/2262-1. Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich ist weiterhin im Dresdner Bezirksverein des VDI Obmann des Arbeitskreis Umwelttechnik.

### Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik e. V.



Unternehmen der Branchen mit dem Technologie-Fokus Energie- und Umwelttechnik finden im Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik e. V. (VEU) einen kompetenten Partner für die Organisation und die Mittelbeschaffung für anwendungsorientierte Forschung. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives Mitglied im VEU.

Ein wichtiges Bindeglied zwischen dem VEU und der mit Energietechnik und technischem Umweltschutz befassten gewerblichen Wirtschaft, der AiF und der Energie- und Umweltforschung ist der Wissenschaftliche Beirat des VEU.

Der Leiter des ILK-Technologiebereiches Luftreinhaltung, Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich, ist als ILK-Vertreter Mitglied im wissenschaftlicher Beirat des VEU.

### Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

Das ILK wirkt sehr aktiv in dem Fachausschuss Dichtheitsprüfung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP) mit. Durch Aufklärung von Wirkungszusammenhängen bei Permeations- und Dichtheitsmessungen an mit Öl benetzten PKW-Klimakreisläufen konnten wesentliche, neue Erkenntnisse gewonnen und in die Facharbeit innerhalb der DGZfP eingebracht werden.

## Verbundinitiative Automobilzulieferer Sachsen



**Verbundinitiative  
Automobilzulieferer Sachsen**  
Saxony Automotive  
Supplier Network

In den kommenden Jahren sind grundlegende Änderungen der Technologie mobiler Klimaanlage zu erwarten. Insbesondere die Anforderungen, die sich aus der Elektromobilität ergeben, verlangen völlig neue Denkansätze und Konzepte.

Das ILK Dresden steht den Sächsischen Automobilzulieferern beratend zur Seite, informiert über technologische Trends und steht mit seinen Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen bei der Markteinführung neuer Produkte zur Verfügung.

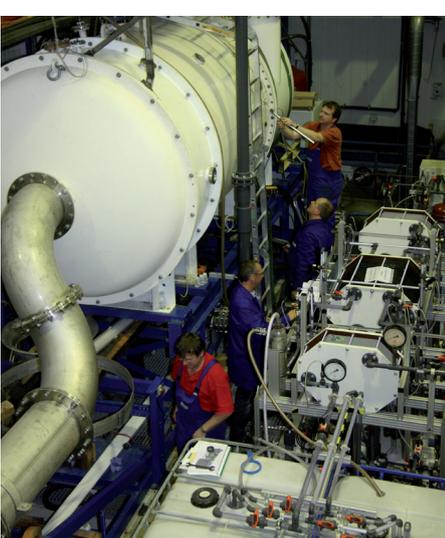
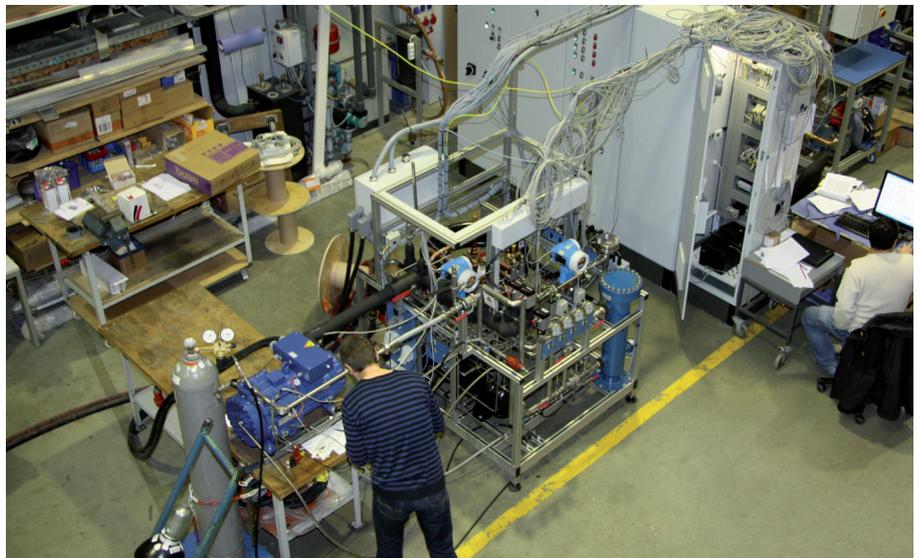
### **Mitwirkung von ILK-Mitarbeitern in wissenschaftlichen Gremien**

- FAKRA Normen-Ausschuss, Arbeitskreis Kfz-Luftfilter
- DPG - Deutsche Physikalische Gesellschaft
- APS - Amerikanische Physikalische Gesellschaft, Division Fluid Mechanics
- FGK: Arbeitskreis Reinigung von RLT-Anlagen
- Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. an der HTW Dresden
- DKV - Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.

