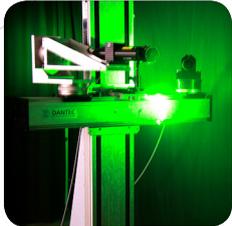




# INNOVATIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

*Forschungsbericht 2014*



Forschung  
Entwicklung  
Technologietransfer  
Versuchstechnik

Herausgeber: Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH

Stand: März 2015

# INHALT



Vorwort	5
Kryotechnik und Tieftemperaturphysik	9
Kälte- und Wärmepumpentechnik	29
Luft- und Klimatechnik	51
Angewandte Werkstofftechnik	85
Angewandte Energietechnik	105
Normungsarbeit am ILK	118
Veranstaltungen	122
Verbände und Organisationen	129
Vorträge	130
Veröffentlichungen / Publikationen	136
Ausgewählte Fachberichte	140





Das Jahr 2014 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 24. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges, privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologieunternehmen. Mit einem interdisziplinären Team von 145 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von ca.13 Mio. ist das ILK eines der größten privaten Forschungseinrichtungen.

Das ILK stellte sich im breiten Spektrum der Technologiebereiche Tieftemperaturtechnik, Kältetechnik, Wärme- und Stoffübertragung, Klimatechnik, Luftreinhaltung, physikalisch-chemische Analytik, Werkstoffe sowie angewandter Energietechnik den grundlegenden Themenstellungen der heutigen Zeit, wie Energie, Umwelt und Lebensqualität.

Im Jahr 2014 wurden 74 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben am ILK bearbeitet und eine Vielzahl von freifinanzierten Aufträgen für die Industrie durchgeführt. Dabei sind am Institut für Luft- und Kältetechnik grundsätzlich alle Bereiche des Innovationszyklus, wie grundlagenorientierte und angewandte Forschung, produkt- und verfahrenorientierte Entwicklung einschließlich Prototyprealisierung sowie der Technologietransfer, insbesondere durch wissenschaftlich-technische Dienstleistungen und innovative Planung, Gegenstand der Arbeiten.

Der ILK-Forschungsbericht 2014 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 2014 und bei den ILK-Mitarbeitern für die aktive Mitarbeit und das persönliche Engagement.

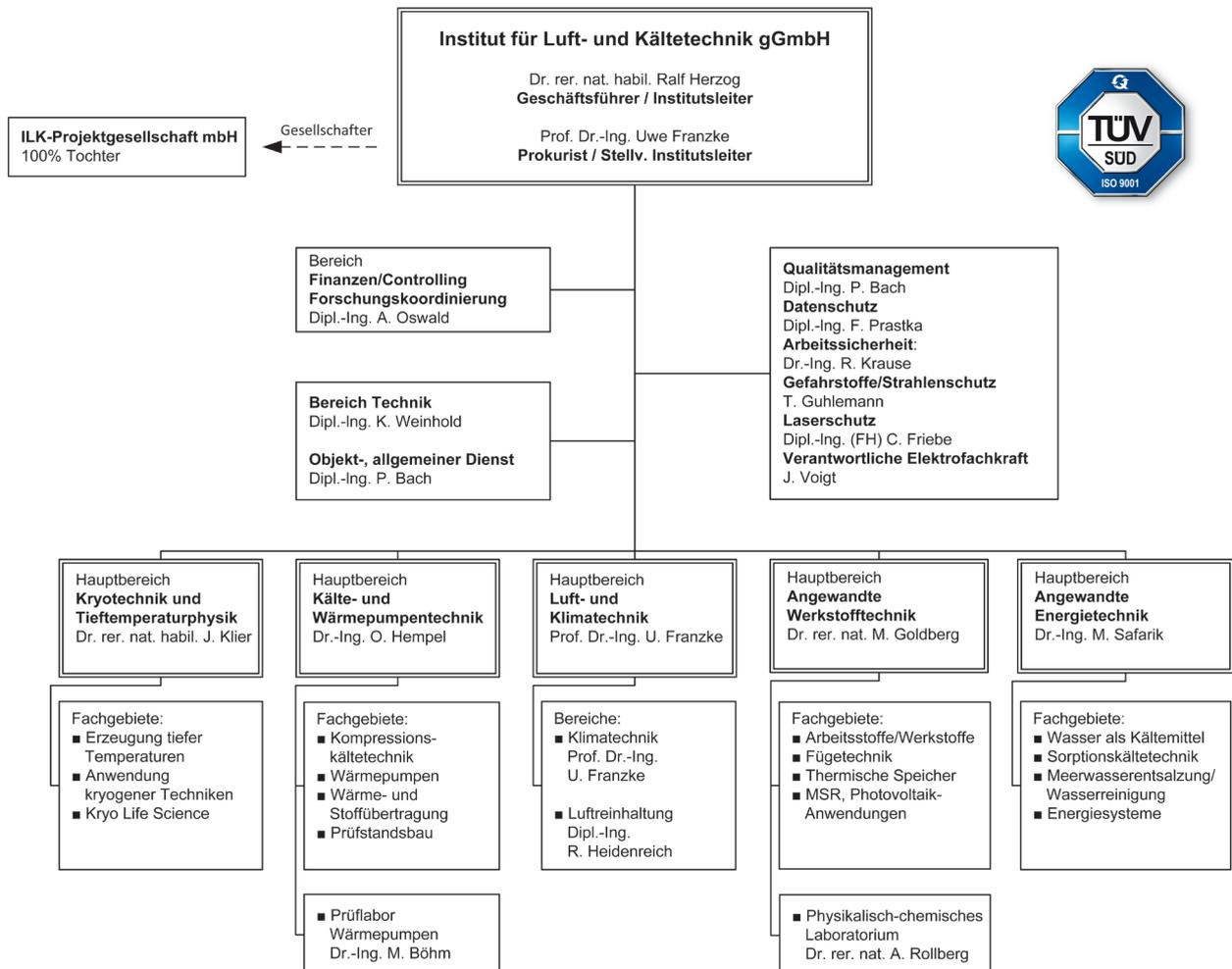
Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke



# DAS INSTITUT

## Organisation





## Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Modellgestützte Verarbeitung von Biopolymeren	10
System zur Vitrifikation von Vollblut bzw. seinen Bestandteilen ohne Zusätze	12
Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger	14
Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2014	16
Untersuchungen zur magnetokalorischen Kühlung im Leistungsbereich der Kälte- und Kfz-Klimatechnik	18
3-D-Kollagen-Trägermaterialien	20
Final-Intermediate Bulk Freezingprozess	22
Kompakte und modulare Kühlsysteme für Temperaturen bis in den Millikelvin-Bereich	24
Kryogene Rankine-Anlage	26

## Modellgestützte Verarbeitung von Biopolymeren

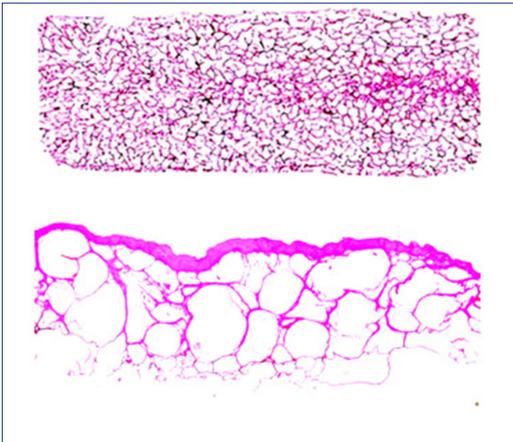


Bild 1: Querschnitt zweier identisch hergestellter Kollagenschwämme für die Zellkultur: feinporige Zielstruktur mit durchlässiger Oberfläche (oben) und grobporige Fehlproduktion mit verdichteter, undurchlässiger Oberfläche (unten) durch Probleme bei der Rohstoffaufbereitung.



Bild 2: Erfassung der Form- und Größenverteilung des Faserkollektivs einer Kollagensuspension mit einem modernen optischen Bildanalysesystem.

Seit 2010 befasst sich das ILK Dresden mit der kryogenen Verarbeitung des biologischen Rohstoffes Kollagen zu maßgeschneiderten Biomaterialien für den Einsatz in der zellbiologischen Grundlagenforschung, Regenerativen Medizin und Pharmazie. Dabei wurde eine Gefriertrocknungstechnologie zur Erzeugung 3-dimensionaler (3D) Biomaterialien mit bedarfsgerechter 3D-Struktur entwickelt und in ein patentiertes Fertigungsverfahren überführt. Das softwaregestützte Verfahren ermöglicht die exakte Einstellung gewünschter Produktparameter durch sensible Feinjustierung von Rohstoffeigenschaften und Prozessvariablen. Gerade deshalb reagiert es aber auch sensibel auf Qualitätsschwankungen des Rohmaterials und Änderungen in seiner Aufbereitung. So zeigte sich, dass bereits geringe Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung des Rohstoffes Schweinespalthaut und Prozessschwankungen bei seiner Aufbereitung zu einer fibrillären Kollagensuspension durch Extraktions- und Mahlprozesse zum Prozessversagen führen können. In der industriellen Kollagenver-

arbeitung sind derartige Problemstellungen trotz robuster Fertigungsprozesse ebenfalls weit verbreitet. Problematisch ist insbesondere eine starke Chargenabhängigkeit des Fließverhaltens von Kollagensuspensionen. So kann eine ungewünschte Erhöhung der Viskosität die Pumpfähigkeit der Suspension vermindern, was sich durch die höhere mechanische und thermische Beanspruchung im Verarbeitungsprozess direkt auf die Produktqualität der erzeugten Zellkultur-Scaffolds und Wundauflagen auswirkt (vgl. Bild1).

Im aktuellen FuE-Projekt „Modellgestützte Verarbeitung von Biopolymeren“ entwickelt das ILK Dresden basierend auf den Erkenntnissen der Vorläuferprojekte ein Verfahren, welches es ermöglichen soll, die Einflüsse einer schwankenden Rohstoffqualität und einer unterschiedlichen Beanspruchung im Aufarbeitungsprozess auf die Verarbeitungseigenschaften der erzeugten Kollagensuspensionen und die Qualität der durch Gefriertrocknung daraus hergestellten Kollagenscaffolds zu kompensieren. Negative

Einflussgrößen sollen durch eine Analytik der Prozesssuspension quantitativ erfasst und in ein Prozessmodell überführt werden. Das Modell berechnet auf dieser Basis die notwendigen Schritte, die getroffen werden müssen, um eine optimale Prozessfähigkeit der Suspension einzustellen. Ziel des FuE-Vorhabens ist es, für Industriepartner ein neuartiges Verfahren zur Steigerung der Produktionseffizienz, Produktausbeute und Produktqualität zur Verfügung zu stellen. Durch Verarbeitungsversuche und Simulationen wurde das Fließverhalten von Faserdispersionen verschiedener Kollagenchargen bei der Förderung in Rohrleitungssystemen und technischen Anlagen ermittelt. Aus den zulässigen Betriebsbedingungen einer Modellanlage wurden die Anforderungen an das viskoelastische Verhalten der zu verarbeitenden Suspension exemplarisch abgeleitet und rheologische Zielgrößen des Verarbeitungsprozesses definiert.

Um die Einflüsse von Rohstoffqualität und technischen Schwankungen bei seiner Aufbereitung zur prozessfähigen Fasersuspension als Prozesseinflussgrößen zu erfassen, wurden geeignete analytische Methoden entwickelt. An erster Stelle stand die Entwicklung einer thermoanalytischen Methode zur Erfassung des natürlichen Quervernetzungsgrades. Diese Größe kann bereits in Abhängigkeit von der Fütterung der tierischen Rohstofflieferanten stark schwanken. Sie bestimmt die chemische Beständigkeit und mechanische Festigkeit des Kollagens in der Schweinehaut und ist dadurch ein prozessrelevanter Parameter, der auch die Aufarbeitung des Kollagens zur Prozesssuspension und deren Verarbeitungseigenschaften beeinflusst. Als Einflüsse des Aufbereitungsprozesses wurde die thermische Schädigung des Kollagens und die Größen- und Formverteilung der Fasern in der Prozesssuspension identifiziert. Eine thermische Schädigung resultiert beispielsweise aus der mechanischen Belastung beim wässrigen Aufmahlen der Spalthaut

zu einer feinteiligen Faser-Suspension und wird mit dem entwickelten thermoanalytischen Verfahren über den Anteil des zu Gelatine abgebauten Kollagens (Denaturierungsgrad) bestimmt. Die analytische Erfassung der aus dem Mahlprozess resultierenden Größen- und Formverteilung der suspendierten Kollagenfasern stellte die größte Herausforderung dar, denn das Partikelkollektiv mechanisch aufbereiteter Kollagensuspensionen weist ein extrem breites Form- und Größenspektrum auf. Mit dem dynamischen Bildanalysator Sympatec QICPIC/ R06 wurde eines der aktuell leistungsfähigsten Partikelmesssysteme am ILK Dresden installiert, um die Eigenschaften mikroskopisch kleiner Kollagenpartikel und mehrere Zentimeter langer Fasern zeitgleich erfassen und hinsichtlich ihres Prozesseinflusses als Gesamtheit bewerten zu können (s. Bild 2).

Die entwickelten Messmethoden werden vom ILK Dresden als Forschungsdienstleistungen angeboten. Im Anschluss an die Methodenentwicklung wurden Verfahren etabliert, um die untersuchten Prozesseinflüsse unter Laborbedingungen gezielt zu variieren. Zur Variation von Form- und Größenverteilung des Partikelsystems kamen mit Schneid-, Prall- und Schwingmahlen drei Zerkleinerungsverfahren mit unterschiedlichen mechanischen Beanspruchungsprofilen zum Einsatz. Zur gezielten Nachstellung und Variation des natürlichen Vernetzungsgrades wurde ein Verfahren etabliert, welches mit hochenergetischer UV-Strahlung arbeitet. Dies stellte sich als große wissenschaftliche und technische Herausforderung heraus. Im Jahr 2014 konnte ein Versuchstand etabliert werden, der den prinzipiellen Funktionsnachweis der UVC-Vernetzung erbringen konnte. Im Frühjahr 2015 soll eine zweite Vernetzungsanlage in Betrieb genommen, die kontinuierlich arbeitet und auch eine gezielte Einstellung verschiedener Vernetzungsgrade ermöglichen soll.

System zur Vitrifikation von Vollblut bzw. seinen Bestandteilen ohne Zusätze

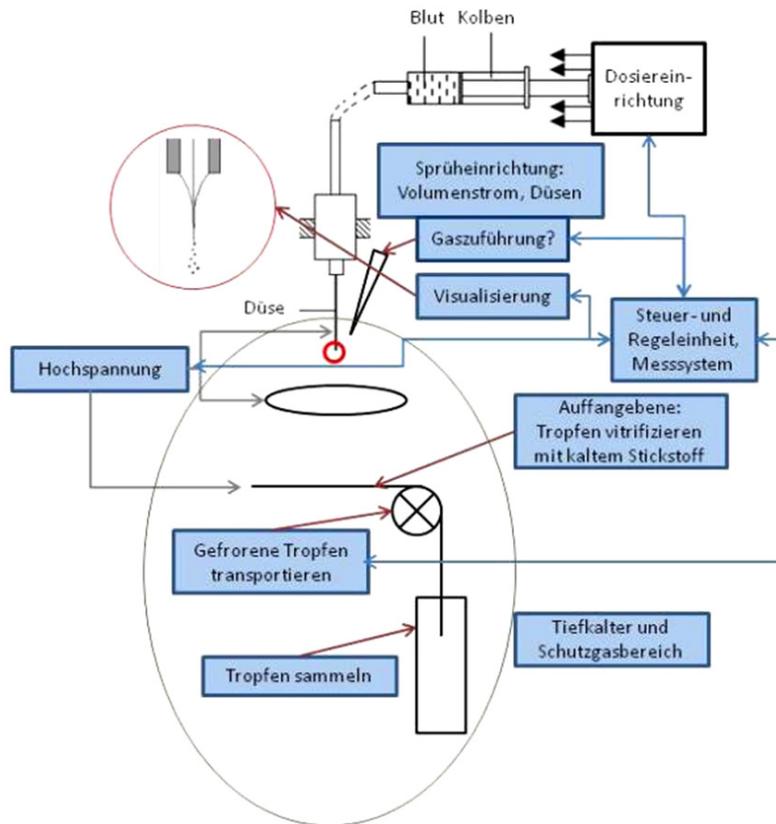


Bild 1: Schema des SyViBoZ und dessen Komponenten. Insert im roten Kreis aus M. Lohmann, "Herstellung von Partikeln durch elektrostatische Zerstäubung von Flüssigmetallen in gasförmiger Umgebung" Dissertation, Nov. 2000

Ziel des von der Euronorm GmbH geförderten Vorhabens ist es, ein System zur Vitrifikation von Vollblut bzw. seinen Bestandteilen ohne Zusätze mit einer sehr hohen Vitalität zu entwickeln. Gegenwärtig werden z. B. Erythrozytenkonzentrate mit ca. 95 % vitaler Zellen transfundiert. Die Etablierung eines solchen Systems ermöglicht: Erhältbarkeit und Lagerfähigkeit von Vollblut und weiteren Bestandteilen über einen längeren Zeitraum als bisher. Verzicht auf Waschschritte und damit schnellere Verfügbarkeit der Konserven, auch mit höherer Vitalitätsrate der Bestandteile als bei konventioneller Lagerung. Das System zur Vitrifikation von Blut und Blutbestandteilen ohne Zusätze besteht aus mehreren Komponenten, die folgende Funktionen erfüllen müssen:

- Erzeugung einer Feinverteilung des Bluts in kleinste Tröpfchen
- ohne Funktionsverlust der Blutbestandteile
- mit einer Größenverteilung, die für die Vitrifikation geeignet ist (10 bis 50  $\mu\text{m}$ )
- Unmittelbare Anwendung der Kälte (bis ca. 196 °C) auf die Tröpfchen derart, dass der Prozess der Vitrifikation durchführbar wird (Umgehung des Leidenfrost'schen Phänomens)
- ohne Verklumpen der Tröpfchen
- mit guter Zugänglichkeit zwecks tiefkalter und rascher Weiterprozessierung
- Sammlung und Verpackung der vitrifizierten Tröpfchen unter sterilen Bedingungen in sterilen Behältnissen
- Lagerung dieser Behältnisse ohne Energieeintrag beim Transfer bei 85 °C bzw. 180 °C (Gasphasenlagerung von  $\text{LN}_2$ )

Die Erzeugung kleinster Tröpfchen (10 bis 50  $\mu\text{m}$ ) erfolgt mittels Hochspannung und/oder einem assistierenden Gasstrom. Die Vitrifikation wird erreicht, indem diese Tröpfchen auf eine tiefkalte Platte treffen, von der das Granulat in tiefkalter Atmosphäre abgenommen werden kann.

In Bild 1 ist das Schema der Versuchsanordnung dargestellt. Der Versuchsaufbau (Bild 2) ermöglicht die Erzeugung und Vitrifikation der Tröpfchen. Die Größe der Tröpfchen wurde nicht nur visuell mit einer Hochgeschwindigkeitskamera dokumentiert, sondern es wurde auch die Vitalität der Blutbestandteile mittels Acridin-Orange-Test bestimmt (ca. 28 %). Das Prinzip des Tests ist in Bild 3 dargestellt. Die Innovation des FuE-Vorhabens liegt vor allem in der

Langzeitlagerung von Blut und/oder Blutprodukten ohne zu entfernende Zusätze bei sehr hohen Vitalitätsraten der Blutbestandteile. Zielmärkte sind zum Einen all jene Einrichtungen, die Blutspenden sammeln, prozessieren, lagern und verteilen, um die Verfügbarkeit von Blutkonserven über das ganze Jahr kontinuierlich absichern zu können. Zum Anderen kann das Verfahren die Sicherung der Blutversorgung in Katastrophen- und militärischen Einsatzgebieten unterstützen. Die kryogene Lagerung von Vollblut und/oder dessen Bestandteilen nach vorhergehender Vitrifikation ohne Konservierungsmittel könnte die medizinische Versorgung von geschädigten Personen verbessern helfen.

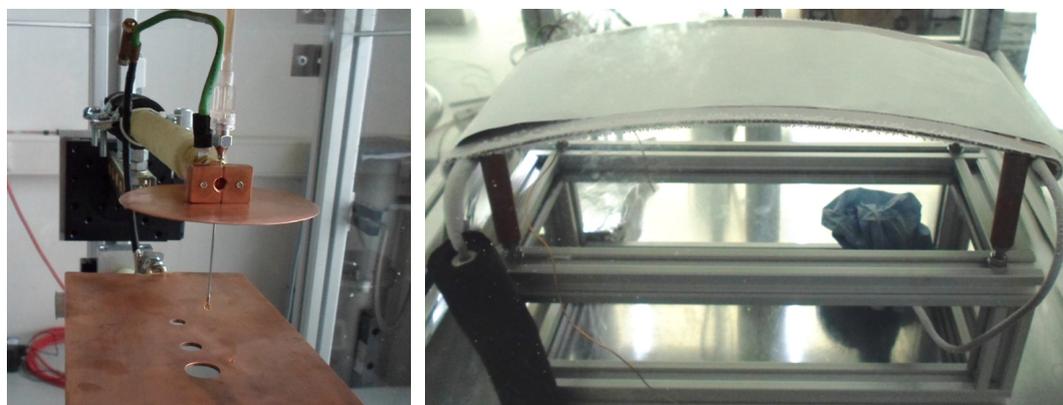


Bild 2: Links, Einheit zur Zerstäubung, rechts, tiefkalte Fläche unterhalb der Zerstäubungseinheit

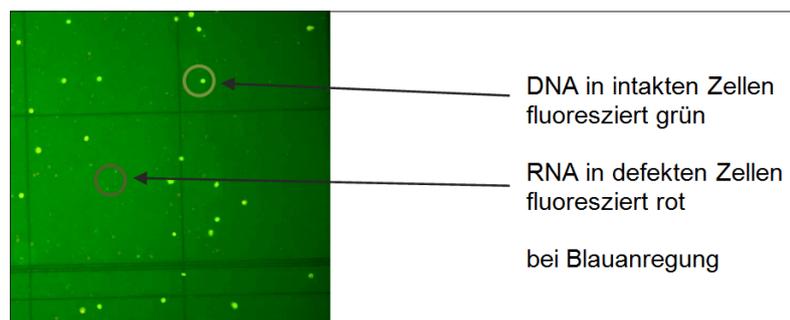


Bild 3: AcridinOrange-Färbung (Fluoreszenz)

## Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger

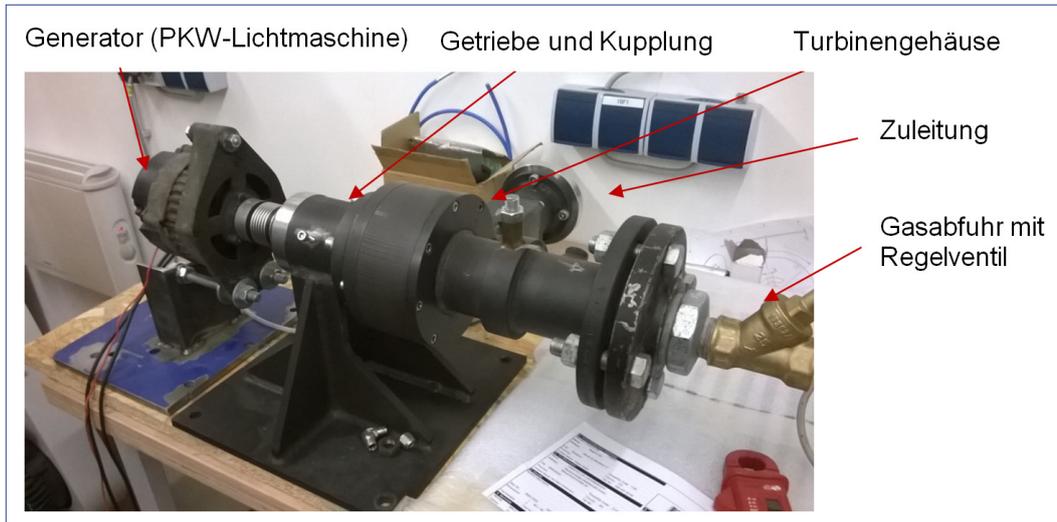


Bild 1: Versuchssystem zur Optimierung des Turbinenaufbaus

Ziel des FuE-Vorhabens ist die Entwicklung eines arbeitsleistenden Entspannungsorgans für Tieftemperaturprozesse in Form einer Scheibenläuferturbine und die Realisierung eines Funktionsmusters in Form eines kompakten und effizienten Verflüssigers für permanente Gase wie Luft, Sauerstoff, Stickstoff oder Argon, als Demonstrator für die angestrebte Technologie. Auf Basis der ersten Konstruktions- und Fertigungszeichnungen zu Beginn des Projektes konnten im Verlauf des Jahres 2014 erste Versuche durchgeführt und die Scheibenläuferturbine weiterentwickelt werden. Es wurde ein Versuchsmuster zur Analyse der Eignung verschiedener strömungsmechanischer (Zu- und Abströmung, Düsenaufbau) und konstruktiver (Dichtung, Druckgradienten, Stabilität, Reibung) Elemente der Turbine aufgebaut und untersucht (siehe Bild 1). Bei den Untersuchungen wurde der Fokus dabei hauptsächlich auf konstruktive Aspekte gelegt, aber auch die Charakteristik der Turbine bzgl. der gemessenen Leistungsdaten und der berechneten Plattenströmung wurden analysiert. Das Mess- und Regelungskonzept wurde erarbeitet. Daraus konnten die benötigten Sensoren abgeleitet

und der Versuchsstands Aufbau konkretisiert und anschließend realisiert werden. In Bild 2 ist das Gesamtmodell der weiterentwickelten Turbine dargestellt. Blau dargestellt ist darin das Laufrad mit Welle und Scheibenpaket sowie das integrierte Getriebe (grün).

Im Laufe der Montage und der Versuche hat sich gezeigt, dass großes Augenmerk vor allem auf Dichtheit, effektiven Druckausgleich und geringe Reibung zu legen ist, denn bereits geringe Masseverluste, z. B. in der Düse, führen zu großen Leistungsverlusten aufgrund geringerer Strömungsgeschwindigkeiten bzw. turbulenter Strömungsvorgänge. Zur Untersuchung der strömungsmechanischen Charakterisierung der Turbine bei unterschiedlichen Bedingungen wurde der Turbine ein Regelventil nachgeschaltet. Es wurde die Bremsleistung des Generators, der Druckverlustbeiwert des Gesamtsystems (Turbine und nachgeschaltetes Druckregelventil) und der Eintrittsdruck zur Turbine variiert und das Anlagenverhalten analysiert.

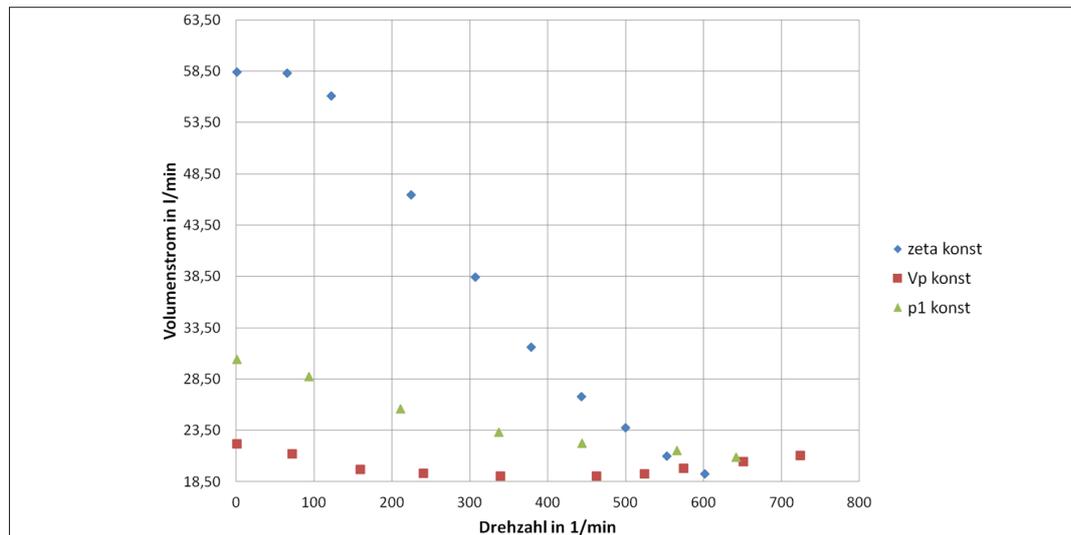


Bild 3 Volumenstrom-Drehzahl-Verlauf

Beispielhaft ist in Bild 3 der Verlauf des Volumenstromes über der Drehzahl bei verschiedenen Bedingungen gezeigt. Die blaue Datenreihe zeigt die Veränderung des Volumenstromes über der Drehzahl bei veränderlichem Eintrittsdruck und unverändertem Öffnungsgrad des Regelventils.

Die rote Datenreihe in Bild 3 zeigt den konstanten Verlauf des Volumenstromes bei veränderlicher Bremsleistung des Generators und der damit sinkenden Drehzahl der Turbine. Die grüne Datenreihe zeigt den Verlauf des Volumenstromes bei konstantem Eintrittsdruck und veränderlicher Bremsleistung. Die Variablen zeigen damit einen stark unterschiedlichen Einfluss auf den resultierenden Volumenstrom. Die Vermarktung der Entwicklungsergebnisse des FuE-Projektes soll über die Weiterentwicklung des Funktionsmusters mit Industriepartnern zum Prototypen eines möglichen Industrieproduktes und dessen Anwendung für weitere relevante Prozessparameter realisiert werden. Die Anwendungsfelder können Verflüssigungsverfahren für Luft bzw. Stickstoff oder Sauerstoff oder Erdgas sein.

Im weiteren Entwicklungsprozess ist zudem denkbar, dass die gewonnenen Erkenntnisse zur Entwicklung eines arbeitsleistenden Drosselorgans für die industrielle Kältetechnik genutzt werden können. Partner eines solchen Projektes könnten Kühlgeräte- oder Komponentenhersteller aus dem Bereich der Kälte- und Anlagentechnik sein.

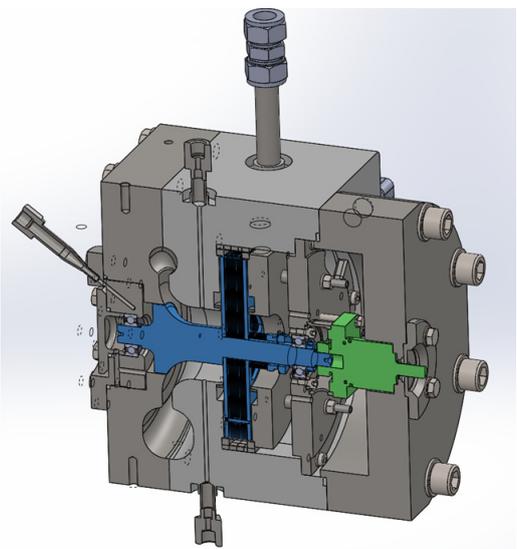


Bild 2: Turbinenmodell

## Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2014

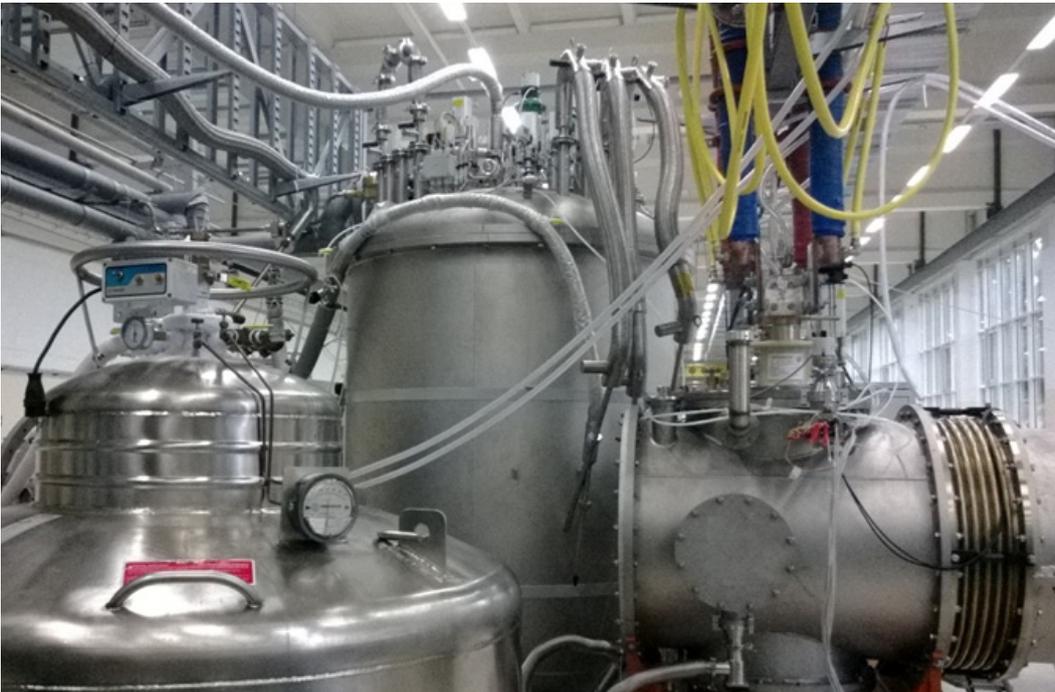


Bild 2: Integration am Versuchsstand in Dubna

Das Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna, Russland, ist eine internationale wissenschaftliche Forschungsorganisation. Das Haupttätigkeitsfeld der JINR-Aktivitäten sind theoretische und experimentelle Studien in elementarer Teilchen-, Nuklear- und Festkörperphysik. Am JINR wird, wie aus Veröffentlichungen bekannt ist, aktuell ein neuer Nuclotron-basierender Teilchenbeschleuniger mit dem Namen NICA aufgebaut (NICA – Nuclotron-based Ion Collider fAcility) aufgebaut. Für diesen neuen supraleitenden Speicherring werden spezielle Testeinrichtungen benötigt, mit der die zugehörigen supraleitenden Magnete (z. B. Dipolmagnete) getestet und qualifiziert werden können. Diese Testeinrichtungen für die Magnete beinhalten Teil-Verflüssiger zur

optimalen Kühlung mit flüssigem Helium. Gleichzeitig ist das Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt damit beschäftigt, ihrerseits einen neuen leistungsfähigen Teilchenbeschleuniger aufzubauen (FAIR Projekt). Bedingt durch die enge wissenschaftliche Kooperation zwischen dem JINR und dem GSI, sollen auch die supraleitenden Magnete für das FAIR Projekt an den Teil-Verflüssigern des ILK Dresden am JINR getestet werden, was eine enorme Herausforderung hinsichtlich Dauerbelastung darstellt.

Ein Leistungsnachweis der supraleitenden Magnete erfordert die permanente Kenntnis über alle Parameter des kryogenen Mediums inklusive des dazugehörigen Massen-



Bild 1 und 3: Montage des Verflüssigers in Dubna

stroms, der in dem Kühlkreislauf zirkuliert. Details zu grundlegenden Parametern und Funktionsweise sind dem ILK-Forschungsbericht zur Entwicklung von kryotechnischen Anlagen aus dem Jahr 2013 zu entnehmen. Nach Entwicklung, Test und Abnahme der ersten Anlage im Beisein russischer Wissenschaftler am ILK, erfolgte der Transport nach Russland. Nach Ankunft am endgültigen Bestimmungsort in Dubna wurde der Verflüssiger durch unsere Wissenschaftler und Ingenieure aufgebaut, mit der LN<sub>2</sub>- und Heliumperipherie verbunden und getestet (siehe Bilder 1 bis 3). Die Anlage wurde für eine Kälteleistung von 100 W @ 4.5 K mit einem Massenstrom von 5 g/s und bei einem Systemdruck von 13 bar (20 bar im Einkühlfall) ausgelegt. Messungen haben ergeben, dass der Verflüssiger, je nach Massenstrom an komprimierten Helium, sogar eine größere Kälteleistung bereitstellen

kann. Auf Grund weiterführender Tests an einer Stromzuführung mit ca. 35 kA konnte durch eine Erweiterung der Programmierung der Regelventile ein optimales Betriebsregime erarbeitet werden. Durch die Notwendigkeit einer Massenstromregelung anstatt einer Vordruckregelung musste die Software jedoch nochmal komplett angepasst werden.

Das ILK unterstützt das JINR bei der Auswertung und Interpretation anfallender Versuchsergebnisse über Internet und trägt so dazu bei, dass die in der Entwicklung befindlichen ersten supraleitenden Magnete ordnungsgemäß getestet werden können. Die gewonnenen Messergebnisse aus den durchgeführten Tests fließen in die Entwicklung zweier weiterer Teil-Verflüssiger für das JINR ein.

## Untersuchungen zur magnetokalorischen Kühlung im Leistungsbereich der Kälte- und Kfz-Klimatechnik

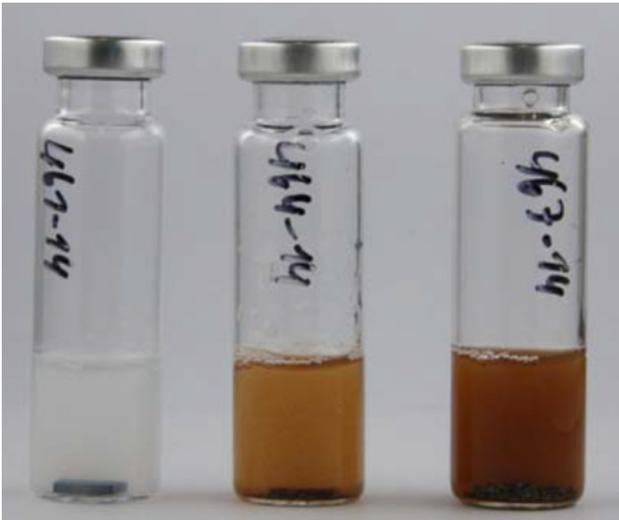


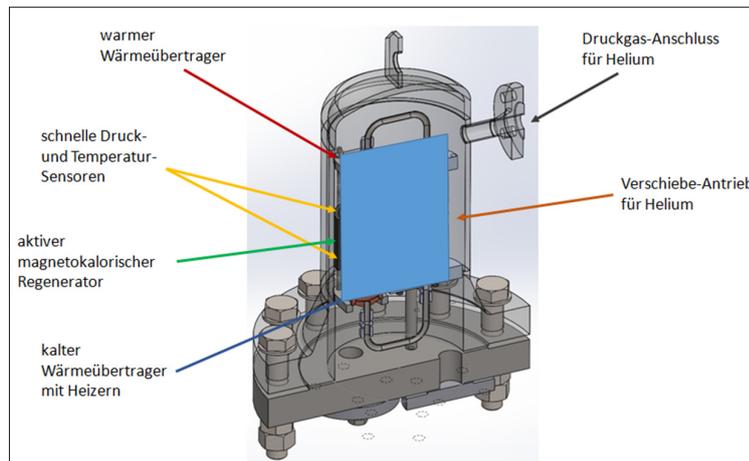
Bild 1: Nach der Auslagerung von Gadolinium (links), LaFeCoSi (mitte) und LaFeMnSiH (rechts) gemeinsam mit der potentiellen Wärmetransfermedium Wasser wurde bei allen Materialien eine chemische Reaktion festgestellt. Wasser kann somit nicht eingesetzt werden.

Dieses Vorlauforschungsprojekt hat zum Ziel, die Möglichkeit der energieeffizienten Erzeugung von Haushalts- und Industriekälte durch Ausnutzung des magnetokalorischen Effektes zu erforschen. Betrachtet werden soll ein möglicher Einsatz magnetokalorischer Kälteanlagen im Leistungsbereich zwischen 1 W und 100 kW und für Temperaturen zwischen +15 °C und 10 °C. Weiterhin sollen Lösungen entwickelt werden, wie die Baugröße der Kälteaggregate verringert und die erzeugte Kälte effektiv im zu kühlenden Raum verteilt werden kann. Der Forschungsschwerpunkt des FuE-Projektes wurde auf das Bearbeiten der wissenschaftlich-technischen Schwierigkeiten bei der Erstellung eines Kühlers sowie die chemische Verträglichkeit der dabei eingesetzten Medien gelegt.

Beim Anlegen technisch relativ günstig erzeugbarer Magnetfelder (ca. 0,5 Tesla) erhöht sich die Temperatur der magnetokalorischen Materialien nur um 0,2 bis 1,5 °C. Somit ist eine Kaskadierung vieler Stufen in Form eines aktiven magnetokalorischen Regenerators (AMR) zum Erreichen einer für Kühlzwecke nutzbaren Temperaturdifferenz unumgänglich. Als geeignetes magnetokalorisches Material wurde das Element

Gadolinium ausgewählt, der magnetokalorische Effekt hat ein Maximum bei 19 °C Ausgangstemperatur, ist jedoch auch noch bei 0 °C und 30 °C nachweisbar. Weiterhin wurden die pulvermetallurgisch hergestellten Verbindungen LaFeCoSi und LaFeMnSiH betrachtet. Deren Temperaturspanne, in welcher der magnetokalorische Effekt auftritt, ist zwar geringer als bei Gadolinium, jedoch kann durch eine veränderte Zusammensetzung die Temperatur, bei welcher der Effekt maximal ist, verschoben werden. Durch Schichten mehrerer Verbindungen lässt sich ein AMR mit Arbeitstemperaturen zwischen 0 °C und 30 °C aufbauen.

In einem solchen AMR muss die zu transportierende Wärmemenge mehrmals zwischen magnetokalorischem Material und einem Wärmetransferfluid ausgetauscht werden. Die dafür ursprünglich vorgesehenen metallischen Flüssigkeiten mussten aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit längs des AMR aufgegeben werden (thermischer Kurzschluss). Stattdessen wurden Helium, Wasser und Ethanol hinsichtlich ihrer Materialverträglichkeit mit den magnetokalorischen Materialien bewertet. Wie in Bild 1 dargestellt, kam es jedoch beim Kontakt mit Wasser auch trotz zugefügten



*Bild 2: Schnittbild des druckdichten Gefäßes, darin links der AMR mit jeweils einem Kupfer-Wärmeübertrager auf der warmen und kalten Seite des AMR. Am Übergang vom AMR zu den Wärmeübertragern sind schnelle Druck- und Temperatursensoren eingebaut. Der Antrieb für das oszillierende Wärmetransfer-Medium Helium ist auf der rechten Seite dargestellt. (© ILK Dresden)*

Korrosionsschutz-Additiven zu chemischen Reaktionen. Ethanol und das Helium zeigten bei Kontakt keine Veränderungen. Es ist sinnvoll, nur geringe Massen magnetokalorischen Materials zur Erzeugung der gewünschten Kälteleistung zu verwenden. Außerdem kann dadurch auch der Aufwand zur Erzeugung des benötigten Magnetfeldes verringert werden, das Kälteaggregat wird kompakter. Diese Ziele lassen sich jedoch nur durch Erhöhung der Arbeitsfrequenz erreichen, so dass der Zyklus des Wärmetransports pro Zeiteinheit häufiger stattfindet. Die dafür benötigten höheren Strömungsgeschwindigkeiten sind mit Ethanol nur mit erhöhten Verlusten erreichbar, deshalb fiel die Wahl auf Helium als Wärmetransferfluid.

Da keine Daten zu Alterungserscheinungen magnetokalorischer Materialien durch die enorme Anzahl magnetischer Be- und Entlastungen im Betrieb (1 bis 100 Hz über viele Jahre hinweg) recherchierbar waren, wurde hierfür eine Testeinrichtung aufgebaut. LaFeCoSi und LaFeMnSiH zeigten bei diesen Dauertests Versprödungserscheinungen; bei geringsten Kräfteinwirkungen splitteten Kanten der Proben ab.

Der magnetokalorische Effekt scheint bisherigen Ergebnissen zufolge hiervon nicht beeinträchtigt zu werden. Da Dichte und Wärmekapazität von Helium bei Normbedingungen nur gering sind, wurde bei der Auslegung des Versuchsmusters ein Druckpotential von 100 bar zugrunde gelegt. Nur damit lassen sich die einerseits gewünschten hohen Betriebsfrequenzen und sinnvolle Wärmeübergangskoeffizienten realisieren. Dazu wurde ein druckdichtes Gefäß konstruiert und gefertigt, welches sämtliche Einheiten des Kühlers enthält (siehe Bild 2). Die Leistungsparameter dieses Versuchsmusters werden derzeit experimentell ermittelt.

Die wirtschaftliche Bedeutung dieses FuE-Projektes besteht darin, das Verfahren der magnetokalorischen Kühlung zu einer gegenüber der Kompressionskältetechnik wettbewerbsfähigen Technologie zu entwickeln. Dazu soll im Anschluss dieses Vorlaufforschungsvorhabens im Rahmen von marktvorbereitenden Entwicklungsprojekten für die jeweiligen Anwendungsmöglichkeiten eine Funktionsmusterreife erreicht und das Know-how für die entsprechenden Industriepartner zur Verfügung gestellt werden.

### 3-D-Kollagen-Trägermaterialien

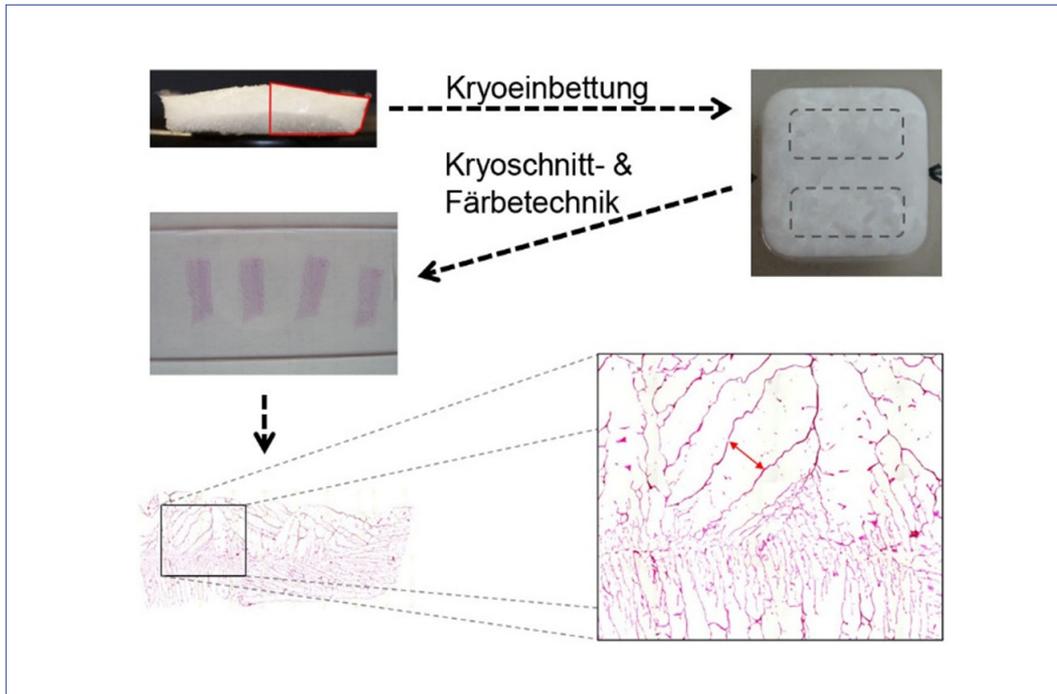


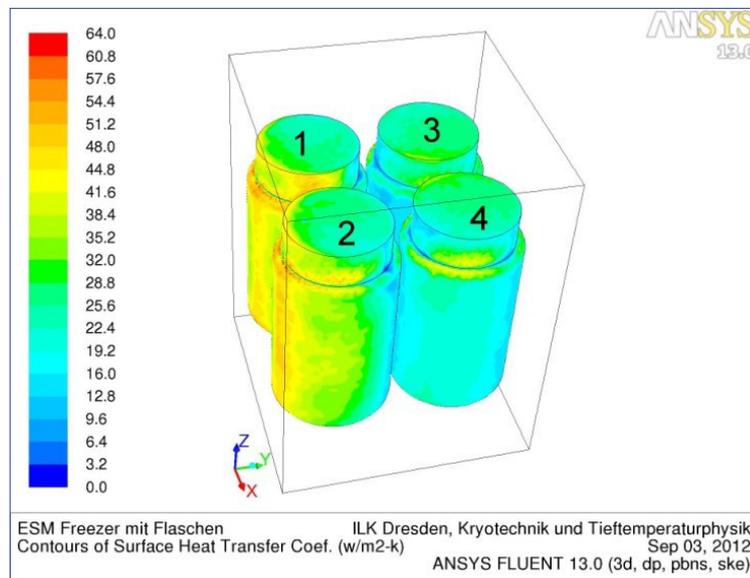
Bild 1: Prinzipieller Ablauf der vorbereitenden Arbeitsschritte bis zur mikroskopischen Strukturanalyse eines Kollagen-Trägermaterials

Im Rahmen des FuE-Projektes wurden bedarfsgerecht angepasste 3-dimensionale (3D) Trägermaterialien auf Kollagenbasis für die Kultivierung humaner Zellen entwickelt. Dabei sollten die folgenden angestrebten Einsatzbereiche der entwickelten Materialien abgedeckt werden:

- Produktion implantierbarer Biomaterialien
- Herstellung von Matrices für die Anwendung in der Zell- und Gewebekultur
- Fertigen von kryokonservierbaren Gewebetest- / Zellkultursystemen

Dabei ist der Einsatz in kryokonservierbaren Gewebetestsystemen priorisiert zu betrachten. Bei der Herstellung zellbasierter Testsysteme ist es von elementarer Bedeutung, die Matrix optimal auf Zelltyp, Kultur- und Arbeitsbedingungen des Assays abzustimmen.

Hierbei ist es wichtig, für die jeweils interessierenden Einsatzbedingungen sowohl die optimalen chemischen, strukturellen als auch physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Trägermaterials bedarfsgerecht einzustellen. Dazu können beliebige kollagenbasierte Matrizen mit dem haus-eigenen Herstellungsverfahren angefertigt werden. Mit diesem Produktionsverfahren können 3D Scaffolds aus Kollagensuspensionen mit verschiedenen Zusammensetzungen, Trockenmassen (TS)-Gehalten, pH-Werten, mit verschiedenen Zusätzen (z. B. Hyaluronsäure, Chondroitinsulfat oder  $\beta$ -Tricalciumphosphat (TPC)) sowie einer definierten Materialstruktur hergestellt werden. Zur Bewertung der Zellmigration und Materialstruktur wurden innovative histologische Arbeitstechniken entwickelt, mit denen eine mikroskopische Strukturanalyse der 3D Kollagen-Trägermaterialien ermöglicht wird (Bild 1). Aber auch die zytologische Reifung



und das Migrationsverhalten können mittels histologischer Verfahren erschlossen werden. Innerhalb des Forschungsvorhabens konnten verschiedene analytische Verfahren zur Bewertung der Güte von Rohkollagen etabliert werden. Dazu zählen unter anderem die Bestimmung des Kollagengehaltes, der enthaltenen flüchtigen Substanzen, des Fettgehaltes, des Gesamtstickstoffgehaltes, der enthaltenen Salzfracht sowie der Denaturierungstemperatur. Aber auch mechanische und biologische Prüfmethoden zur Charakterisierung der mechanischen Stabilität sowie der hydrolytischen und enzymatischen Degradationsbeständigkeit von 3D-Trägermaterialien wurden entwickelt. Die im Verlauf des FuE-Projektes erzielten Ergebnisse bestätigen nachweislich die Funktionalität der entwickelten 3D-Kollagen-Trägermaterialien in der Zellkultur. Im Vergleich zu marktüblichen Materialien lässt sich die Zellkulturperformance von Fibroblasten, Osteoblasten, aber auch der Cokultivierung von Fibroblasten / Keratinozyten mit den entwickelten Matrices deutlich steigern. Darüber hinaus lassen sich mit dem entwickelten Herstellungsverfahren 3D-Kollagen-Trägermaterialien mit einer gleichbleibenden und definierten Materialstruktur herstellen. Weiterhin kann mit Hil-

fe des flexiblen Herstellungsverfahrens auf zellspezifische Anforderungen reagiert werden und für den jeweiligen Anwendungsfall das optimale 3D-Kollagen-Trägermaterial angeboten werden. Daraus leiten sich die Zielgruppen für die wirtschaftliche Verwertung im Bereich der Biowissenschaften (Life Sciences) neben der Regenerative Medizin (tissue engineering) auch im Bereich der in vitro Diagnostik ab. Dabei sind die Anwendungsbereiche der 3D-Kollagen-Trägermaterialien unter anderem als Stützgerüst für in vitro Testsysteme oder zur Kultivierung von Hautäquivalenten zu Transplantations- oder Forschungszwecken zu finden. Aber auch der Einsatz als Wundauflage oder das Beheben von Knochendefekten als TCP-Kollagen-Kompositmaterialien ist möglich.

Zusätzlich hat das ILK Dresden durch das Forschungsvorhaben einen enormen Know-how-Gewinn im Bereich der Kultivierung, der Ko-Kultivierung und der Kryokonservierung von Zellen sowie neuer Untersuchungs- und Analysemethoden erzielt. Dadurch positioniert sich das ILK Dresden als Anbieter eines breiten FuE-Dienstleistungsspektrums in verschiedenen Bereichen der Life Sciences.

Final-Intermediate Bulk Freezingprozess

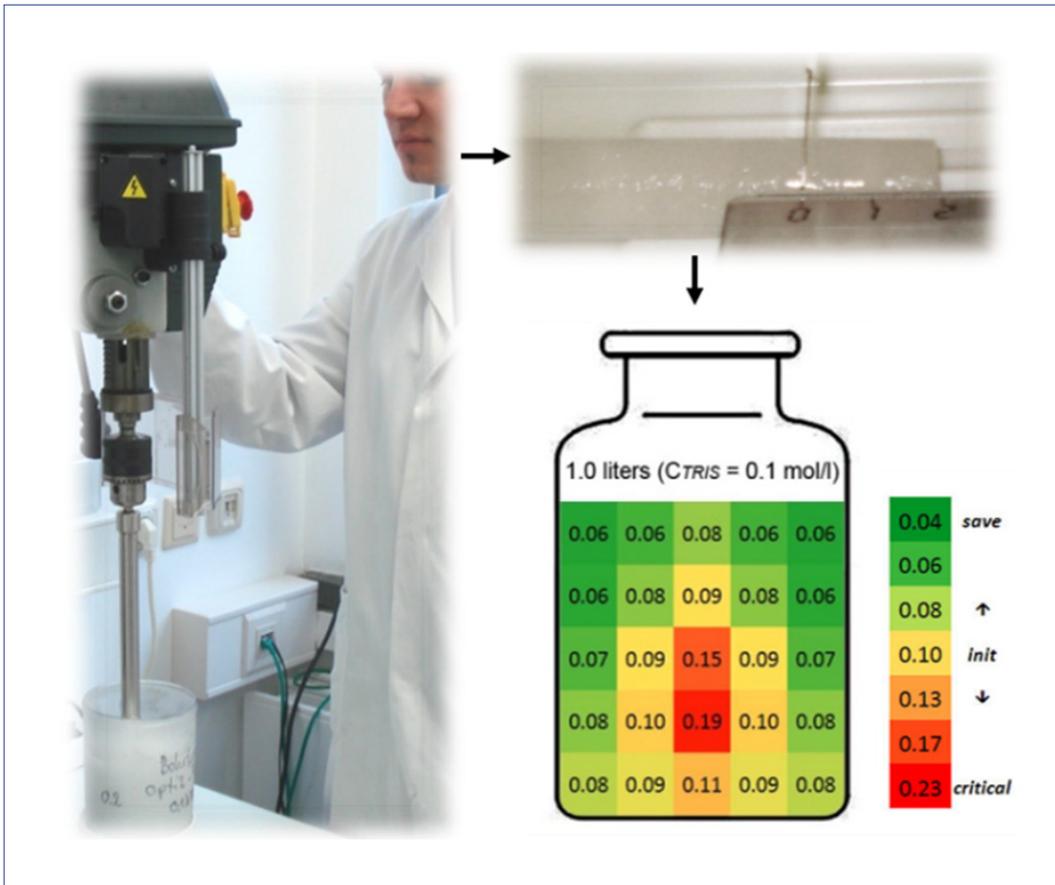


Bild 1: Prinzipieller Verlauf der Beprobung, Probenaufbereitung und das Ergebnis der quantitativen Analyse eines in PC-Flaschen eingefrorenen Intermediat Bulks.

Im Rahmen des FuE-Vorhabens wird seit April 2013 die Entwicklung eines produkt-spezifischen Charakterisierungs- und Optimierungsverfahren für Final / Intermediate Bulk Freezingprozesse untersucht. Die dabei erarbeiteten innovativen Verfahren können bei Herstellungsprozessen sowohl von technischen Enzymen als auch von biopharmazeutischen Proteinen eingesetzt werden. Als Grundlage dienen hierbei eine Gefrierprozessanalyse sowie eine multivariate in vitro Stabilitätsuntersuchung des jeweilig enthaltenen Produktes. So kann anhand eines vom ILK Dresden entwickelten bilateralen Ansatzes ressourcensparend

und effizient der Produktverlust ermittelt werden. Dadurch lassen sich ohne zusätzlichen experimentellen Aufwand die optimale Prozessführung für verschiedene Produkte ermitteln.

Um für die mathematische Simulation des Gefrierprozesses eine Grundlage zu schaffen, wurden umfangreiche innovative experimentelle Methoden für eine Gefrierprozessanalyse entwickelt. Unter anderem wurden Methoden zur thermischen Analyse, Bohrkernentnahme (Bild 1), Probenaufbereitung und quantitativen Analyse der Medienbestandteile etabliert. Durch diese



neuen Methoden kann eine umfangreiche experimentelle Gefrierprozessanalyse durchgeführt werden. Zusätzlich konnte das Spektrum an Analysemethoden zum einen mit einer *in vitro* Stabilitätsanalyse von Enzymen und zum anderen mit einer Analyse der Protein-Agglomeration erweitert werden. So war es möglich, eine Stabilitätsanalyse des jeweiligen Proteins sowie den Einfluss variierender Prozessparameter auf die Protein-Protein-Interaktionen herauszustellen. Außerdem konnte anhand eines Ausführungsbeispiels für die Meerrettich Peroxidase der Nachweis erbracht werden, dass der vom ILK Dresden entwickelte bilaterale Ansatz 4 für eine Produktverlustermittlung zulässig ist. Bei der Bearbeitung des FuE-Vorhabens hat sich gezeigt, dass für eine mathematische Simulation des Gefrierprozesses eine umfangreiche Analyse des verwendeten Gefriersystems sowie des

jeweilig eingesetzten Kultiviermediums notwendig ist. Nur so ist eine aussagekräftige Simulation des Gefrierprozesses möglich. Mit diesem Zusammenhang lassen sich auch Simulationen von verschiedenen Einfriersystemen durchführen und anhand einer Produktverlustermittlung die optimale Prozessführung ermitteln.

Mit diesen innovativen Verfahren lassen sich für die wirtschaftliche Verwertung sowohl Hersteller von Bulk-Einfrierhardware sowie Produzenten von biopharmazeutischen und technischen Enzymen ableiten. Hauptsächlich positioniert sich das ILK Dresden hier als Anbieter von FuE-Dienstleistungen zur Charakterisierung und Optimierung von Bulk Freezingprozessen. Aber auch die Geräteentwicklung zusammen mit Industriepartnern hat hohes Verwertungspotential.

## Kompakte und modulare Kühlsysteme für Temperaturen bis in den Millikelvin-Bereich



Bild 1: Impedanz für einen  $^3\text{He}$ -Kühler, auf einem GFK-Träger montiert

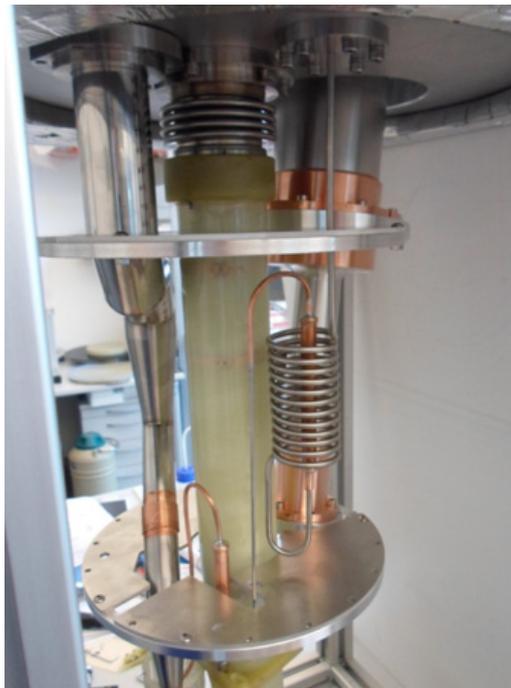


Bild 2: Prinzipieller Zusammenbau eines  $^3\text{He}$ -Kühlsystems

Ziel des FuE-Vorhabens ist die Entwicklung kompakter Kühlsysteme für Temperaturen bis in den Millikelvin-Bereich, die sowohl durch ihren modularen Aufbau als auch durch einen besonders einfachen und schnellen Zugang zum Probenraum signifikante Vorteile gegenüber konventionellen Systemen bieten.

Im FuE-Vorhaben waren ein  $^3\text{He}$ -Kühler, eine Lösungskältestufe, welche als Erweiterung des  $^3\text{He}$ -Kühlers zu tiefen Temperaturen hin eingesetzt wird, sowie ein Kühler für besonders schnellen Probenwechsel im  $^4\text{He}$ -Badkryostaten zu realisieren. Wesentliche Ziele und Parameter waren vor allem (für die Lösungskältemaschine) eine Basistemperatur von ca. 50 mK und eine Kälteleistung von mindestens 50  $\mu\text{W}$  bei 100 mK, (für das  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -System), eine Kälteleistung vom mindestens 1 mW bei 0,4 K (für das  $^3\text{He}$ -System), (generell) ein

schneller Probenwechsel und ein kontinuierlicher Betrieb ohne Verbrauch kryogener Flüssigkeiten. Weiterhin soll ein modulares Konzept die Kombination von Elementen für verschiedenartige Basistemperaturen und Anwendungen und somit die Skalierbarkeit der Systemlösungen für unterschiedliche Kühlleistungen erlauben. Dadurch soll die kostengünstige Realisierung von Kühlsystemen im Bereich sehr tiefer Temperaturen ermöglicht werden. Wesentliche Inhalte zum erstellten Konzept und zur Komponentenentwicklung sind im Forschungsbericht 2013 dargelegt.

Bild 1 zeigt eine Detailansicht zur Aufnahme der langen und ca. 100  $\mu\text{m}$  dünnen Impedanzleitung. Dafür wurde ein dünnwandiger GFK-Träger gefertigt, welcher die thermische Isolation der Kapillarwindungen untereinander sicherstellt. Der Kontakt zwischen Kapillare und GFK (Glasfaserver-



Bild 3: Test eines  $^3\text{He}$ -Kühlkreises in flüssigem Stickstoff

stärkter Kunststoff) erfolgt nur punktwiese. Die durch derartige Kapillaren ermöglichte Joule-Thomson-Entspannung ist einer der wichtigsten Prozesse für die Realisierung der angestrebten Kühlsysteme.

In Bild 2 wird als Beispiel der prinzipielle Zusammenbau eines  $^3\text{He}$ -Kühlsystems gezeigt. Die beiden metallischen Plattformen oberhalb und unterhalb der Bildmitte gehören zu den beiden Stufen einer kontinuierlich arbeitenden Gaskältemaschine und definieren somit die Basistemperaturen von ca. 50 K beziehungsweise ca. 3 K.

Wesentliche Komponenten sind dabei der Pulsrohrkühler zur Vorkühlung (rechts im Bild) und das GFK-Halsrohr des Kryostaten (mittig gelegen), siehe Bild 2. Im linken Teil des Kryostaten ist die abgestufte Pumpleitung zu sehen, welche eine Optimierung bezüglich der eigentlich widersprüchlichen Anforderungen hoher Leitwert (großer Querschnitt) und geringer Wärmeeintrag (kleiner Durchmesser) darstellt. In Bild 2 nicht gezeigt sind thermische Verbindungen, Aktorik und Sensorik. In Bild 3 wird der Test wesentlicher Komponenten eines  $^3\text{He}$ -Kühlers in flüssigem Stickstoff ge-

zeigt. Derartige Tieftemperatur-Prüfungen sind wichtig, da bei schneller Kühlung die Material-Beanspruchung auch durch unterschiedliche thermische Ausdehnung (Differenzkontraktion) besonders groß ist. Die Prüfung erfolgt in diesem Fall durch äußere Beaufschlagung der zu testenden Bauteile oberhalb des Stickstoff-Reservoirs. Diese Diffusionsrichtung wird auch bei Suprafluid-Tests realisiert, welche in einem Ventiltest-Kryostaten durchgeführt werden. Mittels  $^4\text{He}$  bei Temperaturen unterhalb von ca. 2 K können besonders empfindliche Tests durchgeführt werden.

Insbesondere auf dem Gebiet von Kühlsystemen, welche z. B. für die speziellen Anforderungen von Neutronenstreu-Experimenten in Forschungszentren besonders geeignet sind, ist aktuell von guten Marktchancen auszugehen, welche auch durch einen Entwicklungsauftrag untersetzt sind. Weiterhin ist beabsichtigt, die Kühltechnologien auch zur Effizienzsteigerung an bestehenden ILK-Versuchsständen einzusetzen und beispielsweise die Leistungsfähigkeit eines bestehenden Kalibrierplatzes für Tieftemperatur-Thermometer wesentlich zu steigern.

### Kryogene Rankine-Anlage

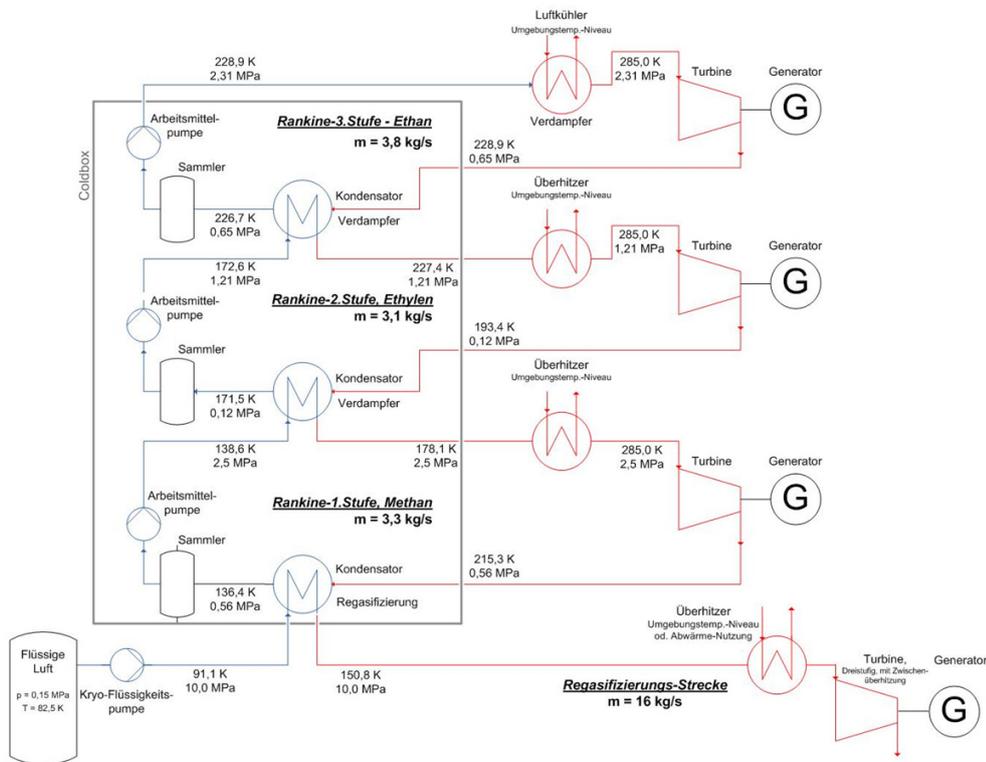


Bild 1: Schaubild der Rankine-Anlage für ein FLES der Leistungsklasse 3,8 MW<sub>el</sub>

In einem Flüssiglufte-Energiespeichersystem (FLES) wird überschüssige elektrische Energie dazu verwendet, Luft zu verflüssigen. Diese kann, bei Bedarf auch über einen Zeitraum von Tagen bis Wochen, gespeichert und bei erhöhter Energienachfrage wiederum zur Stromerzeugung genutzt werden. Im Rahmen des FuE-Vorhabens soll erstmals die praktische Umsetzbarkeit einer Anlage zur Energierückgewinnung bei der Regasifizierung von flüssiger Luft demonstriert werden, die insbesondere als Komponente eines solchen Elektroenergiespeichers mit flüssiger Luft als Speichermedium dient. Als Grundlage für die Realisierung dieser Anlage ist ein Rankine-Prozess mit geeigneten organischen oder anorganischen Kältemitteln vorgesehen, so dass durch Nutzung der bei der Regasifizierung freiwerdenden Kälte Elektroenergie erzeugt wird, welche direkt in das Versorgungsnetz zurückgespeist werden kann: Im ersten Teil des FuE-Vorhabens wurde ein grundlegendes Engineering für eine

Rankine-Anlage als Bestandteil eines FLES durchgeführt. Kreisprozessberechnungen verschiedener Anlagenkonfigurationen haben ergeben, dass aufgrund der zu überwindenden Temperaturdifferenz von etwa 200 K zwischen der Wärmesenke (flüssige Luft unter hohem Druck) und der Wärmequelle (Umgebungsluft) eine Parallelverschaltung dreier Rankine-Stufen das Optimum darstellt (siehe Bild 1). Damit weist nur die kälteste Stufe des Rankine-Prozesses eine Schnittstelle mit dem FLES auf. In der 1. Rankine-Stufe ist Methan als Arbeitsstoff zu wählen und ein zusätzlicher Überhitzer in der 1. und 2. Rankine-Stufe vorzusehen. Für die 2. Rankine-Stufe ist Ethylen (GWP = 3) R14 (GWP = 5700) aufgrund des geringeren GWP-Wertes vorzuziehen. In der 3. Rankine-Stufe kommt Ethan zum Einsatz. Um den Grid-to-Grid-Wirkungsgrad des FlüssiglufteSpeichers mit Rankine-Anlage zu optimieren, wurde der Einfluss der Betriebsparameter der Regasifizierungsstrecke der FLES-Anlage untersucht. Es wurde

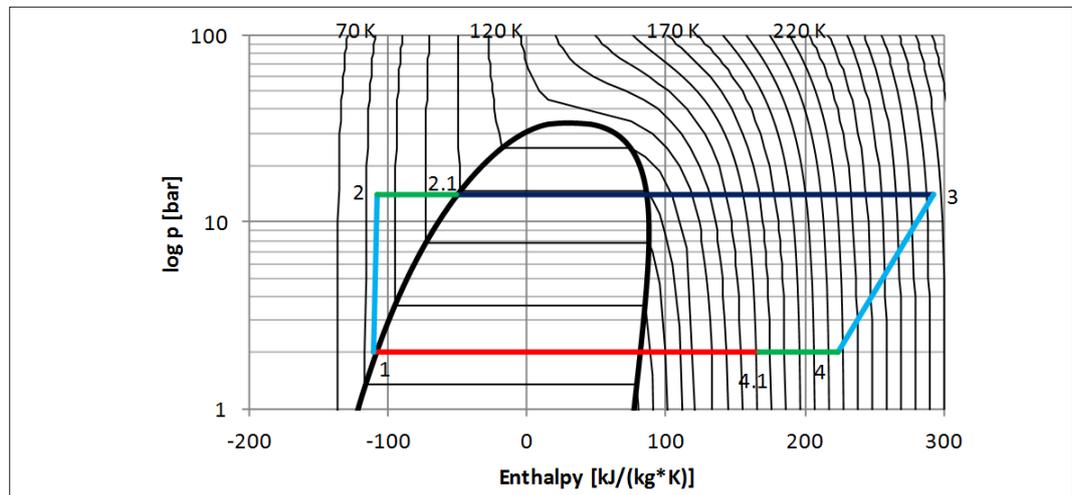


Bild 2: log p-h-Diagramm des Rankine-Prozesses für das Funktionsmuster mit Stickstoff als Arbeitsstoff

gezeigt, dass ein höherer Eintrittsdruck an der FLES-Turbine zwar den Gesamtwirkungsgrad erhöht; jedoch verringert sich mit steigendem Turbinen-Eintrittsdruck der durch Einbindung der Rankine-Anlage erreichbare Wirkungsgradzuwachs. Letztlich wurde die Rankine-Anlage in Absprache mit möglichen Turbinenherstellern für einen FLES-Turbineneintrittsdruck von 10 MPa definiert. Das zugehörige Anlagenschema zeigt Bild 1. Durch die Integration einer Rankine-Anlage kann in diesem Fall etwa 30 % mehr Energie aus der gespeicherten Luft zurückgewonnen werden. Die Anlagendefinition erlaubte die Erstellung von Anforderungsspezifikationen für jedes Bauteil und eine Vorauswahl von Anbietern.

Der zweite Teil des FuE-Vorhabens ist der Umsetzung eines Funktionsmusters der kältesten Stufe der Rankine-Anlage gewidmet. Für das Funktionsmuster wird Stickstoff als Arbeitsstoff gewählt. Ein inertes Gas wie Stickstoff bietet große Vorteile bei der praktischen Handhabbarkeit, wenn erwartungsgemäß häufige Umbauten an und Eingriffe in die Funktionsmusteranlage notwendig sind. Im Gegensatz dazu ist es z. B. beim Einsatz von Methan erforderlich, dass alle Arbeiten an Behältern und Leitungen nur

nach sorgfältigem Freispülen und Inertisieren erfolgen dürfen. Außerdem handelt es sich bei Stickstoff um ein natürliches Kältemittel, das günstig hergestellt werden kann. Stickstoff hat sowohl kein Ozonabbau-, als auch kein Treibhaus-Potential (GWP) und ist nicht brennbar. Das Funktionsmuster wurde ausgelegt (das zugehörige log p-h-Diagramm zeigt Bild 2), die Bauteile spezifiziert und Anbieter ausgewählt. Des Weiteren wurde ein R&I-Schema des Funktionsmusters erstellt. Momentan befindet sich das FuE-Vorhaben in der Konstruktionsphase. Die notwendigen Komponenten sind größtenteils bestellt, so dass die übrige Projektlaufzeit der erfolgreichen Realisierung des Funktionsmusters gewidmet werden kann.

Das FuE-Vorhaben zur Entwicklung einer kryogenen Rankine-Anlage wird in enger Zusammenarbeit mit einem Industriepartner durchgeführt. Durch die bisher im Projekt geleisteten Arbeiten zum Engineering der Rankine-Anlage wurde der Grundstein für einen schnellen Eintritt in die Pilotanlagenphase direkt im Anschluss an die Projektlaufzeit gelegt.



## Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen DynKA	30
Kälteanlagen mit Low-GWP – KALow	32
GEOHEAT-Modular aufgebaute Direktverdampfer-Erdwärmesonde	34
Freie Kühlung durch Kältemittelzirkulation	36
Gasmotor-Wärmepumpe	38
Salatvitrine	40
Energieeffizienter Backofen	42
Mehrfach-Zwischeneinspritzung an Rollkolbenverdichtern	44
FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2014	46
Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen	48

## Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen DynKA



Bild 1: Verdichterleistungsprüfstand

Kälteanlagen sind für den stationären Betrieb weitgehend auf Energieeffizienz optimiert. Da die Anlagen aber nur in seltenen Fällen tatsächlich in einem stabilen Betriebspunkt betrieben werden, hat das dynamische Verhalten einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Der Forschungsrat Kältetechnik hat in einem Positionspapier eingeschätzt, dass mit optimaler MSR-Technik ein Verbesserungspotential bis zu 40 % besteht.

Prüfstände für die Entwicklung von kälte-technischen Komponenten, wie z.B. Verdichtern, sind Kälteanlagen mit einer besonders hohen Anforderung an die MSR-Technik. Insbesondere die Einhaltung der Beharungszustände innerhalb enger, genormter

Grenzen über lange Zeiten wird gefordert. In der Vergangenheit wurde diese Aufgabe durch einfache PID-Regler realisiert. Eine wesentliche Verbesserung der Regelgüte wurde durch eine wechselnde Parametrierung in Abhängigkeit von signifikanten Prozessgrößen erreicht. Diese Parameter sind zeitaufwendig durch Experimente zu ermitteln und in einer Datenbank zu hinterlegen. Ein wesentliches Projektziel war es, den Zeitaufwand für die Reglerparametrierung deutlich zu reduzieren. Dafür wurde die Verwendung von Mehrgrößen Fuzzy-Reglern vorgeschlagen. Dieses Verfahren wurde auch deshalb gewählt, da aus einem Vorgängerprojekt (Regelverfahren kleiner Leistung) bekannt war, dass ein Eingrößen-Fuzzyregler keine Lösung darstellt. Für die

Erprobung der Mehrgrößen-Fuzzyregelung wurde im Kalorimeterraum der Luftkühler mit einem zweiten Elektronischen Expansionsventil ausgerüstet. Dieses besitzt eine deutlich kleinere Leistung als das Hauptventil. Für eine Regelung über einen sehr großen Leistungsbereich ist diese Staffelung der Ventile notwendig, da die Kennlinie des Hauptventils nicht ausreicht. Beide Expansionsventile sind für die Regelung der Überhitzung nach dem Verdampfer zuständig.

Der Regelkreis für die Überhitzungstemperatur war in der Vergangenheit besonders anfällig für Störgrößen. Daraus resultierte ein besonders hoher Aufwand für die Parametrierung. Deshalb kann er als exemplarisch für hochwertige Regelkreise

an Kälteanlagen aufgefasst werden. Der Lösungsansatz bestand in einer Master-Slave-Regelung mit Hilfe von Fuzzyreglern. Dabei war festzustellen, dass die Auswahl von Parametersätzen durch eine Fuzzy-Regel keine Verbesserung darstellt. Auch der Mehrgrößen-Fuzzy-Ansatz hat bisher nicht zu einer Reduzierung des Aufwandes für die Parametrierung geführt. Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass wahrscheinlich mit einer Aufschaltung einer Führungsgröße auf einen PID-Regler oder eine Kaskadenregelung aus mindestens 2 PID-Reglern ähnliche Effekte erzielbar sind. Für diese Strategien gibt es aus der Praxis bereits Beispiele und Werkzeuge, so dass sie einfacher umsetzbar sind.

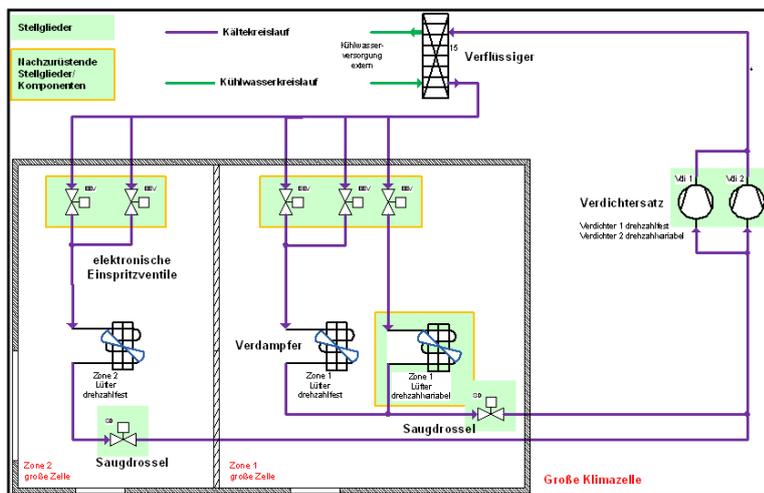


Bild 2:  
Kalorimeterraum  
mit Luftkühler



Bild 3:  
Luftkühler  
im Kalorimeterraum

## Kälteanlagen mit Low-GWP – KALow

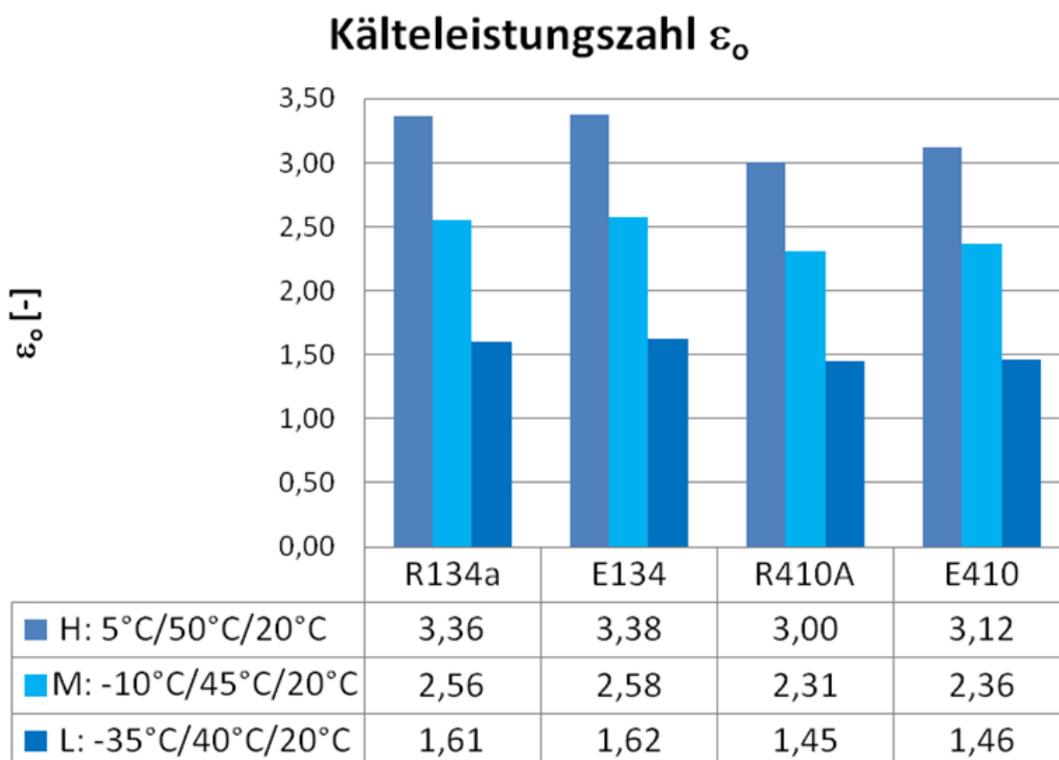


Bild 1: Ergebnisse der Verdichterprüfung

Seit dem 1. Januar 2015 ist die neue Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluoriierte Treibhausgase (kurz F-Gase-Verordnung) in Kraft. Diese hat das Ziel, die Verwendung von fluoriierten Gasen deutlich zu reduzieren. Dabei stehen die Stoffe mit einem hohen Treibhauspotential (GWP) besonders in der Kritik, da sie einen höheren Beitrag zum Treibhauseffekt liefern.

Vor diesem Hintergrund liefert das Projekt einen Beitrag für den Ersatz von Kältemitteln mit einem hohen GWP durch neue Stoffe. Derzeit haben die Kältemittelhersteller eine Vielzahl von Versuchskältemitteln im Test. In der Regel sollen die derzeit genutzten Kältemittel möglichst vergleichbar ersetzt werden. Damit wird gewährleistet, dass die neuen Kältemittel ein hohes Marktpotential haben. Für die Bewertung der neuen Kälte-

mittel gibt es einen sehr umfangreichen Katalog an Anforderungen, die erfüllt werden müssen. Einige dieser Eigenschaften wurden im Projekt für 2 Stoffe untersucht. Die energetische Effizienz einer Kälteanlage ist ein Schlüsselparameter für die Kältemittel. Für die Bewertung wurde die Leistungszahl verschiedener Verdichterbauarten mit den neuen im Vergleich zu den etablierten Kältemitteln vermessen. Die Ergebnisse zeigen in einigen Bereichen der Anwendungen sogar bessere Leistungszahlen. Ein weiterer Einflussfaktor für die Leistungszahl der Kälteanlage sind die Wärmeübertragungseigenschaften der Kältemittel. Aus diesem Grund wurden Vergleichsuntersuchungen an unterschiedlichen Wärmeübertragertypen, luft- und flüssigkeitsbeaufschlagt, durchgeführt.



Bild 2: Test Plattenwärmeübertrager

Die Low-GWP-Kältemittel haben etwas geringere Wärmeübergangskoeffizienten, d.h. sie benötigen etwas größere Wärmeübertrager. Die Unterschiede sind aber gering und somit kein Hinderungsgrund für die Anwendung der getesteten Stoffe.

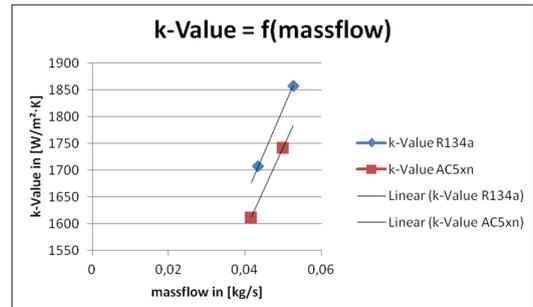


Bild 3: Ergebnisse der Wärmeübertragerprüfung

Die zusammengefasste Bewertung zeigt bei einigen Eigenschaften durchaus Vorteile für die umweltfreundlichen Kältemittel. Für bestimmte kältetechnische Anwendungen sind sogar energetische Vorteile zu erwarten.

Andere Eigenschaften sind vergleichbar zu den alten Kältemitteln. Nur der Ersatzstoff für R410A hat den Hauptnachteil, dass das Kältemittel leicht brennbar ist. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass beide Kältemittel ein Potential für die Markteinführung durch den Hersteller haben.

Bewertungsmatrix Vergleich herkömmliche zu Low-GWP-Kältemittel				
	R134a	E134a	R410A	E410A
Energieeffizienz	o	+	o	+
Volumetrische Kälteleistung	o	+	o	-
Wärmeübergang	o	o	o	o
Druckverlust	o	o	o	o
Kosten	o	-	o	-
Logistik	o	-	o	-
Toxizität	o	o	o	o
Umwelt (GWP)	-	+	-	+
Brennbarkeit	o	o	o	-

Bild 4: Bewertung der Low-GWP-Kältemittel

## GEOHEAT-Modular aufgebaute Direktverdampfer-Erdwärmesonde

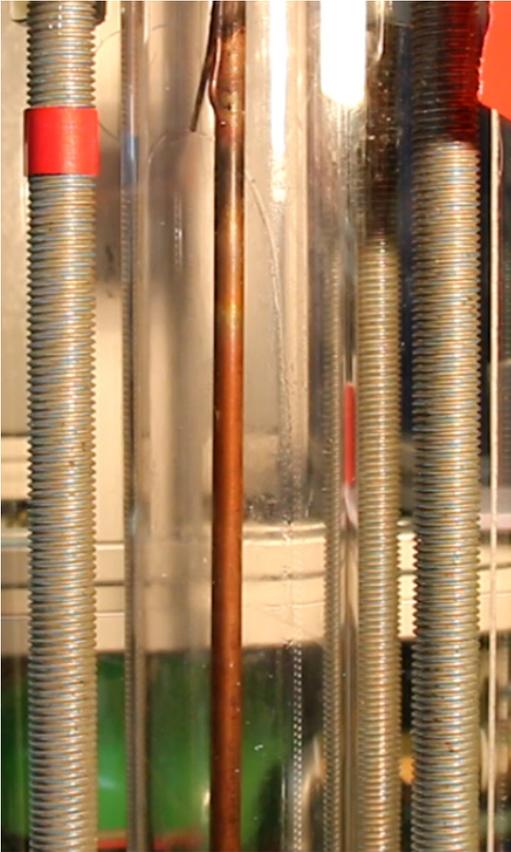


Bild 1: Kältemittelverteilung in Fallfilmsonde

Die Beheizung von Gebäuden mit Wärmepumpen kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Für die Erhöhung der Energieeffizienz müssen Wärmepumpen hohe Jahresarbeitszahlen erreichen. Das Erdreich stellt dafür eine sehr attraktive Wärmequelle dar, da ganzjährig hohe Wärmequelltemperaturen von 5 bis 10 °C nutzbar sind.

Stand der Technik sind derzeit U-Rohr-Sonden, die mit Sole durchströmt werden. Die Direktverdampfung des Kältemittels in der Erdwärmesonde verspricht eine Verbesserung der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe um ca. 10 bis 15 %. Das ist insbesondere dadurch erreichbar, dass die Temperaturdifferenz zwischen dem Erdreich und dem verdampfenden Kältemittel wesentlich verringert werden kann. Dafür ist eine spezielle Erdsonde für Tiefen bis 100 m zu entwickeln.

Eine erste Idee aus der Literatur stellte eine Fallfilmsonde mit einer Mehrfacheinspritzung dar. Die Versuche zur optimalen Benetzung der Innenoberfläche mit Kältemittel zeigten jedoch, dass eine große Anzahl von Einspritzkapillaren oder Düsen erforderlich wäre. Außerdem bildet sich bei diesem Erdsondentyp immer ein Flüssigkeitspool am Fuß der Sonde. In diesem Flüssigkeitspool sammelt sich auch das Kältemaschinenöl. Für eine sichere Funktion der Wärmepumpe ist es erforderlich, dass die Ölrückführung zum Verdichter gewährleistet ist. Dafür wurden unterschiedliche Lösungen untersucht.

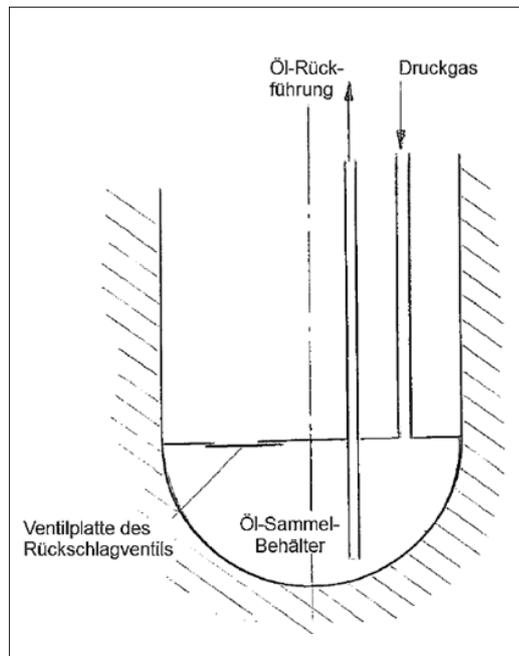


Bild 2: Ölrückführung aus dem Pool

Auf der Grundlage der experimentellen Ergebnisse mit der Fallfilmsonde, den theoretischen Überlegungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde eine ILK-eigene Erdsonde entwickelt. Die Vorteile dieser Lösung liegen in der Fertigungstechnologie, der Wirtschaftlichkeit und der Technologie zur Einbringung der Sonde in das Erdreich. Die ersten Messungen mit der Sonde haben die grundsätzliche Funktion nachgewiesen. Bis zum Projektabschluss sind die geometrischen Parameter Rohrdurchmesser, Bohrlochdurchmesser, Steigung der Spirale mit der Wärmeleistung und den Druckverlusten abzustimmen.

Für eine erfolgreiche Vermarktung der Spiralsonde wird es im nächsten Schritt erforderlich sein, ein Referenzobjekt zu schaffen. Das erfordert die Errichtung einer 100 m – Sonde direkt im Erdreich mit der Möglichkeit einer messtechnischen Begleitung.

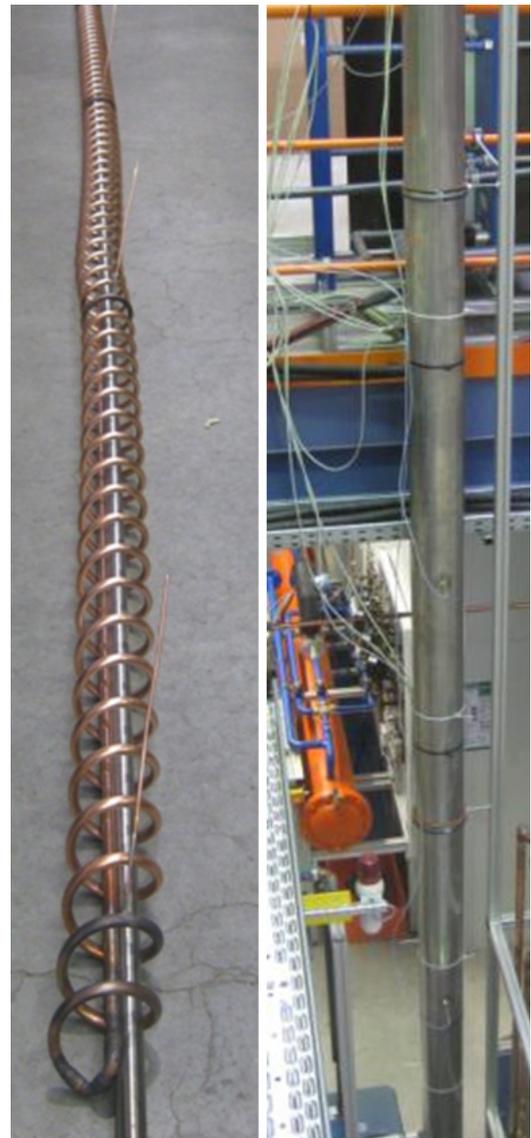


Bild 3: Testaufbau Spiralsonde

## Freie Kühlung durch Kältemittelzirkulation

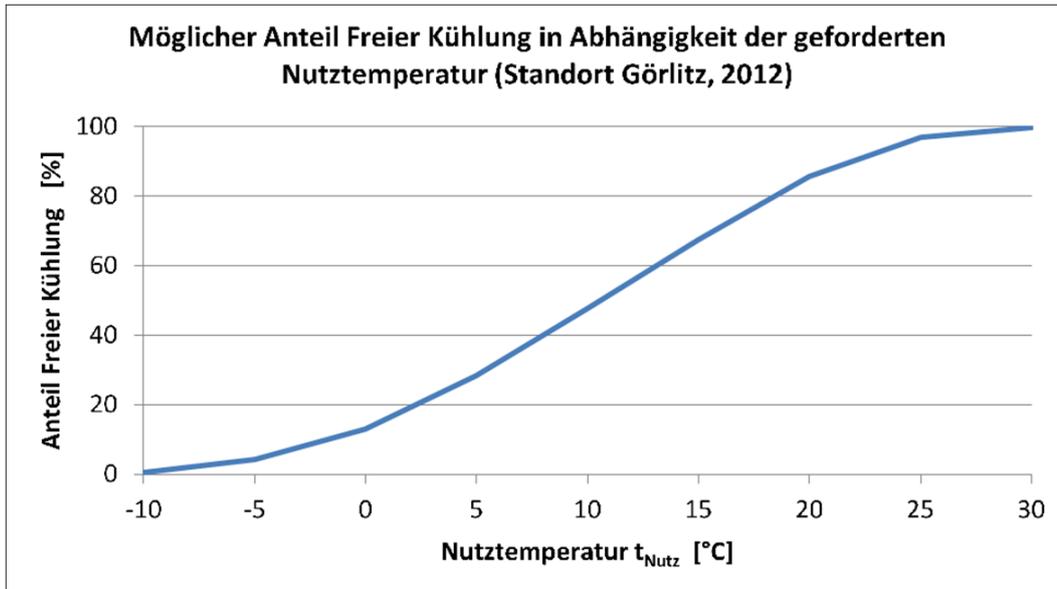


Bild 1: Potential der Freien Kühlung

Mit Freier Kühlung können Kühlaufgaben realisiert werden - ohne Betrieb einer Kältemaschine, aber unter Nutzung der kalten Außenluft. Diese Art der Kühlung ist eine sehr effiziente Möglichkeit, um Energie zu sparen. Günstige Anwendungsbedingungen für Freie Kühlung bieten Bereiche mit ganzjährigem Kühlbedarf, wie z.B. Kühlung von Rechenzentren bzw. IT-Ausrüstung, für technologische bzw. industrielle Prozesse o.ä. Bei ausgeführten Anlagen konnten bereits Einsparungen von 50 % nachgewiesen werden. Der Stand der Technik sind Zwischenkreisläufe mit Sole, die einige Nachteile aufweisen, z.B. zusätzliche Druckverluste im Luftstrom.

In diesem Forschungsprojekt soll ein Verfahren für die Indirekte Freie Kühlung mittels Zirkulation des Kältemittels entwickelt werden.

Bei diesem Verfahren ist kein Kälte-träger-Zwischenkreislauf erforderlich. Dadurch kann sich die Frei-Kühl-Grenztemperatur um einige Kelvin nach oben verschieben und der Frei-Kühl-Anteil pro Jahr steigt entsprechend. Das können bis zu 20 % sein.



Bild 2: Kältemittelpumpe

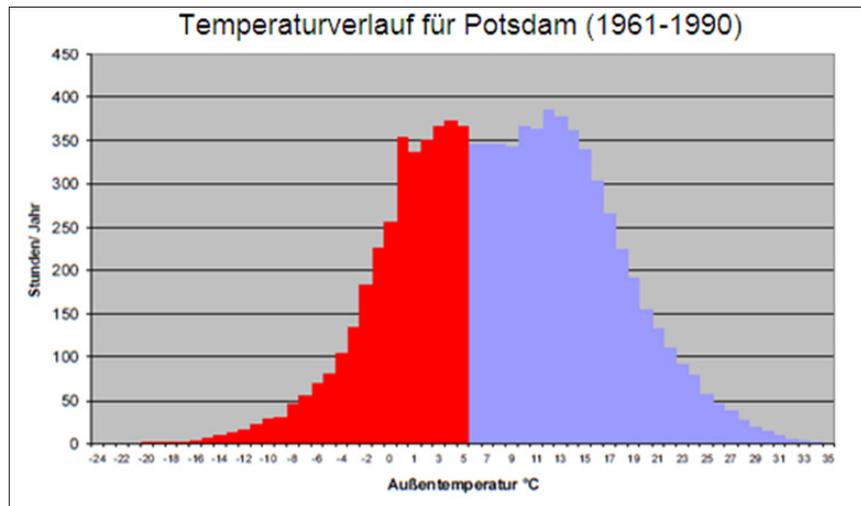


Bild 3: Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur

Diesen positiven Effekt bezüglich Energieeinsparung mit einem größeren Frei-Kühl-Anteil soll mit dem Verfahren der Indirekten Freien Kühlung mit Kältemittel-Zirkulation erschlossen werden. Dafür ist allerdings eine zusätzliche Kältemittelpumpe im Kreislauf erforderlich. Diese übernimmt im Fall der Freien Kühlung die Umwälzung des Kältemittels.

Eine Hauptaufgabe bei der Entwicklung des Verfahrens der Freien Kühlung mit Kältemittelkreislauf besteht in der Regelung und Steuerung des Umschaltens von Verdichter- auf Pumpenbetrieb und zurück. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass der Verdichter keine Flüssigkeit ansaugt und die Pumpe immer eine ausreichende Flüssigkeitsvorlage auf der Saugseite hat.