## Ausgewählte Veranstaltungen des ILK für den Wissenstransfer 2010

### Seminare / Veranstaltungen / Messen

- Veranstaltungen des DKV-Bezirksvereins (8) im ILK 01/10 bis 12/10
- Durchführung von Kick-off-Meetings im ILK zu bewilligten Forschungsvorhaben 18./25.01.10, 06./07.09.10, 15.11.10
- ILK Dresden hilft Chile (Spendenaktion) 11.03.10
- Projekttreffen ASEMLAS 20.05.10
- Meetings Vorbereitung IIR-Konferenz am ILK 29.06.10/ 11.10.10
- Projekttreffen Textiles Verbundsystem zur Raumluftklimatisierung 29.07.10
- Grillfest des ILK, gemeinsam mit den ILK Senioren 13.08.10
- VDI-Bezirksverein 27.08.10
- Statustreffen BMBF Projekt Anti Eis 22.09.10
- Chillventa 06.11.10
- Fachtagung Sächsische Innung der Kälte- und Klimatechnik am ILK 03.12.10
- Mitgliederversammlung Verein zur Förderung der Luft- u. Kältetechnik 17.12.10
- Festveranstaltung 20 Jahre ILK gGmbH 17.12.10



ILK Mitarbeiter bei ihrer verantwortungsvollen Tätigkeit

## Anlagen

## Veröffentlichungen

### Publikationen

Ajib, S.; Günther, W.; Safarik, M.  
 „Untersuchungsergebnisse einer solarthermisch betriebenen 5-kW-Absorptionskältemaschine“  
 KI Kälte Luft Klimatechnik , Heidelberg  
 46(2010)10, S. 18-21

Franzke, U.  
 „Überlegung zur Raumluftfeuchte unter sommerlichen Bedingungen“ KI Kälte Luft Klimatechnik , Heidelberg 46(2010)9,  
 S. 18-23

Mai, R.; Hackeschmidt, K.  
 „Metallschaumlatentspeicher für die Klimatisierung von Räumen“  
 BHKS-Almanach 2010

Pohl, S.; Friebe, Chr.; Buschmann, M. H.  
 „Dellen und Nobben im Wärmeübertrager“  
 KI Kälte Luft Klimatechnik , Heidelberg  
 46(2010)7/8, S. 28-32

Preibisch, St.;  
 Buschmann, M.H.  
 „Experimental and Numerical Investigation of Real World Dimpled Heat Exchanger“  
 WIT Transactions on Engineering Sciences, 68(2010), on-line

Safarik, M.  
 „KI-Expertenforum: Quo vadis Solare Klimatisierung?“  
 KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
 46(2010)7/8, S. 33-37

Safarik, M.; Richter, L.; Albring, P.  
 „Stand und Tendenzen der thermischen Kälteerzeugung im kleinen und mittleren Leistungsbereich“  
 BHKS-Almanach 2010

Spörl, G.; Reinsch, H.  
 „Temperaturprofile in einem Einfriergerät für Medizin/ Biologie“  
 KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
 46(2010)4, S. 22-25

Spörl, G.; Reinsch, H.  
 „Technik für die Kryokonservierung von biologischen Geweben“  
 KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
 46(2010)12, S. 16-19

Waschull, J.; Hackeschmidt, K.  
 „Von der Projektidee bis zum Prototypen am Beispiel der Latentspeicherung“  
 Internetveröffentlichung Homepage GIZeF GmbH, 2010

### Vorträge

Albring, P.  
 „Perspektiven von Wasser als Kältemittel in Turbokaltwassersätzen und Eisspeichersystemen“  
 VDI-Tagung: 3. VDI Tage der Gebäudetechnik, Frankfurt/M., 24.-25.02.2010

Albring, P.  
 „Industrielle und gewerbliche Kälteerzeugung aus KWK und Solarthermie - Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung“  
 BHKW Infozentrum, Essen, 06.05.2010

Albring, P.  
 „Kälteverfahren und Kältemittel für energieeffiziente Prozesskühlung“  
 Sächsische Bildungsgesellschaft für Umweltschutz und Chemieberufe Dresden mbH,  
 Seminar für energieeffektive Kühlprozesse, Dresden, 2010

Albring, P.  
 „Workshop: Solarthermie- Wärme, Kälte, Strom“  
 Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme,  
 Dresden, 24.03.2010

Albring, P.  
 „Wasser als Kältemittel in Kaltwassersätzen und Vakuumeiserzeugungssystemen“  
 Veranstaltung des DKV-Bezirksvereins, ILK Dresden,  
 Dresden, 13.12.2010

Albring, P. u. a.