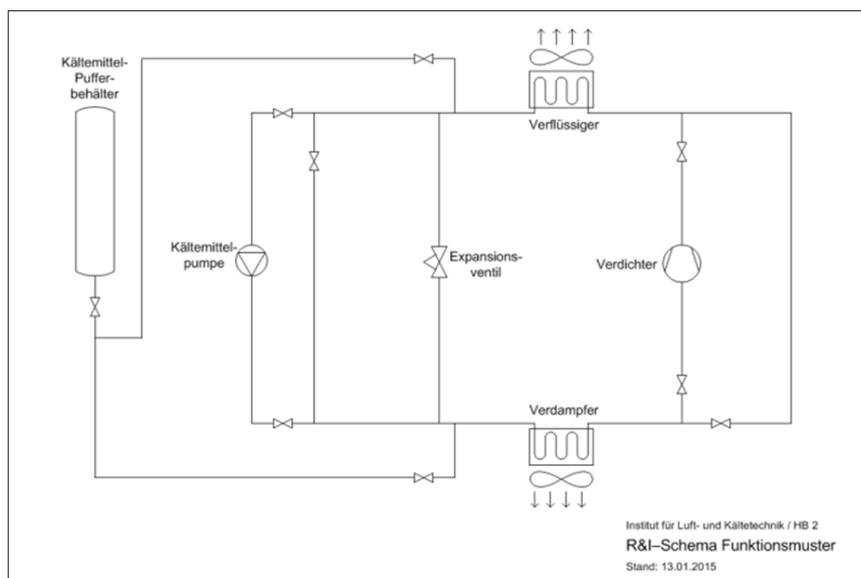


Bild 4: Funktionsprinzip Freie Kühlung

## Gasmotor-Wärmepumpe

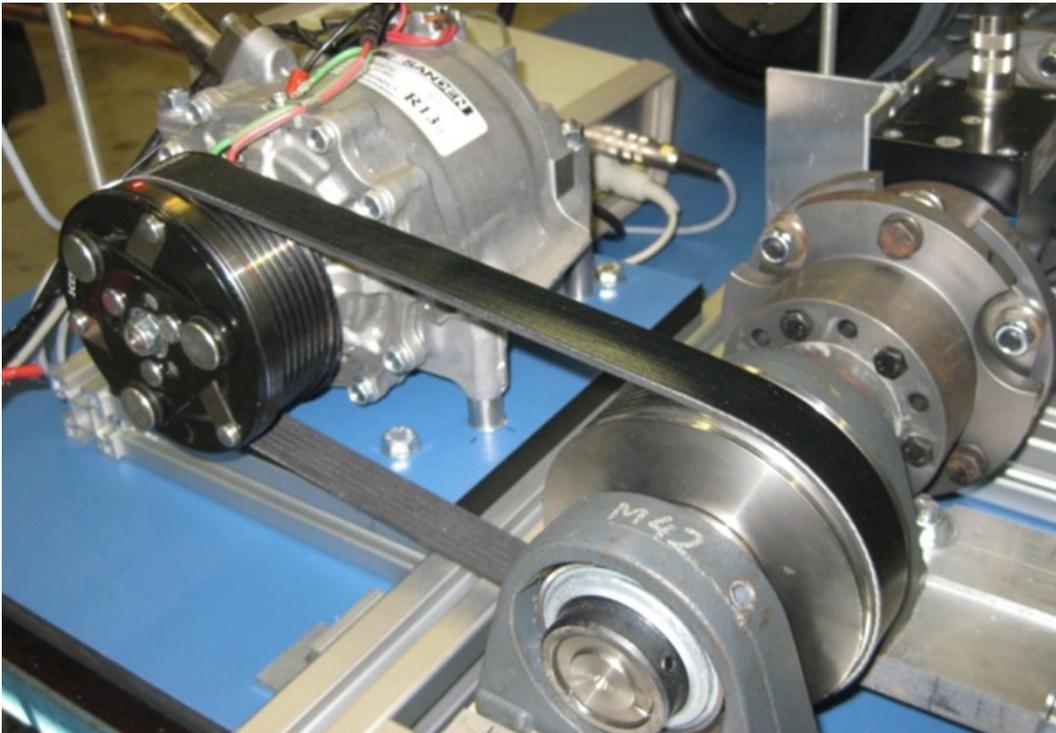


Bild 1: Leistungstest Offener Verdichter

Der Projektpartner des ZIM-Projektes hatte in der Vergangenheit ein kleines Blockheizkraftwerk entwickelt. Außerdem stellt er elektromotorisch angetriebene Wärmepumpen her. Für die Ergänzung seiner Produktpalette war eine Gasmotor-Wärmepumpe zu entwickeln. Diese ist insbesondere für die aufgangswise Beheizung von Mehretagenhäusern gedacht.

Eine Gasmotor-Wärmepumpe ermöglicht einen sehr hohen Nutzungsgrad der Primärenergie, wenn es gelingt, auch die Abgaswärme weitgehend zu nutzen. Bei dieser Wärmepumpe wird ein Kältemittelverdichter mit einem Verbrennungsmotor angetrieben, d.h. es sind zwei Kolbenmaschinen miteinander zu koppeln. Erfahrungsgemäß treten dabei mechanische Probleme durch die unterschiedlichen Ungleichförmigkeitsgrade auf. Deshalb wurde von Beginn an

die Kopplung auf einer gemeinsamen Welle verworfen. Näher untersucht wurden die Varianten der Kopplung über einen Riementrieb und über eine Gelenkwelle. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile, wobei der Riementrieb einfacher zu realisieren war.

Eine weitere Randbedingung für die Produktentwicklung war die ausschließliche Verwendung von Baugruppen, die bereits in hoher Stückzahl gefertigt werden. Insbesondere Bauteile aus der Automobilindustrie sollten zum Einsatz kommen. Ziel war die konsequente Kostenreduzierung. Nur unter dieser Voraussetzung ist eine Konkurrenzfähigkeit zur elektromotorisch angetriebenen Wärmepumpe zu erwarten, da der Verbrennungsmotor erheblich höhere Kosten hat. Die Kosten konnten im Wesentlichen eingehalten werden. Der Nachteil einer Reduzierung des technischen Aufwandes

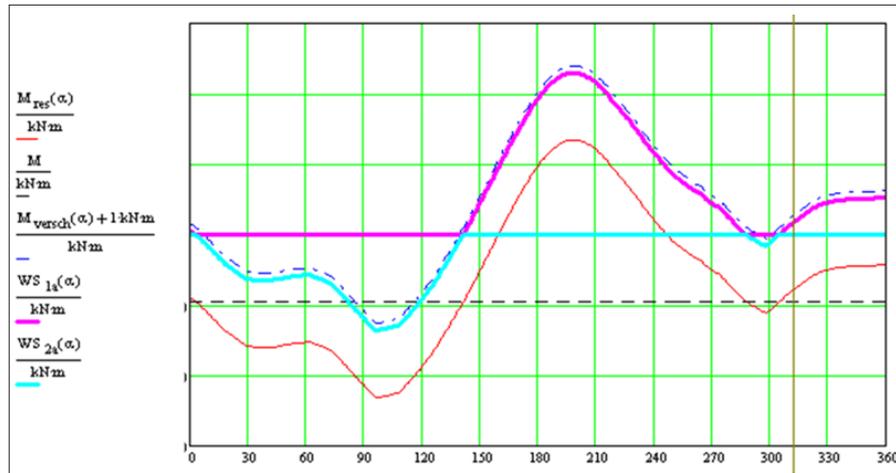


Bild 2: Ungleichförmigkeit bei der Kopplung von Gasmotor und Verdichter

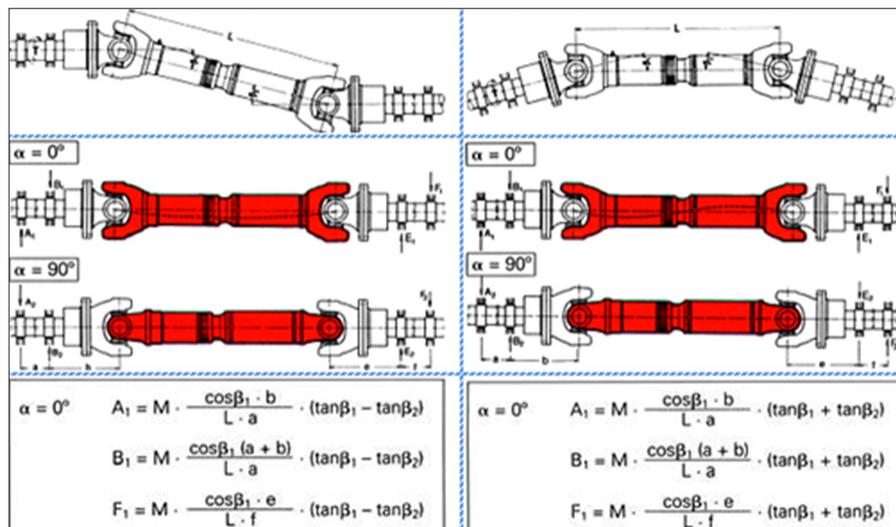


Bild 3: Kopplung über Gelenkwelle

aus Kostengründen zeigte sich allerdings bei der Leistungsmessung der Gasmotor-Wärmepumpe. Der vom Projektpartner ausgewählte Verbrennungsmotor hat einen relativ geringen Wirkungsgrad von 15 %. Dadurch entsteht auch ein großer Anteil an Abwärme. Diese wird derzeit wiederum noch nicht ausreichend in den Heizkreislauf eingekoppelt. Für eine Vermarktung der Gasmotor-Wärmepumpe durch den Pro-

jektspartner ist eine Weiterentwicklung erforderlich. Trotz der Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Produktes war das Projekt für das ILK wertvoll. Innerhalb des Projektes wurden die Messmethoden für offene Kältemittelverdichter und für Wärmepumpen, insbesondere mit Gasmotor, erweitert. Diese Prüfmöglichkeiten und –kompetenzen stehen in Zukunft auch für Dienstleistungen zur Verfügung.

## Salatvitrine



Der Projektpartner dieses ZIM-Projektes war ein Hersteller von Gewerbekühlmöbeln. Die neue F-Gase-Verordnung führt zu einem verstärkten Druck, neue Kältemittel mit einem geringen Treibhauspotential einzuführen. Das trifft insbesondere auch für die Gewerbekälte zu, da teilweise bereits Verwendungsverbote für F-Gase erlassen sind.

Eine thermodynamisch gute Alternative ist das Kältemittel Propan (R290). Dieses Kältemittel hat nahezu ideale Eigenschaften, aber einen großen Nachteil, die Brennbarkeit. Der Einsatz in Kälteanlagen ist somit vorrangig ein Sicherheitsthema. Im Projekt wurden die damit verbundenen Probleme für ein Durchreich-Gewerbekühlmöbel („Salatvitrine“) gelöst. Diese Art von Kühlmö-

beln kommt z.B. in Kantinen zum Einsatz. Von der Rückseite werden sie gefüllt und an der Vorderseite entnehmen die Kunden die Ware. Aufgrund der Verwendung der Salatvitrine kann der Kältekreislauf nur oberhalb des Kühlraumes angeordnet werden. Dieser Raum ist jedoch in seiner Höhe stark beschränkt. Die konstruktiven und die Sicherheitsprobleme konnten in enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner gelöst werden. Deshalb war es möglich, das neue Produkt mit dem Kältemittel Propan auch auf dem ILK-Messestand auf der Chillventa 2014 in Nürnberg zu präsentieren.

Die weitere Vermarktung des Produktes erfolgt durch den Projektpartner. Dieser beabsichtigt, die Produktpalette mit R290 in den nächsten Jahren zu erweitern.



Bild 1: Salatvitrine auf der Chillventa 2014



Bild 2: Leistungstest mit Prüfpaketen



Bild 3: Kältekreislauf der Salatvitrine

## Energieeffizienter Backofen



Das Projekt wurde gemeinsam mit der Firma Heckel GmbH durchgeführt. Diese Firma ist seit vielen Jahren auch Hersteller von Industriebacköfen, die als Durchlauföfen arbeiten. Die Abwärme dieser Öfen wird in der Regel nicht genutzt. Aus Kundengesprächen war der Firma Heckel bekannt, dass diese Nutzung ein wesentlicher Wettbewerbsvorteil sein kann. Daraus entstand die Idee, aus dieser Abwärme eine Kälteleistung für die Klimatisierung der Produktionsräume der Großbäckerei zu erzeugen. Dafür wurde der Dampfstrahlkälteprozess gewählt. Die Analyse an vorhandenen Öfen zeigt, dass das Abwärmepotential bei großen Öfen ausreichend ist.

Im Forschungsthema wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem die Energie aus dem Schwadenabzug in einen mit Heißwasser betriebenen Zwischenkreislauf übertragen wird. Dieser Zwischenkreislauf wurde vom Projektpartner entwickelt. Vom Zwischenkreislauf wird über einen Dampferzeuger Wärme in den Dampfstrahl-Kältekreislauf übertragen. Der angestrebte COP von 25 % konnte mit den ausgewählten Kältemitteln noch nicht ganz erreicht werden (R245fa: COP=20,7%; R236fa: COP=19,3%). Die Auslegungsrechnung wurde wie geplant durch Messungen an einem Dampfstrahlverdichter in verkleinertem Maßstab validiert und danach in Teilen korrigiert.

Die Ergebnisse wurden mit der Abwärmenutzung einer Absorptionskältemaschine verglichen. Diese hat ein größeres Wärmeverhältnis als der Dampfstrahlprozess. Die Kosten sind bei der Absorptionsmaschine aber deutlich höher. Die Untersuchungen zeigten, dass die Anordnung auf einem Industrie-Durchlaufbackofen realisierbar ist. Es konnte ein Hersteller für Dampfstrahlverdichter gefunden werden. Der Bau ei-

ner Pilotanlage ist möglich und nötig, um die praktische Funktion nachzuweisen. Die Vermarktung des entwickelten Verfahrens sollte über die Industriebacköfen der Firma Heckel als Zusatzmodul erfolgen.

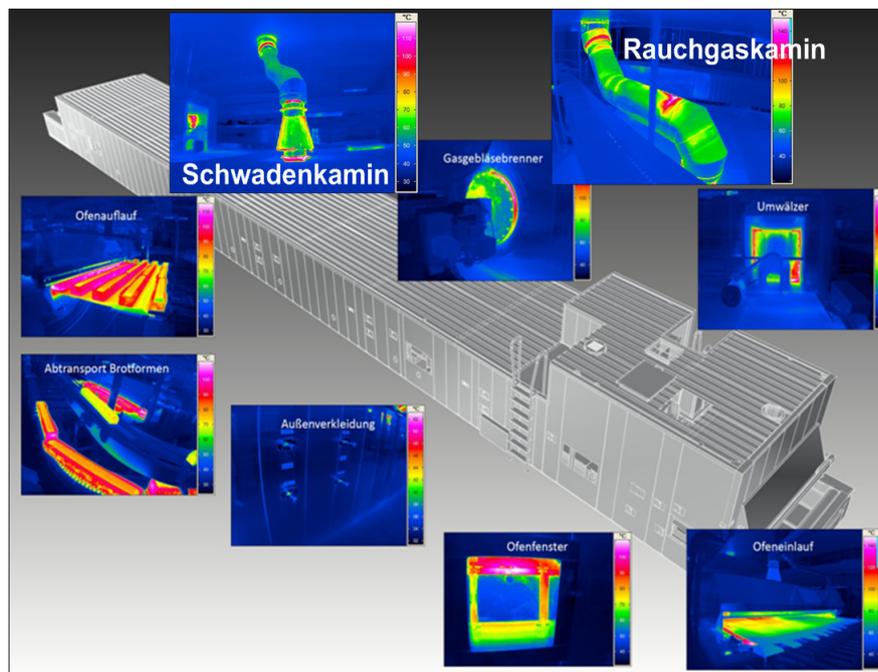


Bild 1: Thermokameraaufnahmen am Netzbandofen – IST-Analyse

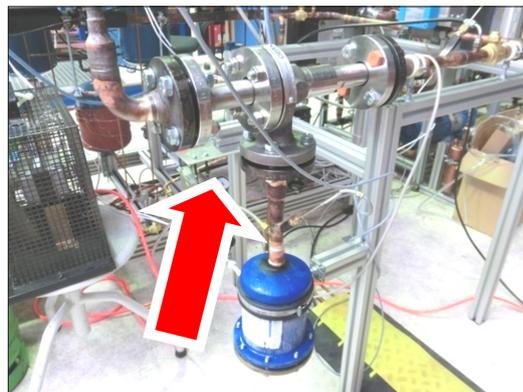


Bild 2: Dampfstrahlverdichter im Test

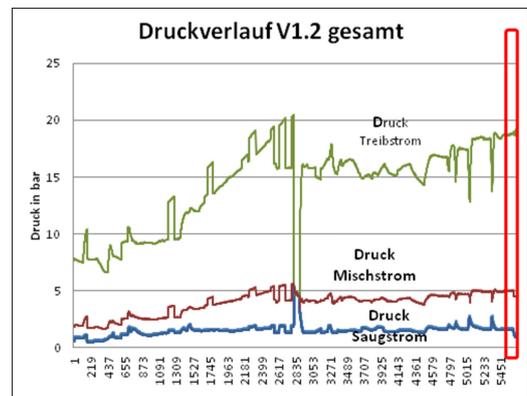


Bild 3: Testergebnisse Dampfstrahlverdichter

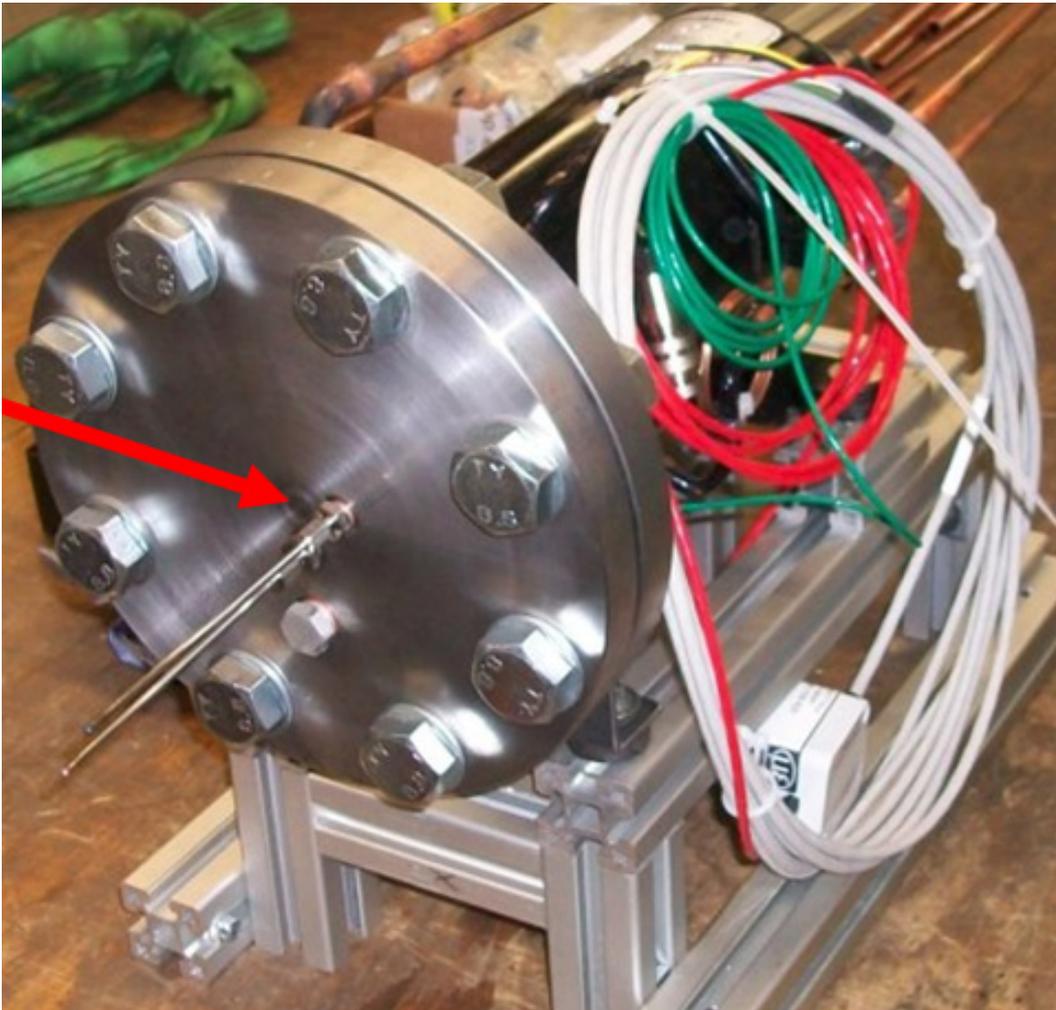
**Mehrfach-Zwischeneinspritzung an Rollkolbenverdichtern**

Bild 1: Rollkolbenverdichter mit Zusatzanschlüssen

Theoretische Berechnungen zeigen, dass die Energieeffizienz des Kompressionskältekreislaufes um bis zu 30 % gesteigert werden kann, wenn der Verdichter das Sauggas in einer unendlichen Anzahl von Stufen ansaugt und verdichtet. In jedem dieser Kreisläufe ist ein Economizerwärmeübertrager erforderlich. Ein System mit unendlich vielen Stufen ist aber praktisch nicht realisierbar. Es konnte nachgewiesen werden, dass

bereits 3 bis 4 Stufen ausreichen, um einen Großteil des theoretischen Potentials zu nutzen. Der mögliche Vorteil dieser Lösung ist sehr attraktiv. Das Projekt MULTIROK soll den experimentellen Nachweis erbringen, dass die theoretischen Überlegungen praktisch umsetzbar sind. Weiterhin erfolgt eine Abschätzung, welche Steigerung der Leistungszahl tatsächlich erreichbar ist. Für die experimentellen Untersuchungen wurde

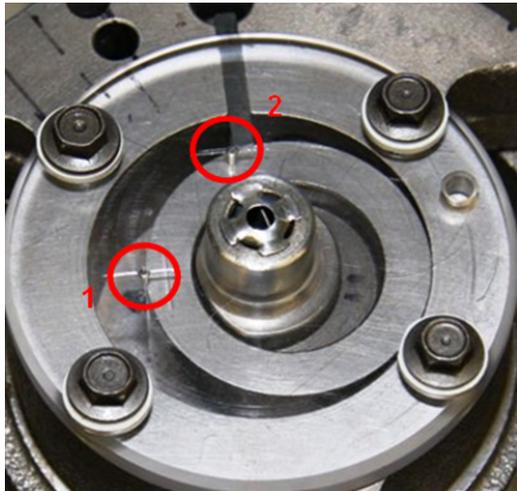


Bild 2: Portpositionen

der Rollkolbenverdichter favorisiert, da die geometrischen Verhältnisse für zusätzliche Ansaugstutzen als günstig ermittelt wurden. Ein Verdichter wurde entsprechend modifiziert. Die Positionierung der Ansaugkanäle an der optimalen Position und für den optimalen Drehwinkel des Kolbens ist an einer vorhandenen Konstruktion praktisch nicht möglich. Dadurch sind deutliche Abschlüsse zu der Vorausberechnung zu erwarten. Insbesondere wurden durch die Veränderungen am Verdichter schlechtere Liefergrade und isentrope Gütegrade beobachtet. Das wurde aufgrund der zusätzlichen Volumina durchaus erwartet.

Die Messungen am single-port-System ergaben etwa vergleichbare Werte zum Verdichter ohne Zwischeneinspritzung. Die Messungen mit dem Multiportsystem sind noch nicht abgeschlossen und deshalb auch nicht auswertbar. Die erreichbaren Er-

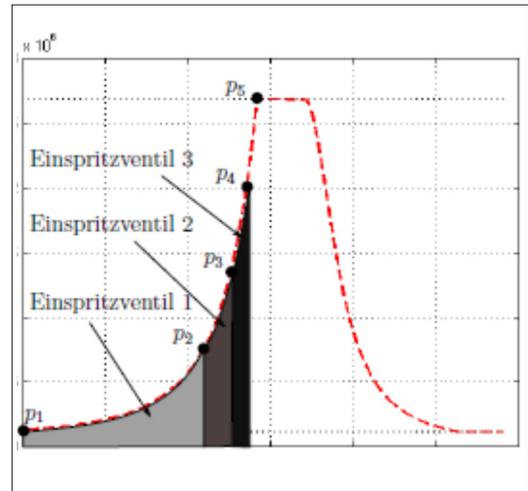


Bild 3: Einspritzzeiten beim Hubkolbenverdichter

gebnisse hängen offensichtlich sehr stark davon ab, ob es möglich ist, die zusätzlichen Ansaugports so in die Konstruktion zu integrieren, dass möglichst wenig Schadraum entsteht und das Zwischenansaugen zum richtigen Zeitpunkt erfolgt.

Für die Umsetzung der Idee ist es erforderlich, ein Einspritzsystem zu entwickeln, das praktisch keinen Schadraum erfordert. Dafür gibt es Ansätze aus dem Automobilsektor. Für Dieselmotoren mit Direkteinspritzung wurde das Problem offensichtlich gelöst. Gelingt es, das System auf Kältemittelverdichter zu übertragen, kann die Grundidee auch für Hubkolbenverdichter angepasst werden.

Für die praktische Umsetzung wird mit einer weiteren Entwicklungsphase bis zu 10 Jahren nach Abschluss des Projektes gerechnet.

## FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2014



Bild 1: Verschleiß am Oldhamring eines Scrollverdichters

Vor einigen Jahren war das ILK Partner in einem Verbundvorhaben zur Entwicklung von eisfreien Oberflächen. Innerhalb dieses Projektes wurde eine Prüfeinrichtung zur Messung der Haftkräfte des Eises auf unterschiedlich beschichteten Oberflächen entwickelt. Diese Oberflächen sind für sehr viele unterschiedliche Anwendungsfälle interessant, so z.B. für Flugzeugflügel, PKW-Scheiben, Rollläden oder auch luftbeaufschlagte Wärmeübertrager. Gemeinsam mit einem sächsischen Forschungsinstitut wurde ein neuer Ansatz für eine Beschichtung entwickelt. Im Auftrag dieses Institutes wurden ca. 100 neue Proben auf ihre eisabweisende Wirkung getestet.

In der Praxis treten immer wieder Schäden an Kältemittelverdichtern auf. Diese sind oft auf Anlagenfehler oder die Einsatzbedin-

gungen zurückzuführen. Bei Serienschäden drohen dabei erhebliche wirtschaftliche Risiken. Zur Bewertung dieser Risiken wurde das ILK beauftragt, eine Methode zu entwickeln, die Restlebensdauer von Scrollverdichtern mit einem bestimmten Schadensbild abzuschätzen. Dafür wurde ein Prüfzyklus für einen verkürzten Lebensdauertest entwickelt. Die verschiedenen Stressfaktoren repräsentieren die Bedingungen im Praxiseinsatz. Für den Prüfzyklus von 500 Stunden wurden wahrscheinliche Schadensszenarien angenommen und auf dem Prüfstand nachgestellt. Die wahrscheinliche Schadensursache konnte ermittelt werden. Die Restlebensdauer der Verdichter hängt stark von der Häufigkeit plötzlicher Ereignisse ab.

Im Forschungsprojekt Leckageüberwachungssystem hat das ILK eine Methode

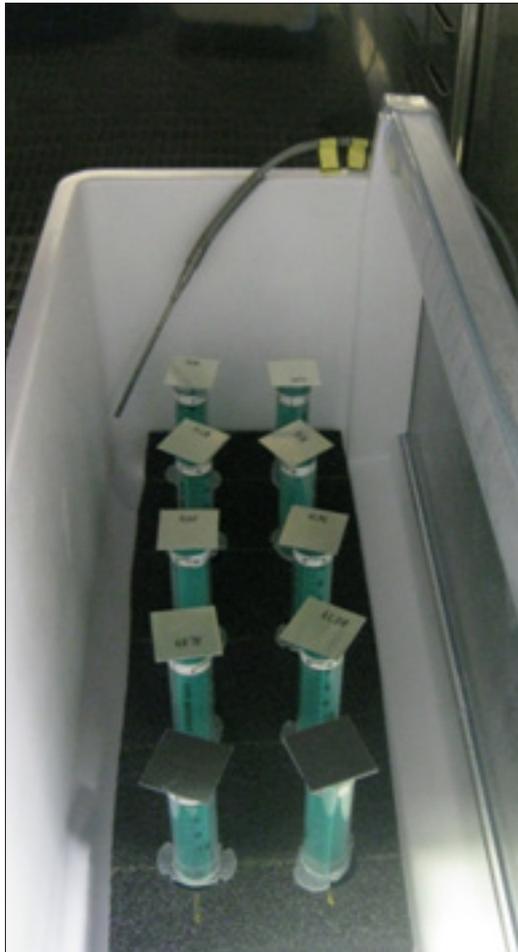


Bild 2: Vorbereitung von Eisproben

zur Überwachung der Kältemittelmenge in Anlagen entwickelt. Die Methode nutzt dafür ausschließlich prozessinterne Messgrößen. Für die Weiterentwicklung des Systems konnte ein führender Hersteller von Regelungstechnik für Kälteanlagen gewonnen werden.

Das Leckageüberwachungssystem wurde an Praxisanlagen im Blindversuch getestet. Die Treffergenauigkeit bei Leckagen an der Anlage war zufriedenstellend. In Zukunft sollen weitere Feldversuche durchgeführt werden. Damit wird die Datenbasis verbessert und eine höhere statistische Sicherheit für die Zuverlässigkeit des Systems erlangt. Für einen Hersteller chemischer Kältemittel wurden neue Ersatzkältemittel an Wärmeübertragern getestet, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden. Diese Ergebnisse wurden direkt aus dem Förderprojekt LOW-GWP-Kältemittel abgeleitet. An diesen Ergebnissen war auch ein Wärmeübertragerhersteller interessiert. Nachdem diese Kältemittel im Vorjahr bereits ihre Eignung im Verdichtertest bewiesen hatten, zeigten sich auch beim Wärmeübergang und Druckverlust keine wesentlichen Einschränkungen für einen Praxiseinsatz. Es ist somit durchaus möglich, dass diese LOW-GWP-Kältemittel sich am Markt durchsetzen.

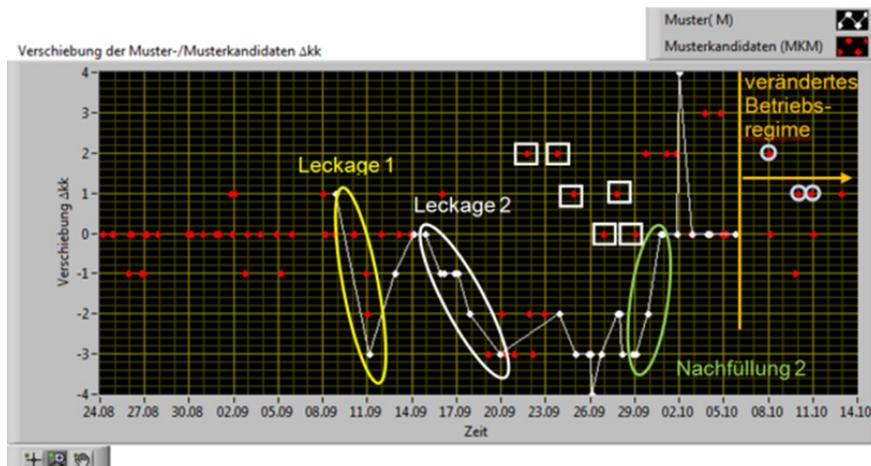


Bild 3: Leckageüberwachungssystem im Feldtest

## Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen



Bild 1: Wärmeübertrager-Prüfstand

Der Hersteller von luftbeaufschlagten Wärmeübertragern hatte bisher keine eigenen Möglichkeiten zur experimentellen Erprobung seiner Erzeugnisse. Zur Untersuchung von Wärmeübergang und Druckverlust wurde ein Prüfstand nach dem ILK-Konzept errichtet. Neben dem Konzept hat das ILK auch alle Bauteile ausgelegt, die gesamte Messtechnik geliefert und die Inbetriebnahme der neuen Versuchseinrichtung begleitet.

Der Prüfstand umfasst eine Luftstrecke, mehrere Kältekreisläufe und ein Kaltsolemodul. Dadurch ist die Vermessung von Prüflingen für sehr unterschiedliche Anwendungen möglich. Weitere Module zur kältetechnischen Versorgung der Prüflinge sind in den nächsten Jahren geplant.

Für denselben Hersteller wurden die Konzepte für 2 weitere Prüfstände erstellt. Die Realisierung ist in den nächsten Jahren geplant. Ebenso wurde ein Prüfstandskonzept



Bild 3: Lastsimulationsanlage für KWS



Bild 2: Test eines Prüflings auf dem Prüfstand

zur Untersuchung von Kältemittelkompressoren mit dem Hochdruck-Kältemittel  $\text{CO}_2$  entwickelt. Das Konzept basiert auf den Erkenntnissen aus einigen Forschungsprojekten mit diesem Kältemittel, z.B. dem letzten Projekt zur Entwicklung einer  $\text{CO}_2$ -Wärmepumpe für die Warmwassererzeugung.

Die im Vorjahr gelieferte Lastsimulationsanlage zur Erprobung von Kaltwassersätzen für Schiffe wurde jetzt in Betrieb genommen. In diesen Auftrag wurde erstmalig das neue MSR-Konzept für Prüfstände umgesetzt. Dieses gestattet in der Zukunft eine Verkürzung der Lieferzeiten durch eine parallele Erstellung der Softwaremodule. Nach bestandener „Feuertaufe“ wird ein Förderprojekt erarbeitet, das die Weiterentwicklung der einzelnen Bausteine des Konzeptes für komplexe Aufgabenstellungen ermöglicht.



**Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung**



Einfluss der Sensorpositionierung im Raum auf den Energiebedarf heiz- und raumluftechnischer Anlagen	52
Hygrisch aktiver Luftherhitzer	54
Wohnungslüftungsgerät mit elektrothermischer Heiz- und Kühlfunktion	56
Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte	58
Küchenabluft mit integrierter Wärmerückgewinnung	60
Fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit Wärmerohr	62
Membranbasierte Raumklimatisierung – dezentrale Flüssigsorption	64
TU Dresden, Neubau Institutgebäude, Fachrichtung Physik	66
Uni Leipzig, Hörsaal- und Mensagebäude - Energiemanagement	68
Nanofluide als innovative Kühlmedien	70
Projekt „BioStrom“ – KWK- Anlage kleiner Leistung	72
Sekundär- Aerosole	74
Abscheide- und Wärme- Rückgewinnungssystem	76
Modularer Kombinationsprüfstand	78
Prozessentstaubung mit Gewebesläuchen	80
Ingenieurdienstleistungen für die Industrie - Messungen ultrafeiner Aerosole	82

## Einfluss der Sensorpositionierung im Raum auf den Energiebedarf heiz- und raumluftechnischer Anlagen

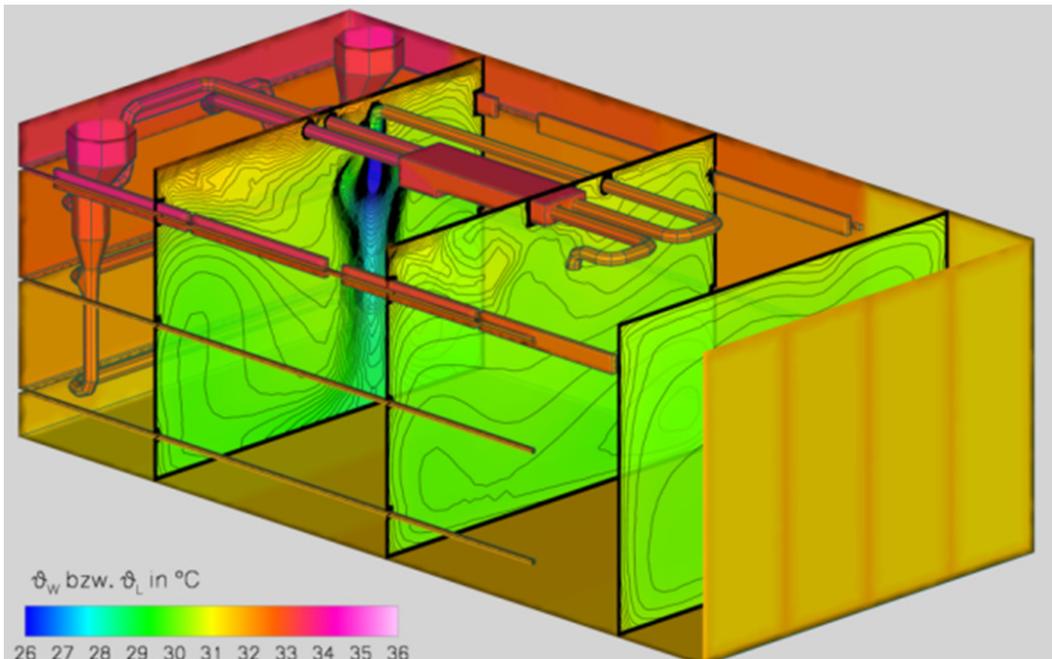


Bild 1: Simulationsmodell der Klimazelle mit Einbauten, Abklingversuch, unterstützt durch erzwungener Konvektion (Einströmung kalter Luft) – Darstellung von Luft- und Oberflächentemperaturen

Der energieeffiziente Betrieb von Gebäuden lässt sich nur erreichen, wenn die für die Gebäudekonditionierung eingesetzten technischen Systeme mit maximalem Wirkungsgrad und bedarfs- bzw. anforderungsgerecht betrieben werden. Dazu sind verlässliche, aussagekräftige und zeitgenaue Informationen über den aktuellen Betriebszustand eines Gebäudes notwendig. Diese Informationen werden vorrangig von Sensoren geliefert und sind umso sicherer, je genauer die eingesetzten Sensoren sind und insbesondere, je günstiger sie in der Gebäudestruktur positioniert wurden.

Das Gesamtziel dieses Forschungsprojektes besteht dementsprechend in der Bestimmung des quantitativen Einflusses der möglichen Sensorpositionierungen im Raum auf den Energiebedarf sowie die thermische

Behaglichkeit und Luftqualität in Abhängigkeit praktisch relevanter Einflussgrößen. In der ersten Projektstufe sind antragsgemäß wichtige Grundlagen und Aussagen für stationäre und sich leicht verändernde Situationen erarbeitet worden. Für die zweite Projektstufe sind die Ergänzungen zu stark instationären Situationen, beispielsweise infolge von nutzerbedingten Lastwechseln oder Solarstrahlung, zum Einsatz von Sensorfeldern und vor allem die Ableitung von Handlungsempfehlungen vorgesehen. Unter Mitwirkung von Industriepartnern aus den Bereichen der Sensorik, Gebäudeautomation (GA) und –leittechnik (GLT) sowie Anwendern werden die Projektpartner mit dem Zusammenspiel von Numerik und Experiment die Thematik anwenderfreundlich aufarbeiten.

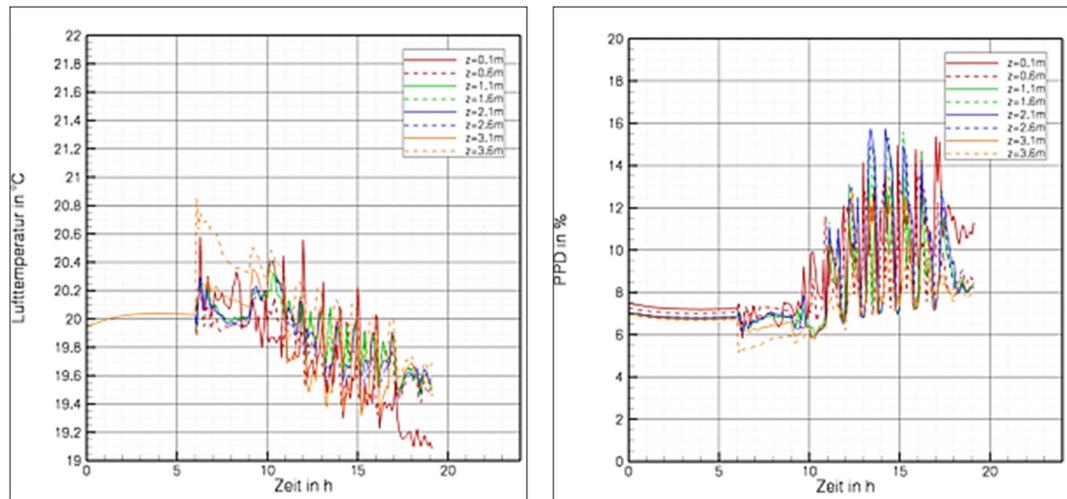


Bild 2: Zeitlicher Verlauf von Lufttemperatur und Behaglichkeitskenngröße PMV (nach DIN EN ISO 7730 wird mit dem PMV-Wert [Predicted Mean Vote] ein mittleres Raumklima durch die Nutzer beurteilt) in verschiedenen Höhen an einer ausgewählten Sensorposition für einen simulierten Wintertag; Gekoppelte Simulation von Gebäude-, Anlagentechnik und Raumluftrömung

Ein wichtiges Ziel war die Sicherstellung der Vergleichbarkeit von Messungen und numerischen Simulationen. Dies ist für alle weiteren Untersuchungen essentiell, weil nur ausgewählte Fälle in Messung und Simulation gleichermaßen nachgebildet werden. Hierzu erfolgte in der ersten Projektstufe eine sehr umfangreiche Ausstattung der Klimakammer des ILK mit zweckentsprechender Sensorik. Auf Basis der so ausgestatteten Klimazelle wurden dann Versuchsdurchführungen der in Projektstufe I spezifizierten stationären und transienten Referenzsituationen realisiert. Parallel zu den Messungen erfolgte die numerische Modellierung der kompletten Klimakammer inklusive aller relevanten anlagentechnischen und bauphysikalischen Details mit Hilfe eines in weitgehender Eigenentwicklung entstandenen Programmpaketes zur gekoppelten Gebäude-, Anlagen- und Raumluftrömungssimulation (Bild 1).

Im Zuge der Untersuchungen erfolgten Simulationen zu einer umfassenden Variation der für die Anlagenregelung genutzten Sensoren, wobei sowohl die Art des jeweils aktiven Sensors als auch seine Position verändert wurden. Als Resultat dieser Variationen stehen neben den Feld- und den Behaglichkeitskenngrößen hier auch Verbrauchsdaten der modellierten Heizungsanlage in Abhängigkeit vom genutzten Sensor zur Verfügung. Weiterhin wurden auf Basis des in der Projektphase I genutzten Simulationswerkzeuges sehr umfangreiche Untersuchungen zu energetischer Effizienz, thermischer Behaglichkeit und Luftqualität verschiedener Anlagenkonstellationen vorgenommen. Auch dort wurde der Einfluss der Sensorpositionen auf das energetische Verhalten der eingesetzten Anlagentechnik spezifiziert. Die Bild 2 zeigt hierzu für einen Raum auszugsweise Details der Simulationsergebnisse.

## Hygrisch aktiver Luftherhitzer

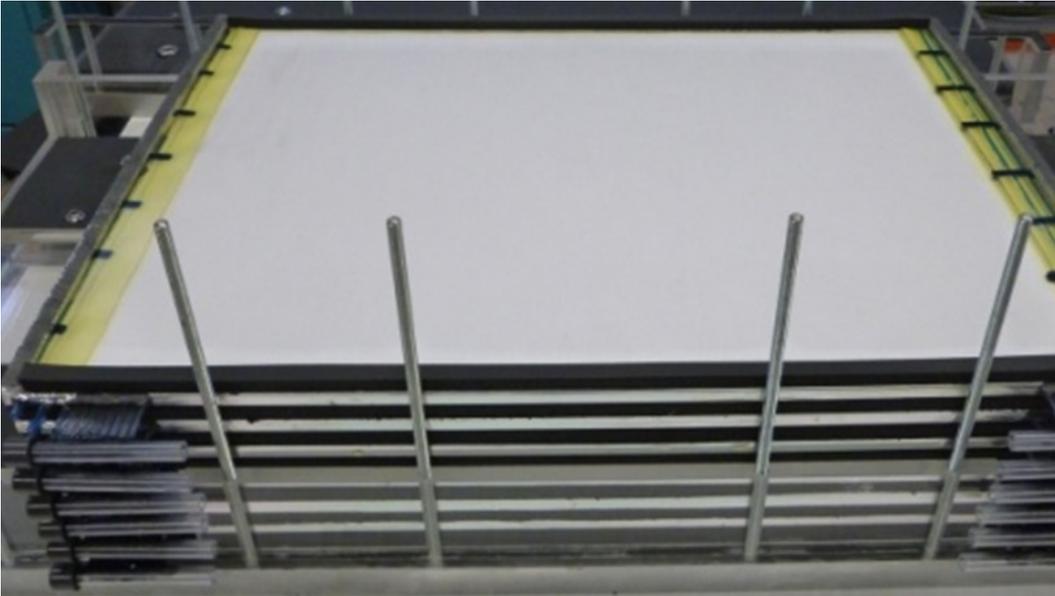


Bild 1: Prototyp des hygrisch aktiven Luftherhitzers im Einbauzustand

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsvorhabens erfolgte die Entwicklung eines Luftherhitzers mit integrierter Luftbefeuchtung über semipermeable Membranen. Herzstück des „hygrisch aktiven Luftherhitzer“ (HALE) bildet eine auf einen durchströmbaren Membranträger aufkaschierte wasserdampfpermeable Membran als Wärme- und Stoffübertragerfläche. Wasser verdunstet aus dem durchströmten Membranträger durch die Membran hindurch. Treibende Kraft für den Wasserdampftransport (Befeuchtungsmassenstrom) ist die Wasserdampfpartialdruckdifferenz über die Membran (zwischen Sättigungsdampfdruck Befeuchtungswasser und Wasserdampfpartialdruck der Luft). Die Membran selbst dient gleichzeitig als hermetische Trennschicht zwischen Wasser- und Luftstrom und beugt biologischer Kontamination (Pilze, Keime, Bakterien) auf der Luftseite vor. Anders als beim Dampfbefeuchter kann die notwendige Verdampfungswärme Heizwasserebenen (jeweils zwischen zwei Membranträ-

gern) oder das Befeuchtungswasser selbst zur Verfügung gestellt werden. Das Temperaturniveau kann dem Niedertemperaturniveau ( $< 55^{\circ}\text{C}$ ) entsprechen und muss nicht durch Elektroenergie zur Verfügung gestellt werden. Der entwickelte hygrisch aktive Luftherhitzer verbindet damit also die hygienischen Vorteile des Dampfbefeuchters mit den energetischen Vorteilen konventioneller Verdunstungsluftbefeuchter und fasst die Luftbehandlungsfunktionen „Heizen“ und „Befeuchten“ in einer Komponente zusammen.

Die Entwicklung des HALE erfolgte in zwei Stufen. Ausgehend von Anforderungsprofil (Systemleistung), Materialeigenschaften und Voruntersuchungen an Testmustern wurde zunächst ein hygrisch aktiver Luftherhitzer ohne aktive Regelung der Befeuchtung konzipiert, aufgebaut und messtechnisch umfangreich erprobt. Für die Einhaltung von Mindeststandards der relativen Feuchte im Raum ausgelegt, wird

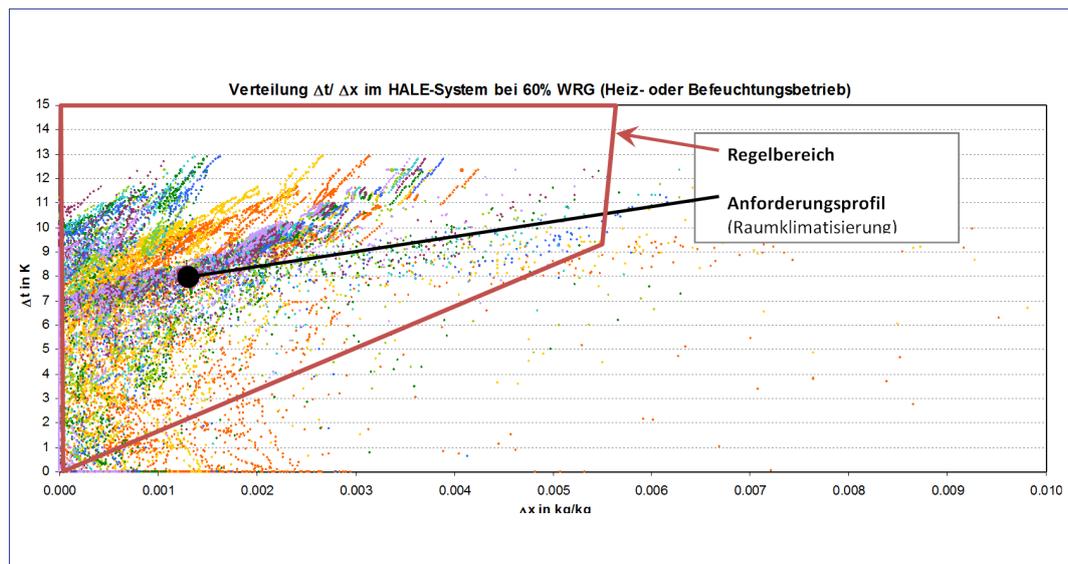


Bild 2: Regelbereiche (Temperatur + Feuchte) des membranbasierten Wärme- und Stoffübertragers

nur die Heizleistung aktiv geregelt. Mit der Temperatur des Heizwassers wird die Temperatur des Befeuchtungswassers sowie die Triebkraft für den Stofftransport beeinflusst. Ein sogenannter Selbstregelleffekt ist zu beobachten: mit steigender Heizleistung nimmt der Stofftransport (Befeuchtungsleistung) zu. Dabei entspricht der Zusammenhang zwischen Heiz- und Befeuchtungsleistung in Abhängigkeit von der Heizwassertemperatur in weiten Teilen dem Anforderungsprofil. Im zweiten Entwicklungsschritt konnten Strategien zur von der Heizleistung unabhängigen, aktiven Regelung der Befeuchtungsleistung erarbeitet und an einem Funktionsmuster getestet werden. Die Regelung der Befeuchtungsleistung durch eine bedarfsgerechte Dosierung des Befeuchtungswasservolumenstroms erwies sich als besonders geeignet.

Sowohl in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit der Membranelemente als auch unter Berücksichtigung praxisrele-

vanter Bedingungen (Langzeittest an durchströmten Testmustern) wurde das HALE-System bezüglich Hygieneanforderungen, Verschmutzungsverhalten, Hygienepotential und Reinigbarkeit messtechnisch analysiert. Die Ergebnisse fanden in Materialauswahl und Konstruktion des Funktionsmusters Anwendung.

Vermarktungsrelevante Innovationen des HALE-Systems sind reduzierte Druckverluste durch Kopplung zweier Luftbehandlungsprozesse in einer Komponente, der Hygienevorteil durch die stoffliche Trennung von Luft und Befeuchtungswasser, die erhöhte Energieeffizienz durch die Nutzung von Niedertemperaturwärme und die mögliche Befeuchtung mit signifikanter Übersättigung ( $\Delta x > 10 \text{ g/kg}$ ) ohne Überschussbeaufschlagung. Ziel ist es, einen Lizenznehmer für den Bau hygrisch aktiver Luftherhitzer zu finden.

Wohnungslüftungsgerät mit elektrothermischer Heiz- und Kühlfunktion

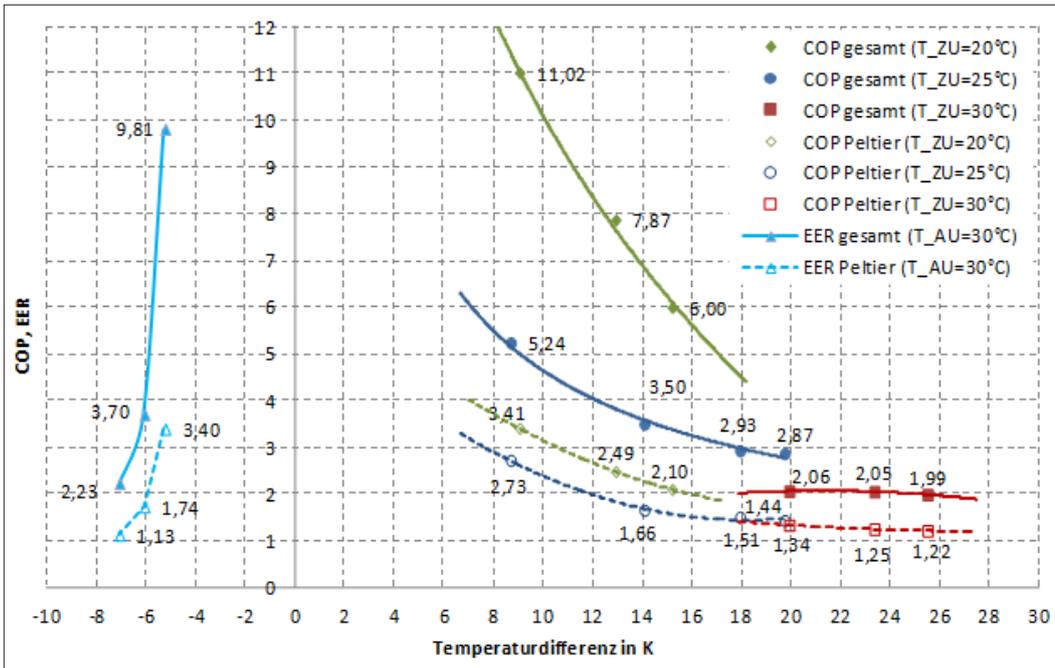


Bild 2: EER/COP-Werte des Wohnungslüftungsgerätes und des Peltiermoduls für verschiedene Zulufttemperaturen

Entwicklungsergebnis ist ein thermoelektrisch betriebenes Wohnungslüftungsgerät, welches den Wärme- und anteiligen Kühlenergiebedarf eines Wohngebäudes vollständig decken kann. Hauptbestandteil der Entwicklung ist das thermoelektrische Heiz- und Kühlelement, welches aus einer Batterie aus Peltierelementen besteht. Die verfügbaren thermischen Leistungen der Peltierelemente erfordern eine modulare Bauweise des Peltierheizers. Die parallel geführten Stoffströme von Außen- und Fortluft erfüllen die Anforderung an eine ausreichende Wärmeabfuhr im Kühlbetrieb und eine hohe Quelltemperatur im Heizbetrieb. Im Heizbetrieb trägt eine vorgeschaltete Wärmerückgewinnung zu niedrigen Temperaturdifferenzen der Luftströme und damit hoher Effizienz der Peltierheizers bei.

Das Wohnungslüftungsgerät weist gegenüber konventionellen Nur-WRG-Geräten den Vorteil auf, auch bei sehr niedriger Außenlufttemperatur eine Zulufttemperatur von mindestens 25°C einzuhalten. Es kann dadurch als Luftheizgerät eingesetzt werden und macht in hochwärmegedämmten Gebäuden eine konventionelle Heizung überflüssig.

Das Gerät erreicht unter Berücksichtigung der inneren Druckverluste und der Hilfsenergie für das Peltiermodul die höchste Wärmerückgewinnungsklasse H1 nach DIN EN 13053. Dafür verantwortlich ist auch die sehr geringe spezifische Leistungsaufnahme beider Ventilatoren. Die Leistungszahl COP liegt über der Leistungszahl von Am Markt verfügbaren Wohnungslüftungsgeräten mit Zuluft-/Abluftwärmepumpen und steigt bei niedrigeren Zulufttemperaturen

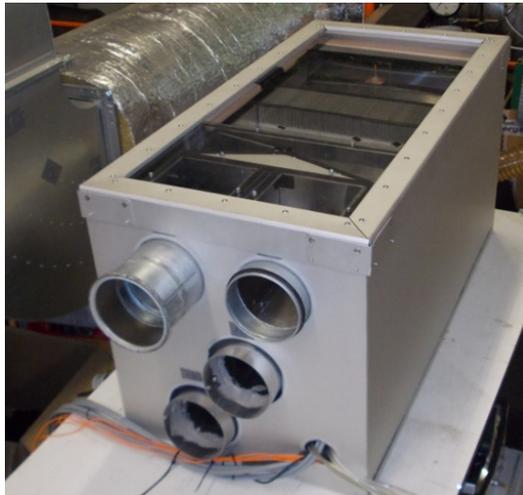


Bild 1: Funktionsmuster des Wohnungslüftungsgerätes

noch weiter an. Folgende technischen Parameter zeichnen das Gerät aus:

- geringer Gesamtdruckverlust, geringe spezifische Leistungsaufnahme beider Ventilatoren von nur 0,21 W/m<sup>3</sup>/h,
- Gesamtleistungszahl bei Zulufttemperatur 25°C beträgt COP = 2,93 (Temperaturdifferenz 18 K) und liegt damit über dem Marktmittelwert für Wohnungslüftungskompaktgeräte mit Wärmepumpe (COP = 2,6),
- Energieeffizienz nach DIN EN 13035 in Abhängigkeit der Ablufttemperatur zwischen 72,9 % und 91,5 % (Mittelwert 80,5%) erreicht höchste Wärmerückgewinnungsklasse H1 (≥ 71 %).

Die hohe Effizienz und die niedrigen Gesamtgerätekosten erlauben eine wirtschaftliche Vermarktung. Erste Gespräche mit potentiellen Lizenznehmern wurden bereits geführt. Das Marktumfeld ist sehr positiv. Der deutsche Markt für die kontrollierte Wohnungslüftung wächst seit einigen Jah-

ren sehr stark, in den vergangenen Jahren zwischen 8 % bis 12 % pro Jahr. Gleichzeitig ist im ersten Halbjahr 2014 ein starker Zuwachs bei Geräten mit integrierten Wärmepumpen zu verzeichnen und damit ein Trend hin zu Geräten mit höheren Komfortansprüchen und höherem Preisniveau.

Die gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Entwicklungsprojekt sind aufgrund eines sich in Zukunft stark verändernden Heizungs- und Strommarktes sehr wichtig. Vor dem Hintergrund der Niedrigstenergiebauweise und des Überangebotes an elektrischer Solar- und Windenergie werden strombasierte Heizsysteme deutlich an Marktzuwachs gewinnen. Hier ist es erforderlich, frühzeitig die Weichen für innovative und effiziente Stromheizsysteme zu legen, die der preiswerten elektrischen Direktheizung Konkurrenz machen können. Daher wurde bereits während der Projektlaufzeit begonnen, das Peltiermodul auch für die Nutzung in anderen Anwendungsbereichen konstruktiv entsprechend zu adaptieren und nach weiteren Marktpotentialen zu suchen.

## Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte

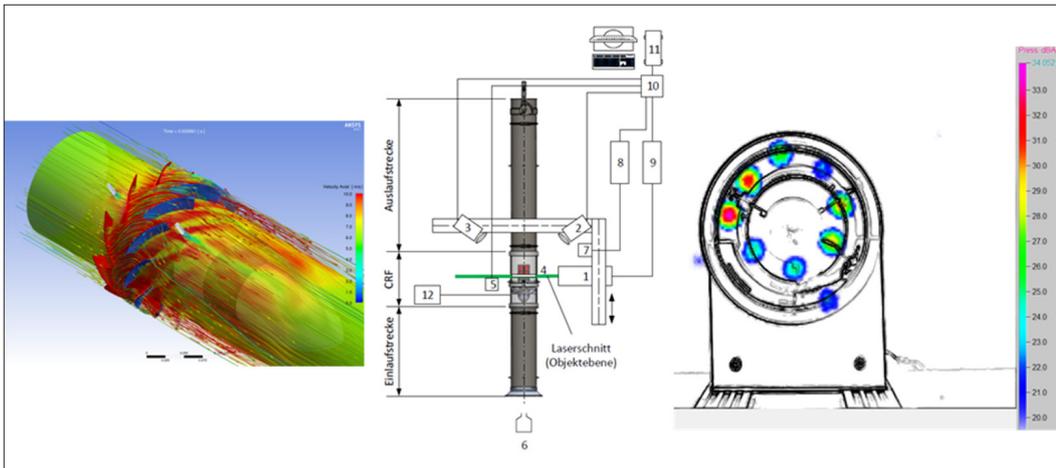


Bild 1: links: Ergebnis einer zeitaufgelösten Sliding-Mesh-Simulation mit FLUENT, mitte: Versuchsaufbau für die Stereo-PIV-Untersuchung am Austritt der zweiten Ventilatorstufe, rechts: Schallquellen im Betrieb des Ventilators, aufgenommen mit der akustischen Kamera

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein Ventilator entwickelt, welcher sich gegenüber herkömmlichen Axialventilatoren durch einen höheren Wirkungsgrad und einer höheren Leistungsdichte auszeichnet. Dies wird durch ein gegenläufiges Drehen zweier Axiallaufräder erreicht. Gegenüber dem Stand der Technik bei gegenläufigen Axialventilatoren (CRF) zeichnet sich der Kompaktlüfter durch eine Verwendung nur eines Motors bzw. durch den Verzicht auf ein Getriebe aus. Da sich eine Laufradstufe auf dem Innenläufer und die andere Stufe auf dem Aussenläufer des gleichen Motors befinden, stellen sich die Drehzahlen beider Laufräder stets so ein, dass ein Momentenausgleich stattfindet. Um dieses Konzept umsetzen zu können, musste eine berührungslose Leistungsübertragung mit dem Projektpartner Kontenda entwickelt werden. Im Rahmen der Tätigkeiten wurde ein C++-Programm entwickelt, welches die Besonderheiten des Momentenausgleiches über die Drehzahl der beiden Stufen berücksichtigt. Auf Basis dieses Programmes erfolgten die Auslegung und die Konstruktion zweier gegenläufiger Laufräder sowie deren Lagerung in einem Gehäuse.

Parallel zu der Konstruktion wurden durch das ILK (Sliding Mesh mit FLUENT) und die TU Freiberg (Moving Reference Frame mit FLUENT und OpenFOAM) Strömungssimulationen der beiden Laufräder durchgeführt, deren Bewertung für die Optimierung der Laufradkonstruktion verwendet wurde. Das fertige Versuchsmuster wurde im Versuchsfeld vielfältig untersucht. Neben der laseroptischen Bestimmung der Strömungsverhältnisse mittels stereoskopischer Particle Image Velocimetry am Austritt der zweiten Stufe wurden die charakteristischen Kennlinien am Ventilatorprüfstand aufgenommen, die Schallleistung im Hallraum bestimmt und das akustische Verhalten mit der akustischen Kamera untersucht (siehe Bild 1).

Die Messergebnisse (siehe Bild 2) zeigen, dass der CRF gegenüber den Vergleichskonfigurationen (nur die erste Ventilatorstufe ohne und mit Nachleitrad) in den meisten Kenngrößen im Vorteil ist. Er übertrifft diese in Bezug auf den Druckaufbau, den Wirkungsgrad und die Leistungszahl. Lediglich bei der Schallleistung muss bei höheren Frequenzen der CRF optimiert werden.

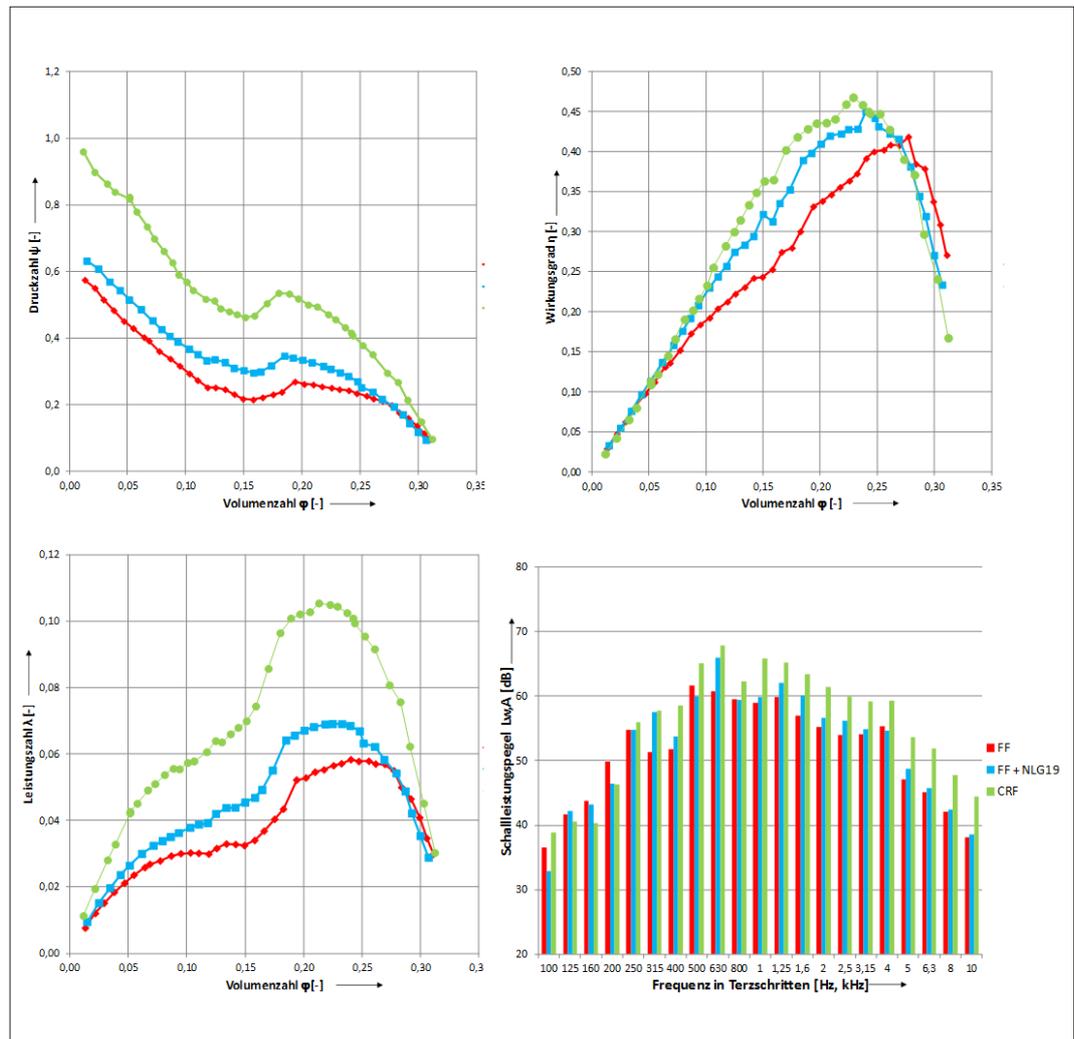


Bild 2: Darstellung der gemessenen Kennlinien des Ventilators im Vergleich zum alleinigen Betrieb der ersten Stufe und der ersten Stufe mit Nachleitgitter (oben links: Druckzahl über Volumenzahl, oben rechts: Wirkungsgrad über Volumenzahl, unten links: Leistungszahl über Volumenzahl, unten rechts: Schallleistungspegel im Terzband)

## Küchenabluft mit integrierter Wärmerückgewinnung

Entwicklungsziel war es, einen Dunstabzug für Küchen in Wohngebäuden zu entwickeln, der den energetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV gerecht wird. Als primäre Lösungsansätze wurden die Reduzierung des abzusaugenden Volumenstromes sowie der Einsatz eines Wärmerückgewinnungssystems verfolgt. Ein besonderer Entwicklungsschwerpunkt lag in der Verbesserung des Erfassungsgrads der Wrasen, um eine Minimierung des erforderlichen Bauraums des Wärmeübertragers zu erreichen.

Im Rahmen des Projektes konnte durch eine optimierte Strömungsführung eine signifikante Erhöhung des Erfassungsgrads der Dunstabzüge erreicht werden, wodurch auch eine deutliche Reduzierung des Volumenstroms und damit auch der akustischen Belastung möglich wurde.

An einem Funktionsmuster wurden die verbesserte Erfassung der Wrasen (siehe Bild 1), die höhere Energieeffizienz und die Verbesserung der akustischen Eigenschaften nachgewiesen. Ebenfalls die geringere Störanfälligkeit gegenüber den im Raum vorherrschenden Luftströmungen erweist sich als Argument für das System.

Die geringe Lärmemission und dass keinerlei Installationen oberhalb des Kochfeldes erforderlich werden, lässt eine hohe Nutzerakzeptanz des Systems erwarten. Die notwendigen technischen Komponenten lassen sich platzsparend im Sockelbereich der Küchen (siehe Bild 2) oder auch Rückwandbereich des Unterschranks integrieren.

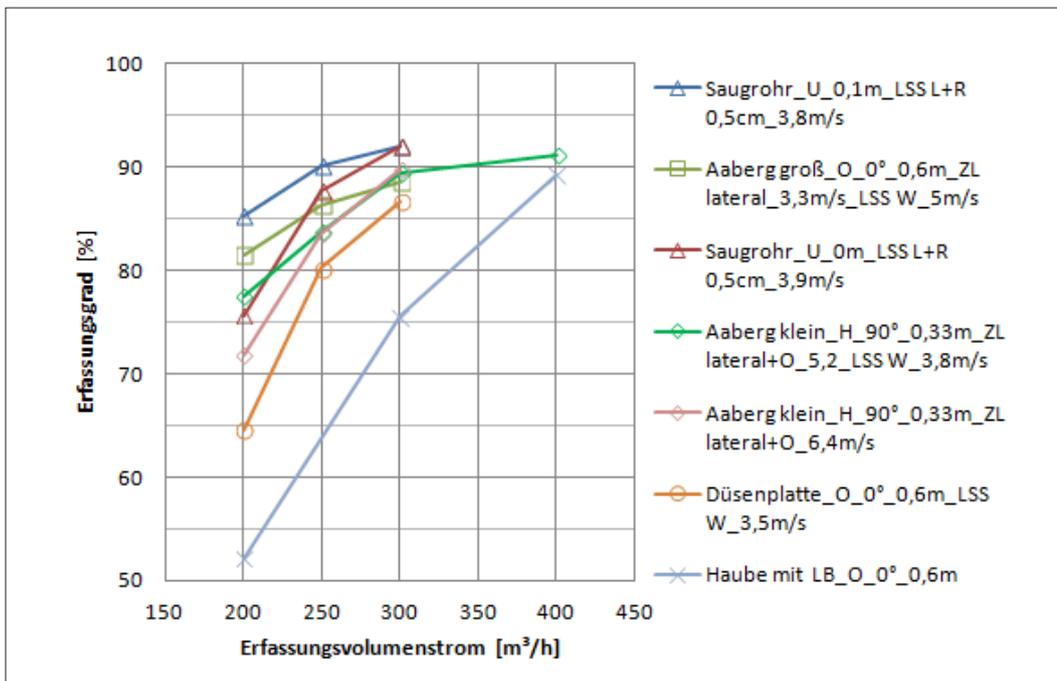


Bild 1: Optimierter Erfassungsgrad in Abhängigkeit des Volumenstroms



*Bild 2: Demonstrations- und Funktionsmuster des Dunstabzugs*

## Fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit Wärmerohr

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein dezentrales fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit einem Wärmerohrwärmeübertrager entwickelt. In seinen Abmessungen wird es so kompakt sein, dass es zwischen Fensterrahmen und Mauer integriert werden kann. Somit soll die Voraussetzung gegeben werden, dass im Zuge einer Sanierung mit dem Austausch der Fenster ein Lüftungssystem zur Sicherstellung eines Mindestluftwechsels im Raum ohne zusätzliche Mauerdurchbrüche eingebaut werden kann.

Gegenüber herkömmlichen dezentralen Lüftungssystemen sind drei wesentliche Sachverhalte neu. Zum Einen soll ein neuartiger kompakter Wärmerohrwärmeübertrager eine Rückwärmzahl von mindestens 0,7 (bei 17,5 m<sup>3</sup>/h) garantieren. Desweiteren kommt nur ein Antrieb zur Anwendung, damit die akustischen Anforderungen (ca. 35 dB(A)) besser erfüllt werden können. Die Zu- und Abluftströme werden dann über eine „passive“ Nachströmeinheit und über eine „aktive“ regelbare Fördereinheit geführt. Letztlich kann ein solches Lüftungssystem mit Wärmerohr auch zur Kühlung warmer Außenluft im Sommer genutzt werden.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist Wärmerohrwärmeübertrager (Bild 1) und ein Demonstrator (Bild 2) entwickelt, konstruiert und aufgebaut worden. Letzterer ist in seinen Außenabmessungen 1200 mm lang, 54 mm hoch und 220 mm breit. Er kann über

die Fensterlängsseite zwischen Rahmen und Mauer integriert werden. Dieser soll in der höchsten (dritten) Leistungsstufe einen Luftvolumenstrom von 25 m<sup>3</sup>/h fördern können. Die Strömungskanäle bestehen aus PE-Akustikschaum. Verschiedene marktverfügbare Ventilatoren (axiale und radiale Bauart) können für die Eignungstests eingebaut werden (Beispiele in Bild 2 rechts). Der Wärmerohrwärmeübertrager und der Demonstrator sind im Versuchsfeld umfangreich untersucht worden. Es sind thermische Leistungsmessungen an einem eigens dafür entwickelten Prüfstand, strömungstechnische sowie akustischen Messungen durchgeführt worden.

Die Messergebnisse zeigen, dass das fensterintegrierte Raumlüftungssystem hinsichtlich der Wärmerückgewinnung und den akustischen Eigenschaften noch Optimierungspotential offenbart. Die gemessene Rückwärmzahl erreicht einen Wert von 0,62 und liegt damit über den Mindestanforderungen der EnEV. Mit dem Radialventilator von ebmpapst beträgt die Schalleistung in der kleinsten Leistungsstufe 43 dB(A). Das Funktionsprinzip mit nur einem Antrieb ist praktikabel. Es erscheint energetisch sinnvoll, die aktive Fördereinheit auf der Zuluftseite zu implementieren.

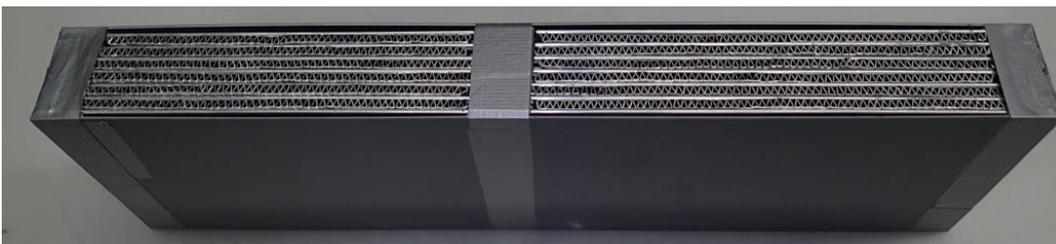


Bild 1: Entwickelter Wärmerohrwärmeübertrager für kompaktes fensterintegriertes Raumlüftungssystem

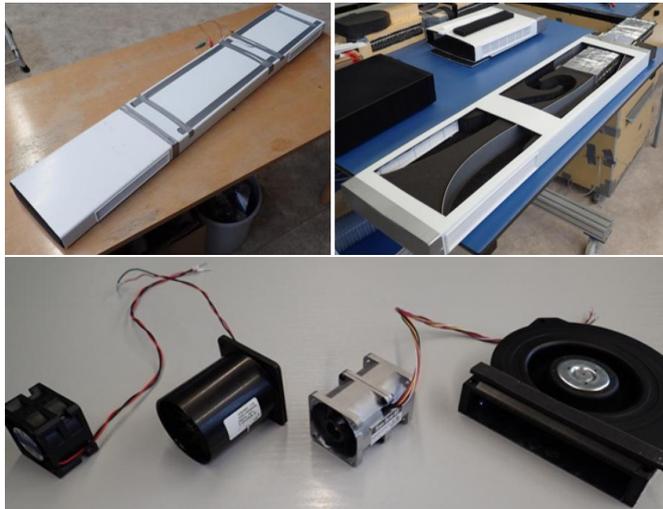


Bild 2: „Demonstrator 1“; links: Außenansicht; mitte: Innenansicht; rechts: untersuchte Ventilatoren im „Demonstrator 1“ (von links nach rechts: M-Fan, Micronel, Sanyo Denki, ebmpapst)

Die Ergebnisse sind Grundlage für die weitere Optimierung des Systems im Rahmen des Aufbaus eines zweiten Demonstrators. In diesem werden ein noch leiserer Radialventilator und ein anderer Akustikschaumstoff zur Anwendung kommen. Desweiteren werden die Schallschutzkanäle (Luftansaugbereiche) mit dem Fensterrahmen verbunden.

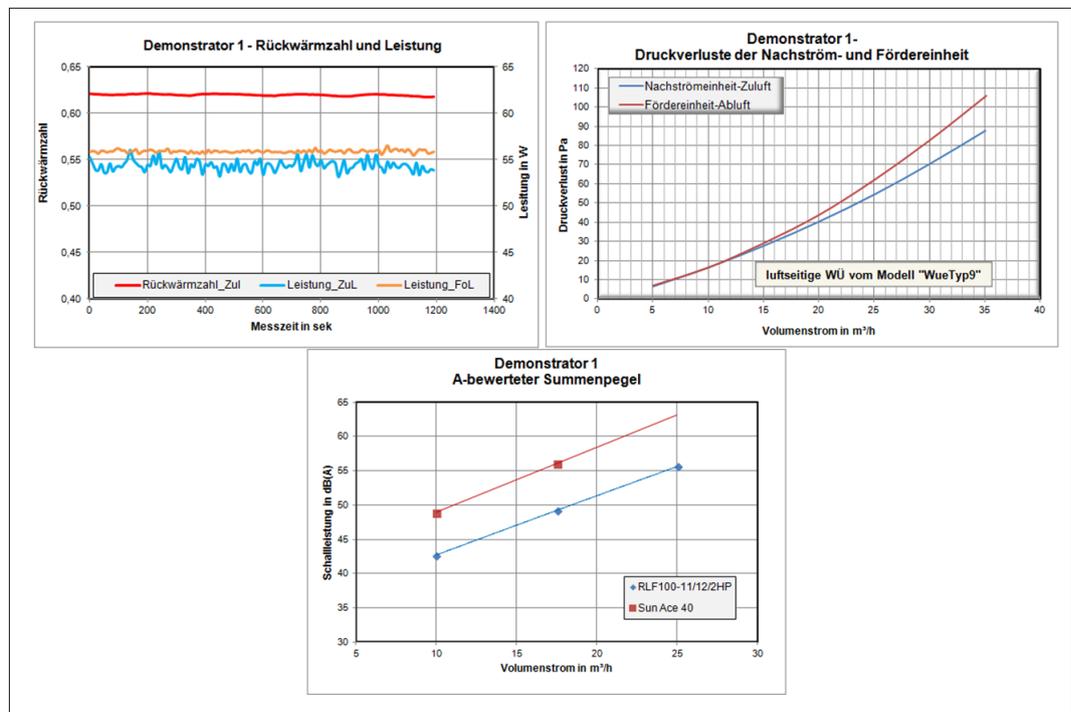


Bild 3: Demonstrator 1; Ergebnisse aus thermischen Leistungsmessungen, strömungstechnischen und akustischen Messungen

## Membranbasierte Raumklimatisierung – dezentrale Flüssigsorption



Raumlufttechnische Anlagen haben einen erheblichen Bedarf an Primärenergie. Vor allem Klimatechniken auf der Basis herkömmlicher Entfeuchtungsmethoden besitzen großes Energiesparpotential, wenn es gelingt, die energieintensive Entfeuchtung der Luft durch die Unterschreitung der Taupunkttemperatur durch sorptionsgestützte Luftentfeuchtungssysteme abzulösen. Im Gegensatz zu dezentralen Klimatisierungssystemen sind dazu in zentralen Klimatechniken sowohl feste als auch flüssige Sorptionsprozesse bereits Stand der Technik.

Aufbauend auf dem bestehenden ILK-Know-how ist die Entwicklung eines Klimatisierungssystems auf Basis eines indirekten, gekühlten flüssigen Sorptionsprozesses für raumnahe Anlagen (dezentrale Klimageräte, Kühldecken) Ziel des Projektes. Besonderer Entwicklungsbedarf besteht dabei bezogen auf die gesamte Anlagenperipherie (Sys-

temkomponenten, Regelung, Hydraulik, Sorptionsmittelhandling und Gesamtauslegung). Einige dieser „Entwicklungslücken“ wurden durch Konzeptionsstudien und darauf aufbauende theoretische und messtechnische Analysen bereits geschlossen. Mit der Zusammenführung der Teilergebnisse zu einer komplexen Anlagenentwicklung wurde begonnen.

Besonders vielversprechend sind die Entwicklungsergebnisse im Hinblick auf solare „Kleinstabsorber“ zur Sorptionsmittelregeneration: konzipiert, gefertigt und messtechnisch erfolgreich analysiert werden konnten Solarthermieabsorber, die direkt mit dem aufzubereitenden Sorptionsmittel beaufschlagt werden können. Die absorbierte Solarwärme wird an das Sorptionsmittel übertragen. Mit Erreichen der Regenerationstemperatur wird Wasser aus dem Sorptionsmittel ausgetrieben und diffundiert noch

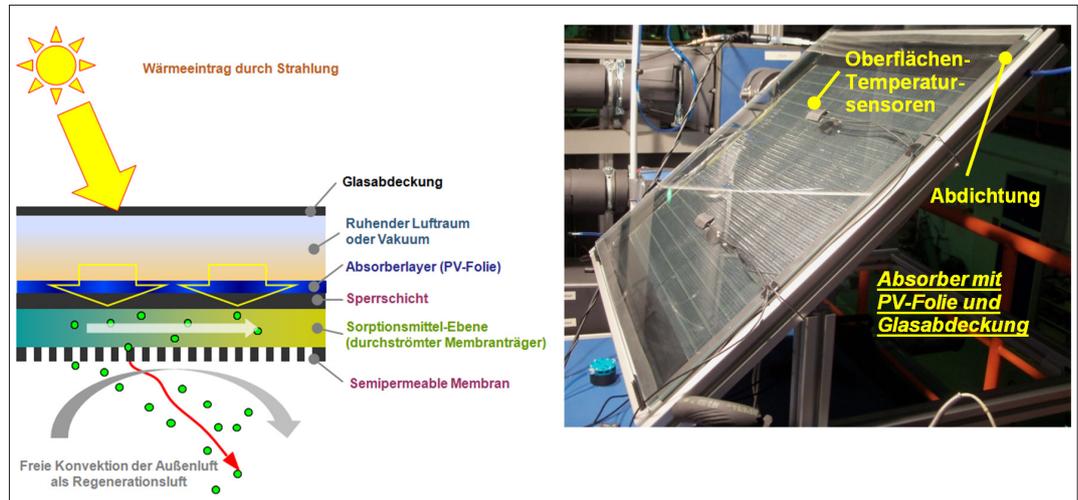


Bild 1: Schema und Versuchsaufbau eines Solarthermieabsorbers zur Sorptionsmittelregeneration mit integrierter semipermeabler Membran als Stoffübertragungsfläche

im Kleinst-Solarthermieabsorber durch die rückseitig integrierte Membranfläche in die Umgebungsluft. Die Entwicklungsergebnisse stellen eine Neuheit auf dem Gebiet der Sorptionsmittelregeneration dar.

Ebenso erfolgreich abgeschlossen wurde der Schwerpunkt der „Entwicklung eines Auslegungstools für membranbasierte Wärme- und Stoffübertragerflächen für indirekte gekühlte Flüssigsorptionsprozesse“.

Für die Berechnung und insbesondere der Zustandsänderungen von Luft und Sorptionsmittel im Wärme- und Stoffübertrager wurde ein FEM-Berechnungsmodell entwickelt und getestet. Es berücksichtigt neben den Membraneigenschaften (k-Wert, Permeanz) auch die verschiedenen Durchströmungsmöglichkeiten (Kreuz-, Gegen- oder Gleichstrom).

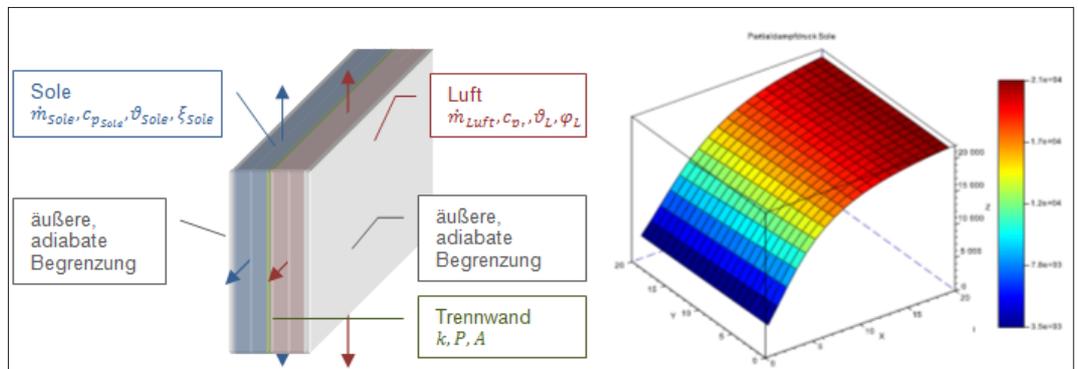


Bild 2: FEM-Modell: Eingangsgrößen (li.), Beispiel: Partialdruckverlauf Sole bei Kreuzstrom (re.)

TU Dresden, Neubau Institutsgebäude, Fachrichtung Physik



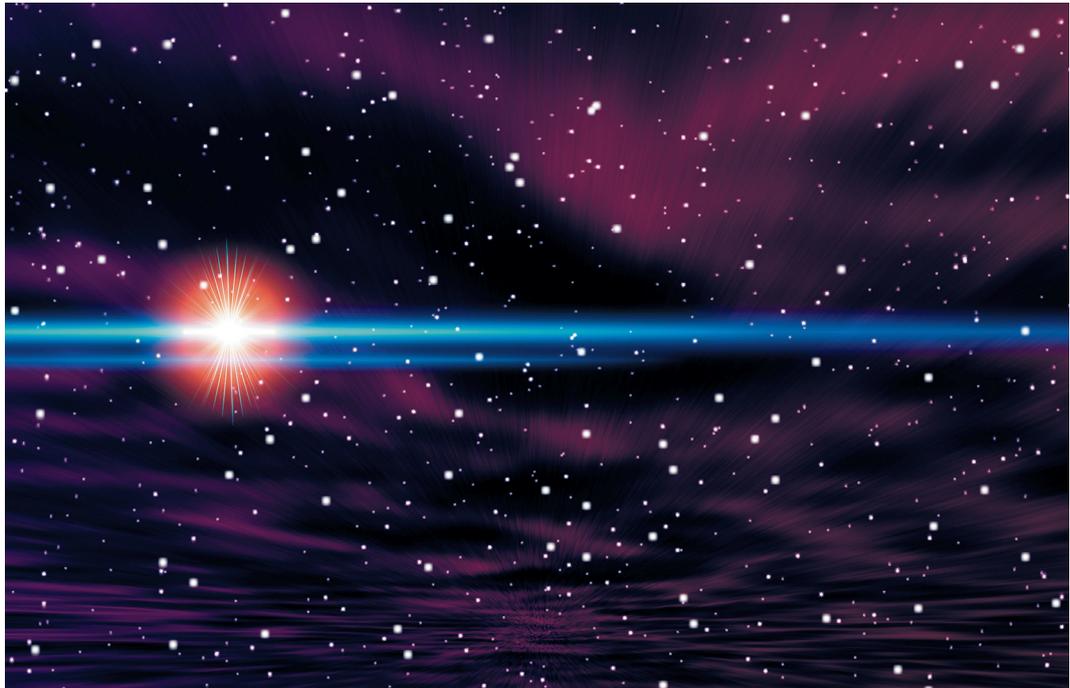
Bild 1: Gebäudeansicht - Haupteingang

Das Institutsgebäude soll künftig die optimalen Rahmenbedingungen für Lehre und Forschung für die Fachrichtungen Optoelektronik und Experimentalphysik / Photophysik gewährleisten. Dafür soll eine Vielzahl von technischen Anlagen beitragen.

Besonders hoher Wert wird dabei den zentralen und dezentralen RLT-Anlagen für die Reinnräume sowie physikalisch-technische Labore/Versuchsräume und Klimazellen auf ca. 3.200 m<sup>2</sup> Nutzfläche beigemessen. Die damit erforderlichen Außenluftsysteme müssen zur Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen, der Arbeitsplatzgrenzwerte und der Raumluftzustände unter den verschiedensten Versuchsbedingungen beitragen. Die ganzjährig notwendige Aufbe-

reitung des hohen Außenluftanteils muss deshalb energieeffizient und wirtschaftlich angemessen erfolgen. Dazu soll ein vom ILK zu entwickelndes Verfahren zur Vorwärmung bzw. Vorkühlung der Außenluft unter Nutzung der erneuerbaren Energie des Erdreiches durch neuartige Wärmerohrtechnologie beitragen.

Das Besondere dieser Technologie zur Konditionierung der Außenluft soll dabei auf der Steigerung der energetischen Effizienz des Wärmerohres liegen. Dafür sind die inneren Wärmetransportwiderstände z. B. durch Einsatz von Nanofluiden oder inneren Strukturen zu verringern und/oder die Konvektion auf der Luftseite z. B. durch veränderte Lamellenformen zu erhöhen.



Die Wärmerohre werden in die Außenluft-Sammelansaugbauwerke der RLT-Anlage integriert und tragen ohne zusätzliche Primärenergie zum Wärmetransport vom Erdreich zur Außenluft bei.

Dafür werden die umfassenden Erkenntnisse aus den öffentlich geförderten Projektforschungen mit den experimentellen Untersuchungen und theoretischen Simulationsmöglichkeiten genutzt. In Verbindung mit dem öffentlich geförderten FuE-Projekt - Hochleistungswärmerohr zur Außenluftaufbereitung - durch EuroNorm GmbH als Projektträger des BMWi werden neuartige Lösungsansätze für die Durchführung der Maßnahme abgeleitet und ermittelt. Die zunächst wissenschaftlich theo-

retisch entwickelten Annahmen dienen der Maßnahme hinsichtlich der praktischen generellen Anwendbarkeit. Außerdem tragen sie zur Charakterisierung des Energieeffizienz- und Innovationsgrades der möglichen Lösungen für die technische Gebäudeausrüstung bei. Die Übertragung dieser Erkenntnisse in einen praktischen Fall erfolgte in einem ersten Planungsschritt (Entwurfsplanung). Weitere Planungsphasen werden folgen bzw. sind in Vorbereitung.

Uni Leipzig, Hörsaal- und Mensagebäude - Energiemanagement

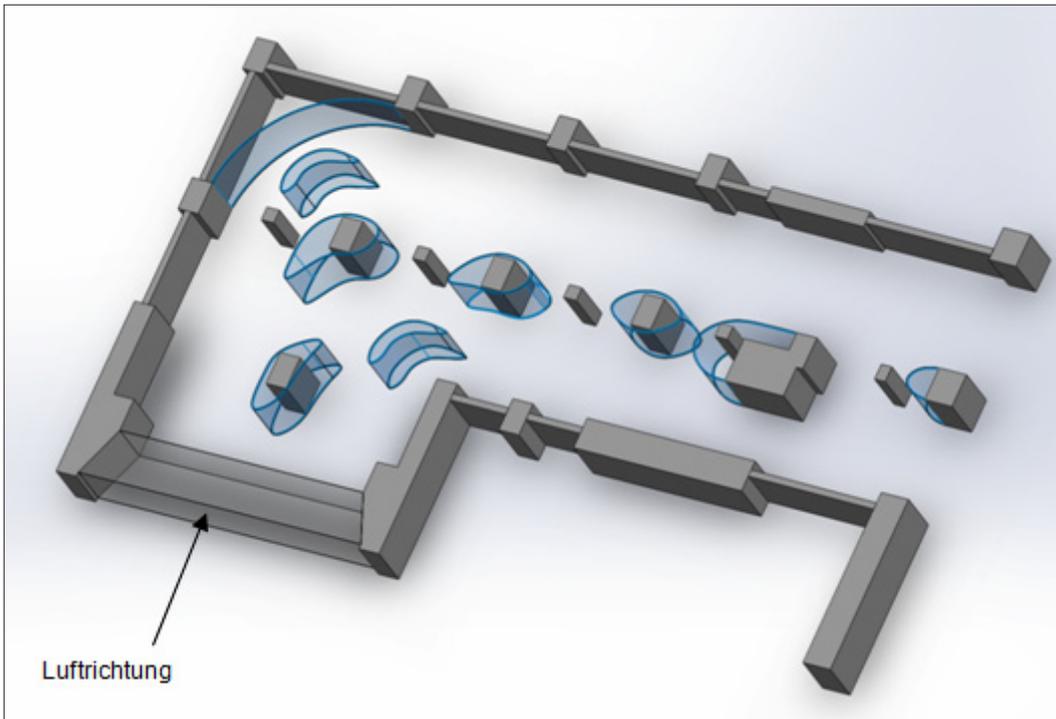


Bild 1: Luftleitelemente im Außenluftbauwerk, 2. Kellergeschoss (3D-Gesamtdarstellung)

Die Universität Leipzig ist in 14 Fakultäten und über 150 Institute gegliedert. Für die Institute wurde ein Hörsaal- und Mensagebäude errichtet. Die Gebäudeeinheit wird von mehreren raumluftechnischen Anlagen versorgt. Hinsichtlich der Außen- und Fortluftführung wurde jeweils ein zentrales Luftführungssystem ausgeführt. D.h., alle Zentralgeräte beider Gebäudeteile fördern aus einem Außenluftbauwerk und in einen zentralen Fortluftkanal. Aufgrund wechselnder Betriebsverhältnisse entstehen unterschiedliche Volumenstrombelastungen, die zu instabilen Druckverhältnissen im Außenluftbauwerk führen. Um dies zu analysieren und zu bewerten, erfolgten Untersuchungen mit dem vom ILK entwickelten Mess- und Diagnosesystem zur energetischen Inspek-

tion von Klima- und Lüftungsanlagen. Die Besonderheit der Nutzung eines derartigen Systems unter den Bedingungen des Anwendungsfalls liegt in der

- Bewertung einer geeigneten Programmierumgebung sowie der erforderlichen Hardware
- Anpassung des Algorithmus an das Anwendungssystem und Programmierung
- Optimierung des Systems an unterschiedlichen Klimaanlagensystemen bei verschiedenen Lastzuständen
- Integration von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Plausibilitätsüberprüfung.



Des Weiteren wurde in Verbindung mit Simulationsrechnungen die Beeinträchtigung durch die Baukonstruktion des Außenluftbauwerkes analysiert. Maßgebende Störungen durch konstruktive Einbauten konnten durch geometrische Modellrechnungen nachgewiesen werden. Die sich daraus praktisch abgeleiteten und modellierten Luftleitelemente führen zur Vergleichmäßigung der Strömungsverhältnisse und damit zur Reduzierung von Druckverlusten im Außenluftbauwerk. Die Ausführung der Elemente wurde veranlasst. Die Bewertung der Ergebnisse aus den Untersuchungen mit dem Mess- und Diagnosesystem zur energetischen Inspektion von Klima- und Lüftungsanlagen zeigte, dass maßgebende Beeinträchtigungen der raumluftechnischen Anlagen durch deren angeschlossene Luftleitungsabschnitte entstehen. Das wird dadurch dokumentiert, dass bei Ausle-

gungsvolumenstrom nahezu der gesamte externe Druck für das Zu- und Abluftkanalnetz aufgewendet werden muss. Diese Betriebsbedingungen führen dazu, dass die Ventilatoren bzw. Antriebe überlastet werden. Dazu wurden die Verhältnisse vor Ort stichprobenartig aufgenommen und durch fachliche Überlegungen bewertet. Die Ergebnisse fasst ein Katalog über maßgebende druckverlusterzeugende Baugruppen / Luftleitungsabschnitte zusammen. Des Weiteren werden betriebliche Maßnahmen dargestellt, die zur Verringerung der Verluste beitragen. Dieser Katalog ist - in Verbindung mit baulichen und technischen Umbauleistungen - die Grundlage für die Erhöhung der Energieeffizienz.

## Nanofluide als innovative Kühlmedien

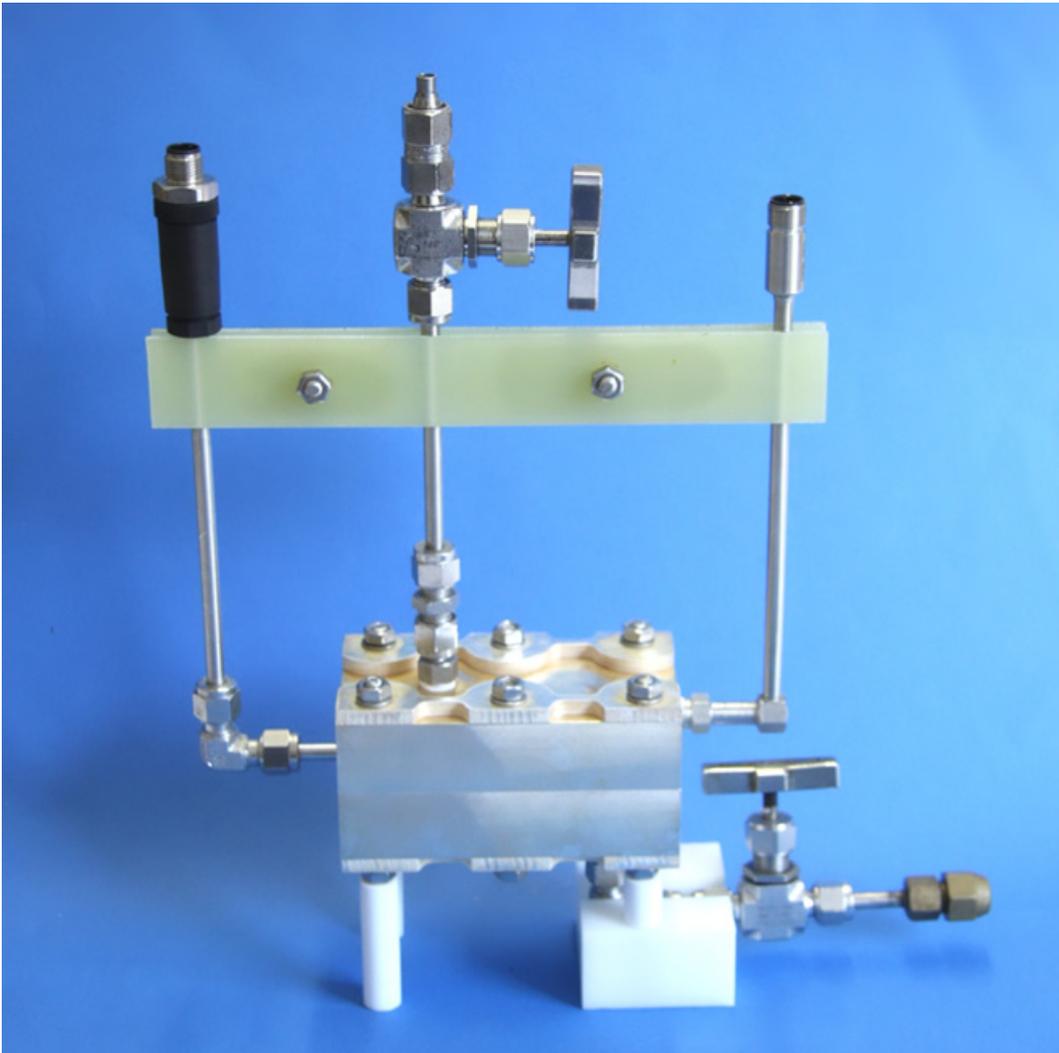


Bild 1: Ringspaltapparat aus Silber zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Nanofluiden. Rechts unten das für die Messung der Temperaturdifferenz zwischen innerem und äußerem Körper genutzte Superthermometer FLUKE-TEMP-5618B-6-S.

Mit dem Projekt „Entwicklung eines Messgerätes sowie eines Verfahrens zur Bewertung von Nanofluiden als innovative Kühlmedien“ wird das Ziel verfolgt, aktuellen Entwicklungen der Wärmeübertragung Rechnung zu tragen. Schwerpunkt ist die Untersuchung von Nanofluiden auf ihre Tauglichkeit als Kühlmedien für unterschiedlichste Anwendungsfälle. Bei Nanofluiden handelt es sich um Suspensionen, bestehend aus einem

Basisfluid und dispergierten Nanopartikeln. Das bisher weltweit am häufigsten untersuchte Basisfluid ist Wasser. Die Materialien der Nanopartikel, deren Größe zwischen 10 und 100 nm liegt, variieren zwischen reinen Metallen (Cu, Au, Ag), keramischen Oxiden ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) und Kohlenstoffvariationen (Diamant, CNT, MWCNT).

Im Projekt wurden die Stoffeigenschaften, insbesondere Viskosität und Wärmeleitfähigkeit von Nanofluiden experimentell untersucht. Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit wurde eine verbesserte Ringspaltapparatur (Bild 1), welche vollständig aus Feinsilber (99.97 %) besteht, konstruiert und gebaut. Die Vorteile dieser Apparatur

- Minderung der Verlustwärmeströme,
- Erhöhung der Positioniergenauigkeit der einzelnen Baugruppen sowie
- die gesteigerte chemische Beständigkeit

gewährleisten eine gesteigerte Messgenauigkeit, die insbesondere für Suspensionen wie Nanofluiden entscheidend ist. Im

Rahmen des Projektes wurden von ca. 20 Nanofluiden Wärmeleitfähigkeiten sowie die Viskosität bestimmt. Für ausgewählte Nanofluiden wurde zudem die spezifische Wärmekapazität experimentell ermittelt. Die Experimente zeigten, dass die letzte Größe gut durch eine mit der Massekonzentration gewichtete Mittelung der spezifischen Wärmekapazitäten von Basisfluid und Nanopartikel zu berechnen ist. Dieser Ansatz ist auch physikalisch korrekt. Für die Berechnung von Viskosität und Wärmeleitfähigkeit werden Modelle, die die fraktale Natur der sich in den Suspensionen bildenden Agglomerate berücksichtigen, vorgeschlagen. Das im Rahmen des Projektes entwickelte Modell für die Wärmeleitfähigkeit von Nanofluiden berücksichtigt zudem den äußeren Wärmeübergangswiderstand der Nanoagglomerate (Bild 2).