„Höhere energetische Effizienz der Biomassenutzung durch Einsatz von Biome-  
than und Bio-SNG“

Solarzentrum Wietow: 13. Int. Solarkonferenz  
Mecklenburg- Vorpommern,  
Wietow, 02.08.2010

Albring, P. u. a.

„Höhere energetische Effizienz der Bio-  
massenutzung durch Einsatz von Biome-  
than und Bio-SNG“

DGMK Dtsch. Wiss. Ges. für Erdöl, Erdgas  
und Kohle, Tagung: Konversion von Bio-  
massen, Gelsenkirchen, 10.05.2010

Birnbaum, T.

„Verbrennungsverhalten fester Bioenergie-  
träger“ Biomassetag, Groitzsch,  
18.11.2010

Blei, S.

“Removal Efficiency of an Electrostatic  
Precipitator Behind a CNC Machine Using  
Cutting Fluids”

International Conference on Workplace  
Aerosols, Karlsruhe, 30.06.-02.07.2010

Böhm, M.

„Energieeffizienz von Kältemittelverdich-  
tern“

Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magde-  
burg, 17.-19. November 2010

Burandt, B.

"Sauberes Trinkwasser für alle! Was kön-  
nen wir Ingenieure dafür tun?"

Vortrag bei der DKV-Veranstaltung; ILK  
Dresden, Dresden, 03.05.2010

Buschmann, M. H.

„Experimental and Numerical Investigation  
of Real World Dimpled Heat Exchanger“

11th International Conference on Heat  
Transfer, Tallinn, 14.-16.07.2010

Buschmann, M. H.

„Model of Turbulent Fluctuations in Wall-  
Bounded Flows“

UNCTAM Meeting 2010, University  
Park/USA, 26.06.-03.07.2010

Buschmann, M. H.

„Nanofluids – Ready to Use?“

International Conference on Ceramic Pro-  
cessing Science, Zürich, 2010

Feja, S.

„Untersuchung der elektrischen Eigen-  
schaften von Kältemaschinenölen, Kälte-  
mitteln und Kältemittel -Öl-Gemischen“

Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magde-  
burg, 17.-19. November 2010

Franzke, U.

„Energetische Aspekte der EnEV 2009  
und VDI 3803“

Vortrag bei BerlinerLuft Technik GmbH,  
23.01.2010

Franzke, U.

„Raumluftechnik und Energieeffizienz“

3. VDI-Tage der Gebäudetechnik,  
Frankfurt am Main, 24.-25.02.2010

Franzke, U.

„Technologietrends in der Luft- und Kälte-  
technik“

Energetisches Symposium Hoch-  
schule Zittau/Görlitz, Zittau, 03.03.2010

Franzke, U.

„Klimatechnik“

Vorlesungsreihe an der HTW Dresden,  
Dresden, 03. bis 06.2010

Franzke, U.

Zukunft der Gebäudeklimatisierung“

Menerga-Symposium, Oberhausen,  
04.03.2010

Franzke, U.

„Air Conditioning with Liquid Sorption So-  
lution“

9th IIR Gustav Lorentzen Conference  
2010, Sydney, 12.-14.04.2010

Franzke, U.

„Hemmnisse und Potenzial einer Bewer-  
tung der Energieeffizienz“

Workshop Bewertungsmatrix für Energie-  
effizienz, Ingenieurkammer Sachsen,  
Dresden, 18.05.2010

Franzke, U.

„Raumluftechnik und Energieeffizienz“

Festkolloquium Hermann-Rietschel-Institut  
der TU Berlin, Berlin, 12.07.2010

Franzke, U.