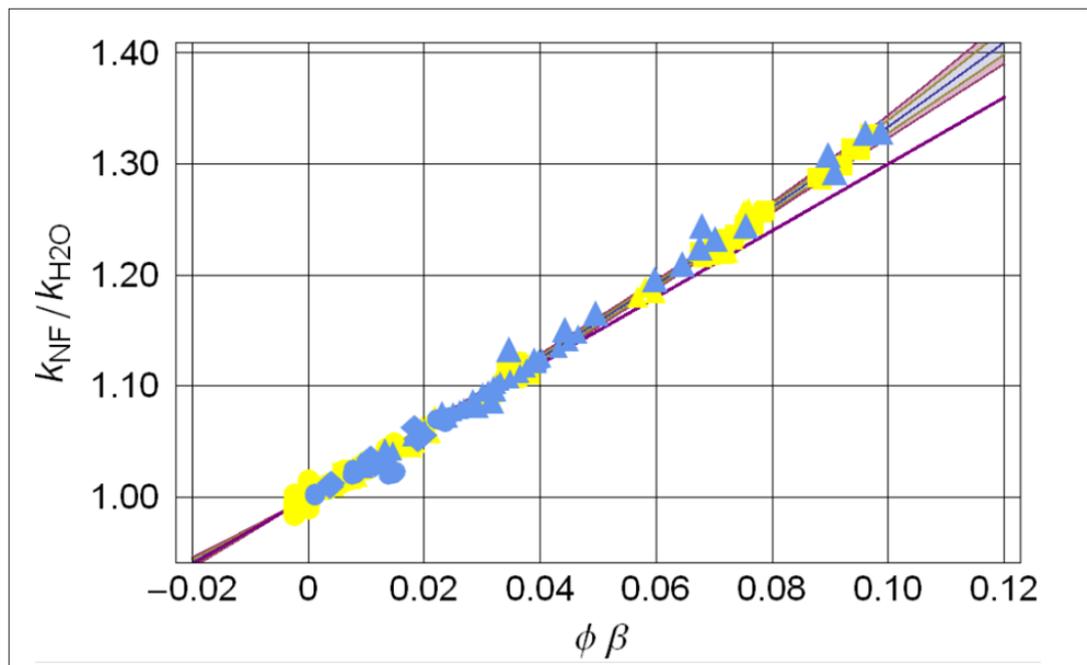


Bild 2: Modell für die Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Messergebnissen. Im Diagramm ist das Modell mit allen ILK-Messungen (gelb) und Messungen internationaler Gruppen verglichen (hellblau).

Projekt „BioStrom“ – KWK-Anlage kleiner Leistung

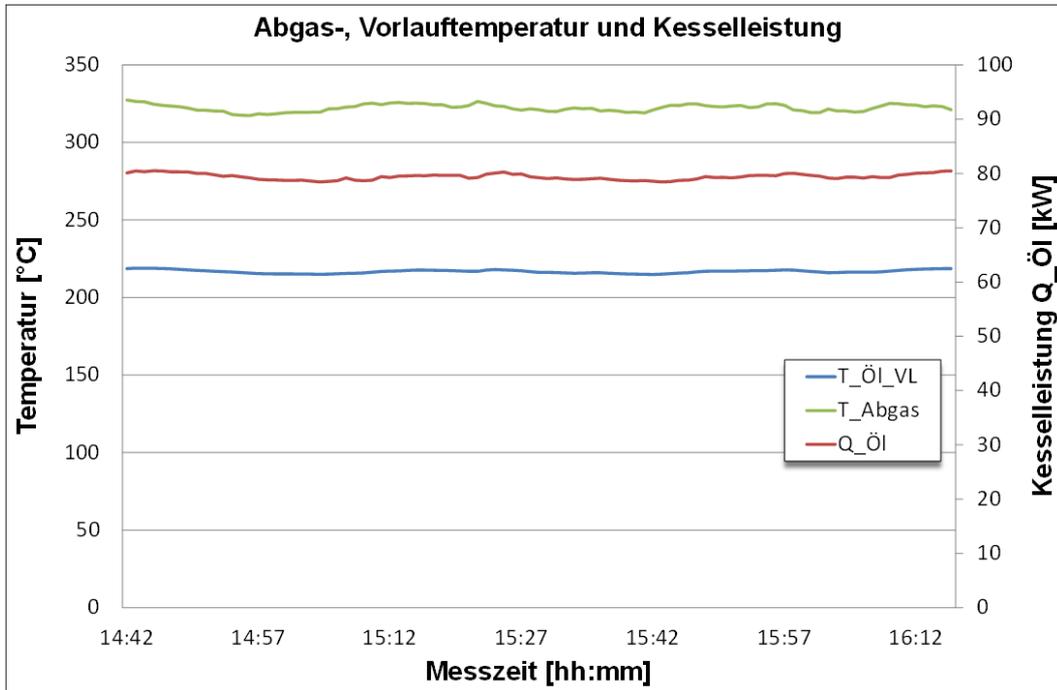


Bild 1: Messergebnisse am Laborversuchsstand im ILK

Das Vorhaben und die Innovation

Mit dem derzeit in Bearbeitung befindlichen FuE-Vorhaben „BioStrom“ ist dem ILK Dresden ein weiterer Schritt zum Einsatz von KWK-Anlagen im Kleinleistungsbereich gelungen. Das Projekt beinhaltet die Entwicklung einer Gesamtanlage unter Nutzung eines Biomasse-Festbrennstoffheizkessels und eines ORC – Kreislaufs.

Ziel des Projektes ist es, die ökologischen Vorteile von Biomasseheizungen auf den Bereich von KWK-Anwendungen zu übertragen. Dabei liegt die Entwicklung mit einer thermischen Leistung von rd. 50-60 kW<sub>th</sub> und einer elektrischen Leistung von rd. 9 kW<sub>el</sub> im Bereich von Anwendungen der Wärme- und Elektroenergieversorgung kleinerer Betriebe.

Bisherige Ergebnisse

Nach der Konzeption der Anlage, Konstruktion und Auslegung der Einzelkomponenten wurde zunächst der Laborversuchsstands- teil „Biomasseheizkessel“ errichtet. Als Primärenergiequelle der Anlage dient ein Spezial-Biomasse-Heizkessel, welcher mit Thermoöl als Wärmeträgerflüssigkeit arbeitet. Dies erlaubt den Betrieb mit hohen Vorlauftemperaturen, mit welchen wiederum ebenfalls hohe und damit günstige Verdampfungstemperaturen im ORC-Kreislauf realisiert werden können.

Wie Bild 1 zeigt, wurden mit der speziellen Konfiguration in den Versuchen Thermoöl-temperaturen von bis zu 220 °C bei einer konstanten thermischen Leistung von bis zu 80 kW erreicht. Dabei arbeitete der Kessel



Bild 2: ORC – Modul der Anlage

im vollautomatischen Betrieb mit Holzpellets. Die Energie des Thermoöls wird dem 2. Versuchsstandteil „ORC-Modul“ übergeben. Dieser 2. Versuchsstandteil (Bild 2) wurde errichtet und mit einer Regelung ausgerüstet. Anlagentechnische Eckdaten sind:

- Kältemittel: nicht brennbar, ungiftig
- GWP: 1
- Füllmenge: 50 Liter
- Antrieb: Kolben-Membranpumpe
- Spezial-Turbine, Fa. DEPRAG

Derzeit laufen die Versuche bei Betrieb des Heizkessels mit ORC-Modul sowie deren Auswertungen. Kernpunkt der Arbeit bildet dabei vor allem die Nachstellung von Betriebsbedingungen, wie sie später auch in der Praxis vorzufinden sein werden, um neben einer umwelttechnisch sinnvollen KWK-auch eine wirtschaftlich tragbare Lösung darstellen zu können.

## Sekundär- Aerosole



Bild 1: Versuchskammer zur Aerosol- und Gasphasen-Untersuchung

### Aufgabenstellung und Ziel

Ziel dieses grundlagenorientierten Forschungsvorhabens war die Analyse von Mechanismen der Aerosolbildung aus Kondensationskernen und gasförmigen Vorläufersubstanzen. Im Ergebnis konnten Möglichkeiten und Maßnahmen zu Verbesserung der Feinstaubabscheidung und der Bilanzierung von Schadstoff-Strömen aufgezeigt werden. Dazu wurden zahlreiche Untersuchungen mit einer Aerosolkammer durchgeführt, in welche die Prozess-Aerosole und -Gase eingekoppelt wurden. Aus den Erkenntnissen wurden bereits Forschungsvorhaben in der Kooperationsforschung ausgearbeitet und genehmigt, insbesondere für die Abscheidung von Biomasse-Feinstäuben.

### Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden verschiedene Aufgabenstellungen zur Abscheidung von Gasen und Feinst-Partikeln, zum Material und Strömungseinfluss in einer Versuchskammer durchgeführt (siehe Bild 1). Diese wurde mit einer gasdichten Ansaugvorrichtung für Prozess-Aerosole

und Gase ausgerüstet. Bei der Messtechnik fand insbesondere die Feinst-Partikelmessung (6 – 600 nm) und die Gasmessung (NO<sub>x</sub>) Beachtung.

Für die Messungen zur Aerosole-Charakteristik und Dynamik ergab sich ein sehr breites Feld von Einflussparametern (vgl. Bild 2). Letztendlich wurden eine spezielle Auswahl für die Prozesse – Biomasseverbrennung – Laserbearbeitung – Kühlschmierstoffe und Tropfen-Aerosol fokussiert. Dabei konnten speziell Vorgänge der Aerosolbildung charakterisiert werden (vgl. Bild 3). Der Ab- bzw. Aufbau der Partikelanzahl unterliegt dabei hauptsächlich den Gesetzen der Koagulation. Für die Masseverteilung gilt die Annahme einer konstanten Dichte von 1 und der idealen kugelförmigen Geometrie der Partikel. Damit tragen wenige größere Partikel mehr zur Masse bei als viele kleine Nanopartikel. Ausgehend von verschiedenen Ausgangskonzentrationen der Partikelgröße wird die Partikelanzahl entsprechend der Koagulation reduziert. Hohe Konzentrationen führen dabei zu einer schnelleren Reduktion. Bei der Koagulation wird davon ausgegangen, dass sich kleinere Partikel zu größeren Partikeln vereinigen und zu einem neuen

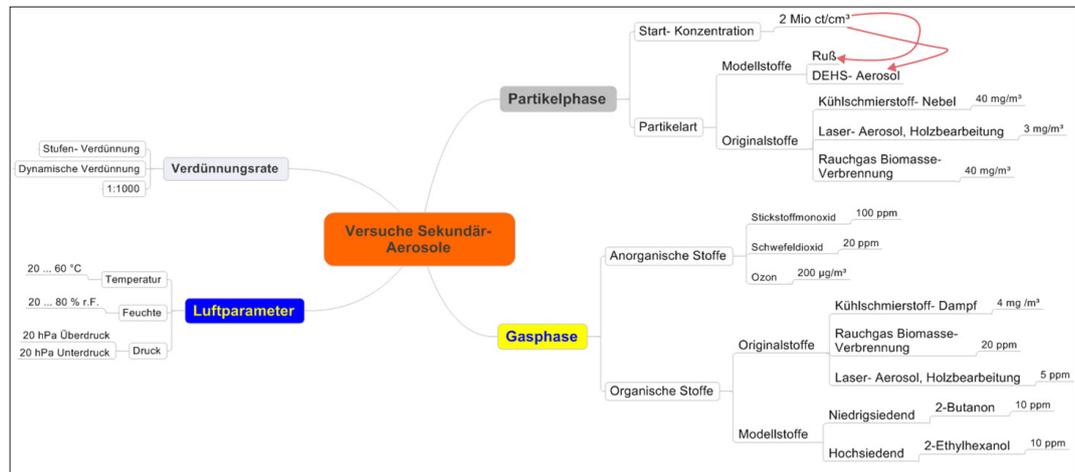


Bild 2: Versuchsparameter

Partikel „verschmelzen“. Mit den gefunden Wechselwirkungen innerhalb von Partikel- und Aerosol-Kollektiven im Rauchgas von Biomassefeuerungen, im Abgas von Laserbearbeitungsanlagen und bei Ölnebeln ist eine neue physikalische Herangehensweise an die Auslegung und Dimensionierung von Filtern sowie eine Betriebsoptimierung möglich. Es wurde eine neue Prüf- und Messmethodik für die Bewertung des Agglomerations- und Abscheideverhaltens von nanoskaligen Aerosolen und Rauchen entwickelt. Der Nutzen für Anwender ist hoch, da detaillierte Eigenschaften in Bezug auf Möglichkeiten der Abscheidung angegeben werden können. Die wissenschaftlichen An-

wendungsbereiche ergeben sich sowohl direkt als auch indirekt aus den Ergebnissen. Hier sind insbesondere zu nennen:

- Neue Methode zur kombinierten Aerosol- und Gasphasen-Charakterisierung
- Abscheidung von Stäuben der Biomasseverbrennung durch Ionenwind
- Verbesserung der Abscheidung von Laserstäuben
- Ölnebel- und Tropfenabscheidern mit zusätzlicher Kondensation
- Agglomeration von Stäuben
- Entwicklung von Elementen zur Tropfen- und Ölnebel-Abscheidung.

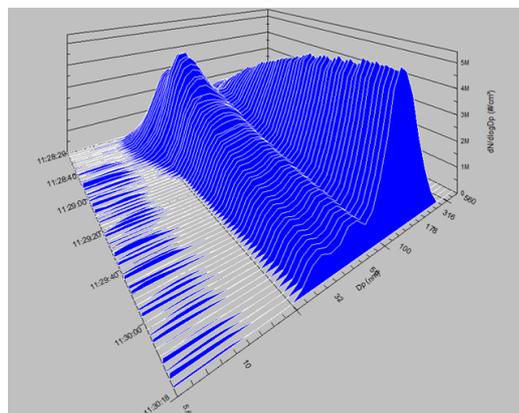


Bild 3: Dynamik der Aerosol-Bildung bei der Verbrennung von Biomasse

Abscheide- und Wärme- Rückgewinnungssystem

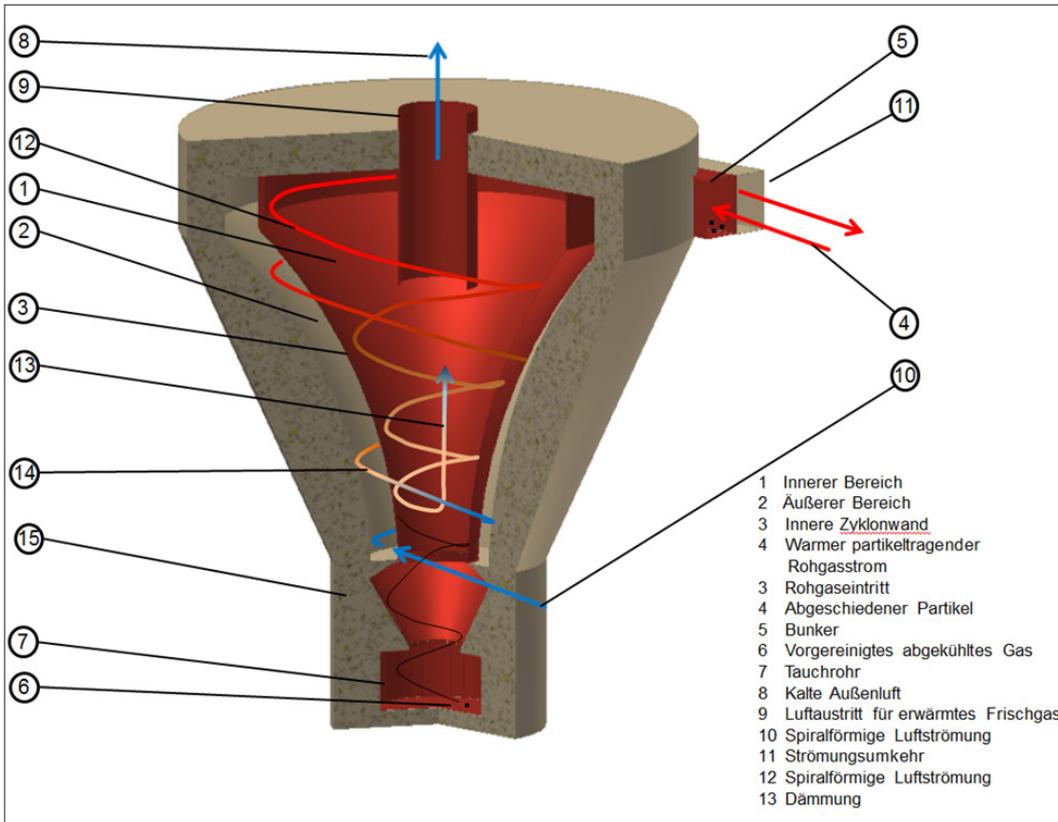


Bild 1: Prinzipskizze der technologischen Entwicklung

Zielstellung

Faserförmige Stäube entstehen im zunehmenden Maße seit der Verbreitung von Verbundwerkstoffen. Deren Anteil hat in der Automobil-, Luftfahrt- und Windkraftbranche in den letzten Jahren stetig zugenommen. Allein bei Carbonfasern wird gegenüber dem Jahr 2009 eine Bedarfssteigerung um 540% prognostiziert. Ein Großteil des während der Verarbeitung entstehenden Faserstaubes ist stark gesundheitsschädlich, da dieser einatembare und sogar alveolengängig ist. Zwar hat der Unternehmer hier dem Vorsorgegedanken Rechnung zu tragen, doch bedarfsgerechte Lösungen existieren nicht. Neben den einzuhaltenden Grenzwerten für Emission und Immission sind zudem die Kosten für Energie ein zentrales Thema. Speziell

in der kalten Jahreszeit steigt der Energieverbrauch bei der Belüftung von beheizten Produktionsflächen enorm. Nachfragen zu Abscheidelösungen mit Wärmerückgewinnung sind deshalb an der Tagesordnung. Allerdings ist dies oft schwierig, da die Stäube die Wärmeübertragerflächen verschmutzen und diese dadurch ineffizient werden. Daher sollte ein kombiniertes Abscheide- und Wärmerückgewinnungssystem entwickelt werden, welches den speziellen Anforderungen der faserverarbeitenden Industrie entspricht. Das von der AiF Berlin geförderte Kooperationsprojekt wurde gemeinsam mit der Fa. Entstaubungsgeräte Pulsnitz GmbH und dem Steinbeis Transferzentrum Antriebs- und Handhabungstechnik Chemnitz bearbeitet.

## Ergebnisse

Das Vorhaben war gestaffelt in mehrere Teilabschnitte, in denen jeweils neue Lösungen zur Faservorabscheidung, Feinfaser-Abscheidung und integrierte Wärmeübertragung erarbeitet wurden:

- Kombigerät mit Zyklonabscheidung
- Feinfaserabscheider mit plattenförmigen Filterelementen
- Wärmeübertragungsmodul.

Die Arbeiten am Wärmeübertragungsmodul wurden federführend im Steinbeis Transferzentrum bearbeitet. Im ILK Dresden war vor allem die Entwicklung der Abscheidetechnologie angesiedelt. Alle Teilabschnitte wurden erfolgreich bearbeitet, so dass im Ergebnis zwei Geräte-Lösungen für den Vertrieb bereitgestellt werden. Bild 2 zeigt rechts das Kombigerät, welches mit einer Absaugleistung von 5000 m<sup>3</sup>/h für die Ab-

saugung von Arbeitsplätzen mit grobem Faseranteil vorgesehen ist. Das Gerät wurde bereits erfolgreich in der Industrie getestet und befindet sich derzeit bei einer Fertigungsfirma in Klipphausen bei Dresden im Einsatz. Weitere Anfragen für solche Anlagen liegen vor. Auf Grund der sehr hohen Abscheideleistung ist es möglich, die Reingluft in den Raum zurückzuführen. Damit wird auch die Wärme zu 100 % zurückgewonnen und die Verlustleistung des Antriebsventilators auch noch für die Raumerwärmung genutzt. Das in Bild 2 dargestellte Plattenfiltergerät ist sehr gut geeignet für feinere Stäube und wurde speziellen leitfähigen Filterplatten ausgerüstet. Die Abscheideleistung ist sehr hoch bei geringem Druckverlust. Im Rahmen der Industrieerprobung in einer Firma in Radeburg wurden geringste Staubkonzentrationen im Bereich von wenigen Mikrogramm je Kubikmeter Luft im Reingas gemessen. Damit kann auch hier eine Reingluftückführung erfolgen.



*Bild 2: Abscheidermodelle für die unterschiedlichen Einsatzfälle*

Modularer Kombinationsprüfstand

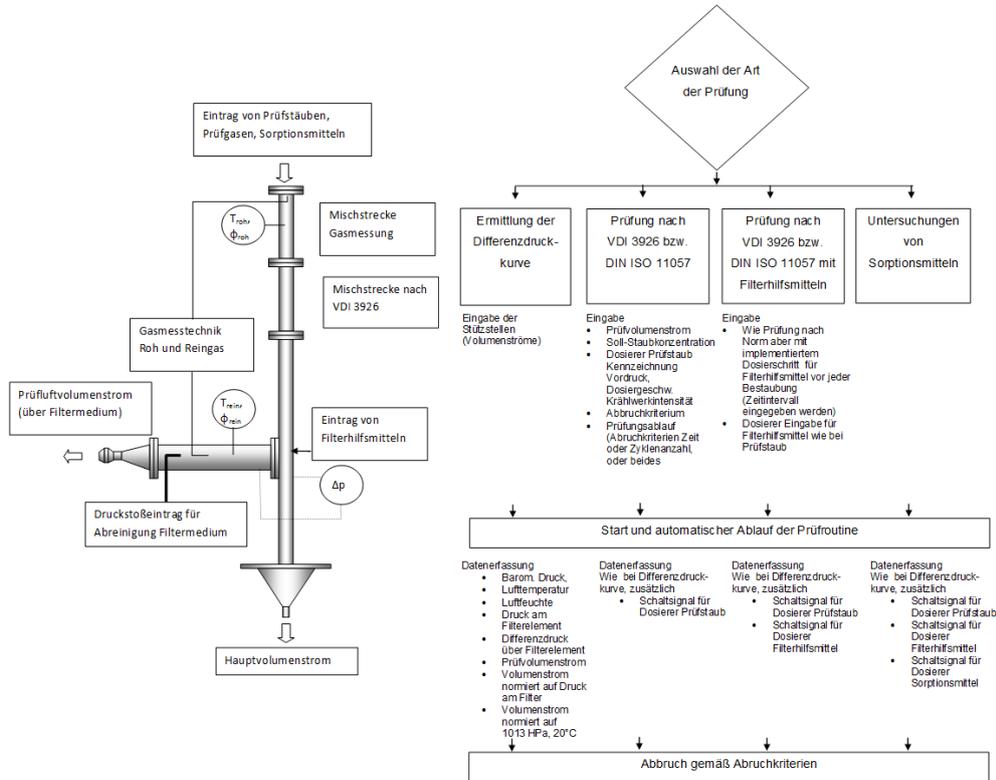


Bild 1: Prüfstands-Schema (Hardware, Software)

Ziel des Vorhabens

Filter für die Verbesserung der Luftqualität sind in industriellen Anwendungen und der unmittelbaren Umgebung des Menschen unverzichtbar geworden. Der aktuelle Trend besteht darin, immer besser abscheidende Filter, die weniger Energie verbrauchen, in immer mehr Bereichen einzusetzen. Da die Zusammensetzung der Abluft immer komplexer und der zu erreichende Reinheitsgrad nach einer Reinigung immer höher werden, entwickeln sich auch die Reinigungsprozesse immer mehr zu komplexen Abläufen. So werden verschiedenste Filterhilfs- und Sorptionsmittel in Kombination mit Filtermedien eingesetzt, um die Abscheideeffizienz zu steigern und auch gasförmige Schadstoffe aus der Abluft zu eliminieren. Um das Zusammenspiel von Filterhilfs- und Sorptionsmitteln mit Filtermedien prüfen, vergleichen und bewerten zu können, ist es effektiv, diesen Prozess im Labormaß-

stab nachzubilden. Der in diesem Projekt zu entwickelnde Prüfstand soll diese komplexen Prüfungen ermöglichen und somit entsprechende Anlagenbauer und Filterhersteller befähigen, ihre Reinigungsverfahren zu bewerten und zu optimieren. Das von der AiF geförderte Forschungsprojekt wird gemeinsam mit der TOPAS GmbH aus Dresden bearbeitet. Das Projekt wurde aus dem Vorlauf-Forschungsprojekt „Energieökonomische und emissionsminimierte Filternde Abscheider“ abgeleitet.

Innovation und Ergebnisse

In Vorbereitung der geplanten Versuche mit der Anlage wurden eine Auswahl von zu dosierenden Filterhilfsmitteln definiert, diese bezüglich ihrer Stoffeigenschaften und Partikelgrößenverteilungen analysiert und eine Reihe von Bestäubungsversuchen an einem vorhandenen Prüfaufbau durchgeführt, um die Dosierkonstanz vorhandener

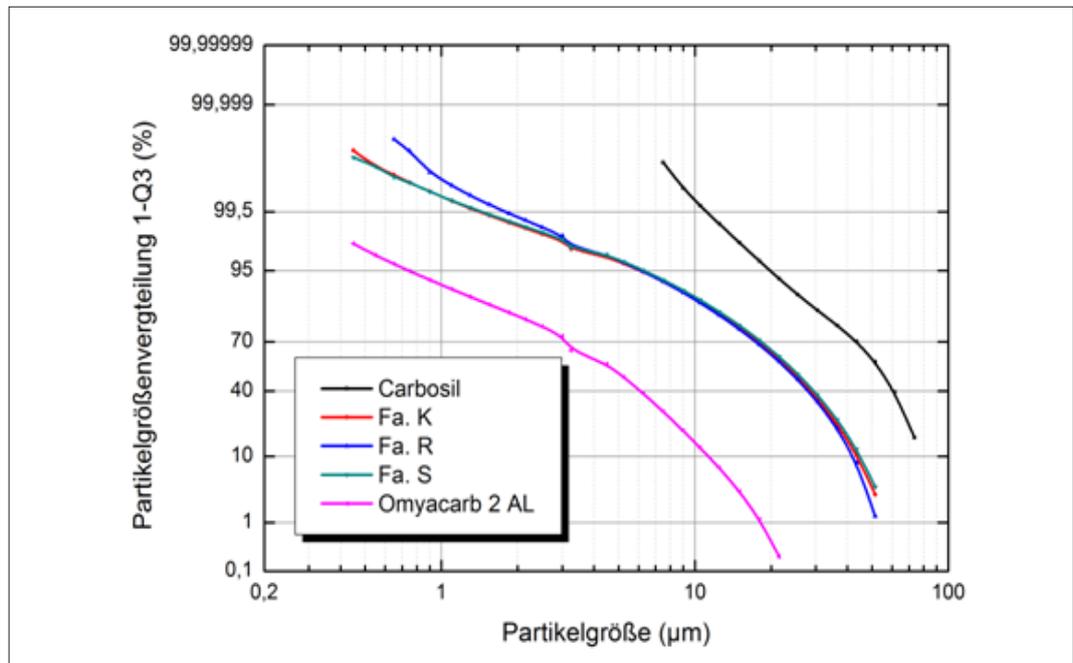


Bild 2: Additive zum Einsatz am Kombinationsprüfstand



Bild 3: Spezial-Dosierung für flüssige Teststoffe

Dosiertechnik zu ermitteln. Wie Bild 2 zeigt, wird eine relativ große Bandbreite von Additiven hinsichtlich der Partikelgrößenverteilung eingesetzt. Dies stellt auch besondere Anforderungen an die Dosierung und Dispergierung der Stäube. Dazu wurden auch Versuchsreihen mit unterschiedlichen Ejektoren und Vordrücken durchgeführt.

Gemeinsam mit der Fa. TOPAS wurde an der Entwicklung einer Dosiereinheit für flüssige Teststoffe gearbeitet. Hier kommt es vor allem auf die rückstandsfreie Verdampfung und die konstante Konzentration an. Dazu wurden Testreihen absolviert und bereits erste Verbesserungsschritte unternommen. Im Rahmen der kommenden Projektphase wird es darum gehen, die Prüfvorgänge gemeinsam und automatisiert auszuführen.

## Prozessentstaubung mit Gewebeschläuchen

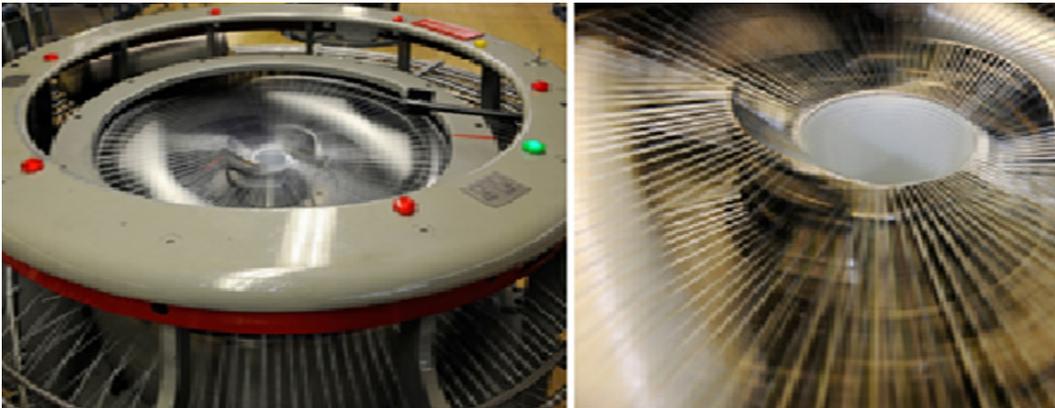


Bild 1: Rundwebautomat

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung leistungsfähiger Gewebefilterschläuche mit darauf abgestimmten Abreinigungssystemen für den niederen bzw. mittleren Temperaturbereich (bis max. 200 °C), welche in Kombination kostengünstiger, chemisch sowie thermisch besser belastbar sind und den Anforderungen an die Feinstaubabscheidung genügen.

Bei der Entstaubung von Prozessluft im mittleren Temperaturbereich von 65 °C – 200 °C kommen in großen Industriefilteranlagen (z.B. Kohlekraftwerke, Zement-, Stahl- und chemische Industrie) nicht selten 1000 oder mehr Filterschläuche aus Nadelvliesen zum Einsatz. Nadelvliesschläuche haben im Vergleich zu gewebten Filterschläuchen einen höheren Materialeinsatz und sind auch in der Herstellung teurer. Gewebte Schläuche aus Filamentgarn erreichen aber eine zu geringe Abscheideleistung. Vorteile des rundgewebten Filterschlauches sind neben Materialeinsatz und günstiger Herstellung auch der Wegfall eines Arbeitsschrittes bei der Konfektionierung, da die Längsnaht am Filterschlauch, die auch eine Schwachstelle darstellt, beim Rundweben entfällt. Erreicht wird die verbesserte Abscheideleistung bei rundgewebten Filterschläuchen durch die Herstellung von Hybridgarn-Verbund-

geweben, wobei die Kette des Gewebes aus gezwirntem Filamentgarn (gute Festigkeit mit Längsdehnung gegen Null) und der Schuss des Gewebes aus Bauschgarn (Veränderung des Druckverhaltens und Verbesserung des Abscheideverhaltens des Gewebes) besteht. Durch den Einsatz des Bauschgarnes mit seinem lockeren Aufbau reagiert das Hybridgarngewebe ähnlich einem Nadelvlies im Druck- und Abscheideverhalten des Filterschlauches (vgl. Bild 2 und Tabelle 1), ist aber günstiger in der Herstellung, formstabiler und besser regenerierbar.

Das Gewebe aus Filamentgarn weist im Filterschlauch einen hohen Druckverlustbeiwert auf, dessen Verlauf sich in Abhängigkeit von der Filterflächenbelastung von den Verläufen der beiden anderen Filtermaterialien unterscheidet. Das Abscheideverhalten mit Reingluftstaubkonzentrationen größer 10 mgm<sup>-3</sup> ist inakzeptabel. Beim Hybridgarngewebe konnte durch den Bauschgarn-einsatz der Druckverlustbeiwert wesentlich gesenkt und die Abscheideleistung entscheidend verbessert werden. Der Verlauf des Druckverlustbeiwertes in Abhängigkeit von der Filterflächenbelastung ähnelt dem Verlauf beim Filtervliesschlauch.

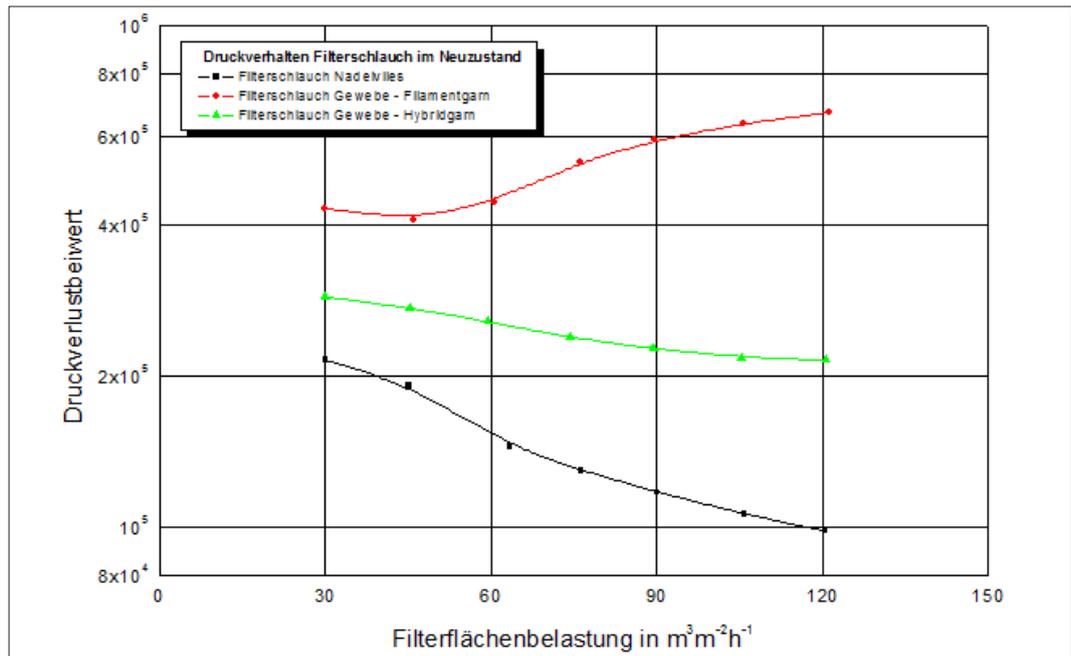


Bild 2: Druckverhalten von Filterschläuchen aus verschiedenartigem Filtermaterial

Gegenwärtig werden verschiedene Varianten von Hybridgeweben bei rundgewebten Filterschläuchen untersucht und auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Parameter sind beispielsweise die Mehrfachzwirnung für Kette und/oder Schuss. Ein weiterer Aspekt ist die Ablösung teurer Materialien für

die Anwendung im mittleren Temperaturbereich. Materialauswahl und Zusammenstellung erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner, der auch die rundgewebten Filterschläuche für die Prüfung herstellt.

Filterflächenbelastung in $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$	Reinluftstaubkonzentration in $\text{mgm}^{-3}$		
	Filamentgarngewebefilterschlauch	Hybridgarngewebefilterschlauch	Nadelvliesfilterschlauch
60	12	0,20	< 0,05
75	18	0,25	0,05
90	32	0,32	0,10

Tabelle 1: Abscheideverhalten von Filterschläuchen aus verschiedenartigem Filtermaterial

## Ingenieurdienstleistungen für die Industrie - Messungen ultrafeiner Aerosole

Beim Bearbeitungsvorgang an Laseranlagen entstehen staubförmige Emissionen (Rauche). Die Menge und Korngrößenverteilung der gebildeten Stäube sind abhängig vom eingesetzten Material und den daran angepassten Bearbeitungsparametern. Daher ist es eine häufige Aufgabenstellung, an der realen Laserbearbeitungsmaschine Messungen zur Bestimmung der Konzentration ultrafeiner Aerosole durchzuführen. Als ultrafeines Aerosolteilchen wird ein Teilchen bezeichnet, dessen Mobilitäts-Äquivalent-Durchmesser bei  $< 0,1 \mu\text{m}$  liegt. Als Messverfahren können hier nur spezielle Messtechniken eingesetzt werden, wie Mobilitätsspektrometer.

Eine spezielle Aufgabe wurde mit der Fa. ULT AG aus Löbau bearbeitet. Hier soll eine Lösung für das Recycling von Dünnschichtmodulen entwickelt werden. Eine Möglichkeit des Recycling von Dünnschichtmodulen bietet die Lasertechnologie. Hier werden mit Hilfe der Einkopplung eines energiereichen Laserstrahls die aufgedampften Halbleitermetalle wieder von der Trägerschicht getrennt und können einer weiteren Aufarbeitung zugeführt werden. Während des

Laserprozesses auf den Dünnschichtmodulen wird eine sehr hohe Konzentration an Partikeln von min.  $10^6$  Partikeln/cm<sup>3</sup> generiert. Das Partikelspektrum bei der Laserbearbeitung der Dünnschichtmodule zeigt einen Modalwert von ca. 80 - 150 nm. Dieses Spektrum ist ähnlich mit der Laserbearbeitung von SI-Wafern oder Edelmetalloberflächen. Die Absaugung von oben mit einer Kapselung des Arbeitsfeldes erweist sich hier als zielführend. Die abgesaugten Laserrauche werden nachfolgend im Absauggerät LAS 260 hoch effektiv abgeschieden (vgl. Bild 2). Effektive Messtechnik kann einen entscheidenden Beitrag für die Produktentwicklung von Absauganlagen und Prozess-Sicherheit leisten.

Filtertechnik und messtechnische Begleitung von Biomasse-Feuerungen

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Fa. Endress Holzfeuerungsanlagen GmbH erfolgte die verfahrenstechnische und messtechnische Überprüfung sowie die technische Anpassung abweichender Prozessparameter in Abhängigkeit zur eingesetzten Kesselanlage und Kesselleistung.



Bild 1: Messtechnik für die Partikelanalyse und Gaswäscher für die Partikelabscheidung

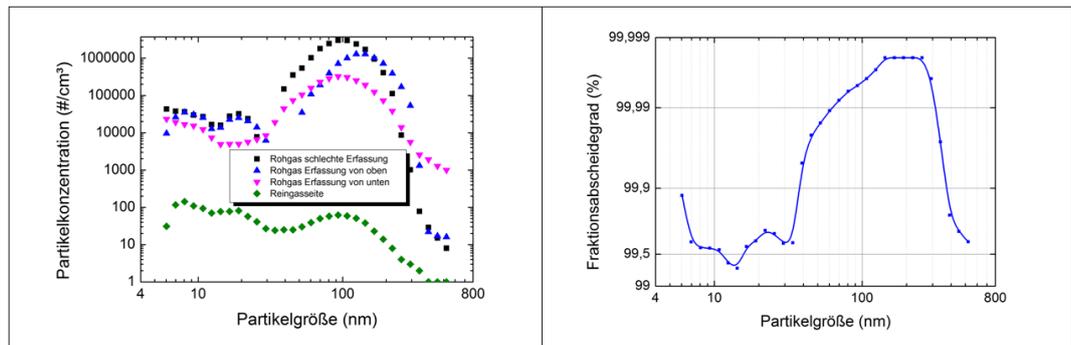


Bild 2: Partikelgrößenverteilung und Abscheidegrad

Hierbei wurden die Aspekte wie Rauchgastemperatur, Strömungsgeschwindigkeit im Abgas, Austrag von ggf. noch brennenden oder glimmenden Partikeln sowie die Leitungsführung und Anordnung der Kesselanlage zum Abscheider mit oder ohne Vorabscheider (Zyklon) betrachtet. Für die Messungen wurden gepresste Schreineresthölzer in der 150 kW USF-SR bei der Firma Endress Holzfeuerungsanlagen GmbH und Spanplattenreste aus der Produktion bei der Firma Speedmaster in der 600 kW USF-WR eingesetzt. Hinsichtlich des industriell gefertigten Filtermaterials erfolgt die verfahrenstechnische und messtechnische Bewertung des Materials in Bezug auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse für beide Leistungsgrößen und Kesseltypen.

Die Messung des Rohgasstaubgehaltes erfolgte im Übergang von Voll- auf Teillast bzw. im Teillastbetrieb der Anlage. Die ermittelte Rohgaskonzentration betrug im Mittel 106 mg/m<sup>3</sup>i.N.tr.. Im Reingas konnten auch ohne eine Grundbestäubung des Filtermaterials Staubgehalte von 15 mg/m<sup>3</sup> un-

terschritten werden, womit die Anlage die Anforderungen der 2. Stufe der 1. BImSchV sicher erfüllen kann. Der Anfangsabscheidegrad lag bei über 86 %. Es wurde auch die Langzeitstabilität der Filteranlage nachgewiesen; auch nach einem Jahr Betrieb. Es wurden desweiteren unterschiedliche Baugrößen adaptiert. Die Anlagentechnik befindet sich derzeit in der Serieneinführung.



Bild 3: Feuerungs- und Filteranlage



**Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung**



Sensor zur Ertragssteigerung von Solaranlagen – D <sup>3</sup> Dust Deposit	86
Abwärmennutzung mit Low-GWP-Arbeitsfluiden durch ORC-Anlagen	88
Innovative Technologie zur Druckfestigkeitsprüfung von CO <sub>2</sub> -Kälteanlagen	90
Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW	92
Energiespeicher in Form von polymergebundenen Phase Change Materials für Anwendungen im Kälte- und Wärmebereich bei energieeffizienten Haushaltgeräten – PCM4all	94
MetPCM – Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur – PCM für dynamische Wärmespeicher	96
Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik	98
Kohlendioxid als Kältemittel für Laborkühlgeräte	100
FuE Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik	102

## Sensor zur Ertragssteigerung von Solaranlagen – D<sup>3</sup> Dust Deposit

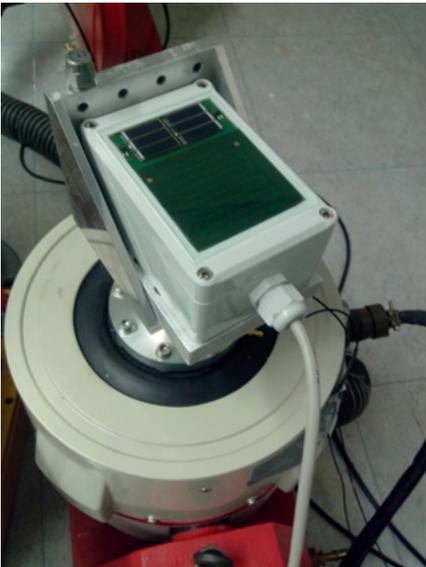


Bild 1: Sensor auf Shaker-Prüfstand



Bild 2: Sensor im Freifeldtest

Je nach Verschmutzungsgrad kann es bei Solaranlagen zu jährlichen Ertragsminderungen im ein- bis zweistelligen Prozentbereich kommen. Mit frühzeitiger Reinigung können diese Ertragsminderungen vermieden werden. Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines autarken Sensors, der ein Reinigungssignal in Abhängigkeit von der Verschmutzung von Solarflächen automatisch generiert. Durch den Einsatz dieses Sensors kann die Zuverlässigkeit von Solaranlagen erhöht werden; durch bedarfsgerechte Reinigung kann der Ertrag gesteigert bzw. unnötige Reinigungen können vermieden werden.

Zur sicheren Erkennung von Verschmutzungen wurden zwei unterschiedliche Sensorelemente integriert. Mittels eines optischen Messverfahrens wird die Schmutzablagerung auf einer Referenzsensorfläche de-

tektiert und bewertet. Mit einem kapazitiven Sensorelement kann der Sensor Regen bzw. Schnee erkennen und von Schmutz unterscheiden. Der Abgleich des Sensors mit solaren Leistungsmesswerten ermöglicht es, automatisch ein Signal zu generieren, wenn der Ertrag der Solarmodule zu stark beeinträchtigt wird und eine Reinigung erforderlich ist.

Für die Eigenenergieversorgung des Sensors werden Solarzellen eingesetzt, die neben den Sensorelementen platziert wurden. Da die Messung der optischen Sensorelemente vorrangig nachts erfolgt, um Störeinflüsse zu minimieren, wird die am Tage anfallende Energie der Solarzellen in einem Pufferkondensator zwischengespeichert. Als zentrales Element übernimmt ein Mikrocontroller die Steuerung, Messwerverfassung, Verarbeitung und Ausgabe. Für die-



sen wurde ein Betriebsregime entwickelt, das auch das Energiemanagement des Sensors übernimmt. Mit einer Zustandssteuerung werden die Sensorelemente schrittweise abgefragt, ausgewertet und die Signalisierung vorgenommen. Durch variable Sleep-Phasen mit Abschaltung von Controllerbaugruppen und externer Peripherie wird der Energieverbrauch des Sensors an die zur Verfügung stehende Energie angepasst. Dazu erfolgen die Überwachung der Spannung des Pufferkondensators und daraus die dynamische Ableitung der Pausenlänge zwischen den Messungen. Dadurch kann der Sensor auch längere einstrahlungsschwache Zeiten überbrücken.

Der Sensor verfügt über mehrere Schnittstellen, die eine Signalisierung der Verschmutzung oder die kontinuierliche Ausgabe der Messwerte ermöglichen (Relais, serielle Schnittstelle, Analogausgang). Mit

einem als Option implementierbaren Funkmodul kann der Sensor kabellos frei am Solarfeld montiert werden.

Prototypen des Sensors wurden erfolgreich mehreren Lebensdauerprüfungen unterzogen (Temperaturwechsel, Vereisung, Schwingung). Bei einem Praxistest in Südfrankreich wurde der Sensor erfolgreich getestet.

Eine Schutzrechteanmeldung für die Anordnung und das Verfahren des Sensors wurde vom Patentamt positiv geprüft und eingetragen. Zusätzlich erfolgte eine Markenmeldung. Mit interessierten Herstellern werden Gespräche über die Vermarktung und Weiterentwicklung des Sensors geführt.

## Abwärmenutzung mit Low-GWP-Arbeitsfluiden durch ORC-Anlagen

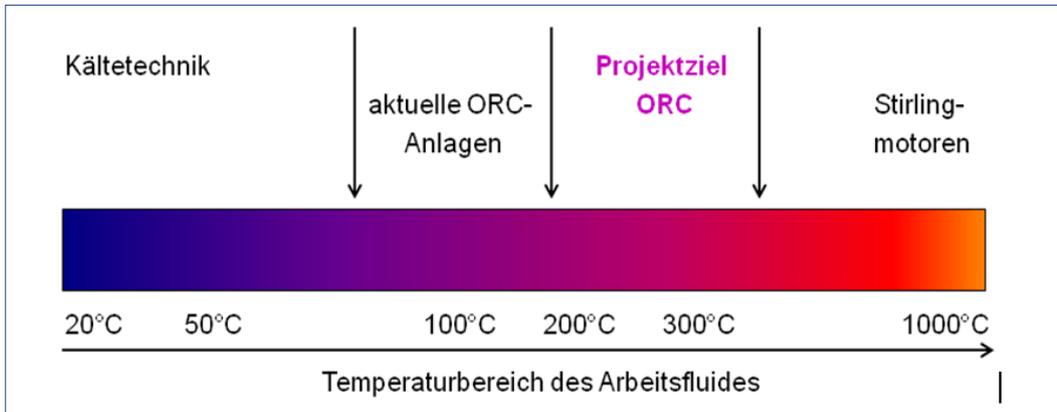


Bild 1: Einordnung des Projektzieles in die gegenwärtige Marktsituation

Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit dem Aufbau einer ORC-Anlage als Funktionsmuster im Bereich kleiner Nutzleistungen bis 15 kW(el) sowie mit der Auswahl und Qualifizierung von Low-GWP-Arbeitsfluiden. Als Verdampfungs- bzw. Arbeitstemperaturen wurden Temperaturen im Bereich bis 300 °C anvisiert. Damit wird ein höherer Wirkungsgrad im Vergleich zu bisher angebotenen ORC-Anlagen erwartet, die bei niedrigeren Verdampfungstemperaturen bzw. Antriebstemperaturen bis zu ca. 170 °C betrieben werden. Für den Bereich zwischen 200 und 300 °C werden gegenwärtig keine kleinen Anlagen am Markt angeboten. Bild 1 veranschaulicht die Einordnung der Anwendungstemperaturen in die gegenwärtige Marktsituation.

Neben einem perfluorierten Keton wurde eine Reihe von organischen Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Alkohole und Aromaten) auf Eigenstabilität untersucht. Dabei zeigte sich, dass das untersuchte perfluorierte Keton aufgrund von Fluorwasserstoffbildung bei Anwesenheit auch sehr kleiner

Feuchten nicht für den Einsatz bei Temperaturen um die 300 °C geeignet ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass Toluol unter Abspaltung der Methylgruppe quantifizierbare Mengen Benzen bildet. Ethanol, das eigentlich bis 500 °C stabil ist, zersetzt sich jedoch in Gegenwart von Stählen bzw. einiger Legierungsbestandteile bereits deutlich unterhalb dieser Temperatur, was auch diese Fluide als nicht geeignet erscheinen lässt.

Hinsichtlich der Auslegung des Expanders wurde ein möglichst einfach zu realisierendes Konzept ausgewählt (siehe Bild 2): eine doppelt wirkende Schlitz-gesteuerte Kolben-Maschine mit einem Lineargenerator-Abtrieb .

Die Laufbuchsen der beiden Arbeitszylinder enthalten Ringräume, welche jeweils mit Hoch- bzw. Niederdruck verbunden sind. Die Kolben enthalten eine mittige Längsbohrung und eine quer liegende Verbindungsbohrung, welche in der Position nahe des oberen Totpunkts den Arbeitsraum mit

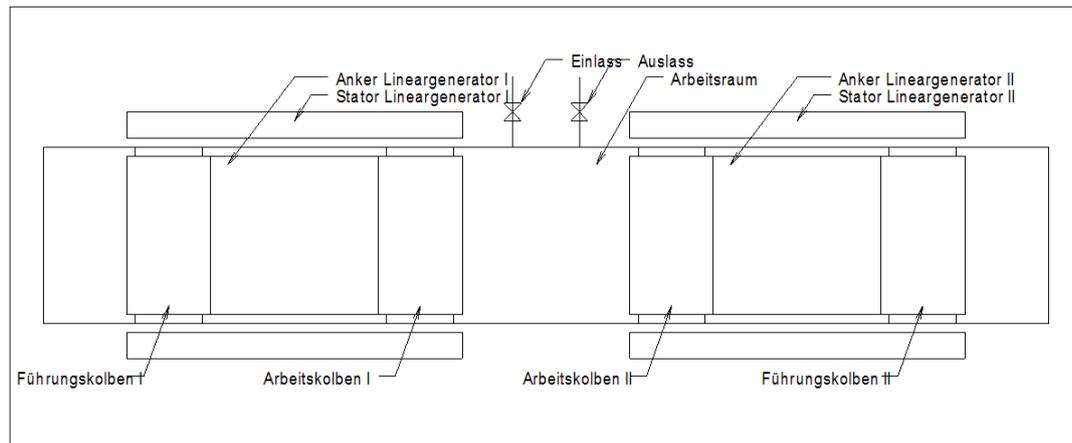


Bild 2: Schematischer Aufbau des Expanders

dem Hochdruck verbindet und in der Position des unteren Totpunkts mit dem Niederdruck. Auf diese Weise wird die für den Arbeitsprozess erforderliche Steuerung von Hoch- bzw. Niederdruck realisiert. Gleichzeitig verhindert die Gasfeder am oberen Totpunkt das Anschlagen des Kolbens an den Zylinderdeckel.

Der Lineargenerator ist zwischen den beiden Arbeitsräumen der Maschine angeordnet und funktioniert nach dem Prinzip des bewegten Magneten (Moving Magnet). Der magnetische Fluss fließt vom einen Ende des Permanentmagneten durch den Polschuh, den Magnetpalt mit der Induktionsspule, den magnetischen Rückschluss, den zweiten Magnetpalt mit Induktionsspule über den zweiten Polschuh zum anderen Ende des Permanentmagneten. Durch die Linearbewegung wird in den Induktionsspulen eine Spannung induziert, wobei an einem äußeren Lastwiderstand bei Strom-

fluss eine elektrische Leistung abgegeben wird. Durch die Bearbeitung des Themas wurden am ILK wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen auf den folgenden Gebieten gewonnen:

- Eigenstabilität von Arbeitsfluiden im Temperaturbereich bis zu 300 °C und unter Drücken von ca. 20 bar.
- Einfluss von Feuchte und Luftsauerstoff auf die Fluid-Eigenstabilität.
- Wechselwirkungen von Werkstoffen wie Graphit, Magnete aus Samarium-Kobalt-Legierung sowie Edelstähle mit dem ausgewählten Arbeitsfluid.
- Kreisprozessberechnung für die Auslegung von Hochtemperatur-ORC-Anlagen.

Innovative Technologie zur Druckfestigkeitsprüfung von CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen

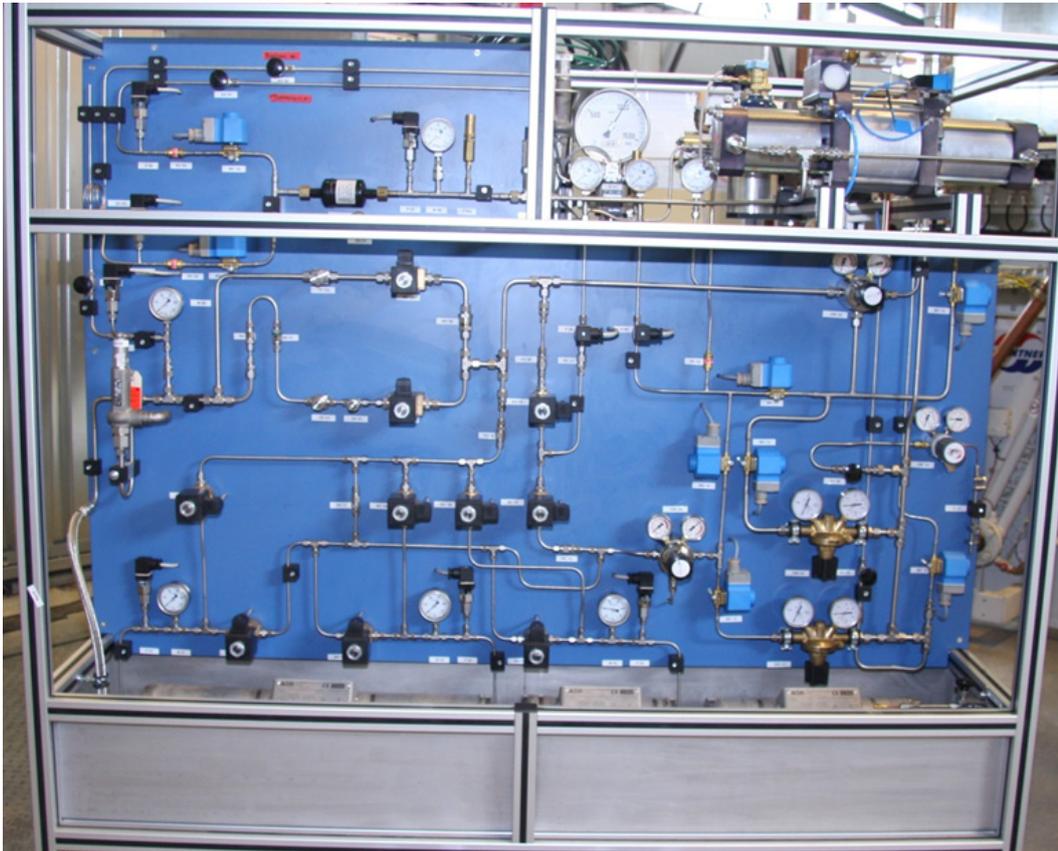


Bild 1: Funktionsmuster im Aufbau

Im Rahmen des Projekts wird ein Prüfkonzept erarbeitet und als Funktionsmuster realisiert, mit dem eine Festigkeitsprüfung von Kälteanlagen mit Hochdruckkältemitteln wie CO<sub>2</sub> auf pneumatischem Weg gefahrlos und automatisiert durchgeführt werden kann. Mit dieser Prüfung wird die Dichtheitsprüfung kombiniert. Im Jahr 2013 wurden u. a. mögliche Prüfvarianten erarbeitet, projektiert und bewertet. Im Berichtszeitraum 2014 wurde die Vorzugsvariante in Form eines Funktionsmusters aufgebaut. An dieser Anlage wurden Messungen zur Validierung der Projektziele durchgeführt. Im Detail wurden folgende Themen bearbeitet: Nach der Ermittlung der Vorzugs-

variante, die aus dem Variantenvergleich nach VDI 2225 hervorgegangen ist, wurde diese als Funktionsmuster aufgebaut. Konstruktiv wurden die Komponenten in einem Rahmengerüst aus Aluminiumprofilen aufgebaut und verrohrt. Die Herausforderung bestand darin, die komplexe Komponentenschaltung in eine kompakte Bauform zu integrieren (vgl. Bild 1). Nach dem Aufbau erfolgte die Festigkeitsprüfung des Funktionsmusters. Konstruktiv wurde der Aufbau derart gestaltet, dass dieser transportabel ist und zur Vermarktung, Kundenvorstellung bzw. Durchführung externer Prüfaufgaben genutzt werden kann. Für den Betrieb sind lediglich Anschluss von Elektroenergie und



Druckluft nötig. Anschließend wurde das Funktionsmuster zum Prüfstand erweitert. Überwiegend betrifft das die Ergänzung des aufgebauten Funktionsmusters mit zusätzlicher Messtechnik. Damit war eine gezielte Überwachung von Temperaturen während der Be- und Entladevorgänge von Speicher und Prüfling mit Prüfgas möglich und es wurde die Überwachung der thermischen Einsatzgrenzen der Bauteile erreicht. Weiterhin ermöglichte dies, die Zykluszeiten zu protokollieren.

Für die Messungen am Prüfstand wurde ein umfangreiches Programm abgearbeitet. Im Detail erfolgte hier die Anpassung der Software der Steuerung an die Schaltkriterien. Weiterhin galt es, die Steuerung des

Prüfablaufs in mehreren Schleifen an die notwendige Parametrierung anzupassen. Im Rahmen der Erprobung wurden Störgrößen am Versuchsmuster simuliert. Die Steuerung ermöglicht die Durchführung einer Druckabfallprüfung am Prüfling. Zum Nachweis wurden Testlecks am Prüflingsvolumen verbaut. Die Erkennbarkeit des verbauten Lecks ist abhängig von konstanten Raumtemperaturen. Zugluft und Strahlungswärme, die simuliert wurden, wirkten sich negativ auf das Prüfergebnis aus. Leckagen in der Größenordnung von  $10^{-2}$  mbarl/s, die mit einem Testleck generiert wurden, sind problemlos erkennbar. Die bisherigen positiven Zwischenergebnisse bestätigen den Projektansatz.

## Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW

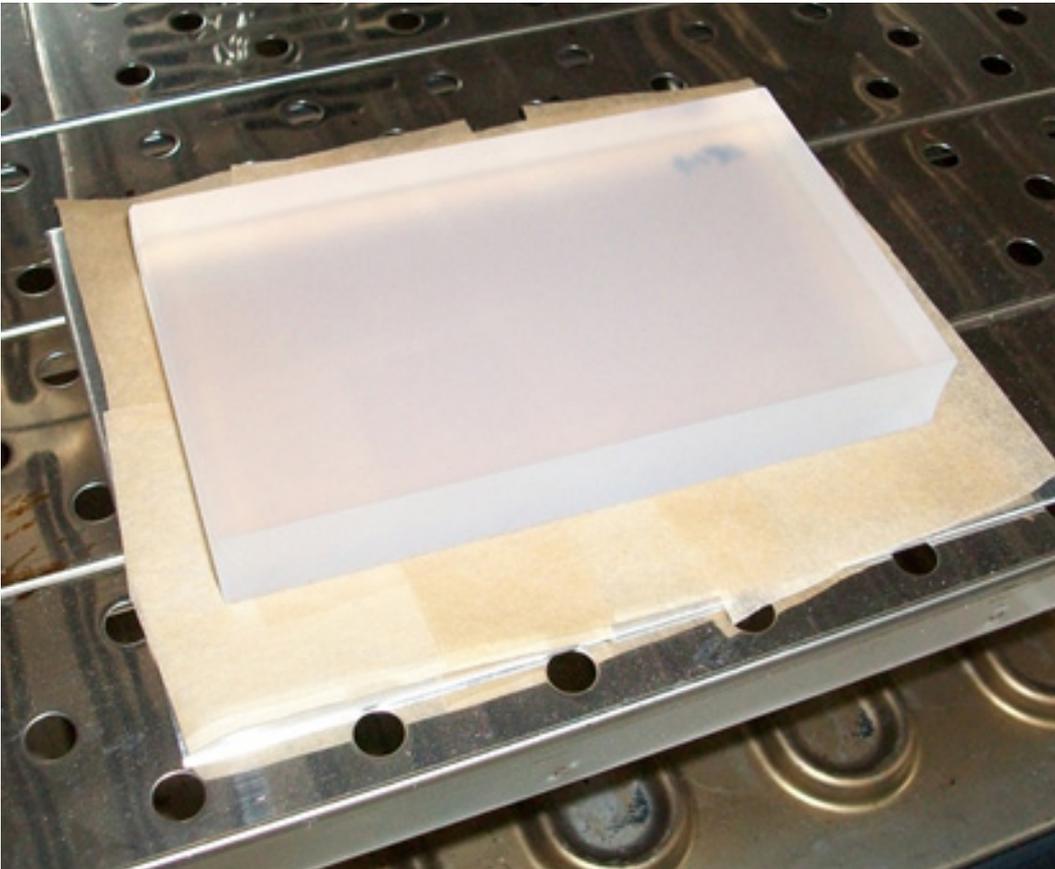


Bild 1: PE-UHMW-Speicherplatte, freiliegend und formstabil geschmolzen bei 140 °C

Die Speicherung von Energie ist nicht nur für die effiziente Energienutzung bedeutsam, sondern eine Schlüsselfrage für die Hinwendung zu erneuerbaren Energien. Projektziel ist die Entwicklung eines Latentwärmespeichers für Temperaturen um 120-130 °C auf der Basis von formstabil schmelzendem, kapsellosem ultrahochmolekularem Polyethylen (PE-UHMW) als Phasenwechselmaterial (Phase Change Material = PCM). Für die Anwendung als ungekapseltes PCM wird die Eigenschaft des PE-UHMW genutzt, sich im thermodynamisch flüssigen Zustand formstabil und rheologisch wie ein Festkörper zu verhalten (Bild 1), so dass sich die Nachteile klassisch gekapselter PCM vermeiden lassen.

Die Untersuchungen werkstofftechnischer Probleme wurden durch Auswahl eines im Hinblick auf konkurrierende Forderungen (hohe speicherwirksame Kristallinität/Enthalpie, schmale Schmelzbereiche, hohe Formstabilität) optimierten Speicherwerkstoffs abgeschlossen. Ebenfalls erfolgreich beendet wurden vergleichende Untersuchungen mit flüssigschmelzendem, gekapseltem HD-PE als PCM; es wurden Wärmespeicherstäbe mit Rohren und Stöpseln aus PP in einer Labortechnologie entwickelt und gefertigt und mittels Schweißen verschlossen. Diese Referenztechnologie wurde optimiert und im Hinblick auf Anwendungen bewertet.

Die Arbeiten des zweiten Bearbeitungsjahres konzentrierten sich auf die Speicheranwendung, die Wärmespeicherung unter Strömungsbedingungen und die Konstruktion der Speicheranlage. Als optimale Variante wurde eine Speicher-Grundversion mit elektrischer Heizung und Abwärmeaustrag ins Kaltwassernetz konzipiert, wobei ein offenes Speichersystem mit einem speziellen siloxanbasierten Wärmeträgerfluid (WTF) ohne Druckbehälter eingesetzt wird. In Modellversuchen in einem gerührten Mischkalorimeter wurden Speichervermögen, Dynamik der Wärmeübertragung und das Verhalten von Speicherkörpern in geströmter Flüssigkeit untersucht. Die Konfiguration des Speichers wurde mit parallelen, senkrechten PE-UHMW-Platten festgelegt. Für den Speicher-Temperaturbereich von 115 bis 135 °C ergibt sich bei einem Volumen von 750 l (60 % PCM, 40 % WTF) eine Speicherkapazität von 29 kWh bei einer Leistung von 10 kW. Das MSR-Grundkonzept wurde mit speicherprogrammierbarer Steuerung und Human-Machine-Interface konzipiert und für 4 steuerbare Ventile, 8 Temperaturmessstellen, Drucksensor, Durchflussmesser, Heizungsregelung und Meldelemente konfiguriert.

Die Konstruktion des Speichers konzentrierte sich auf den Behälter mit den Platten sowie auf die Gesamtkonstruktion und Einzelgeräte. Hauptprobleme mit innovativen Lösungen waren:

- eine sehr hohe Ausdehnung des PCM bei Erwärmung/Schmelzen (linear insgesamt ca. 6 %), was eine flexible Halterung/Lagerung der Platten erfordert,
- eine sehr hohe Volumendehnung von PCM und WTF, so dass entsprechende Ausdehnungsgefäße erforderlich sind (nicht über Membranen realisierbar), und
- Kompatibilität der Komponenten mit den hohen Temperaturen (bis zu 145 °C) und dem WTF.

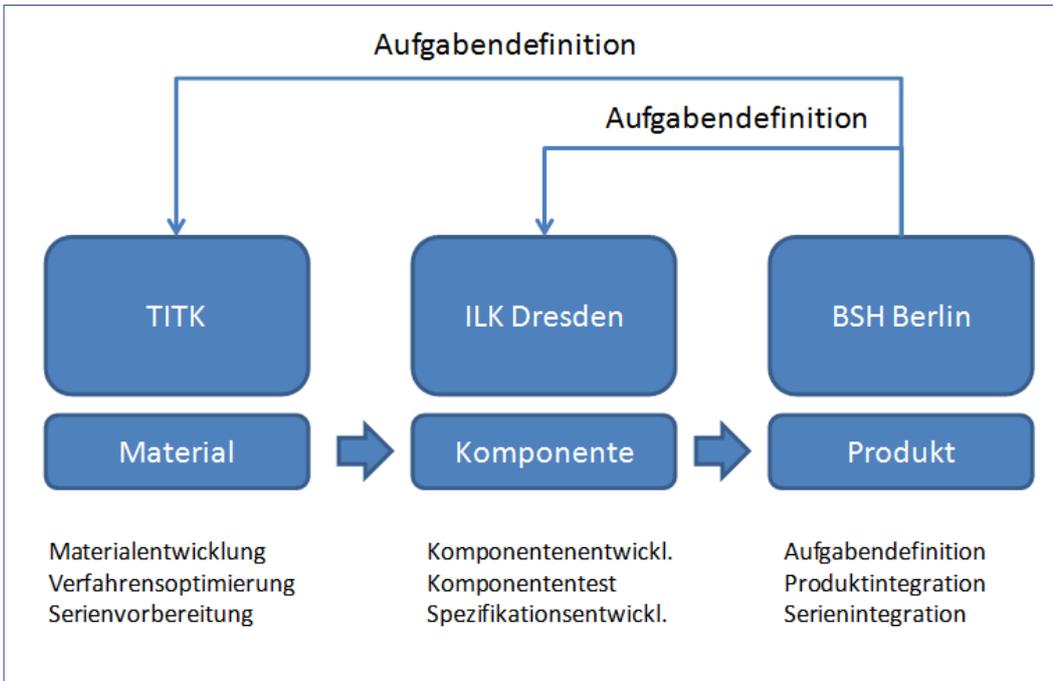
Der Bau des Funktionsmuster-Kessels, des Schaltschranks mit den Elektrokomponenten und die thermische Isolation erfolgten in Fremdleistung. Parallel zur Beschaffung der Einzelgeräte, Komponenten und Schnittstellen wurden die Voraussetzungen für Aufstellung und Anbindung in der Versuchshalle geschaffen. Der komplette Speicherkessel wurde geliefert und an Ort und Stelle aufgestellt (Bild 2).

Mit den kommenden Arbeiten zum Test der Speicheranlage soll der Funktionsnachweis des Speicherprinzips erbracht werden. Dabei dient die Optimierung des Speicherregimes der Gewinnung positiver Betriebserfahrungen, die die Bewertung von Einsatzszenarien sowie von Vermarktungsmöglichkeiten gemeinsam mit den Herstellern des Speichermaterials und den Speicher-Anlagenbauern ermöglichen. Das Forschungsprojekt läuft bis Mitte 2015.



Bild 2: Speicherbehälter für 29 kWh mit ca. 410 kg PE-UHMW-PCM

**Energiespeicher in Form von polymergebundenen Phase Change Materials für Anwendungen im Kälte- und Wärmebereich bei energieeffizienten Haushaltgeräten – PCM4all**



Entwicklungsziele dieses vom BMWi geförderten Verbundvorhabens sind die Energieverbrauchsreduzierung und die Vergrößerung von Lastverschiebungspotenzialen von Haushaltgeräten.

Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK). Das ILK Dresden entwickelt, testet und integriert die Wärmespeicherkomponenten in enger Kooperation mit den einzelnen Produktbereichen der BSH Hausgeräte GmbH.

Dazu werden spezielle polymergebundene PCM-Speichermaterialien entwickelt, charakterisiert sowie Gerätekomponenten aus diesen Materialien gefertigt. Die Speichermaterialien werden in Wäschetrockner, Geschirrspüler und Kühlgeräte integriert und die Geräteprozesse an den Betrieb mit Wärmespeichern angepasst. Die Materialentwicklung und Optimierung erfolgt beim Projektpartner Thüringisches Institut für

Zu den Arbeitsaufgaben des ILK Dresden zählen im Projekt sowohl die Auslegung der Bauteile, deren thermische und mechanische Charakterisierung, Zyklen- und Lebensdauertests als auch Arbeiten bei der konkreten Integration der wärmespeichernden Komponenten in die Geräte und bei der Anpassung der Prozessschritte in den Haushaltgeräten.



**MetPCM – Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur –  
PCM für dynamische Wärmespeicher**

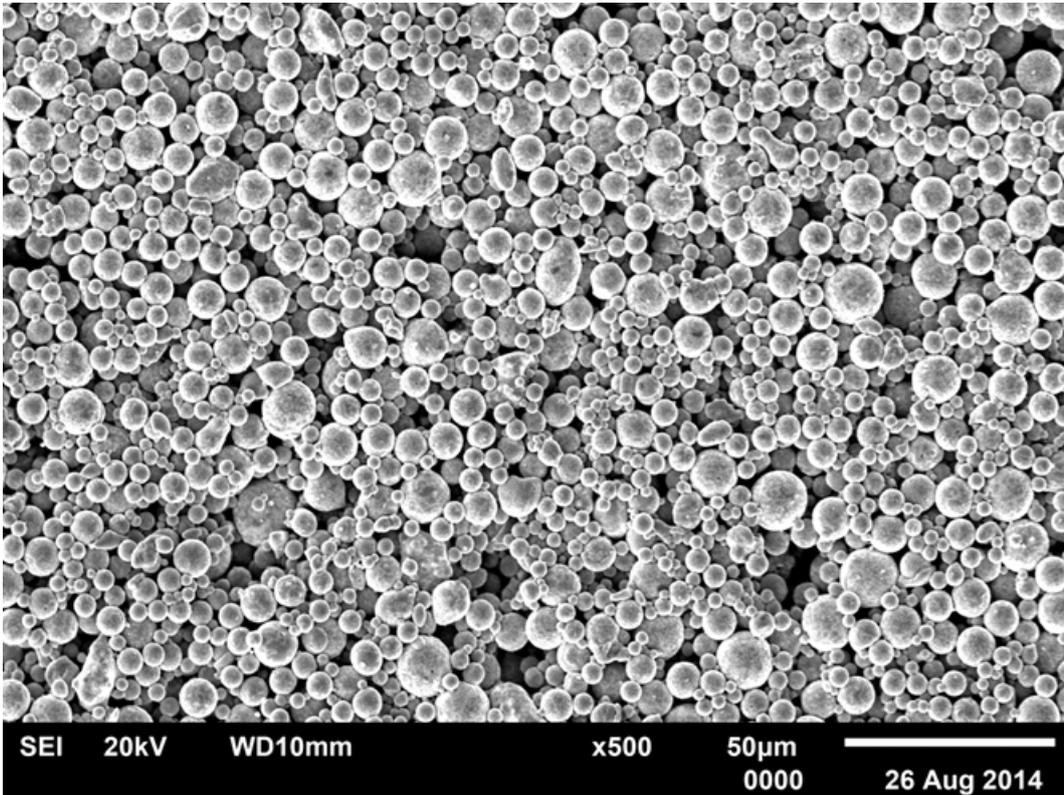


Bild 2: REM Aufnahme von IN625 nach Auslagerung mit  $KNO_3$

Das Projektziel ist, einen wesentlichen Beitrag auf dem Gebiet der thermischen Speicher- und Transporttechnologien für einen Temperaturbereich zwischen 130°C und 350°C zu leisten. Damit konzentriert sich die im Projekt geplante Technologieentwicklung auf einen Bereich von Prozesswärmertemperaturen, für den ein riesiges wärmetechnisches Potenzial existiert und daher auch ein dringender Bedarf an effizienten Wärmespeicher- und Wärmetransporttechnologien besteht. Die wissenschaftlich-technischen Ziele des Vorhabens sind die Entwicklung thermischer Hochleistungs-

Speicherkapseln im mm-Bereich auf der Basis PCM-gefüllter metallischer Hohlkugeln. Im avisierten Temperaturbereich kommen Salze und Salzmischungen als PCM zum Einsatz. Die Speicherkapseln stellen hinsichtlich Abmessung, Temperaturbereich und Speicherdichte ein absolutes Novum dar und werden im Projekt für zwei grundlegend unterschiedliche Anwendungsfälle appliziert: als statische Schüttung, wobei die Hohlkugeln von einem Wärmeträgerfluid durchströmt werden, und als Zugabe in einen flüssigen Wärmeträger zur Optimierung der Gesamt-Wärmespeicherkapazität.

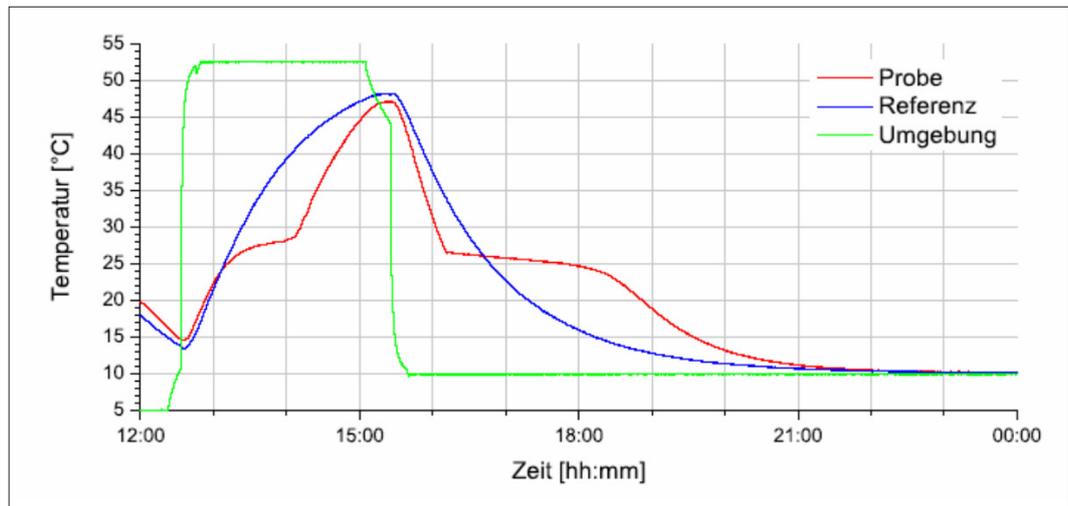


Bild 1: Temperatur-Zeit-Kurve einer T-History Messung

Im ersten Jahr des Bearbeitungszeitraumes standen werkstofftechnische Untersuchungen im Mittelpunkt. Es wurden thermische Eigenschaften von möglichen PCM untersucht und ausgewertet. Im Fokus standen Schmelz-/Erstarrungs-Temperaturen von 130°C - 350°C, wobei sich die Salze Kaliumnitrat, Natriumnitrat, Lithiumnitrat und deren eutektische Gemische als besonders geeignet erwiesen und diesen Bereich gut abdecken. Die thermischen Eigenschaften wurden mit der T-History-Methode untersucht. Vorteil gegenüber einer DSC-Untersuchung ist die hierbei wesentlich größere und damit charakteristische Probenmenge im Bereich von ca. 20 ml.

Für die Materialauswahl der Hohlkugeln wurden Sinterfolien angefertigt und in Verbindung mit den Nitraten auf Korrosion untersucht. Dazu wurden verschiedene metallische Materialien mit den Nitraten bei der jeweiligen Schmelztemperatur für bis zu 500 Stunden in Autoklaven ausgelagert. Die Nitrats sind anschließend mittels ICP-OES auf mögliche Anreicherungen der Metalle untersucht worden. Mittels REM und EDX-

Analyse wurden die Sinterfolien auf Korrosionsspuren untersucht. Dabei zeigte sich Fe, 316L und IN625 als geeignet für das Kugelmaterial.

Ebenfalls fanden Untersuchungen zur Einlaufverteilung und Durchströmung der Kugeln in einem Rohrbündelwärmeübertrager statt. Dabei wurden u. a. Einbaulage (horizontal, vertikal) des Wärmeübertragers und Anströmung (radial, axial) in Abhängigkeit des Volumenstromes, Kugelkonzentration und Kugeldurchmesser untersucht und ausgewertet. Die wichtigsten Erkenntnisse sind, dass große Kugeldurchmesser und ein kleiner Volumenstrom die Verstopfungsgefahr wesentlich vergrößern. Ein Verhältnis von Kugeldurchmesser zu Rohrrinnendurchmesser von  $>0,45$  führt ebenfalls zu einer schnellen Verstopfung. Hingegen hatte die Kugelkonzentration nur einen geringen Einfluss auf die Verteilung und die Verstopfung der Kugeln im Wärmeübertrager. Unter Beachtung der oben genannten Bedingungen kommt es zu einer sehr gleichmäßigen Verteilung im Rohrbündelwärmeübertrager.

## Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik

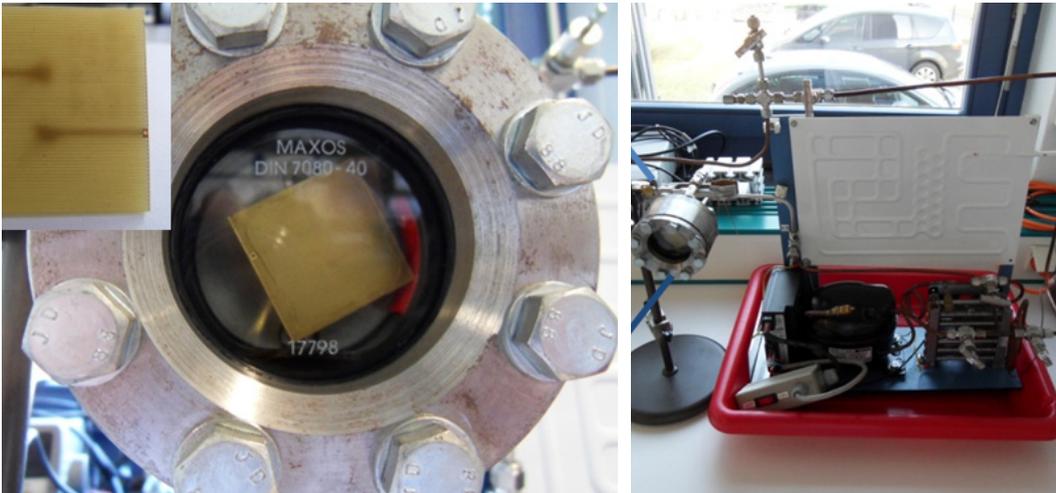


Bild 1: Kältekreislauf mit Durchsichtszelle für Sensorelemente

Neue sensitive Materialien auf der Basis von Hydrogelen und Metallorganischen Netzwerken (MOFs) sollen auf ihre Eignung als Sensorelemente in Kältekreisläufen untersucht werden. Dabei werden die Eigenschaftsänderungen dieser Materialien genutzt, um verschiedene Stoffe im Kältekreislauf zu detektieren. Darunter zählen die Detektion des Wassergehaltes im Kältemittel, der Beladungszustand des Filtertrockners, die verschiedenen nicht kondensierbaren Gase (insbesondere Stickstoff und Wasserstoff), die Detektion von Blasen und Fremdstoffen (Partikel) sowie die Ölzustandsdiagnostik. Dabei sollen die Hydrogele vor allem als Sensorelement für die Wasserdetektion sowie den Beladungszustand des Filtertrockners eingesetzt werden. Für die nicht kondensierbaren Gase sollen die metallorganischen Netzwerke zur Anwendung kommen.

Desweiteren werden die Messprinzipien für die Detektion der Eigenschaftsänderungen dieser Materialien evaluiert. Mittels Zyklovoltammetrie sollen die Antioxidantien und Abbauprodukte des Kältemittelöles untersucht werden, um Rückschlüsse auf den Ölzustand zu ziehen. Die gewonnenen Ergebnisse sollen die Grundlage für eine spätere Sensorentwicklung bilden.

Im ersten vollen Projektjahr wurden an der TU Dresden Clay-Hydrogele auf vorbereitete Substratmaterialien mit einer leitfähigen Kammstruktur polymerisiert. Durch die Hydrophilie der erhaltenen Gelschicht und der Fähigkeit, unter Wasseraufnahme zu quellen, steigt die gemessene Kapazität. Für die Untersuchung im Kältekreislauf wurden die Sensorelemente in eine Durchsichtszelle eingebaut. Dies dient der optischen Kontrolle des Sensorelementes und erlaubt verschie-

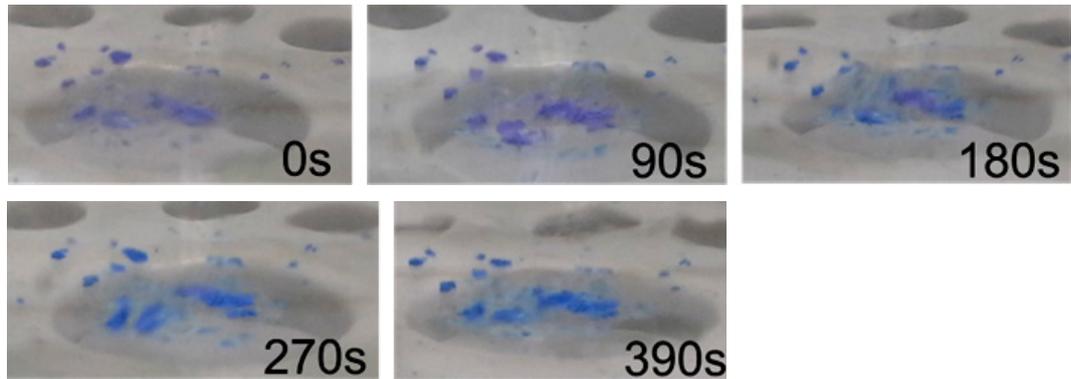


Bild 3: Farbveränderung von  $[(\text{Cu}(\text{Me-4py-trz-ia})_2)]$  infolge von Wassereexposition.



Bild 2:  $[(\text{Cu}(\text{Me-4py-trz-ia})_2)]$  nach Evakuierung bei 100 °C.

dene Zustände im Kältekreislauf zu simulieren. An der HTW Dresden wurden zeitgleich metallorganische Netzwerke hinsichtlich verschiedener nicht-kondensierbarer Gase und Feuchtigkeit untersucht. Mit Hilfe adsorptiver und thermodesorptiver Techniken (Adsorptionsvolumetrie, CRTA) wurde das Verhalten von verschiedenen metallorganischen Gerüstverbindungen (MOFs) untersucht, die entweder starre oder flexible Gitterstrukturen aufweisen. Nach bisherigen Untersuchungen erscheint das MOF-Material  $[(\text{Cu}(\text{Me-4py-trz-ia})_2)]$  als geeigneter Kandidat für einen Sensoreinsatz. Der mikroporöse Festkörper ist unter Methanol stehend sowie auch nach einer Evakuierung bei 100 °C violett gefärbt, siehe Bild 3.

Dieses MOF-Material wird derzeit auf die Verträglichkeit mit Kältemitteln getestet. Für die Beobachtung des Farbumschlages wird dabei ein Schauglas verwendet, wie es bereits in Kälteanlagen zu finden ist.

## Kohlendioxid als Kältemittel für Laborkühlgeräte



Bild 2: Versuchsaufbauten und Messplatz für Vergleichsmessungen  
(links R744 Umlaufkühler, rechts R507-Umlaufkühler mit externem Temperiergefäß verbunden)

Das Forschungsvorhaben beschäftigte sich mit dem Einsatz von R744 (Kohlendioxid) als Kältemittel in Laborkühlgeräten, die eine Kühlleistung unterhalb von 2 kW aufweisen. Der schematische Aufbau der neu aufgebauten Kältekreisläufe ist in Bild1 skizziert. R744 ist ein mehr und mehr angewendetes Kältemittel, nicht zuletzt durch seine vorteilhafte ökologische Bilanz im Vergleich zu den bisher verwendeten fluorierten Kältemitteln. Darüber hinaus kann R744 auch vorteilhaft in Bereichen des Explosionsschutzes genutzt werden, da andere natürliche Kältemittel, wie beispielsweise die Kohlenwasserstoffe wegen ihrer Brennbarkeit dort ausschneiden. Mit den durchgeführten Tests an zwei Laborgeräten (Umlaufkühler mit Versuchsaufbau in Bild 2 und einen Kühlbrutschrank) konnte gezeigt werden, dass sich unter Labor-Klimabedingungen im Vergleich zu fluorierten Kältemitteln energieeinspa-

rende Kühlergebnisse erzielen lassen (siehe Ergebnisse am Beispiel des Kühlbrutschranks in Tabelle 1). Andererseits sind jedoch bei Umgebungsbedingungen mit erhöhten Temperaturen oberhalb von 30 °C bei Einsatz von Kohlendioxid im Vergleich zu anderen bisher verwendeten Kältemitteln Verschlechterungen der Kühlergebnisse in Kauf zu nehmen.

Insgesamt hat sich die R744-Laborgerätemrüstung als sehr vielversprechend herausgestellt und lässt sich auch auf andere Anwendungen in der Kleingerätekühlung übertragen. Durch die Vermeidung des Einsatzes fluorierter Kältemittel und durch eine bessere Energieeffizienz beim Einsatz von R744 lässt sich die globale Freisetzung von Treibhausgasen deutlich reduzieren. Der Aufbau weiterer seriennaher Prototypen und die Untersuchung der Energieeffizienz in Form von Langzeittests in der Klimakam-

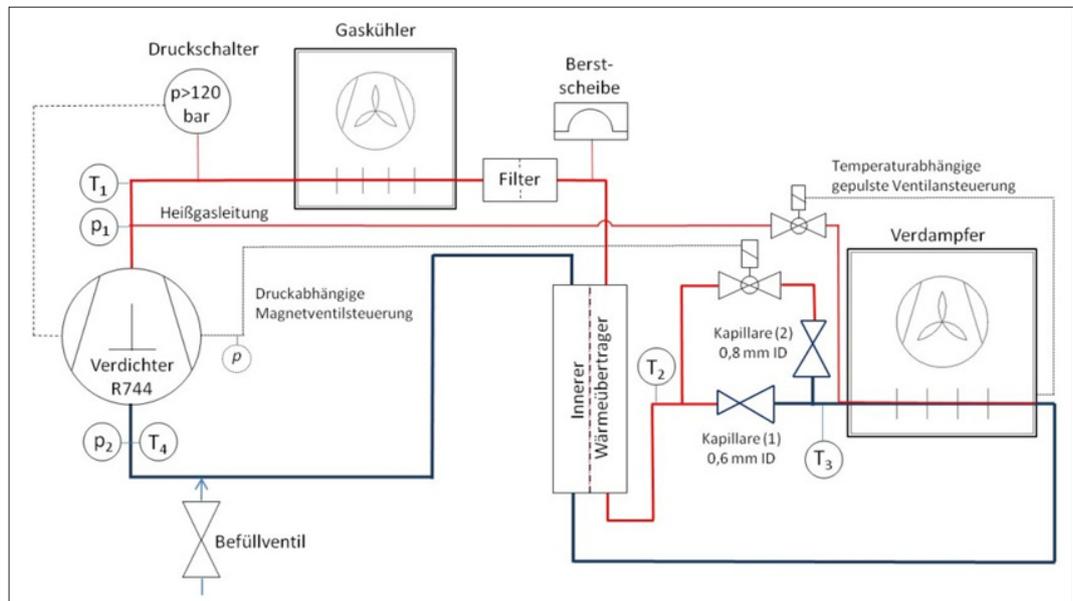


Bild 1: R744 Kältekreislauf - schematischer Aufbau

mer sollen weitere wichtige Schritte zur Umsetzung der im Rahmen des Projektes entwickelten Erfahrungen und Technologien sein. Durch die Bearbeitung des Themas wurden am ILK wertvolle Erkenntnisse auf den folgenden Gebieten gewonnen:

- Marktsituation zu R744-Komponenten für Kältekreisläufe im Bereich bis 2 kW Kälteleistung.
- Auslegungsberechnungen zu den R744-Kältekreisläufen und Optimierung hinsichtlich der zu nutzenden Rohrdurchmesser (möglichst kleine Druckverluste bei noch akzeptablen Leitungsquerschnitten)
- Erkenntnisse zu sicherheitsrelevanten Anforderungen zum Aufbau, Transport und Betrieb von R744-Kältekreisläufen.
- Befüllung der Kältekreisläufe und Ermittlung des optimalen Befüllungsgrads für maximale Kälteleistung.
- Aufbau eines Messsystems zur Überwachung der Zustandsgrößen Druck und Temperatur an verschiedenen Stellen der Kältekreisläufe auf Basis eines Expert-Key-Systems von Delphin Technology.
- Aufbau und Test eines R744-Einspritzsystems mit druckabhängig gesteuerter Sekundärkapillare zur besseren Temperaturregelung, da bisher keine elektronisch regelbaren Expansionsventile für den Kälteleistungsbereich am Markt erhältlich sind.
- R744-Heißgaseinspritzung zur Temperatursteuer/-regelung durch temperaturabhängig gepulste Magnetventilansteuerung.

Umgebungstemperatur	10 °C		20 °C		30 °C	
Kältemittel	R507	R744	R507	R744	R507	R744
Stromverbrauch nach 60 min [kWh]	0,85	0,83	0,92	0,91	1,01	0,94
Temperatur nach 60 min [°C]	-18,1	-22,1	-14,6	-18,7	-10,6	-12,7

Tabelle 1: Energieverbrauchswerte und Badendtemperaturen eines mit R507 betriebenen Umlaufkühlers im Vergleich zu einem umgerüsteten R744-Modell

FuE Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik

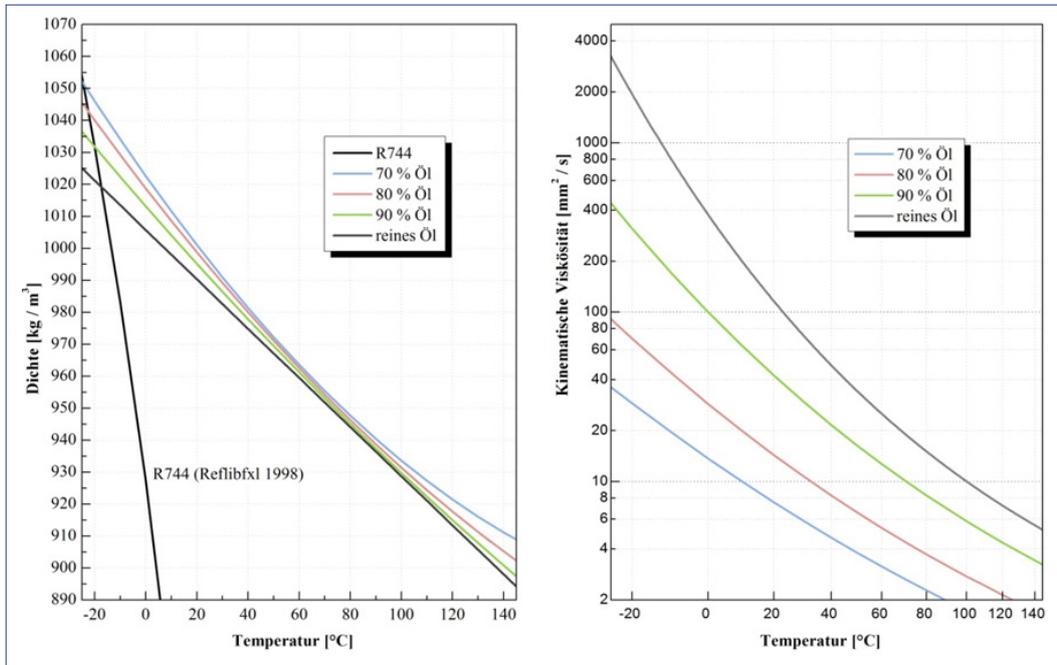


Bild 1: Bestimmung der Dichte (links) sowie der Viskosität (rechts) bis 140 °C

In den Analysenlaboren des Hauptbereichs „Angewandte Werkstofftechnik“ liegt ein Schwerpunkt in der chemisch-physikalischen Charakterisierung von Kältemitteln, Ölen und deren Gemischen. Ein weiterer Schwerpunkt sind Verträglichkeitsuntersuchungen von Materialien und Bauteilen (z. B. Elastomere, Motoretten, Filter) zusammen mit Kältemittel-Öl-Gemischen. Im Kältekreislauf eingesetzte Werkstoffe müssen extremen Bedingungen (Druck, Temperatur, Kältemittelkontakt) standhalten und dabei ihre Funktionalität bewahren. Zur Qualifizierung der Materialien für den Langzeiteinsatz werden diese daher beschleunigten Alterungsversuchen ausgesetzt.

Die dabei eingesetzten analytischen Untersuchungsmethoden, vor allem im Bereich Umwelt- und Ölanalytik, wurden auch im Jahre 2014 weiterentwickelt und durch erfolgreiche Ringversuche bestätigt.

Im Bereich der Stoffwertcharakterisierung wurde eine neue Hochtemperatur-Dichtemessapparatur in Betrieb genommen. Mit dieser innovativen Messzelle (DMA HPM der Fa. Anton Paar) wurde der verfügbare Temperaturmessbereich deutlich erweitert, was insbesondere für Untersuchungen im Zusammenhang mit dem natürlichen Kältemittel CO<sub>2</sub> (R744) notwendig ist.

Es lassen sich nun Temperatur- und Druckbereiche von bis zu 140 °C und 160 bar realisieren. Ein weiterer Vorteil ist die simultane Bestimmung von Dichte und Viskosität der zu untersuchenden Proben durch Kopplung der Viskositäts- und Dichte-Messplätze. Dies führt zu präparativ und zeitlich optimierten Messungen. Exemplarisch sind in Bild 1 Messergebnisse mit dem neuen Dichte-Viskositäts-Messplatz dargestellt. Als Kältemittel diente dabei R744 und als Öl ein Polyalkylenglykol.



Weitere Messapparaturen für die Bestimmung von thermodynamischen Eigenschaften, wie z. B. Dampfdruck, Mischungsverhalten, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität, wurden modernisiert und den hohen Sicherheitsanforderungen angepasst. Derzeit erfolgt der Umbau der Dampfdruckzelle für höhere Drücke bis zu 190 bar. Die Untersuchungsergebnisse aus dem Stoffwertelabor bilden eine wichtige Grundlage für Anlagenbetreiber, um einen störungsfreien Betrieb gewährleisten zu können.

Ein weiterer Schwerpunkt im Analytiklabor besteht in der Charakterisierung (insbesondere Reinheit und Zusammensetzung) von Kältemitteln. Seit 2014 steht ein neuer Permeationsmessplatz mit online-Analysemethode  $\mu$ -Gaschromatographie ( $\mu$ GC) inklusive Wärmeleitfähigkeitsdetektor (Fa. Gerstel) zur Verfügung. Dieser Messplatz ermöglicht neben verbesserten Messmöglichkeiten zur Permeation (z. B. von  $\text{CO}_2$  durch Elas-

tomermaterialien) durch die neue  $\mu$ GC weiterhin die Möglichkeit zur verbesserten Bestimmung der exakten gravimetrischen Zusammensetzung von Kältemittel-Blends. Das neue  $\mu$ GC-System kann im Vergleich zur bisherigen Messanordnung schnellere Messzyklen bei gleichzeitig geringerem Verbrauch an Trägergas (Helium) fahren. Dies führt zu geringeren Betriebskosten und einer verbesserten Ressourcennutzung.

Im Bereich der Ölanalytik wurde die vorhandene Messtechnik zur Bestimmung der kinetischen Viskosität verbessert. Auf Grund des geringen Kapillarquerschnittes des neuen Ubbelohde-Viskosimeters verringert sich die notwendige Probengröße auf 5 ml, womit nun auch Untersuchungen bei nur geringen zur Verfügung stehenden Ölmenngen (z. B. Gebrauchtole aus Verdichtertestläufen) möglich sind. Außerdem wurde der Temperaturbereich der Messzelle auf  $> 100\text{ }^\circ\text{C}$  erweitert.



**Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung**



Verfahrensoptimierter Direktverdampfer zur Vakuumeiserzeugung (DIVA)	106
Hocheffiziente Mehreffekt-Wärmeübertrager für die Destillation	108
Untersuchung strukturierter Wärmeübertrager für die Anwendung in	110
H <sub>2</sub> O-LiBr-Absorptionskälteanlagen zur Verbesserung der Energieeffektivität und Einsatzmöglichkeiten	110
Entwicklung Ammoniak tauglicher Plattenwärmeübertrager für die Bedingungen in Ammoniak-Wasser- Absorptionskälteanlage	112
Effiziente Rückkühlung für die solarthermisch angetriebene Kälteerzeugung	114
Entwicklung und Erprobung einer direkt luftgekühlten Sorptionskälteanlage zur solaren Klimatisierung	116

## Verfahrensoptimierter Direktverdampfer zur Vakuumeiserzeugung (DIVA)

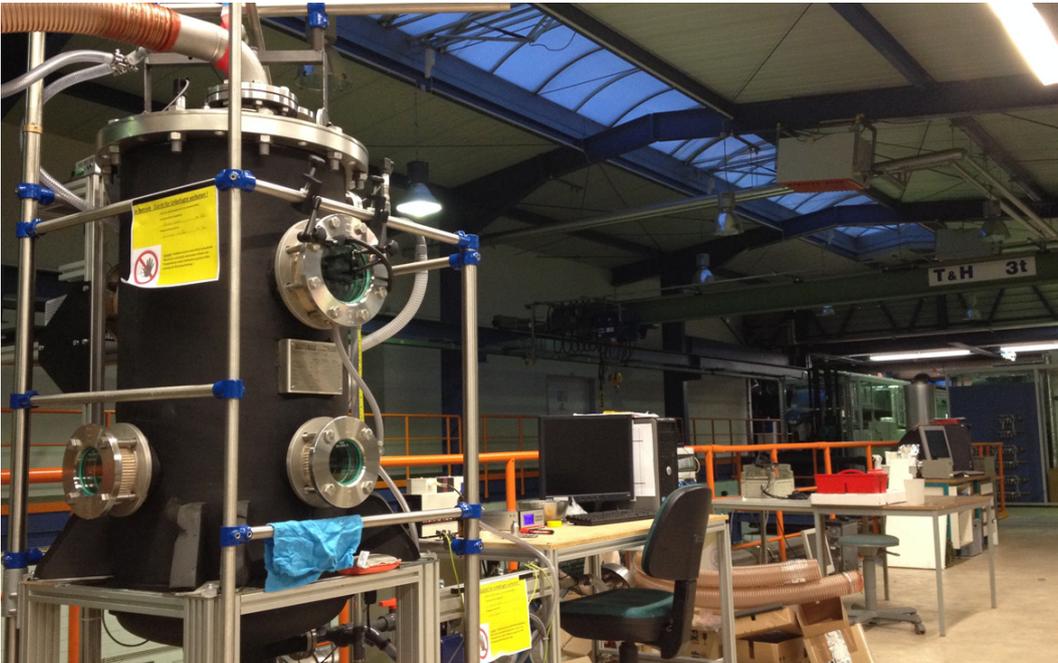


Bild 1: Ansicht der Modellversuchseinrichtung im ILK-Technikum

Das Vorhaben zur Entwicklung eines verfahrensoptimierten Direktverdampfers hat zum Ziel, einen signifikanten Beitrag zur energetisch optimierten Herstellung von pumpfähigen Wasser-Eisgemischen zu leisten und die dabei gewonnenen Erkenntnisse in ein Gebrauchsmuster einfließen zu lassen. Der Verdampfer, in der Literatur auch als Eiserzeuger beschrieben, stellt den Anlagenanteil mit dem größten verfahrenstechnischen Optimierungspotential dar. Darüber hinaus sollen die Investitions- und Betriebskosten von Anlagen zur Flüssigeis-Erzeugung deutlich reduziert werden, mit dem Ziel, den industriellen Einsatz des umweltverträglichen Kältemittels und Kälteträgers Wasser durch eine Erweiterung seiner Anwendungsmöglichkeiten voranzutreiben. Im zurückliegenden Berichtszeitraum wurde eine Versuchseinrichtung entwickelt, welche ein maßstäblich verkleinertes Modell eines Vakuumdirektverdampfers zur Flüssigeis-Erzeugung darstellt. Mit dieser Modellversuchseinrichtung (Bild 1) wurde es

möglich, eine Reihe von unterschiedlichen Untersuchungen zur Eiserzeugung durchzuführen. Bei der Konzeptionierung der Modellversuchseinrichtung wurde besonderes Augenmerk auf die optischen Zugänge zur Beobachtung der Vorgänge im Inneren des Behälters gelegt. Somit war es erstmals möglich, die Wirkungsweise verschiedener Wasserverteileranlagen zu beobachten und qualitativ zu beurteilen.