„Anforderungen an Gewerbeimmobilien“

ZVKKW-ILK-Symposium Chillventa 2010,  
Nürnberg, 12.10.2010

- Franzke, U.  
„Energieeffizienz und Klimaschutz bei Gebäuden“  
iforum, Gemeinschaftsveranstaltung von „bauforumstahl“ und TU Dresden, Dresden, 27.10.2010
- Franzke, U.  
„Quo vadis Solare Klimatisierung? – Chancen und Möglichkeiten für die Kälte- und Klimabranche“  
FGK-Workshop, Stuttgart, 11.11.2010
- Grimm, U.  
“Complex Interactions of Low GWP Refrigerants, A/C Oils, and Materials in MAC Circuits”  
ARSES Scottsdale 2010, 11.-18.07.2010
- Hackeschmidt, K.; Waschull, J.  
„Von der Projektidee zum Prototypen am Beispiel der Latentspeicherung“  
Innovationsforum Thermische Energiespeicherung, Freiberg, 27.-28.05.2010
- Heidenreich, R.  
„Charakterisierung der Leistungsfähigkeit von Filtermaterialien für die Abscheidung von Feinstäuben aus der Biomasseverbrennung“  
10. Symposium „Textile Filter“, Chemnitz, 09.-10. 03. 2010
- Heidenreich, R.  
„Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung“  
RKW Sachsen, Arbeitskreis Umwelttechnik, Dresden, 01.06.2010
- Heidenreich, R.  
„Neue Filtermedien zur Emissionsminderung bei der thermischen Nutzung regenerativer Energieträger“  
C.A.R.M.E.N., Straubing, Technologie und Förderzentrum (TFZ), 04.-05.11. 2010
- Heidenreich, R.  
„Energieökonomischer Betrieb von filternden Abscheidern - Möglichkeiten und Grenzen unter Berücksichtigung einer minimierten Feinstaubemission“  
4. Kolloquium - BVT/Stand der Technik, Chemnitz, 25.11.2010
- Hernschier, W.; Schnerr, Th.; Waschull, J.; Römer, S.  
“Development of a Cooling Unit for Solar Powered Technical Equipment at High Ambient Temperatures”  
Poster and Paper, Eurosun 2010, Graz, 29.09.-01.10.2010
- Junk, M.  
“Determining the Tribological Properties of Lubricant-Refrigerant Mixtures”  
9<sup>th</sup> IIR Gustav Lorentzen Conference, Sydney, 12.-14.04. 2010
- Junk, M., Hegewald, J.  
„Elastomerdichtungen in Kältemaschinen - Werkstoffbeständigkeit gegenüber Öl-Kältemittel-Gemischen“  
16<sup>th</sup> ISC - Internationale Dichtungstagung 2010, Stuttgart, 12.-13.10.2010
- Kaiser, G.  
“Development of a Piston Pump for Liquid Cryogenics with Cryogenic Linear Motor Drive”  
11<sup>th</sup> Cryogenics 2010, Bratislava, 26.-29.04.2010
- Klier, J.  
„Angepasste Kryotechnik für die Supraleitung“  
5. Braunschweiger Supraleiter Seminar, Braunschweig, 24.06.2010
- Kuhn, M.  
„3-Cycle Pulse Tube Cooler for Cryogenic High-Power Applications“  
Internat. Cryogenic Engng. Conferenc 2010, Wroclaw, 19.-21.07.2010
- Kuhn, M.  
“3-Zyklen Pulse-Tube-Kühler für kryogene Hochleistungsanwendungen”  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Mai, R.  
„Energetische Inspektion von Klimaanlage“  
Seminare des BHKS, Leipzig, 26.02.2010  
Hamburg, 03.09.2010  
Köln, 26.11.2010