Ein weiterer Schwerpunkt waren die systematischen Untersuchungen von verschiedenen Beschichtungssystemen zur Verminderung von Eiswachstum auf Oberflächen im Verdampfer (Bild 2). Es konnten deutliche Unterschiede zwischen nicht beschichteten und beschichteten Oberflächen zum einen und zwischen verschiedenen Beschichtungen zum anderen beobachtet werden. Neben den bereits genannten Untersuchungen war von besonderem Interesse, welche Bauart mechanischer Agitatoren (Rührer) zum Einsatz in Direktverdampfern am bes-

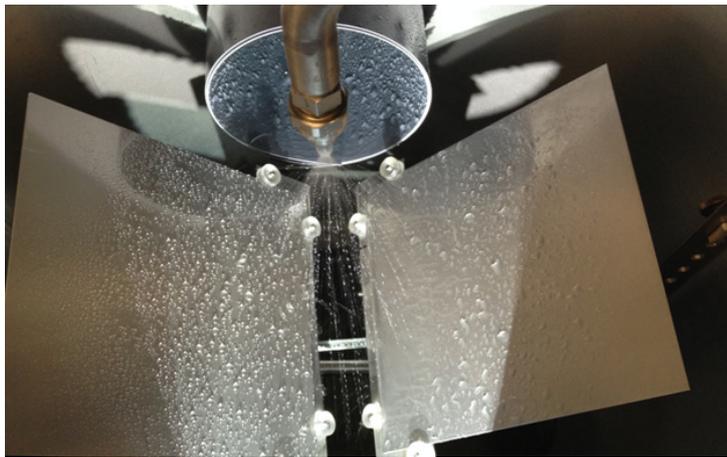


Bild 2: Vergleichsuntersuchungen an superhydrophoben und nicht beschichteten Oberflächen

ten geeignet ist. Dabei wurden verschiedene Kriterien zur Beurteilung der Eignung angewendet, die im Folgenden stichpunktartig benannt sind.

- Gewährleistung eines stabilen Eisentstehungsprozesses
- Einfluss auf die Verdampferleistung
- Eigenenergieverbrauch
- Mischgüte

In Bild 3 ist beispielhaft ein Ergebnis dieses Untersuchungskomplexes zu mechanischen Agitatoren dargestellt. Es zeigt den Einfluss der Rührerbauart und Drehzahl auf die in der Modellversuchseinrichtung zu erreichende Verdampferleistung. Es konnte in diesem speziellen Fall gezeigt werden, dass mit Rührern der Bauart Schrägblatt (SB) die besten Ergebnisse erzielt werden. Diese und weitere Ergebnisse bilden wichtige Grundlagen für zukünftige Auslegungen und Gestaltungen von Direktverdampfern zur Flüssigeisernerzeugung.

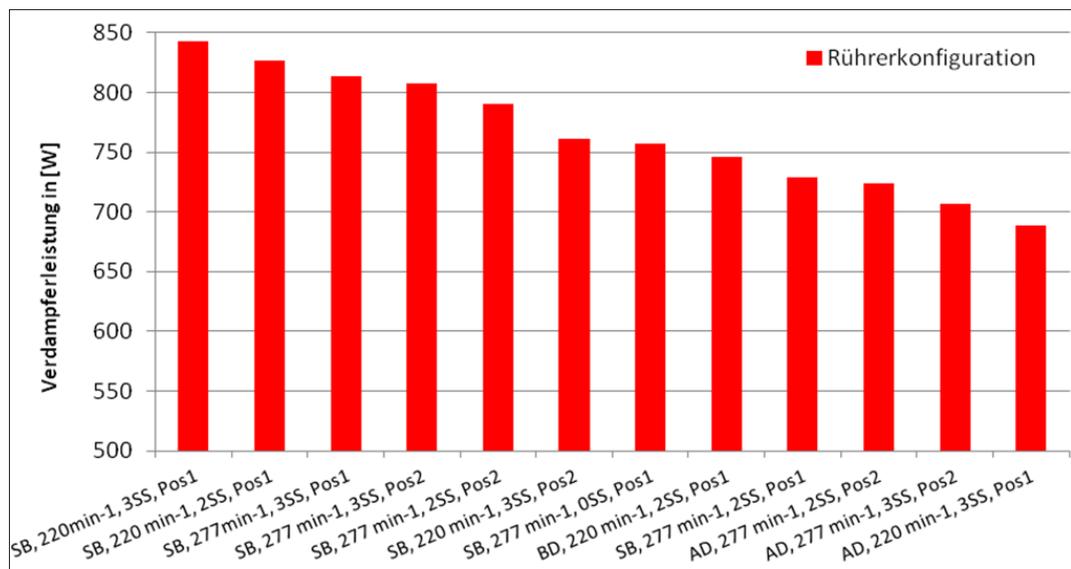


Bild 3: Vergleichsuntersuchungen zur Abhängigkeit der Verdampferleistung von der Rührerkonfiguration

## Hocheffiziente Mehreffekt-Wärmeübertrager für die Destillation

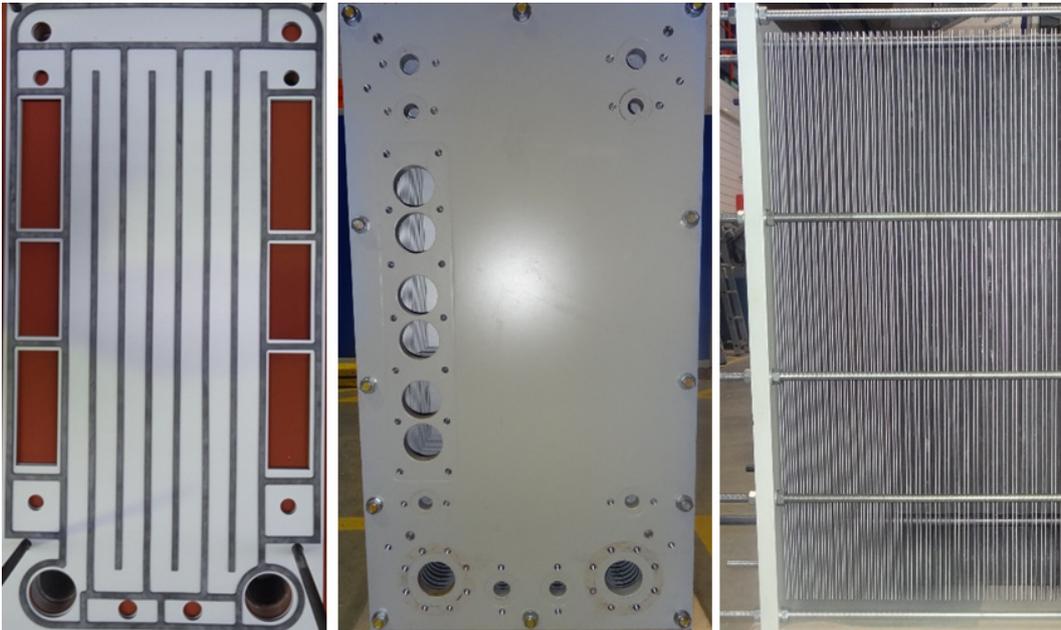


Bild 1: Mehreffekt-Endkondensator

In vielen verfahrenstechnischen Prozessen finden Verdampfungs- und Destillationsprozesse statt. Auszugsweise seien hier die Bereitstellung von voll entsalztem Wasser für industrielle Anwendungen (Dampfkraftprozesse), Eindicken von Lebensmitteln, Aufbereitung von verschiedensten Abwässern sowie die Erzeugung von Trinkwasser aus Meerwasser genannt.

Die Entsalzung von Meerwasser stellt eine Möglichkeit dar, der Verknappung von Wasser zu begegnen. Vor allem im Nahen Osten und im Mittelmeerraum wird bereits heute ein beträchtlicher Teil der Trinkwasserversorgung durch große industrielle Meerwasserentsalzungsanlagen bereitgestellt.

Der Bedarf an kleineren dezentralen Anlagen ist in vielen Ländern der Erde weiterhin sehr hoch. Potentielle Anwender sind vor allem Einrichtungen in dünn besiedel-

ten Regionen wie z. B. Krankenhäuser und Schulen sowie touristische Anlagen. Durch die Nutzung preiswerter (Ab-)Wärme zur Entsalzung können die Kosten für die Wasseraufbereitung gesenkt und gleichzeitig die Energieeffizienz gesteigert werden.

Im laufenden Forschungs-Projekt wurden ein Mehreffekt-Startverdampfer (MESV), ein Quattro-Effekt (QE) und ein Mehreffekt-Endkondensator (MEEK) jeweils als Plattenwärmeübertrager entwickelt.

Intensive Untersuchungen wurden zur Ermittlung einer optimalen Strömungsführung des Heiz- und des Kühlwassers zwischen den Platten in Bezug auf geringe Druckverluste und einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten durchgeführt. Zur Visualisierung der Strömung wurde ein weiterer Prüfstand aufgebaut. Zur Sichtbarmachung der Strömung wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt.



Die Leistungsgröße dieser Mehreffekt-Wärmeübertrager-Technologie liegt zwischen 10 kW und 100 kW. Hieraus ergeben sich in Abhängigkeit von der verfügbaren Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Seite und der Anzahl der in Reihe geschalteten Effekte ein Produktstrom von bis zu 40.000 l/Tag. Bei einem Tagesbedarf von

50 l für Zubereitung von Essen und Hygiene können somit bis zu 800 Personen mit ausreichend Trinkwasser versorgt werden. Es ist vorgesehen für die neu zu entwickelnde Anlage eine Lizenz an einen sich am Markt befindlichen deutschen Hersteller zu vergeben.

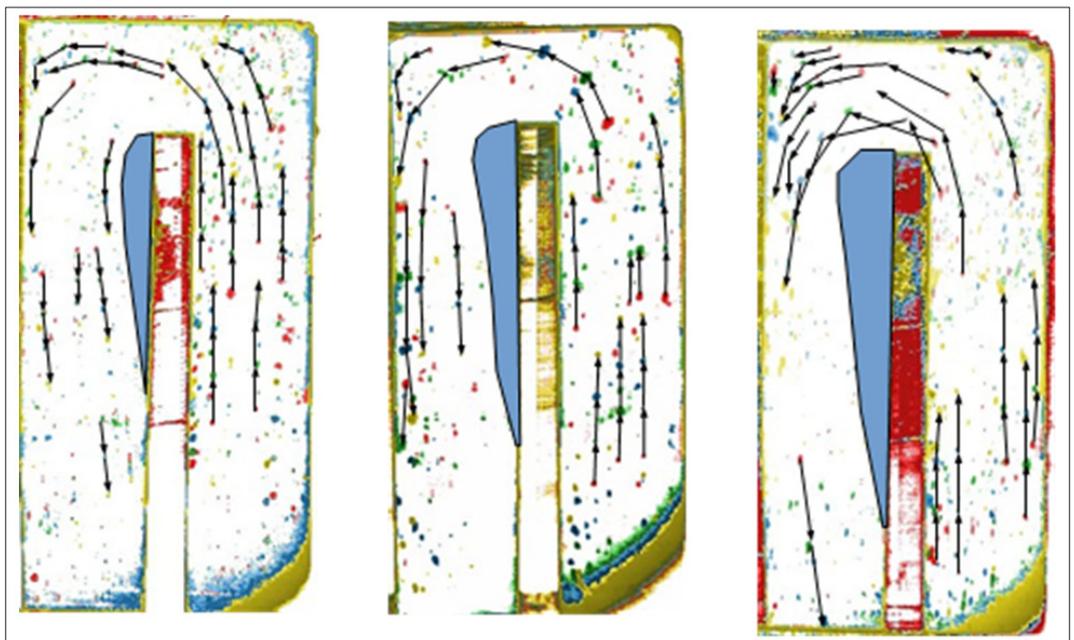


Bild 2: Vergleich eines vertikalen Kanals bei unterschiedlichen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (0,18; 0,41 und 1,24 m/s)

## Untersuchung strukturierter Wärmeübertrager für die Anwendung in H<sub>2</sub>O-LiBr-Absorptionskälteanlagen zur Verbesserung der Energieeffektivität und Einsatzmöglichkeiten

Innerhalb des Projektes wurde untersucht, ob strukturierte Rohre (oberflächenstrukturierte Hochleistungsrippenrohre sowie oberflächenbehandelte, makro- und mikrostrukturierte Rohre) bzw. asymmetrische Plattenwärmeübertrager höhere Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten bei der Verdampfung, Kondensation, Absorption und Desorption von Wasser und Lithiumbromidlösung aufweisen als die derzeit hauptsächlich in Absorptionskälteanlagen verbauten Glattrohre. Höhere Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten führen zu kleineren Wärmeübertragern in Absorptionskälteanlagen und folglich zu Materialeinsparungen. Durch eine kompaktere Bauweise können aber auch Kosten bei Behälter, Gehäuse und Aufhängungen eingespart werden.

Auswahlkriterien für eine Vorzugsvariante sind Baugröße, Materialaufwand, Kosten, Korrosionsverhalten und die Integrierbarkeit in eine Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlage. Ergebnisse des Projektes sind folgende: Die Verwendung von Hochleistungsrippenrohren im Verdampfer ist sehr sinnvoll. Dagegen bringt die Verwendung strukturierter Rohre im Kondensator und im Generator keine Vorteile. Bei wasserseitiger mehr-pässiger Ausführung ist die Verwendung asymmetrischer Plattenwärmeüber-

trager sowohl als Kondensator als auch als Generator sehr effektiv und kostengünstig. Mit den positiven Vermessungsergebnissen der asymmetrischen Plattenwärmeübertrager besteht nun die Möglichkeit, diese in Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen einzusetzen. Für den Hochdruckteil der Single Effect-Absorptionskälteanlagen, der allgemein bei Drücken zwischen 5 und 10 kPa arbeitet, können asymmetrische Plattenwärmeübertrager als Generator und als Kondensator verwendet werden. Aufgrund der erzielten Ergebnisse bestehen gute Aussichten, dass die im Projekt gewonnenen Ergebnisse in ein vermarktungsfähiges Produkt münden.

Bild 1 zeigt die Ansicht einiger ausgewählter und untersuchter Wärmeübertrager und Bild 2 den Versuchsstand mit zwei Vakuumbehältern, in denen die Prüflinge in den unterschiedlichen Anwendungen vermessen wurden. In den Bildern 3 und 4 werden Ergebnisse der Prüflingsvermessung für die Anwendung als Verdampfer und Kondensator gezeigt. Aufgetragen ist in Bild 3 der Wärmedurchgangskoeffizient bei der Verdampfung in Abhängigkeit der Rieselfilmstärke und in Bild 4 der Wärmedurchgangskoeffizient bei der Kondensation in Abhängigkeit des Kühlwasservolumenstroms.

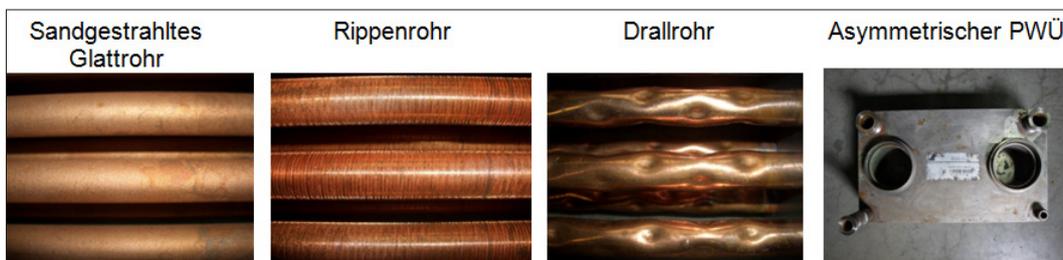


Bild 1: Ansicht einiger ausgewählter und untersuchter Wärmeübertrager

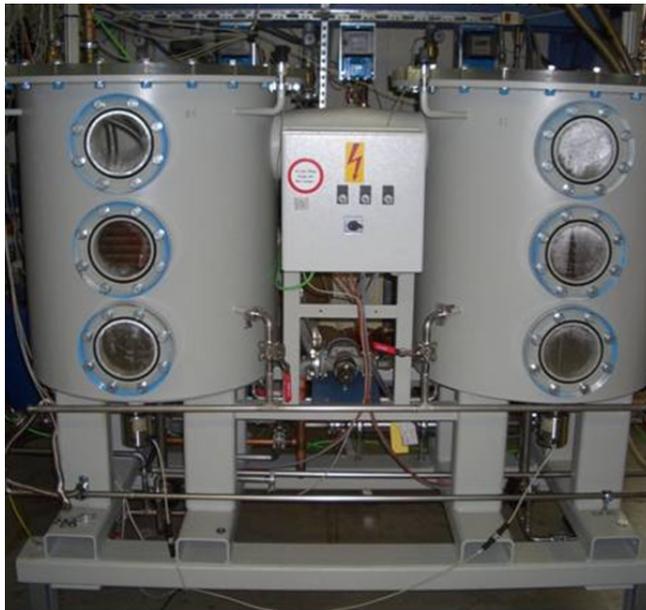


Bild 2: Ansichten Versuchsstand mit 2 Vakuumbehältern zur Prüflingsvermessung

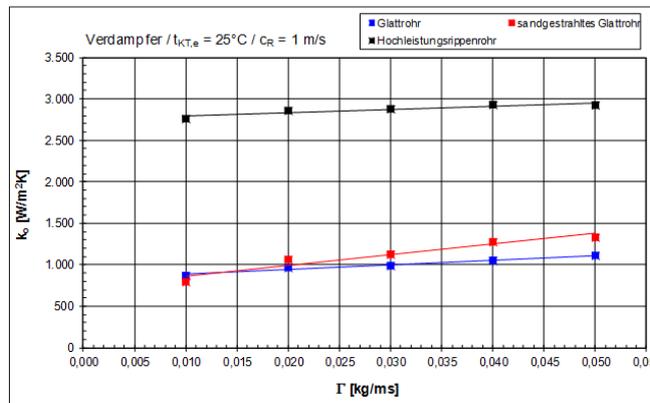


Bild 3: Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten Verdampfung verschiedener Rohrbündel in Abhängigkeit der Rieselfilmstärke

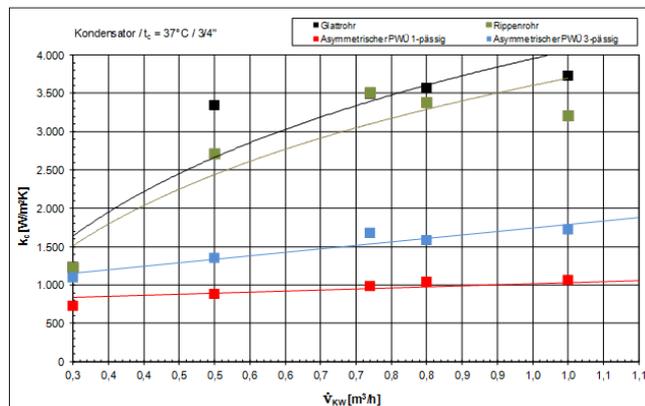


Bild 4: Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten Kondensation verschiedener Rohrbündel in Abhängigkeit des Kühlwasservolumenstroms

## Entwicklung Ammoniak tauglicher Plattenwärmeübertrager für die Bedingungen in einer Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlage



Bild 1: Entwickelte Plattenwärmeübertrager des Kooperationspartners und Ansicht der  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  – Absorptionstestanlage zur Vermessung der Wärmeübertrager

Der Einsatz von kleinen und mittleren Absorptionskältemaschinen zur Kälteerzeugung aus Abwärme oder Solarenergie scheiterte bisher häufig an den Kosten und der Funktionalität der für Ammoniak zur Verfügung stehenden Plattenwärmeübertrager wie voll-, kassetten- oder fusionsgeschweißte Apparate.

Daher wurden innerhalb des Forschungsprojektes neue Plattenwärmeübertrager entwickelt, getestet und vermessen. Die Wärmeübertrager sind gelötet und können in Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen angewendet werden. Die Plattenwärmeübertrager können zudem kostengünstig hergestellt werden und sie sind für die Bedingungen des kombinierten Wärme- und Stoffübergangs von Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen geeignet. Das verwendete Lot ist kupferfrei und ammoniaktauglich. Der Kooperationspartner entwickelte diese Plattenwärmeübertrager, baute Prüflinge und führte Drucktests durch. Die

Prüflinge wurden im ILK Korrosionsuntersuchungen unterzogen und wurden innerhalb einer Ammoniak-Wasser-Absorptionsversuchsanlage getestet, vermessen und bewertet. Für die neuen Plattenwärmeübertrager wurde vom Kooperationspartner eine Herstellungstechnologie erarbeitet und erprobt.

Ziel war es, die Voraussetzungen für kostengünstige Plattenwärmeübertrager zu schaffen, die sowohl für den Einsatz in Ammoniak-Wasser-Absorptionskälteanlagen als Verdampfer, Kondensator, Kälte- und Lösungswärmeübertrager sowie als Absorber und Austreiber als auch in Ammoniak-Kompressionskälteanlagen geeignet sind. Bild 1 zeigt die bisherigen kupfergelöteten und die neu entwickelten, kupferfrei gelöteten Plattenwärmeübertrager. Daneben ist die Ansicht der  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  – Absorptionstestanlage zur Vermessung der Wärmeübertrager abgebildet.

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes können wie folgt zusammengefasst werden:

- Es wurde keine einschränkende Korrosion an den Lötstellen und am Edelstahl der Wärmeübertrager durch die Ammoniak-Wasser-Lösung auch bei hohen Temperaturen analysiert.
- Die Drucktests erbrachten eine Druckfestigkeit von 30 bar ohne eine Verwendung von Druckplatten als Front- und Bodenplatte.
- Die Funktionsfähigkeit der kupferfrei gelöteten, ammoniaktauglichen Plattenwärmeübertrager wurde nachgewiesen.

In den Bildern 2 und 3 sind Messergebnisse der Untersuchungen dargestellt. Bild 2 zeigt die Verdampfer- und Generatorleistung der Prüflinge und das Wärmeverhältnis der Versuchsanlage in Abhängigkeit des Volumenstroms der reichen Lösung für die angegebenen Randbedingungen. In Bild 3 sind die k-Werte der Prüflinge in Abhängigkeit der Kälte-trägeraustrittstemperatur aus dem Verdampfer aufgetragen.

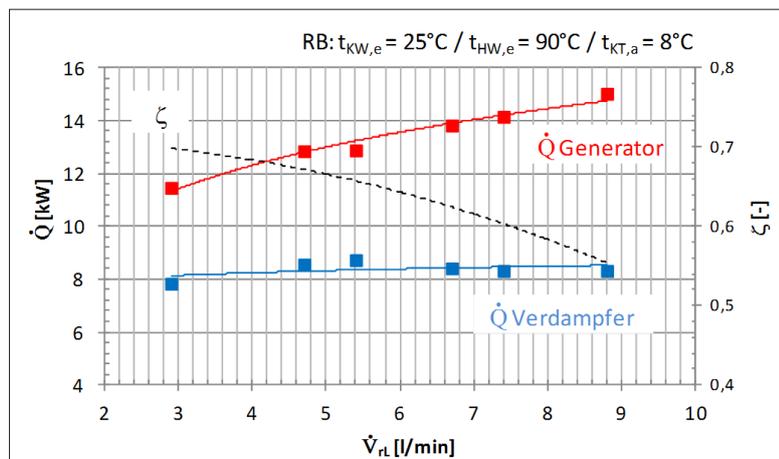


Bild 2:  
Verdampfer- und Generatorleistung der Prüflinge und Wärmeverhältnis der Versuchsanlage in Abhängigkeit des Volumenstroms der reichen Lösung

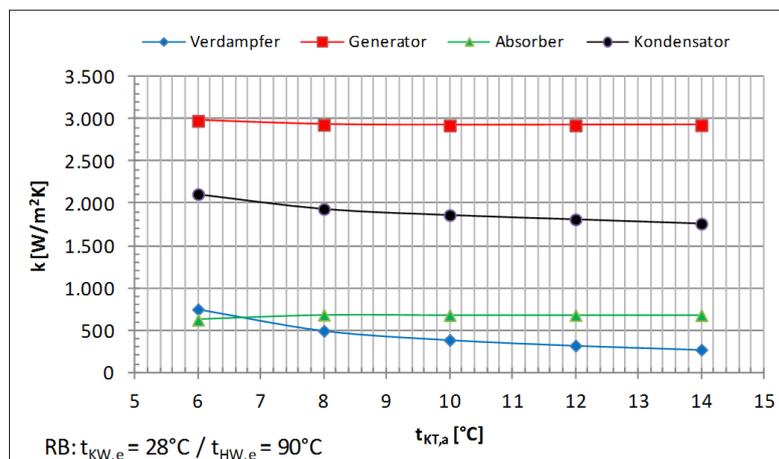


Bild 3:  
Wärmedurchgangskoeffizienten der Prüflinge in der Versuchsanlage in Abhängigkeit der Kälte-trägeraustrittstemperatur aus dem Verdampfer

## Effiziente Rückkühlung für die solarthermisch angetriebene Kälteerzeugung



Bild 1: Projektstruktur des SolaRück-Projektes

Rückkühlung spielt bei Prozessen der Kälteerzeugung – sei es mit thermischem oder elektrischem Antrieb – eine essentielle Rolle. In beiden Fällen muss eine erhebliche Menge an Wärme mit möglichst geringer Übertemperatur an die Umgebung abgegeben werden. Für thermisch angetriebene Verfahren ist der Einfluss der Rückkühleinheit jedoch aus mehreren Gründen noch wesentlich entscheidender als für elektrisch angetriebene Verfahren: Die Wärmemenge, die an die Umgebung abzuführen ist, ist bei thermisch angetriebenen Verfahren aus thermodynamischen Gründen (letztlich auf Grund des niedrigeren Exergiegehalts der Antriebsenergie) größer.

Thermisch angetriebene Verfahren reagieren sensibler auf höhere Rückkühltemperaturen. Während in der Vergangenheit der Fokus der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in erster Linie auf die Entwicklung und Optimierung der thermischen Prozesse – Entwicklung innovativer und effizien-

ter thermisch angetriebenen Kälteprozesse und Ankopplung an die Wärmequelle wie Solaranlage oder Fernwärme – gerichtet war, wurde die Thematik der Rückkühlung in den Hintergrund gestellt und im Wesentlichen vorhandene, konventionelle Technik eingesetzt.

Erfahrungen mit installierten Anlagen der solaren Kühlung und auch anderen Systemvarianten, in denen thermisch angetriebene Kältemaschinen zum Einsatz kommen, haben jedoch gezeigt, dass im Bereich der Rückkühlung viele Fehler gemacht werden und oftmals ein inadäquat hoher Verbrauch an elektrischer Energie festzustellen ist. Gründe sind in falscher Planung und Dimensionierung sowie nicht vorhandener oder ungünstiger Teillastregelung ebenso zu sehen, wie in einer nicht ausreichenden Effizienz der marktverfügbaren Techniken an sich. Ansatz des Verbundprojektes SolaRück ist es, alle oben genannten Themen systematisch zu adressieren und damit zur

Entwicklung von optimierten Rückkühlverfahren beizutragen – und somit letztlich der solaren Kühlung wie auch anderen Anwendungen der thermisch angetriebenen Kühlung zu einer größeren Verbreitung zu verhelfen und zu einer nachhaltigen Marktentwicklung beizutragen.

Das Projekt besteht aus sechs Arbeitspaketen. Drei grundlagenorientierte Themenfelder werden ausschließlich von den beteiligten Forschungseinrichtungen bearbeitet. In drei anwendungsorientierten Arbeitspaketen entwickeln verschiedene Firmen z.T. in Kooperation mit Forschungseinrichtungen Baumuster für innovative Rückkühler im kleinen Leistungsbereich. Bild 1 gibt einen Überblick zur Struktur des Projektes.

Schwerpunkte der Arbeit des ILK in den Jahren 2013 und 2014 waren:

- die Definition von Kriterien und die Ableitung von Kennzahlen zur energetischen, wirtschaftlichen und technischen Bewertung verschiedener Rückkühlertypen
  - die Analyse der Anforderung der Sorptionstechnologien,
  - die Durchführung einer Markt- und Potentialanalyse für Pumpen und Ventilatoren im Leistungsbereich bis 100 kW Kälteleistung (entsprechend 250 kW Rückkühlleistung)
  - die Vorbereitung und Durchführung eines Workshops im Rahmen der Ottilie Konferenz Solar Air-Conditioning 2013 in Bad Krozingen
  - die Integration der adiabaten Luftvorkühlung in bestehende Berechnungs- und Auslegungsalgorithmen für lamellierte Luft/Wasser-Wärmeübertrager und deren Validierung
- Modellierung und Optimierung des Druckverlustes der adiabaten Luftvorkühlung
  - Mitarbeit bei der Entwicklung und Erprobung generischer Betriebsführungskonzepte für solarthermische Kälteanlagen

Detaillierte Informationen sind auf der Projekthomepage: [www.solarueck.de](http://www.solarueck.de) abrufbar.

## Entwicklung und Erprobung einer direkt luftgekühlten Sorptionskälteanlage zur solaren Klimatisierung



Bild 1: Feldversuchsanlage auf dem Prüfstand des ILK Dresden

Indirekt beheizte, d.h. mit Warmwasser aus einem BHKW, einer Solarthermieanlage oder einer anderen Wärmequelle angetriebene Sorptionskälteanlagen sind bisher nur als wassergekühlte Maschinen marktfähig. Somit ist zum Betrieb der Anlagen neben der Sorptionskälteanlage an sich ein separates Rückkühlwerk erforderlich. Dies führt zu einer hohen Komplexität der Gesamtsysteme, großem Installationsaufwand sowie einem teilweise beträchtlichen elektrischen Hilfsenergiebedarf zum Betrieb des Kühlwasserkreislaufs.

Ziele des Vorhabens sind die Entwicklung und die praxisnahe Erprobung einer direkt luftgekühlten Wasser/Lithiumbromid-Absorptionskältemaschine zur solarthermisch

angetriebenen Klimakälteerzeugung im kleinen Leistungsbereich (ca. 10 kW). Die luftgekühlte Sorptionskälteanlage wird für Außenaufstellung konzipiert. Ein externer Rückkühler entfällt, so dass die Komplexität solarthermischer Heiz- und Kühlsysteme wesentlich vereinfacht und auf die Verwendung von Verdunstungsrückkühlern verzichtet werden kann.

Ziel des Anlagenkonzepts ist es weiterhin, den elektrischen Hilfsenergiebedarf der solarthermischen Kälteerzeugung durch den Verzicht auf die Kühlwasserpumpe und die Umsetzung eines geeigneten Betriebsführungskonzeptes wesentlich zu verringern. Die Anlage kann auch mit anderen Wärmequellen betrieben werden, wobei die Aus-

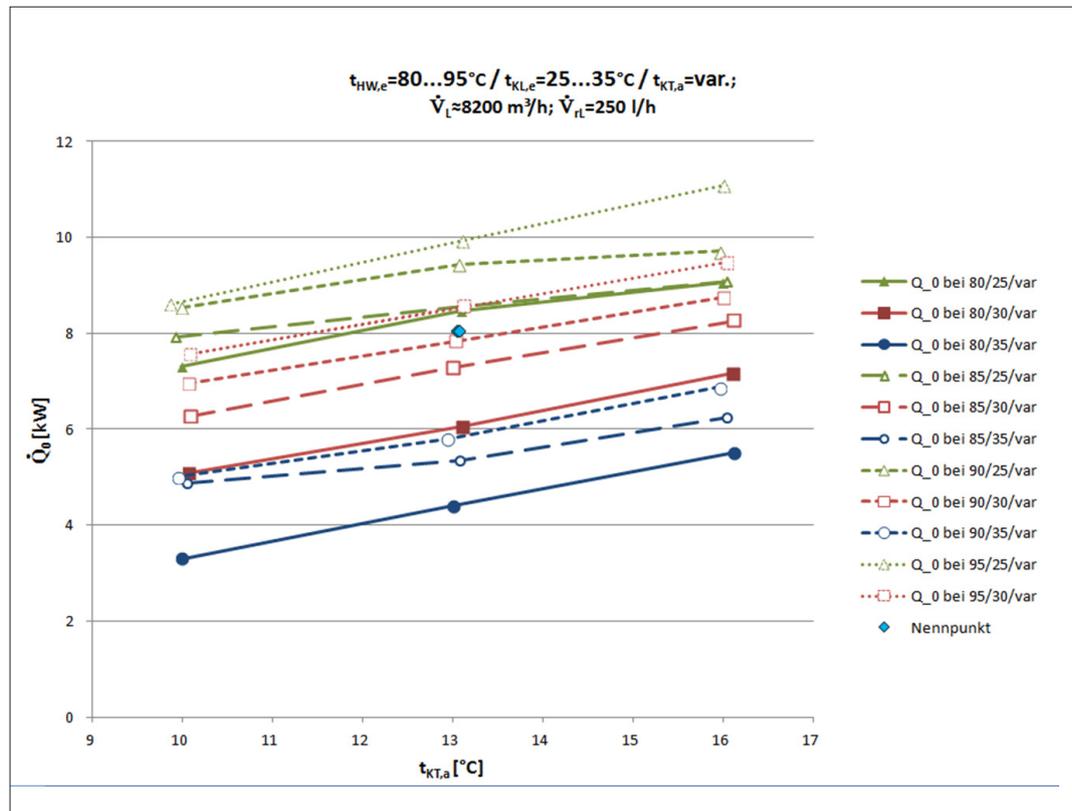


Bild 2: Leistungsverhalten der direkt luftgekühlten Sorptionskälteanlage im Kennfeld

wirkungen geänderter Systemtemperaturen zu beachten sind. Der Bau des Versuchsmusters konnte in 2014 abgeschlossen werden. Bild 1 zeigt die luftgekühlte Absorptionskälteanlage auf dem Prüfstand im ILK. Dort wurden umfangreiche Messungen zum Leistungsverhalten durchgeführt. In Bild 2 sind einige Ergebnisse dargestellt. Die Auslegungskälteleistung bei Nennbetriebsbedingungen wurde erreicht.

Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse auf dem Prüfstand ist keine freie Ausströmung der Kühlluft gewährleistet. Dadurch

muss der Ventilator mit einer höheren Drehzahl als geplant betrieben werden. Die Vermessung auf dem Leistungsprüfstand lässt daher noch keine Aussagen zur elektrischen Effizienz der Anlage zu, deren Steigerung eines der wesentlichen Projektziele ist. Das Versuchsmuster wird im Frühjahr 2015 als Feldtestanlage in ein bestehendes System zur solarthermischen Klimakälteerzeugung am Standort Westenfeld integriert. Im Rahmen dieses Feldtests werden auch Erkenntnisse zum elektrischen Hilfsenergiebedarf gesammelt.

Die Mitarbeiter des ILK arbeiten in diversen Gremien und Richtlinienausschüssen von DIN und VDI mit. Eine besondere Herausforderung war die Mitwirkung an den europäischen Regelwerken zur Umsetzung der EPBD – der europäischen Gebäuderichtlinie. Diese Mitarbeit wurde verantwortlich durch Dr. Hantsch wahrgenommen. Der Energiebedarf zur Einstellung eines behaglichen Raumklimas nimmt einen signifikanten Anteil des Gesamtenergiebedarfes in der Europäischen Union ein. Um einen einheitlichen Standard zu gewährleisten, hat der Europäische Rat die sogenannte „Energy Performance of Buildings Directive“ (EPBD) erlassen und diese im Jahr 2010 novelliert. Zur Umsetzung der novellierten Richtlinie wurden die zu bearbeitenden Themenfelder modularisiert (siehe Tabelle 1). Ziel ist es dabei, dass alle Berechnungsvorschriften modul- und normübergreifend konsistent verwendet werden können. Weiterhin wird eine strikte Trennung zwischen normativem und informativem Material angestrebt, sodass die eigentliche Norm nunmehr nur noch die Berechnungsvorschrift enthält, Zahlenwerte im informativen Anhang zu finden und sämtliche Erläuterungen in einem separaten technischen Bericht aufgeführt sind.

Mitarbeiter des ILK Dresden sind an der Überarbeitung der Normen EN 15239-15243 sowie EN 15251 aus dem Jahr 2007 beteiligt. Ergebnis wird ein Normenpaket mit der Nummer EN 16978 und den Teilen 1-18 sein. Thematisch geht es dabei um klimatechnische Fragestellungen zu

- Effizienzanforderungen an Lüftungs- und Klimasysteme
- Energieanforderungen an Lüftungs- und Klimasysteme
- Berechnungsmethoden zur Bestimmung von Luftvolumenströmen (inkl. Infiltration) in Gebäuden
- Allgemeine Anforderungen zur Berechnung von Klimasystemen
- Berechnungsmethoden zur Kälteerzeugung
- Berechnungsmethoden zur Kältespeicherung (inkl. Eis- und PCM-Speicher)
- Inspektion von Lüftungs- und Klimasystemen
- Kühllastberechnung

Zurzeit sind die Normen in der Einspruchsphase und werden im Laufe des Jahres 2015 fertiggestellt.

Rahmennorm		Gebäude (als solches)		Technische Gebäudeausrüstung										
	Beschreibungen		Beschreibungen		Beschreibungen	Heizung	Kühlung	Luftung	Befeuchtung	Entfeuchtung	Trinkwarmwasser	Beleuchtung	Gebäudeautomation	Photovoltaik, Wind, ...
sub 1	M1	sub 1	M2	sub 1		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
1	Allgemeines	1	Allgemeines	1	Allgemeines									
2	Allgemeine Begriffe; Symbole, Einheiten und Indizes	2	Energiebedarf des Gebäudes	2	Bedarf									
3	Anwendungen	3	(Freie) Innenraumbedingungen ohne Systeme	3	Höchstlast und -leistung									
4	Arten der Darstellung der Gesamtenergieeffizienz	4	Arten der Darstellung der Gesamtenergieeffizienz	4	Arten der Darstellung der Gesamtenergieeffizienz									

Tabelle 1: Auszugsweise Darstellung der Module der Normenreihe EN 16798

Auf der Ebene der VDI-Richtlinien wurde durch Prof. Franzke intensiv an der VDI 6022 mitgearbeitet. Ziel der Richtlinienreihe VDI 6022 „Raumluftechnik, Raumlufqualität“ ist die Schaffung von gesundheitlich zuträglicher Atemluft in Gebäuden. Dazu beschäftigt sich die Richtlinie einerseits mit der Hygiene raumluftechnischer Anlagen und Geräte, mit dem Minimalziel, dass die in den Raum abgegebene Luft nicht schlechter ist als die vom Gerät oder der Anlage angesaugte Luft, d.h., dass die Raumluftechnik nicht selbst Quelle von Verunreinigungen ist.

Die Richtlinie gliedert sich derzeit in folgende Blätter:

- VDI 6022 Blatt 1 „Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte“
- VDI 6022 Blatt 1.1 „Prüfung von Raumluftechnischen Anlagen“
- VDI 6022 Blatt 1.2 „Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und -Geräte; Erdverlegte Luftleitungen“
- VDI 6022 Blatt 1.3 „Raumluftechnik, Raumlufqualität - Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte; Sauberkeit von Luftleitungen (VDI-Lüftungsregeln)“
- VDI 6022 Blatt 2 „Hygieneanforderungen an die Lüftungstechnik von Fahrzeugen“

- VDI 6022 Blatt 3 „Beurteilung der Raumluftqualität“
- VDI 6022 Blatt 4 „Qualifizierung von Personal für Hygienekontrollen, Hygieneinspektionen und die Beurteilung der Raumluftqualität“
- VDI 6022 Blatt 4.1 „Qualifizierung von Personal für Hygienekontrollen, Hygieneinspektionen und die Beurteilung der Raumluftqualität; Nachweis der Qualifizierung in Schulungskategorie A und Schulungskategorie B“
- VDI 6022 Blatt 5 „Raumluftechnik, Raumluftqualität; Vermeidung allergener Belastungen; Anforderung an die Prüfung und Bewertung von technischen Produkten und Komponenten mit Einfluss auf die Atemluft“
- VDI 6022 Blatt 6 „Luftbefeuchtung über dezentrale Geräte - Planung, Bau, Betrieb, Instandhaltung“
- VDI 6022 Blatt 7.1 „Branchenspezifische Leitfäden - Abfallbehandlungsanlagen“

In der VDI-Richtlinie 2087 „Luftleitungssysteme – Bemessungsgrundlagen“ werden die Bemessungsgrundlagen für den Lufttransport und die Luftverteilung behandelt. Aus dem ILK Dresden unterstützt Herr Dr. Hackeschmidt die Überarbeitung dieser Richtlinie. Darin werden Angaben zur konstruktiven Ausbildung der Luftleitungsnetze gemacht sowie schall-, wärme- und brandtechnische Hinweise gegeben. Die nach neuesten Erkenntnissen notwendige Luftqualität im Aufenthaltsraum wird durch die Reinheit der Zuluftwege mitbeeinflusst. Deshalb wird auch auf die Abnahme, die Inspektion und die Reinigung der Luftleitungssysteme eingegangen.

Weiterhin wurde durch Dr. Safarik an der Richtlinie VDI 6018 „Kälteversorgung in der Technischen Gebäudeausrüstung - Planung, Bau, Abnahmeprüfung, Betrieb, energetische Bewertung“ mitgewirkt. Diese Richtlinie befasst sich mit der Kälteversorgung von Gebäuden zur Raumkühlung. Wohngebäude, für die ein zunehmender Bedarf an energieeffizienten Kühlsystemen gesehen wird, sind ausdrücklich eingeschlossen.

Nicht zum Anwendungsbereich zählen dagegen Anlagen zur Lebensmittelkühlung z. B. in Supermärkten, Kühl- oder Tiefkühlräume sowie Anlagen zur Prozesskühlung.

Die Richtlinie VDI 3814 Blatt 2 „Gebäudeautomation (GA) - Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln“ wird unter Mitarbeit von Herrn Rogge erarbeitet. Die Richtlinie gilt für Einrichtungen, Software und Dienstleistungen zur automatischen Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie zur Bedienung und dem Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung (Gebäudeautomation). Es listet hierzu die mitgeltenden Gesetze, Verordnungen und Technische Regeln, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, auf.

An der VDI 2078 „Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln)“ hat Herr Seifert mitgearbeitet. Diese Richtlinie dient der Bestimmung der Kühllast, der Raumlufttemperatur und der operativen Raumtemperatur für Räume aller Art mit und ohne Klimatisierung unter Berücksichtigung aller relevanten das thermische Raumverhalten beeinflussenden Parameter. Anlagenteile, die das thermische Verhalten des Raums beeinflussen, wie maschinelle oder natürliche Lüftung und Flächenheizung oder -kühlung, sind integraler Bestandteil des Rechenverfahrens und müssen nicht mehr über Näherungsverfahren bestimmt wer-



den. Das Verfahren ist gegenüber der Vorgängerausgabe wesentlich verbessert und erweitert worden, z. B. um die Kopplung zwischen thermischer Berechnung, Betriebsweise, aktiven Anlagenkomponenten und Regelstrategien. Desweiteren erfolgt eine Erweiterung und Ergänzung der verwendbaren Wetterdaten und der Anwendungsbereich auf alle Gebäudearten mit und ohne RLT-Anlagen, Bauteilkühlung und Fenster-

lüftung. Letztere erlaubt u. a. die Berechnungen zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes. Der Rechenkern zur VDI 2078 ist in VDI 6007 Blatt 1 beschrieben, das Fenstermodell in VDI 6007 Blatt 2 liefert bisher fehlende Angaben zum Sonnenschutz.



### Vortragsveranstaltungen DKV, Bezirksverein Sachsen

---

- |            |   |
|------------|---|
| 03.02.2014 | Isentroper Gütegrad, Liefergrad und Leistungszahl von Kältemittel-Verdichtern - Auswertung von Verdichterleistungsmessungen |
| 17.02.2014 | Magnetokalorische Kühlung nahe Umgebungstemperatur - Technologie, Entwicklungsbedarf und Perspektiven                       |
| 17.03.2014 | Nutzung von Abwärme in Eisstadien - Energieeffizienzverbesserung von Eissportanlagen  |
| 15.04.2014 | Nationale Kältemittlemissionen<br>(Gemeinsame Veranstaltung der BVs Sachsen), Halle   |
| 12.05.2014 | Praxisbericht Diagnosetechnologie an Kälteanlagen ohne kommunizierendes Regelsystem   |
| 23.06.2014 | Exkursion: SupraTrans II - Fahrversuchsanlage   |
| 15.09.2014 | Energieeffizienz von Ventilatorsystemen in Klimaanlage  |

10.11.2014	Monitoring von Kälteanlagen
08.12.2014	Würdigung Prof. Jungnickel anlässlich 100. Geburtstag

### **Messebeteiligung**

---

14. - 16.10.2014	Chillventa 2014, Nürnberg
------------------	---------------------------

### **Kolloquien / Seminare / Veranstaltungen**

---

28.01.2014	Projekttreffen „MWTplus - Hocheffiziente kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-Wrap-Through-Technik
31.03.2014	Technologie Meeting LG Technology Center Europe / ILK
08.05.2014	Sitzung BWP - Gütesiegelkommission, Bundesverband Wärmepumpe, Deutsche Gütesiegelkommission
22.05.2014	21. Innovationstag Mittelstand des BMWi, Berlin
02./03.06.2014	CEN/TC 156 WG 21 meeting
10. - 11.06.2014	13. Überwachungsaudit DIN EN ISO 9001:2008, TÜV Management Süd
19./20.06.2014	Netzwerktreffen EEN Mitte
14. - 18.07.2014	Meeting GREE / ILK
18.07.2014	ILK-Sommerfest anlässlich 50-jähriges Jubiläum des ILK mit den ILK-Senioren
24. - 26.09.2014	GLT-Anwendertagung „Sichere Gebäudeautomation im Umfeld der Energiewende“
19. - 21.11.2014	DKV-Tagung, Düsseldorf
12.12.2014	ILK-Jahresabschlussveranstaltung

### GLT-Anwendertagung

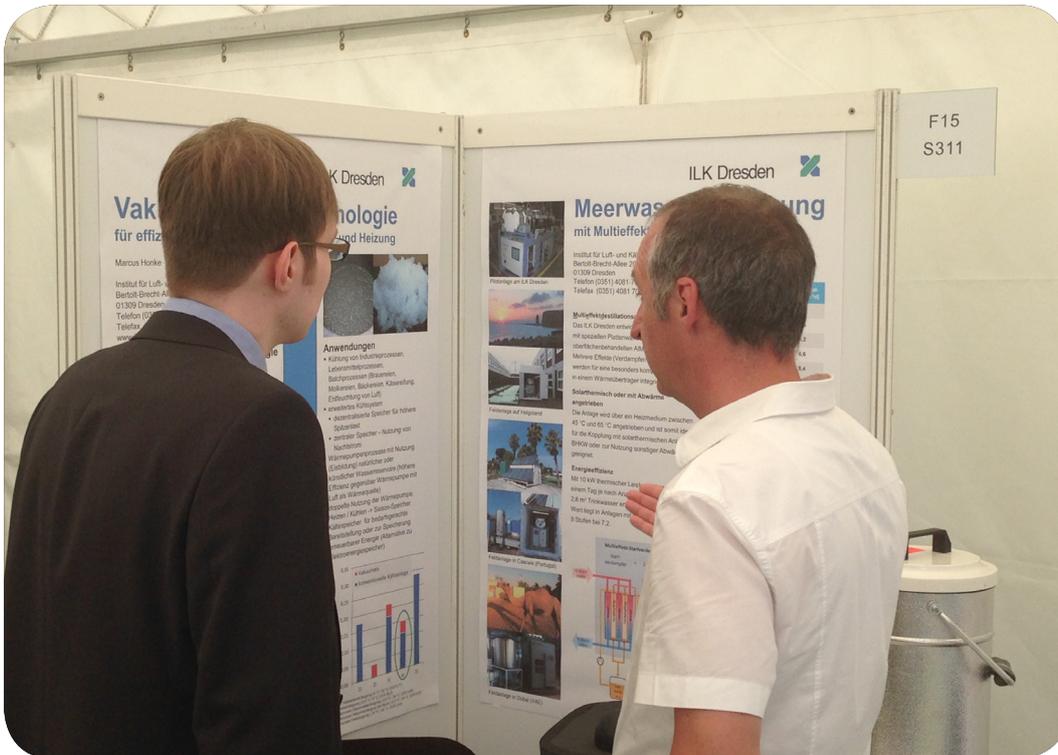


Vom 24. bis 26. September fand in Dresden die 28. GLT-Anwendertagung statt, ausgerichtet von der Technischen Universität Dresden und dem Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK), Dresden. Die GLT-Anwendertagung ist die führende Veranstaltung für Gebäudeautomation und Facility Management in Deutschland. Seit mehr als 25 Jahren treffen sich jährlich Betreiber großer Liegenschaften, darunter zahlreiche Universitäten und Hochschulen, Kliniken, Großflughäfen und Messgesellschaften zum Erfahrungsaustausch zu Themen der Gebäudeautomation und des Gebäudemanagements. Das diesjährige Motto lautete „Sichere Gebäudeautomation im Umfeld der Energiewende“. Eine mit 270 Anmeldungen ausgebuchte Veranstaltung, ein Fachpu-

blikum, das sich vor allem aus Betreibern, Herstellern, Errichtern und Fachplanern zusammensetzte, 20 halbstündige, größtenteils hoch interessante Vorträge an drei Tagen, eine Exkursion zur Dresdner Frauenkirche (als Vertiefung eines spannenden Vortrags) sowie eine packende Podiumsdiskussion mit reger Beteiligung aus dem Fachpublikum zum Thema „Wie sicher sind moderne Gebäudeautomationssysteme - wie sicher muss Gebäudeautomation sein?“ Eine „Muss“-Veranstaltung für jeden Tätigen im GA-Bereich. Tagungsort war der Hörsaal im Potthoff-Bau an der TU Dresden sein. Die nächste Veranstaltung findet vom 7. bis 9. Oktober 2015 in Frankfurt statt.