- Mai, R.  
„EnEV und EEWärmeG: Gesetzliche Grundlagen zur Energieeffizienz im Gebäudesektor“, Kampmann-Expertenforum, Lingen, 09.10.2010
- Müller, M.  
„Erfahrungsbericht mit automatisch arbeitenden Kalorimeterprüfständen für Verdichterleistungsmessungen nach EN 13771-1“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Müller, R.; Waschull, J.; Römer, S.  
„Development of a Heat Storage Material for Elevated Temperatures“, Poster and Paper, Eurosun 2010, Graz, 29.09.-01.10.2010,  
Best Poster of EuroSun 2010
- Paatzsch, R.; Kühne, S.  
„Entwicklung und Auslegung eines Luftbefeuchtungssatzes für luftbeaufschlagte Wärmeübertrager“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Römer, S.; Grimm, U.  
„Komplexe chemische Wechselwirkungen von Low GWP Kältemitteln mit Konstruktionswerkstoffen bei mobilen Anwendungen“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Rosenbaum, H.  
„Membranbasierte Raumklimatisierung“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Preibisch, St.  
„Experimentelle und numerische Untersuchungen eines realen gedimpelten Wärmeübertragers“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Safarik, M.  
„Übersicht über bestehende und neue Systeme der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung“  
BHKW Jahreskonferenz 2010, Nürnberg, 10.03.2010
- Safarik, M.  
„Installations with Absorption Chiller Technology and Experiences“  
International Seminar: Solar Air Conditioning Experiences and Practical Application, Otti e. V. München, 08.06.2010
- Safarik, M.  
„Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung: Funktionsprinzip und Technologien“  
Fachtagung: „Energieeffizient produzieren!“,  
Sächsische Energieagentur, Vereinigung der sächsischen Wirtschaft e. V., Chemnitz, 21.09.2010
- Safarik, M.  
„Entwicklungen in der Absorptions- und Wasserdampfkältetechnik“  
Vortrag an der BTU Cottbus, 08.09.2010
- Spörl, G.  
„Cryopreservation of Living Tissue“  
11<sup>th</sup> Cryogenics 2010, Bratislava, 26.-29.04.2010
- Spörl, G.  
„Gesundheitswirtschaft in Sachsen“  
3. Workshop Gesundheits-ökonomisches Zentrum Dresden, 02.12.2010
- Vollmer, D.  
„Neues Softwarepaket „REFLIB 3.0 für thermo-physikalische Stoffdaten kältetechnischer Arbeitsstoffe“  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Magdeburg, 17.-19. November 2010
- Waschull, J.  
„Solar Cooling Options for Dairy Industrie“  
Indo-German Energy Symposium  
New Delhi, April 28<sup>th</sup> 2010,
- Waschull, J.; Müller, R.  
„Development of a Heat Storage Material for Elevated Temperatures“  
4. Expert Meeting, Annex 24, Task 42-Compact Thermal Energy Storage: Materials Development for System Integration, Graz, 27.09.2010
- Ziller, F.; Mai, R.  
„Energetische Inspektion von Klimaanlage“  
Seminar der YIT Deutschland, München, 20.-22.10.2010

Ziller, F.; Mai, R.  
 "Energetische Inspektion von Klimakälteanlagen"  
 Seminar der YIT Deutschland, München,  
 04.-05.11.2010

Ziller, F.; Junk, M.  
 "Wasserchemie und konstruktive Randbedingungen von Deionatkühlsystemen"  
 Seminar der Ardenne Anlagentechnik GmbH, Dresden, 16.-20.08.2010

## **Ausgewählte Fachberichte**

### **Kryotechnik und Tieftemperaturphysik**

Rittsche, A.; Großmann, B.  
 Softwareupdate Temperaturkammer  
 ILK-B-1-10-007

Kuhn, M.; Kaiser G.  
 Zwischenbericht: 4-Zyklen Pulse-Tube-Kühler  
 ILK-B-1-10-013

Spörl, G.; Großmann, B.  
 1. Zwischenbericht: Konzept, Auslegung und Untersuchung von Modulen für Tieftemperatur-Materialprüfkammern  
 ILK-B-1-10-026

Schneider, M.  
 1. Zwischenbericht: Kompakte Lösungskältemaschine zur kontinuierlichen Kühlung von Strahlungssensoren  
 ILK-B-1-10-050

Schneider, M.  
 2. Zwischenbericht: Kompakte Lösungskältemaschine mit Pulsrohrkühler zur Kühlung von Spezialkryostaten  
 ILK-B-1-10-057

### **Kälte- und Wärmepumpentechnik**

Vollmer, D.  
 Uncertainties in measurements of compressor performance data  
 ILK-B-2-10-928

Röllig, P.  
 Expansionsventile kleiner Leistung für kältetechnische Anwendungen  
 ILK-B-2-10-931

Heinrich, C.; Böhm, M.  
 KLH Laserkühler - AP 7: Entwicklung eines Temperaturregelverfahrens für die Wasserkreisläufe  
 ILK-B-2-10-932

Paatzsch, R.  
 Initialberatung Agrar und Handels GmbH Mehderitzsch  
 ILK-B-2-10-933

Noack, R.  
 3. Zwischenbericht: Neue funktionale und biomimetische Oberflächen zur Verminderung von Eiswachstum  
 ILK-B-2-10-934

Noack, R.  
 Entwicklung Luft-Wasser-Wärmepumpe mit verbesserter Arbeitszahl  
 ILK-B-2-10-935

Hempel, O.  
 1. Zwischenbericht 2009 - Haushaltskältegeräte für das neue Energielabel A-80%  
 ILK-B-2-10-937

Bratanitsch, K.  
 Ermittlung der Haftkraft von an Metallplatten an gefrorenen Steinkohle-Wasser-Blöcken mit Variation von Wassergehalt und Temperatur  
 ILK-B-2-10-938

Tzscheutschler, A.  
 Umweltfreundliche CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe zur Trinkwassererwärmung für das Gewerbe  
 ILK-B-2-10-940

Bratanitsch, K.  
 Schlussbericht - Untersuchung von Komponenten für CO<sub>2</sub>-Kreisläufe  
 ILK-B-2-10-948

Böhm, M.; Hauptmann, J.  
 Schlussbericht 2009: Energieeffizienz von Kältemittelverdichtern  
 ILK-B-2-10-950

Müller, M.  
 1. Zwischenbericht zur UBA-Studie „Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln“ - Marktrecherche  
 ILK-B-2-10-955

Bratanitsch, K.  
 Testbericht: Verdichterleistungsmessung,  
 Bitzer 4JTC-15K, R744  
 ILK-B-2-10-961

Hempel, O.  
 Beurteilung des Zustandes einer R22-  
 Kälteanlage  
 ILK-B-2-10-962

Illgen, A.  
 Zwischenbericht:  
 Neue funktionale und biomimetische Ober-  
 flächen zur Verminderung von Eiswachs-  
 tum - Charakterisierung des Adhäsion-  
 verhaltens  
 ILK-B-2-10-965

Vollmer, D.  
 Abschlussbericht:  
 Verbesserung der Öko-Effizienz in der  
 Kältetechnik  
 ILK-B-2-10-969

Müller, M.  
 Sachbericht 1. Hj. 2010:  
 UBA-Studie „Wärmepumpen mit natürli-  
 chen Kältemitteln“ -  
 ILK-B-2-10-970

Peusch, A.  
 1. Zwischenbericht: Reduzierung der  
 Schallemission an Luft-Wasser-  
 Wärmepumpen  
 ILK-B-2-10-973

Müller, M.  
 Untersuchungen an Plattenverdampfern  
 im überfluteten Betrieb mit R134a  
 ILK-B-2-10-980

Noack, R.; Peusch, A.  
 Untersuchungen an zwei kompakten Tief-  
 kühlaggregate (Huckepack-Aggregate)  
 ILK-B-2-10-983

Noack, R.; Illgen, A.  
 Untersuchungen an einer Brauchwarm-  
 wasser- Wärmepumpe  
 ILK-B-2-10-984

Edler, Chr.  
 Alternative Kälteerzeugungsverfahren  
 ILK-B-2-10-988

Peusch, A.  
 Untersuchungen an Wärmemengenzäh-  
 lern  
 ILK-B-2-10-1008

### **Luft- und Klimatechnik Bereich Klimatechnik**

Friebe, Chr.; Preibisch, St.  
 1. Zwischenbericht: Strahlpumpe für effi-  
 zientere Flüssigsorptionsprozesse  
 ILK-B-31-10-3537

Franzke, U.  
 3. Zwischenbericht: Entscheidungshilfe  
 Solare Klimatisierung  
 ILK-B-31-10-3562

Buschmann, M.H.  
 4. Zwischenbericht: Innovative Wärmeü-  
 bertrager, Konzepte - Vorlaufforschung  
 ILK-B-31-10-3567

Rosenbaum, H.  
 Parameterstudie für membranbasierte  
 Kühldeckenelemente  
 ILK-B-31-10-3569

Krause, R.  
 3. Zwischenbericht: Entwicklung leiser  
 CPU-Kühler mit fein strukturierten Schau-  
 feln  
 ILK-B-31-10-3572

Pohl, St.; Buschmann, M. H.  
 Experimentelle Untersuchungen am Ver-  
 suchsstand „Innovativer Wärmeübertra-  
 ger“  
 ILK-B-31-10-3574

Ziller, F.  
 2. Zwischenbericht: System zur energeti-  
 schen Inspektion von Klimaanlage  
 ILK-B-31-10-3576

Buschmann, M.H.  
 1. Zwischenbericht: Optimierung des  
 Wärmeüberganges in strukturierten Roh-  
 ren  
 ILK-B-31-10-3577

Friebe, Chr.; Preibisch, St.  
 Zwischenbericht: Strahlpumpe für effizien-  
 tere Flüssigsorptionsprozesse  
 ILK-B-31-10-3605

Ziller, F.  
Messung des Abluftanteils in der Zuluft einer Lüftungsanlage mittels Spurengasmesstechnik  
ILK-B-31-10-3608

Ziller, F.  
Messung der Luftwechselrate in einer Vitrine  
ILK-B-31-10-3610

Hackeschmidt, K.  
2. Zwischenbericht: Entwicklung einer Turbomaschineneinheit für eine CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe  
ILK-B-31-10-3616

Friebe, Chr.  
1. Zwischenbericht: Konvektion in Industriehallen  
ILK-B-31-10-3618

Buschmann, M.H.  
Abschlussbericht: Vorlaufforschung innovative Wärmeübertragerkonzepte  
ILK-B-31-10-3620

Mai, R.; Schiller, H.  
Berechnungs-Algorithmen für freie und regenerative Kühltechnologien in Nichtwohngebäuden  
ILK-B-31-10-3626

Feja, St.; Buschmann, M.H.  
Messung der Wärmeleitfähigkeiten von Nanofluiden  
ILK-B-31-10-3628

Mai, R.  
Analyse der Systemnormung nach EPBD  
ILK-B-31-10-3632

### **Luft- und Klimatechnik Bereich Luftreinhaltung**

Birnbaum, Th.  
Durchführung von Verifizierungsmessungen zur Ermittlung der Messunsicherheit für die diskontinuierliche Emissionsprobenahme von SO<sub>2</sub> mittels Doppelbestimmungen  
ILK-B-33-10-1525

Heidenreich, R.; Knabe, M.  
Messungen zur Abscheideleistung am KSS-Abscheider in einem Betrieb der Metallverarbeitung  
ILK-B-33-10-1528

Frenzel, W.-P.; Böhme, A.; Heidenreich, R.  
1. Zwischenbericht: Energieökonomische und emissionsminimierte filternde Abscheider  
ILK-B-33-10-1529

Holfeld, St. u. a.  
1. Zwischenbericht: Trennmittelabscheider für Druckgussmaschinen  
ILK-B-33-10-1530

Heidenreich, R.  
1. Zwischenbericht: Neue Filtermaterialien  
ILK-B-33-10-1531

Heidenreich, R.  
3. Zwischenbericht: Sol-Gel-Filter  
ILK-B-33-10-1532

Blei, St.; Heidenreich, R.  
1. Zwischenbericht: Entwicklung eines Verfahrens zum simultanen Vergleich von Filtern  
ILK-B-33-10-1533

Birnbaum, Th.  
Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen  
ILK-B-33-10-1535

Blei, St. u. a.  
Abschlussbericht: Industrieller Hochleistungsabscheider  
ILK-B-33-10-1536

Heidenreich, R.;  
Birnbaum, Th.  
Abschlussbericht: Hygienische Untersuchungen an Erdschotterspeichern  
ILK-B-33-10-1537

Heidenreich, R.  
Thermische Verwertung von Gärresten in Kesseln kleiner Leistung  
ILK-B-33-10-1543

Heidenreich, R.  
Dichtheitsprüfung und Integritätstest an  
Zuluftfiltern in einem Produktionsraum  
ILK-B-33-10-1544

Schmidt, D.; Heidenreich, R.  
Neuartige Abscheideverfahren für Schad-  
stoff-Emissionen bei der Materialbearbei-  
tung mittels Lasertechnik - Asemlas  
ILK-B-33-10-1548

Heidenreich, R.; Blei, St.  
Bestimmung der Abscheideleistung von  
Filterplatten aus technischer Keramik  
ILK-B-33-10-1549

Birnbaum, Th.  
Zwischenbericht 2010:  
Entwicklung eines emissionsarmen Wär-  
mespeicherheizungssystems  
ILK-B-33-10-1552

Heidenreich, R.; Schmidt, D.; Holfeld, St.  
Entwicklung eines verfahrenstechnischen  
Konzepts zur Abscheidung tropfen- und  
dampfförmiger Emissionen von Druck-  
gussmaschinen  
ILK-B-33-10-1572

### **Angewandte Neue Technologien**

Waschull, J.; Müller, R.  
2. Zwischenbericht: Entwicklung von  
Hochtemperatur-Wärmespeichermaterial  
ILK-B-4-10-2741

Braumöller, J.  
Zwischenbericht:  
Verbesserte integrale Dichtheitsprüfung  
ILK-B-4-10-2753

Germanus, J. u. a.  
Ökoeffizientes Kältemittelazeotrop Ammo-  
niak-Dimethylether  
ILK-B-4-10-2754

Rittsche, A.  
Zwischenbericht:  
Entwicklung eines optoelektronischen  
Feuchteindikators für Kälteanlagen  
ILK-B-4-10-2755

Feja, St.; Schumann, B.  
1. Zwischenbericht: Transporteigenschaf-  
ten ökoeffizienter Kältemittel-Öl-Gemische  
ILK-B-4-10-2756

Hegewald, J.  
Zwischenbericht:  
Werkstoffverhalten unter scCO<sub>2</sub>-  
Bedingungen von Kälteanlagen  
ILK-B-4-10-2759

Germanus, J.  
Abschlussbericht: Neue Generation von  
Low-GWP-Kältemitteln: Basisuntersu-  
chungen  
ILK-B-4-10-2774

Schumann, B.; Künanz, R.  
Kryogene Charakterisierung von faserver-  
stärktem Kunststoffplattenmaterial für den  
Einsatz in Tieftemperaturspannelementen  
ILK-B-4-10-2776

Rittsche, A.  
Qualifizierung eines Drucktransmitters  
zum Einsatz in der Luftfahrt  
ILK-B-4-10-2787

Rittsche, A.  
Prüfeinrichtung zur dreiachsigen Aufspan-  
nung von Sensoren  
ILK-B-4-10-2788

Rittsche, A.  
Entwicklungsbegleitende Untersuchung  
eines in Serie befindlichen Drucktransmit-  
ters unter erhöhten Materialbelastungen  
ILK-B-4-10-2789

Rittsche, A.  
Untersuchung von Drucktransmittern unter  
extremen Einsatzbedingungen – Teil 1  
ILK-B-4-10-2790

Braumöller, J.  
Emissionsverringerung an PKW-Klima-  
anlagen  
ILK-B-4-10-2794

Grimm, U. u. a.  
Tieftemperaturversuchseinrichtung  
(TESTCOOL)  
ILK-B-4-10-2805

Krusche, J.  
Zwischenbericht: Qualifizierung höchstverfügbarer Drucktransmitter für extreme Einsatzbedingungen, Teilthema ILK: Prüfung von Drucktransmittern für extreme Einsatzbedingungen  
ILK-B-4-10-2810

Waschull, J.; Müller, R.  
Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmespeichermaterialien  
ILK-B-4-10-2817

Feja, St.  
Messung und Bewertung von physikalischen Eigenschaften in den Systemen Summit RPA 68, Arctic SHC NH 68, Reniso Synth 68 und Reniso KC 68 mit R723  
ILK-B-4-10-2841

### **Angewandte Energietechnik**

Albring, P.  
Zwischenbericht II - Vakuumeisspeicher  
ILK-B-5-10-0064

Kretzschmar, Th.  
Ermittlung der Pumpenkennlinie und NPSH-Werte von Kugelmotorpumpen unter Sättigungsbedingungen im Vakuum und Umgebungsdruckbedingungen  
ILK-B-5-10-065

Safarik, M.  
Abschlussbericht: LowCost-Wärmeübertrager für Absorptionskälteanlagen  
ILK-B-5-10-067

Heinrich, C.;  
Kretzschmar, Th.; Richter, L.  
Lösungsverteilung in stehenden Rieselfilmrohren luftgekühlter Absorber  
ILK-B-5-10-093

Richter, L.  
Festlegung der Auslegungsbedingungen für eine thermische Kälteanlage im Projekt SolTri  
ILK-B-5-10-096

Heinrich, C.  
Sachstandsbericht zu AP 1 zum UBA-Vorhaben: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen der Gebäudeklimatisierung und Industrie  
ILK-B-5-10-101

### **OAD**

Sussek, W.  
Literatur- und Patentrecherche zum Thema „Anlagendiagnostik zur Fehlerüberwachung“  
ILK-B-91-10-12

Sussek, W.  
Literaturrecherche „Kryogene Latentwärmespeicher“  
ILK-B-91-10-13

Sussek, W.  
Literaturrecherche zum Thema „Anlagenschaltungen von Kühltürmen mit zwei Temperaturzonen“  
ILK-B-91-10-14

Sussek, W.  
Literaturrecherche „Mobile Heiz- und Entfeuchtungsgeräte im Wärmepumpenbetrieb“  
ILK-B-91-10-16

Sussek, W.  
Literatur- und Patentrecherche zum Forschungsprojekt „VALK- Verfahren zur Abtauminimierung von Luftkühlern“  
ILK-B-91-10-17