ILK beim BMWi-Innovationstag in Berlin



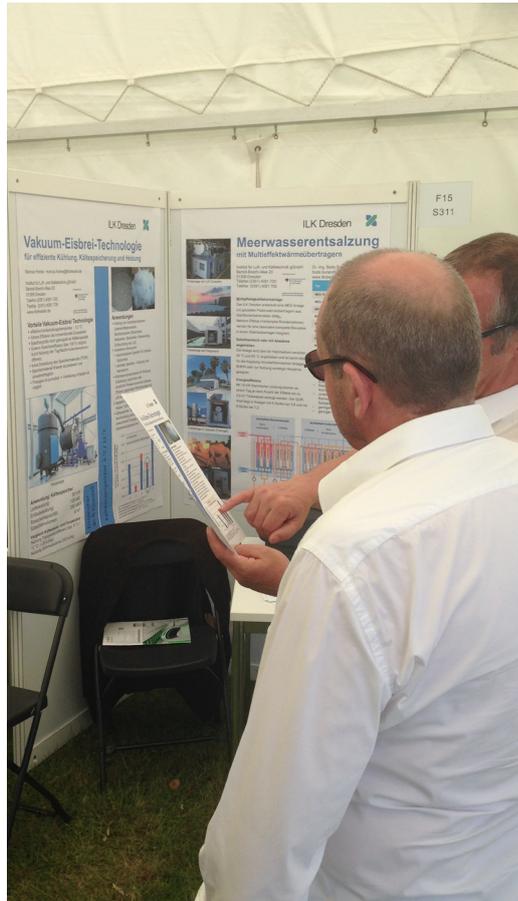
Auch im Jahr 2014 beteiligte sich das ILK am BMWi-Innovationstag in Berlin, wo auf dem Gelände der AIF Projekt GmbH die jährliche Leistungsschau des Mittelstands stattfand.

Das ILK konnte mit der „Ice Slurry“-Technologie sowie der thermischen Meerwasserentsalzung zwei seiner Spitzentechnologien präsentieren. Dr. Burandt und Herr Rose hatten dabei Gelegenheit, die Vorteile angewandter Energietechnik zu präsentieren.

Bei sommerlichen Temperaturen sorgte der mitgebrachte Eisbrei auch für so manche

Erfrischung nebst Demonstrationszwecken. Das BMWi zählt mit seinen Förderprogrammen ZIM und InnoKom-Ost zu den wichtigsten Förderern des ILK im Segment der ÖH-Projekte.

Am 22. Mai 2014 trafen sich auf dem Freigelände in Berlin-Pankow innovative kleine und mittlere Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Kooperationsnetzwerke aus ganz Deutschland, um neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen zu präsentieren, deren Entwicklung mit Unterstützung des Bundes möglich wurde.



Die Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie und Beauftragte der Bundesregierung für die neuen Bundesländer, für Mittelstand und Tourismus, Iris Gleicke, MdB, eröffnete die Veranstaltung bei bestem Wetter.

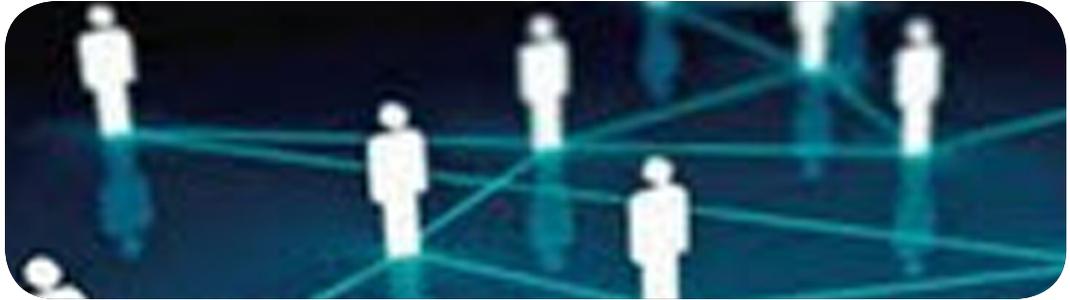
Die Leistungsschau „im Grünen“ gab den über 350 Ausstellern und ca. 1.700 Besuchern aus ganz Deutschland Gelegenheit zum regen fachlichen Gedankenaustausch sowie zu Gesprächen mit Vertretern aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft.

Ergebnisse aus rund 200 Forschungs- und Entwicklungsprojekten verdeutlichten das breite Spektrum der technologieoffenen Innovationsförderung des BMWi. Anziehungspunkte waren neben den Exponaten auch Fachvorträge zum unternehmerischen Innovationsmanagement und moderierte Projektpräsentationen.

Im Rahmen des Innovationstages Mittelstand überreichte Staatssekretärin Gleicke vier Unternehmen für herausragende wirtschaftliche Projektergebnisse die diesjährigen ZIM-Preise.



## VERBÄNDE UND ORGANISATIONEN



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

Verband Innovativer Unternehmen

---

International Institute of Refrigeration

---

Forschungsrat Kältetechnik e. V.

---

Fachverband Gebäude-Klima e. V.

---

Verband Beratende Ingenieure

---

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.

---

ZVKKW Zentralverband Kälte Klima Wärmepumpen e. V.

---

Green Chiller Association for Sorption Cooling e. V.

---

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

---

Gesellschaft für Aerosolforschung e. V.

---

Gesellschaft für Thermische Analyse e. V.

---

Sächsische Industrieforschungsgemeinschaft e. V.

---



Kade, A.; Spörl, G.; Kuhn, M.; Schildbach, T.; Schneider, M.; Karl, C.; Klier, J.  
[Entwicklung innovativer Kryostate](#)  
Eingeladener Vortrag, PTB Berlin, Berliner Tieftemperatur-Kolloquium 11.02.2014

---

Kade, A.; Schneider, M.; Spörl, G.  
[Cryogenics for HTS-Applications](#)  
Eingeladener Vortrag - TU Ilmenau, 04.03.2014

---

Kade A.; Karl C.; Klupsch M.; Schildbach T.; Schneider M.; Spörl G.  
[Development of New Non-Metallic Cryostats for Liquid Helium and Nitrogen](#)  
13th Cryogenics 2014 in Prag, 7. bis 11. April 2014

Kretschmer, R.; Hillig, S.; Heidingsfelder, J.; Reinsch, H.  
[Tailor-made Biomaterial Scaffolds for Medicine, Cell Culture and In-vitro Diagnostics](#)  
Pitch Presentation at the Bionection, Dresden, 7. bis 8.10.2014, Center for Regenerative Therapies Dresden

---

Spörl, G.; Wittenburg, G.  
[Die Entwicklung von Kryoprotokollen mit einem GMP-gerechten Handling-System für die Kryokonservierung in Biobanken](#)  
3. Nationales Biobanken-Symposium Berlin 3. bis 4.12.2014

---

Grossmann B.; Gust N.; Rackow S.; Schmidt D.; Spörl G.; Tumpach, W.  
[Development of Special Hardware for Cold Treatment of Biological Material](#)  
13th Cryogenics 2014 in Prag, 7. bis 11. April 2014

---

Spörl, G.  
[Kryotechnik für die Medizin](#)  
Eingeladener Vortrag an die Universität Gießen, Veterinärmedizin, 28.4.2014

---

Hempel, O.  
[Kälte- und Wärmepumpentechnik im ILK Dresden](#)  
Netzwerktreffen EEN Mitte, Dresden 19.06.2014

---

Röllig, P.  
[Entwicklung eines Mini-Channel-Verdampfers](#)  
DKV-Tagung, Düsseldorf, 19. bis 21.11.2014

---

Röllig, P.  
[Kältetechnik Vorlesungsreihe an der Berufsakademie Sachsen – Staatliche Studienakademie Riesa](#)  
April bis Dezember 2014

---

Paatzsch, R.  
[Energieeffizienz in der Kältetechnik](#)  
Netzwerktreffen EEN Mitte, Dresden 19.6.2014

---

Noack, R.  
[Wärmepumpenprüfung im Zeichen der Eco-Design-Richtlinie](#)  
Messe Chillventa in Nürnberg, 15.10.2014

---

Franzke, U.  
[Klimatechnik](#)  
Vorlesungsreihe an der HTW Dresden Dresden, Oktober 2014 – Februar 2015

---

Franzke, U.  
**Energieeffizienz raumluftechnischer Anlagen**  
 2. TGA-Fachgespräch der caverion –  
 Niederlassung Leipzig/Halle, Leipzig,  
 11.3.2014

---

Franzke, U.  
**Energieeinsparung bei der Sanierung von RLT-Anlage**  
 Berliner Energietage 2014, Vortrag Rahmen FGK „Energieeffiziente Lüftungstechnik – Voraussetzung für nachhaltige Gebäude, Berlin, 20.05.2014

---

Franzke, U.  
**Podiumsdiskussion auf Messe „Energie Sachsen“**  
 Chemnitz, 22.05.2014

---

Franzke, U.  
**Cooling Loads – the new standard VDI 2078**  
 REHVA – Conference 2014 „Energy-efficient, smart and healthy buildings“, Düsseldorf, 30.4.2014

---

Franzke, U.  
**Neue Anforderungen an die Lüftungs- und Klimatechnik**  
 Fachgespräche TGA der HTWK Leipzig, 6. Kolloquium, Leipzig, 3.6.2014

---

Franzke, U.  
**Produkt- und Anlagenzertifizierung nach VDI 6022 - Wo ist die Krux?**  
 Klima-Tag des Fachverbandes Gebäude-Klima e.V., Berlin, 26.6.2014

---

Franzke, U.  
**VDI 2078 Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI- Kühllastregeln)**  
 Vortrag auf Forum „consense“, Intern. Fachmesse und Kongress für nachhaltiges Bauen, Investieren und Betreiben, Stuttgart, 2.7.2014

---

Franzke, U.  
**Sichere Gebäudeautomation im Umfeld der Energiewende**  
 Auftaktvortrag auf GLT-Anwendertagung 2014, Dresden, 24.9.2014

---

Franzke, U.  
**Anforderungen an die TGA im Hochhausbau**  
 Inputvortrag auf Kick-off-Veranstaltung zum VDI-Wettbewerb Integrale Planung „Energieeffizientes Hochhaus“ der FH Düsseldorf Düsseldorf, 7.11.2014

---

Franzke, U.  
**Nachhaltigkeit beim Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen**  
 Sächsisches Fachsymposium ENERGIE 2014 der SAENA Sächsische Energieagentur GmbH, Dresden, 1.12.2014

---

Rogge, R.  
**GLT-Anwendertagung 2014**  
**„Sichere Gebäudeautomation im Umfeld der Energiewende“**  
 Tagungsorganisation und Moderation der Tagung vom 24. bis 26.9.2014 mit dem Themenschwerpunkt „Sichere Gebäudeautomation im Umfeld der Energiewende“ in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden, Tagungsort: Hörsaal im Potthoff-Bau an der TU Dresden

---

Buschmann, M.  
Thermal performance of thermosyphons  
employing nanofluids  
13th International Conference on Simulation and Experiments in Heat Transfer and its Applications, 02.07.2014, Coruna (Spanien)

---

Buschmann, Matthias  
Complex Model of Thermal Conductivity of Nanofluids  
ECTP 2014 – European Conference on Thermophysical Properties, 02.09.2014; Porto (Portugal)

---

Krause, R.  
Lärmschutz in Bezug auf Mobilität und regenerative Energien  
23. Internationalen Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, 5. - 6. November 2014

---

Hackeschmidt, K.  
Lehrveranstaltung „Strömungsmechanik“  
Übungsseminarreihe an der TU Dresden, April bis August 2014

---

Hantsch, A.  
Energy Calculation of Air-Conditioning Systems  
invited talk at EVIA Workshop on EPBD mandate, Brussels, 22.5.2014

---

Mai, R.  
Chancen der Energetischen Inspektion für den Betreiber  
GLT-Anwendertagung, Dresden, 24.9.2014

---

Mai, R.  
Energetische Inspektion von Klimaanlage nach EnEV §12  
BTGA-Seminarveranstaltung  
Hamburg, 13.2.2014  
München, 3.4.2014  
Berlin, 12.6.2014  
Frankfurt, 25.9.2014

---

Birnbaum, T.  
Hochleistungsfilter für die Luftreinhaltung – Möglichkeiten und Grenzen  
4. ULT- Symposium „Lufttechnik für neue Technologien“, Löbau, 14./15.5.2014

---

Heidenreich, R.  
Improvement of gas cleaning in non-ferrous metal production by new filter techniques based on nonwoven assembly  
Air Pollution 2014, Opatija (Kroatien), 9.7.2014

---

Birnbaum, T.  
1.BImSchV–Anlagen- Anforderungen an den Emissionsschutz sowie Anwendung im Zusammenhang mit Kraft-Wärme-Kopplung  
Tagung Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Dresden, 4./5.9.2014

---

Heidenreich, R.  
Bestimmung der Abscheideleistung von Filternden Abscheidern mit moderner Partikelmesstechnik  
28. PALAS- ATS 2014, Karlsruhe, 13./14.10.2014

---

Heidenreich, R.  
Hochleistungsfilter für die Luftreinhaltung  
LIAN Kolloquium Energie- & Umwelttechnik WHZ, Zwickau, 5. November 2014

---

Heidenreich, R.

Messtechnik zur Bewertung der Raumluftqualität, Planung und Herstellung von RLT-Anlagen, Fehler beim Betrieb, Anwendung der Checkliste

Lehrgang: VDI-geprüfter Fachingenieur RLQ, Dresden, 18.-21.11.2014

---

Feja, S.; Buschmann, M.H.

Complex Model of thermal Conductivity of Nanofluids

Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale V, Marseille, 22.-26.4.2014.

---

Feja, S.; Buschmann, M.H.; Meyer, A.; Potthoff, A.

Complex Model of thermal Conductivity of Nanofluids

ECTP2014 - 20th European Conference on Thermophysical Properties, Porto, 31.8.-4.9.2014

---

Feja, S.

Determination of the thermal conductivity of gases with a ring gap apparatus

ECTP2014 - 20th European Conference on Thermophysical Properties, Porto, 31.8.-4.9.2014

---

Feja, S.; Pätzold, B.; Richter, L.; Steiner, U.  
Erhöhung der Lebenszeit von LiBr - Absorptionskälteanlagen – Entwicklung eines Testverfahrens für neuartige Korrosionsinhibitoren

Deutsche Kälte- und Klimatagung 2014, Düsseldorf, 19. – 21.11.2014

---

Feja, S.; Hanzelmann, C.; Zimmermann, D.  
Der dielektrische Verlustfaktor von Kältemitteln und Kältemittel-Öl Gemischen – Messung, Standardisierung, Interpretation und Aussagekraft

Deutsche Kälte- und Klimatagung 2014, Düsseldorf, 19. – 21.11.2014

---

Waschull, J.

Kühlung mit Photovoltaik – Beispiele und Chancen

Workshop „Die Auswirkungen der Neugestaltung des weltweiten Strommarktes auf Sub-Sahara Afrika“, Wipro GmbH, Dresden, 1.12.2014

---

Honke, M.

ILK Vakuum-Eisslurry-Technologie für effiziente Kühlung, Kältespeicherung und Heizung

Vortrag am 18.6.2014, Einweihung VESS WHS in Zwickau

---

Honke, M.

Energieeffiziente Erzeugung von Vakuum-Eisslurry auf Basis der Technologie Wasser als Kältemittel

Vortrag am 19.6.2014, TU Dresden, DKV-Regionalveranstaltung

---

Honke, M.

Flüssigeiserzeugung durch Direktverdampfung – Kältespeicherung und andere Anwendungen

Vortrag am 9./10. September 2014, 2. VDI Konferenz, Düsseldorf

---

Honke, M.; Safarik, M.

Flüssigeiserzeugung durch Direktverdampfung – Kältespeicherung und andere Anwendungen

Vortrag 10/2014, TU Dresden Kältetechnisches Kolloquium, Dresden

---

Safarik, M.

Efficient cooling and cold storage using ice slurry

Vortrag, KIC InnoEnergy Matchmaking Event, 23.3. 2014, Amsterdam

---

Safarik, M.  
KWKK - Funktionsprinzipien und aktuelle  
Technologieentwicklungen  
Vortrag, Fachseminar Kraft-Wärme-Kälte  
Kopplung in Rechenzentren des B.KWK,  
28.02.2014, Siegen

---

Safarik, M.; Honke, M.  
Introduction to vacuum freezing ice slurry  
technology  
Vortrag, Research to Business Meeting:  
New developments for cold storage,  
30.1.2014, Oberhausen

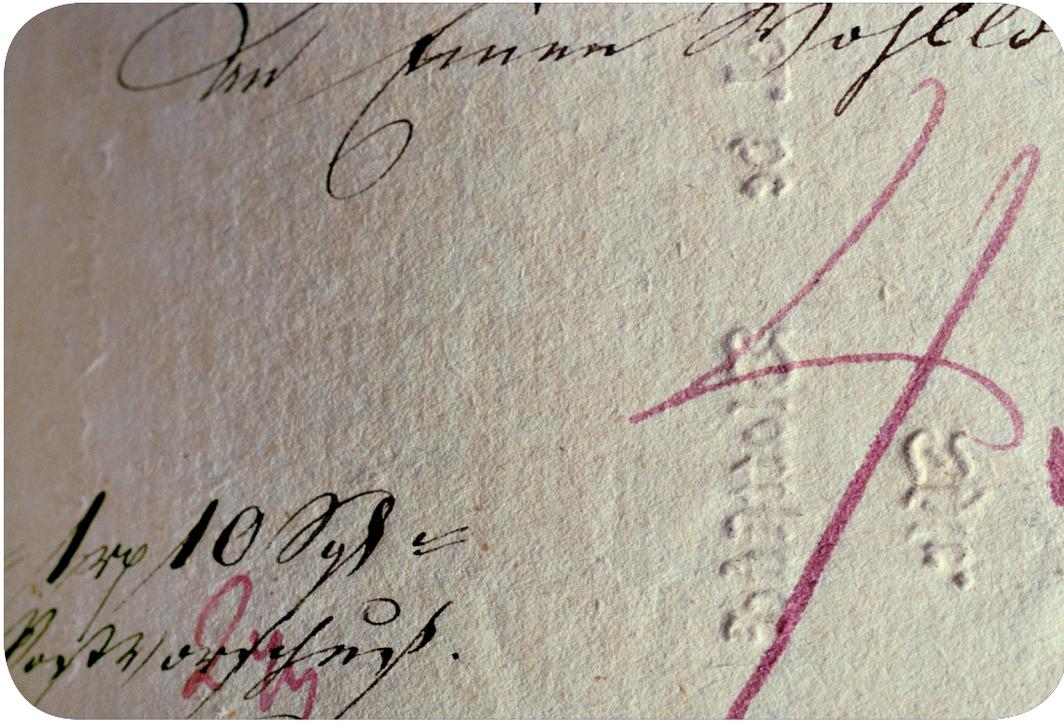
---

Richter, L.  
Absorptionskälte – Potenziale und neueste  
Entwicklungen  
Vortrag, 11. Netzwerktreffen Energieeffizi-  
enznetzwerk Mitte, 19./20.6.2014, Dresden

---

Honke, M.; Safarik, M.  
Flüssigeiserzeugung durch Direktver-  
dampfung / Kältespeicherung und andere  
Anwendungen  
46. Kraftwerkstechnischen Kolloquium  
14./15.10.2014 im Kongresszentrum  
Dresden

---



Kade A.; Karl C.; Klupsch M.; Schildbach T.; Schneider M.; Spörl G.  
[Development of New Non-Metallic Cryostats for Liquid Helium and Nitrogen](#)  
Proceedings of the 13<sup>th</sup> Cryogenics 2014, p. 255-260

---

Grossmann B.; Gust N.; Rackow S.; Schmidt D.; Spoerl G.; Tumpach, W.  
[Development of Special Hardware for Cold Treatment of Biological Material](#)  
Proceedings of the 13<sup>th</sup> Cryogenics 2014, p. 189-194

---

Reinsch, H.; Spadiut, O.; Heidingsfelder, J.; Herwig, C.  
[Examining the freezing process of an intermediate bulk containing an industrially relevant protein](#)  
Enzyme and Microbial Technology 71 13–19 (2015)

---

Spörl, G.; Reinsch, H.; Klingner, E.; Quinger, J.  
[Poster: System for the cryogenic long-time storage of biological tissue](#)  
Bionection, Dresden, 7. bis 8.10.2014, Center for Regenerative Therapies Dresden

---

Kretschmer, R.; Hillig, S.; Heidingsfelder, J.; Reinsch, H.  
[Poster: Tailor-made Biomaterial Scaffolds for Medicine, Cell Culture and In-vitro Diagnostics](#)  
Bionection, Dresden, 7. bis 8.10.2014, Center for Regenerative Therapies Dresden

---

Heidingsfelder, J.; Spadiut, O.; Kiesewetter, A.; Reinsch, H.  
[Poster: Prediction of Product Loss in Pharmaceutical Freezing](#)  
Bionection, Dresden, 7. bis 8.10.2014, Center for Regenerative Therapies Dresden

---

Spörl, G.; Heidingsfelder, J.; Reinsch, H.  
[Poster: Development of cryoprotocols and tools for cryo-biobanking of tissues](#)  
ESBB Leipzig 22. bis 24.10.2014

---

Franzke, U.  
[Sorptionsgestützte Klimatisierung](#)  
Recknagel, Sprenger, Albers  
Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Band 2; Kapitel 3.3.3.3.2, Seite 1608 – 1611

---

Franzke, U.  
[Innenraumlufthqualität und Hygieneanforderungen an die Raumlufthtechnik in Gebäuden](#), Beuth - Verlag  
Achim Keune, Erdverlegte Komponenten von RLT-Anlagen, Kapitel 8.11, Seite 304 -310

---

Franzke, U.  
[Vorwort Integrale Planung der Gebäudetechnik](#)  
Heidemann, Kistemann, Stolbrink, Kasperkowiak, Heikrodt

---

Bothe, F.; Friebe, C.; Heinrich, M.; Schwarze, R.  
[CFD-Simulation of isothermal Turbomachinery - A Comparison of Results from ANSYS FLUENT and OPENFOAM](#)  
ASME Turbo Expo 2014: Power for Land, Sea and Air, GT2014, Düsseldorf, DOI: 10.1115/GT2014-26338

---

Friebe, C.; Buschmann, M.H.; Resagk, C.  
[Transient velocity-temperature correlation in the near-wall region of lazy plume over horizontal surface](#)  
The International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon 2014  
[http://ltces.dem.ist.utl.pt/lxaser/lxaser2014/finalworks2014/papers/04.6\\_4\\_73paper.pdf](http://ltces.dem.ist.utl.pt/lxaser/lxaser2014/finalworks2014/papers/04.6_4_73paper.pdf)

---

Krause, R.; Friebe, C.

[Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte](#)

23. Internationale Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, DOI: 10.13140/2.1.1127.1366

<https://www.researchgate.net/publication/267925020>

---

Buschmann, M.H.; Feja, S.; Meyer, A.; Potthoff, A.

[Thermal performance of thermosyphons employing nanofluids](#)

---

Colla, L.; Fedele, L.; Buschmann, M.H.

[Mixed laminar convection of TiO<sub>2</sub>-water nanofluid in horizontal pipe flow](#)

Proceedings ECTP14, Sep. 2014, Porto, Portugal

<http://ectp2014.fc.up.pt/>

---

Grab, T.; Buschmann, M.H.

[Thermal performance of thermosyphons employing nanofluids](#)

Proceedings 13th International Conference on Simulation and Experiments in Heat Transfer and its Applications, La Coruna, Spain

<http://www.wessex.ac.uk/14-conferences/heat-transfer-2014.html>

---

Grab, T.; Gross, U.; Franzke, U.;

Buschmann, M.H.

[Operation performance of thermosyphons employing titania and gold nanofluids](#)

Int.J. Therm. Sci. 86 (2014) 352-364,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.06.019>

---

Buschmann, M.H.; Franzke, U.

[Improvement of thermosyphon performance by employing nanofluid](#)

Int. J. Refrigeration 40 (2014) 416-428,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.11.022>

---

Buschmann, M.H.; Hackeschmidt, K.

[Nanofluide – Herausforderung für Strömungsmechanik und Thermodynamik](#)

J. Fröhlich, S. Odenbach, K. Vogeler (Hrsg.). Strömungstechnische Tagung 2014 Schriftenreihe aus dem Institut für Strömungsmechanik, Band 10, TUDpress, Dresden, 2014. S.345 bis 351

---

Heinrich, C.; Wittig, S.; Albring, P.;

Richter, L.; Safarik, M.; Böhm, U.;

Hantsch, A.

[Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie](#)

Studie für das Bundesumweltamt, 2014, Nr. 25, S.1-228,

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-kaelteversorgung-in-deutschland-an-den>

---

Hantsch, A.; Reis, T.; Groß, U.

[Moment method boundary conditions for multiphase lattice Boltzmann simulations with partially-wetted walls](#)

Journal of Computational Multiphase flow

---

Mai, R.; Hartmann, T.

[Cooling of residential buildings in Germany – prospect or dead end?](#)

REHVA journal Ausgabe 01/2014

---

Mai, R.  
Chancen und Potentiale der Energetischen  
Inspektion bleiben ungenutzt  
Sanitär- und Heizungstechnik Heft 3  
März/2014 S. 82ff

---

Rosenbaum, H.  
Membran-Kühldecke mit kondensatfreier  
Luftentfeuchtung – Messtechnische Analyse  
einer ersten Pilotanwendung dezentraler  
Flüssigsorptionsprozesse  
KI Kälte Luft Klimatechnik Heft 3  
März/2014 S. 26ff

---

Rosenbaum, H.  
Dezentrale Flüssigsorption am Beispiel einer  
Membrankühldecke – Messtechnische  
Analysen zu Voraussetzungen, Einsatzpotential  
und Einsatzgrenzen  
tab Heft 5/2014 S. 62f

---

Heidenreich, R.  
Improvement of gas cleaning in non-ferrous  
metal production by new filter techniques  
based on nonwoven assembly  
The Sustainable City IX Vol.2/WIT press,  
(Zeitschrift) Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton,  
SO40 7AA, UK (Verlag)  
ISBN: 978-1-78466-024-6, Seite 1545

---

Germanus, J.; Günther, S.  
Kohlendioxid als Kältemittel zur  
Kleingeräte Kühlung  
KI Kälte-Luft-Klimatechnik, 10/2014,  
S. 54-58

---

Waschull, J.; Müller, R.;  
Hernschier, W.; Künanz, R.  
Cold storage devices for smart  
grid integration  
Energy Procedia Vol. 46, 2014, S. 48-57  
doi:10.1016/j.egypro.2014.01.157

---

Safarik, M.; Honke, M  
Poster: Vakuumeistechnologie  
Workshop: „Wirtschaftliche Anwendung  
innovativer Energietechnologien im kommunalen  
Bereich“ von Energy Saxony e.V. und der  
Landeshauptstadt Dresden,  
27.10.2014, Dresden

---

Safarik, M.  
Poster: LuSoKa – Luftgekühlte Sorptions-  
kälteanlage zur solaren Klimatisierung  
EnOB-Symposium 2014 Innovationen in  
Neubau und Sanierung, 20./21.03.2014,  
Essen

---

Heinrich, C.  
Sustainable cooling supply for building air  
conditioning and industry in Germany  
GIZ Proklima Expert's Day at Chillventa,  
15. Oktober 2014

---



## Kryotechnik und Tieftemperaturenphysik

Trommler, G.

Auswahl einer Rührerbauform für die experimentellen Untersuchungen im Rahmen des Projekts DIVA - AP3.2

ILK-B-1-14-255

---

Schneider, M.; Arndt, J.; Katterwe, S. O.; Zerweck-Trogisch, U.

Sachbericht: Kompakte und modulare Kühlsysteme für Temperaturen bis in den Millikelvin-Bereich

ILK-B-1-14-264

---

Großmann, B.; Heidingsfelder, J.; Tippmann, S.

Schlussbericht: Vorlauftorschungs-Vorhaben - Kombination thermischer und fluidischer Stofftrennverfahren zur effizienten Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Abgasen

ILK-B-1-14-260

---

Zerweck-Trogisch, U.; Schoepe, F.; Schneider, M.; Schroeder, G.

4. Zwischenbericht: Untersuchungen zur magnetokalorischen Kühlung im Leistungsbereich der Kälte- und Kfz-Klimatechnik

ILK-B-1-14-257

---

Heidingsfelder, J.

Abschlussbericht: Entwicklung von 3D Kollagen-Trägermaterialien für Zellkultursysteme

ILK-B-1-14-251

---

Zerweck-Trogisch, U.; Kaiser, G.

Abschlussbericht: Modellmuster Wärmekraftmaschine

ILK-B-1-14-242

---

Großmann, B.; Spörl, G.

Sachbericht: Entwicklung eines kryochirurgischen Gerätesystems mit LN<sub>2</sub>-Versorgung für die Veterinärmedizin - KryoVet Teilvorhaben: Entwicklung der kryotechnischen Grundlagen für die Komponenten des kryochirurgischen Gerätesystems

ILK-B-1-14-241

---

Trommler, G.

Kriterien für optimale Strömungsverhältnisse für die Funktion und Wirkung von mechanischen Rührwerken im Rahmen des Projekts DIVA - AP3.1

ILK-B-1-14-237

---

Schroeder, G.; Kaiser, G.; Klupsch, M.

1. Zwischenbericht: Mobil einsetzbarer einstufiger Pulse-Tube-Kühler mit Hermetikverdichterantrieb

ILK-B-1-14-235

---

Schneider, M.

Kompakte und modulare Kühlsysteme für Temperaturen bis in den Millikelvin-Bereich

ILK-B-1-14-232

---

Großmann, B.

1. Zwischenbericht: Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger

ILK-B-1-14-231

---

Zerweck-Trogisch, U.; Kaiser, G.; Schneider, M.; Schroeder, M.

3. Zwischenbericht: Untersuchungen zur magnetokalorischen Kühlung im Leistungsbereich der Kälte- und Kfz-Klimatechnik

ILK-B-1-14-228

---

Trommler, G.; Kuhn, M.

1. Zwischenbericht: Entwicklung einer kryogenen Rankine-Anlage als innovative Komponente für Energiespeichersysteme

ILK-B-1-14-230

---

Spörl, G.

1. Zwischenbericht: System zur Vitrifikation von Blut und Blutbestandteilen ohne Zusätze

ILK-B-1-14-221

Großmann, B.; Kuhn, M.; Klupsch, M.  
Abschlussbericht: Wachstumskern POLAR - VP2: LNG-Anlagen und Tank-peripherien  
ILK-B-1-14-220

Großmann, B.; Kuhn, M.; Klupsch, M.  
Erfolgskontrollbericht: Wachstumskern POLAR - VP2, LNG-Anlagen und Tank-peripherien  
ILK-B-1-14-227

Heidingsfelder, J.

1. Zwischenbericht: Innovatives Charakterisierungs- und Optimierungsverfahren eines Final / Intermediate Bulk Freezing-prozesses

ILK-B-1-14-226

Reinsch, H.

1. Zwischenbericht: Modellgestützte Verarbeitung von Biopolymeren

ILK-B-1-14-225

Heidingsfelder, J.

Zwischenbericht: Entwicklung von 3D Kollagen-Trägermaterialien für Zellkultursysteme

ILK-B-1-14-224

### Kälte- und Wärmepumpentechnik

Edler, C.; Böhm, M.

Temperierung von Elektromobilen

ILK-B-2-14-1375

Müller, M.; Bratanitsch, K.; Leupolt, H.

Entwicklung NH<sub>3</sub>-Modul für WÜ-Prüfstand

ILK-B-2-14-1325

Paatzsch, R.

Entwicklung eines Prüfstandes für CO<sub>2</sub>-Verdichter bis 350 kg/h Massestrom

ILK-B-2-14-1409

Müller, M.

Sachbericht: Kälteanlagen mit Low-GWP-Kältemitteln

ILK-B-2-14-1406

Illgen, A.; Hauptmann, J.

Zentrifugenprüfungen zur Bewertung von Anti-Eisoberflächen Teil 3

ILK-B-2-14-1389

Edler, C.

Prüfprogramme zur Schadensanalyse von Verdichtern - Modul 2: Zwei Verdichter im Neuzustand; Ergebniszusammenfassung

ILK-B-2-14-1407

Müller, M.

Schnittstellendokumentation zu Simulationsbausteinen für Wäschetrockner als DLL

ILK-B-2-14-1393

Hempel, O.

Beurteilung des Zustandes von Kälteanlagen - Werk 7

ILK-B-2-14-1391

Paatzsch, R.

Erweiterung TEWI-Berechnung für drei unterschiedliche Kühlkonzepte eines Supermarktes um R290

ILK-B-2-14-1392

Paatzsch, R.

Ergebnisse Vorplanung Großwärmepumpe Johanniter-Krankenhaus Stendal

ILK-B-2-14-1356

Müller, M.

Dokumentation und Programmbeschreibung zum WÜ-Simulationstool

ILK-B-2-14-1376

- Peusch, A.  
Untersuchungen an einer leistungsgeregelten Luft-Wasser Wärmepumpe nach EHPA Version 1.6  
ILK-B-2-14-1367
- 
- Peusch, A.  
Schallmessungen nach dem Intensitätsverfahren an einer Luft/Wasser Wärmepumpe  
ILK-B-2-14-1362
- 
- Böhm, M.  
Schlussbericht: Entwicklung einer gasmotorisch angetriebenen Heizwasser-Wärmepumpe (GMWP); Thermodynamisch - hydraulische und Systemuntersuchungen an der Gasmotor-Heizwasser-Wärmepumpe (GMWP-T)  
ILK-B-2-14-1337 AB
- 
- Noack, R.; Peusch, A.  
EHPA-Prüfung an einer Luft/Wasser Wärmepumpe - Level 1 Report  
ILK-B-2-14-1353
- 
- Noack, R.; Peusch, A.  
Level 2 Report nach EHPA Version 1.6  
ILK-B-2-14-1354
- 
- Hauptmann, J.  
Untersuchungen zu Motorschaltungsvarianten an einem Verdichter mit Part Winding  
ILK-B-2-14-1350
- 
- Noack, R.  
Abschlussbericht: Entwicklung innovativer Wärmeübertrager -Module zur effizienten Wärmerückgewinnung - WRG-Modul  
ILK-B-2-14-1349
- 
- Edler, Chr.; Böhm, M.  
Entwicklung von Prüfprogrammen zur Schadensanalyse an Kältemittelverdichtern  
ILK-B-2-14-1340
- 
- Bratanitsch, K.  
Modellierung und Simulation eines energieeffizienten Verfahrens für das Superplastische Umformen (SPF) und dessen steuerungs- und regelungstechnische Umsetzung im Rahmen eines modularen Sondermaschinenbaus  
ILK-B-2-14-1338
- 
- Edler, Chr.  
Optimaler Sollwert der Überhitzungsregelung und Einflussfaktoren auf das Überhitzungssignal  
ILK-B-2-14-1342
- 
- Müller, M.  
Dokumentation zur Erweiterung Simulationstool mit Einbindung PCM-Modul  
ILK-B-2-14-1344
- 
- Hempel, O.; Böhm, M.  
Bewertung von Maßnahmen zur Verhinderung von Flüssigkeitsschlägen bei HVAC-Anlagen  
ILK-B-2-14-1352
- 
- Illgen, A.; Hauptmann, J.; Böhm, M.  
Abschlussbericht: Untersuchungen an elektronischen Expansionsventilen  
ILK-B-2-14-1335
- 
- Röllig, P.  
Konzept für Versuchsaufbau zur Leistungsmessung von Trocken-, Verdunstungs- und Hybridkühlern sowie Chillern und Wärmepumpen von 50 bis 1000 kW (Hybrid-Prüfstand)  
ILK-B-2-14-1333
- 
- Kleeberg, A.; Illgen, A.  
2. Zwischenbericht: Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen (DynKA)  
ILK-B-2-14-1317
-

Edler, Chr.

1. Zwischenbericht: GEOHEAT - Modular aufgebaute Direktverdampfer-Erdwärmesonde bis 100 m Teufe mit Wärmeleistungen bis 20 kW

ILK-B-2-14-1313

## Luft- und Klimatechnik

Hackeschmidt, K.

4. Bericht: Untersuchungen an innovativen Systemen zur Leistungssteigerung von Rohrbündelwärmeübertragern - Dichtigkeitstest an Rohrbündelwärmeübertrager-Modellen

ILK-B-31-14-3959

Mai, R.

Abschlussbericht: Wohnungslüftungsgerät mit elektrothermischer Heiz- und Kühlfunktion

ILK-B-31-14-3965

Rosenbaum, H.

Abschlussbericht: Hygrisch aktiver Luftheizter - HALE-System

ILK-B-31-14-3967

Hackeschmidt, K.; Hantsch, H.;

Rosenbaum, H.

Wissenschaftliche Untersuchungen zum Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik

ILK-B-31-14-3928

Krause, R.; Rittsche, A.; Goldberg, M.

1. Zwischenbericht: Wettertaugliche und vernetzbare 30 Strömungssensoren

ILK-B-31-14-3898

Döge, S.

4. Zwischenbericht: Luftbefeuchter mit integrierter Hygienefunktion

ILK-B-31-14-3936

Weiner, A.; Hackeschmidt, K.

Diplomarbeit: Konzept zur Ermittlung optimaler Wärmeübertrager für Hochleistungswärmerohre zur Außenluftaufbereitung

ILK-B-31-14-3920

Ehle, A.; Stubbe, D.

CFD-Simulationen HUF / Stadtschloss Berlin / Variantenrechnungen Ausstellungsräume

ILK-B-31-14-3909

Lohse, R.; Ziller, F.

Entwicklung einer energieeffizienten Küchenabfluthaube für Wohngebäude

ILK-B-31-14-3915

Mai, R.

Leitfaden zur Klimatisierung von Auslandsvertretungen

ILK-B-31-14-3911

Stubbe, D.; Huck, K. (TUD);

Gritzki, R. (TUD); Rösler, M. (TUD)

3. Zwischenbericht: Einfluss der Sensorpositionierung im Raum auf den Energiebedarf heiz- und raumluftechnischer Anlagen

ILK-B-31-14-3895

Buschmann, M. H.

2. Zwischenbericht: Entwicklung eines Messgerätes sowie eines Verfahrens zur Bewertung von Nanofluiden als innovative Kühlmedien

ILK-B-31-14-3893

Hackeschmidt, K.

1. Zwischenbericht: Fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit Wärmerohr

ILK-B-31-14-3890

Ziller, F.

2. Zwischenbericht: Küchenabfluthaube mit integrierter Wärmerückgewinnung

ILK-B-31-14-3906

Friebe, C.; Hackeschmidt, K.; Döge, S.  
1. Zwischenbericht: Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte  
ILK-B-31-14-3891

---

Holfeld, S.  
Prüfung von Filterelementen basierend auf der DIN EN 1822-5  
ILK-B-33-14-1833

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen der Abscheideeffizienz eines Kabinenfilterelementes gegenüber Aerosol und Zyklohexan  
ILK-B-33-14-1835

---

Heidenreich, R.; Berger, M.  
Abschlussbericht: Modellverbrennungsanlage zur Bewertung sonstiger Biomassen  
ILK-B-33-14-1836

---

Heidenreich, R.; Blei, S.  
1. Zwischenbericht: Hocheffiziente kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-Wrap-Through Technik (MWT-plus)  
ILK-B-33-14-1837

---

Holfeld, S.  
Determination of filtration efficiency against aerosol and cyclohexane of cabin filter for agriculture vehicle  
ILK-B-33-14-1838

---

Heidenreich, R.  
Bestimmung der Partikel-Emissionen an Bunkeraufsatz- und Gemenge- Filtern im Glaswerk der Fa. Narva  
ILK-B-33-14-1839

---

Birnbaum, T.  
2. Zwischenbericht: Biostrom  
ILK-B-33-14-1842

---

Heidenreich, R.; Berger, M.  
Untersuchungen zur Abscheidung von Flugasche aus der Reisspelzenverbrennung mit Schlauchfiltern  
ILK-B-33-14-1843

---

Heidenreich, R.; Blei, S.; Frenzel, W.-P.; Berger, M.; Birnbaum, T.; Keßlau, D.  
Zwischenbericht: Sekundär Aerosole  
ILK-B-33-14-1844

---

Heidenreich, R.; Keßlau, D.  
Untersuchung zur Ölabscheidung in einem Helium-Verdichter  
ILK-B-33-14-1845

---

Heidenreich, R.; Berger, M.  
Inbetriebnahmeuntersuchung eines filternden Abscheiders für Stäube aus der Verbrennung von Spanplattenresten  
ILK-B-33-14-1846

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen zur Abscheideeffizienz an einem Kabinenfilterelement für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge  
ILK-B-33-14-1847

---

Blei, S.  
Ermittlung des Differenzdruckverhaltens einer Filterkassette  
ILK-B-33-14-1848

---

Berger, M.  
Erprobung und Vergleich Filtermaterial Prototyp und Industriematerial an der Heizkessel- Abscheider-Kombination UFS-SR 150/ RGF150 und UFS-WR 600/ RGF 600  
ILK-B-33-14-1849

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen zur Staubabscheidung eines Filterelementes unter besonderen Prüfbedingungen  
ILK-B-33-14-1851

---

Heidenreich, R.; Birnbaum, T.; Berger, M.  
 Untersuchung staub- und gasförmiger  
 Emissionen der KWK-Maschinen Kläranlage  
 Kaditz

ILK-B-33-14-1853

Heidenreich, R.  
 Konzeption der Schadstoffabsaugung für  
 den Neubau einer Misch- und Umschlag-  
 halle, sowie die Umgestaltung der Be-  
 standsanlagen

ILK-B-33-14-1854

Heidenreich, R.; Birnbaum, T.  
 Untersuchungen der Emissionen von Mo-  
 dellbrennstoffen an einem Kleinkessel vom  
 Fabrikat Ökotherm

ILK-B-33-14-1855

Heidenreich, R.; Berger, M.  
 Kondensationsfilter für Biomasse- Verbren-  
 nungsanlagen

ILK-B-33-14-1856

Heidenreich, R.  
 Auslegung und Berechnung einer pneuma-  
 tischen Förder- und Filteranlage

ILK-B-33-14-1857

Heidenreich, R.; Holfeld, S.  
 Untersuchungen an einer Prototyp-Motor-  
 zuluft-Filtereinheit

ILK-B-33-14-1860

Birnbaum, T.  
 Untersuchungen zum Abscheidegrad an  
 einem Filter-Prototypen

ILK-B-33-14-1863

Heidenreich, R.; Blei, S.  
 Untersuchung und Bewertung der Kühl-  
 schmierstoffkonzentration

ILK-B-33-14-1865

Heidenreich, R.; Berger, M.  
 Prüfung des Abscheidegrades einer mo-  
 bilen Schweißrauchabscheideeinrichtung  
 gemäß DIN EN ISO 15012-1

ILK-B-33-14-1867

Böhme, A.; Mann, C.  
 Prüfung von Luftfiltereinsätzen für Motorzu-  
 luftfilter in Anlehnung an SASO 933 unter  
 Berücksichtigung der DIN ISO 5011

ILK-B-33-14-1868

Heidenreich, R.; Birnbaum, T.  
 Charakterisierung der Emissionssituation  
 an verschiedenen Produktionsanlagen

ILK-B-33-14-1872

Birnbaum, T.  
 Untersuchung von Kohlenwasserstoffkon-  
 zentrationen an einer Oxidationsanlage

ILK-B-33-14-1875

Heidenreich, R.  
 Messung faserförmiger Stäube in einem  
 Arbeitsbereich der Nehlsen BS ABKO/  
 Berlin-Brandenburg

ILK-B-33-14-1876

Holfeld, S.  
 Vergleich der Abscheideeffizienz von  
 3 Filterelementen gegenüber Prüfstaub

ILK-B-33-14-1877

Holfeld, S.  
 Untersuchungen an Kompressoren  
 Luftfiltern

ILK-B-33-14-1878

Heidenreich, R.  
 Volumenstrommessung an einer  
 Abluft- Anlage

ILK-B-33-14-1879

Heidenreich, R.; Blei, St.  
2. Zwischenbericht: Hocheffiziente kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-Wrap-Through Technik (MWT-plus)  
ILK-B-33-14-1880

---

KeBlau, D.  
Prüfung von 2 Staubsaugern der Klasse H auf Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit  
ILK-B-33-14-1881

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen der Abscheideeffizienz eines bestaubten Kabinenfilterelementes gegenüber Zylohexan  
ILK-B-33-14-1885

---

Birnbaum, T.  
Messung zur Luftqualität im Produktionsbereich  
ILK-B-33-14-1887

---

Heidenreich, R.  
Bestimmung der Luftkeimkonzentration und Oberflächenuntersuchungen in der SLUB Dresden  
ILK-B-33-14-1888

---

Heidenreich, R.; Blei, S.; Holfeld, S.  
Untersuchungen an einem Filterelement mit dem Prüfaerosol DEHS  
ILK-B-33-14-1891

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen der Abscheideeffizienz eines Kabinenfilterelementes gegenüber Prüfstaub  
ILK-B-33-14-1893

---

Holfeld, S.  
Untersuchungen der Abscheideeffizienz von KfZ- Innenraumfiltern gegenüber n-Butan  
ILK-B-33-14-1899

---

Heidenreich, R.; Blei, S.  
Untersuchungen zur Emissionscharakteristik bei der Bearbeitung von Solarwafern mit modernen Bearbeitungstechnologien  
ILK-B-33-14-1902

---

Heidenreich, R. Berger, M.  
Gefährdungsbeurteilung beim Arbeiten und Umgang mit der selektiven Schutzlackereinheit Protecto  
ILK-B-33-14-1906

---

Heidenreich, R.; Blei, S.  
Bestimmung von Luftparametern in einem Druckerraum  
ILK-B-33-14-1910

---

Birnbaum, T.  
Untersuchungen an reinraumtechnischen Anlagen  
ILK-B-33-14-1911

---

Holfeld, S.; Mann, C.  
Untersuchung einer Prototyp- Motorzuluftfiltereinheit nach Einsatz in einer Testfahrt  
ILK-B-33-14-1912

---

#### Angewandte Neue Technologien

Hernschier, W.; Waschull, J.; Kerkau, A.; Rittsche, A.; u.a.  
Abschlussbericht: Sensor zur Ertragssteigerung von Solaranlagen  
ILK-B-4-14-3255

---

Germanus, J.  
Kohlendioxid als Kältemittel für Laborkühlergeräte  
ILK-B-4-14-3237

---

Schnerr, T.; Germanus, J.

Sicherheitstechnische Aspekte zur Anwendung von R744 im Projekt „Kohlendioxid als Kältemittel für Laborkühlgeräte“

ILK-B-4-14-3242

---

Junk, M.

Bildgebende Verfahren zur Stoffstromerfassung in Kälteanlagen

ILK-AB-4-14-3227

---

Krusche, J.

Abschlussbericht: Prüfleck für brennbare Kältemittel

ILK-AB-4-14-3210

---

Müller, R.

1. Zwischenbericht: Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW -PE-UHMW

ILK-B-4-14-3195

---

Türke, A.

Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik

ILK-B-4-14-3198

---

Germanus, J.

1. Zwischenbericht: Abwärmenutzung mit Low-GWP-Arbeitsfluiden durch ORC-Anlagen

ILK-B-4-14-3202

---

Schnerr, T.

Zwischenbericht: Entwicklung einer innovativen Technologie zur Druckfestigkeitsprüfung von CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen

ILK-B-4-14-3201

---

Rittsche, A.

Zwischenbericht: Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen (EnBeKa),

Teilvorhaben: Modellierung und Diagnose

ILK-B-4-14-3194

---

Waschull, J.; Kuhn, M.

Zwischenbericht: Energiespeicher in Form von polymergebundenen PCM für Anwendungen im Kälte- und Wärmebereich bei energieeffizienten Haushaltsgeräten – PCM4all

ILK-B-4-14-3187

---

Waschull, J.; Hanzelmann, C.; Künanz, R.; Hackeschmidt, K.

Zwischenbericht: Energiespeicher in Form von polymergebundenen PCM für Anwendungen im Kälte- und Wärmebereich bei energieeffizienten Haushaltsgeräten – PCM4all

ILK-B-4-14-3241

---

Seidel, S.

1. Zwischenbericht: Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher (MetPCM)

ILK-B-4-14-3187

---

Hernschier, W.

Zwischenbericht: Sensor zur Ertragssteigerung von Solaranlagen

ILK-B-4-14-3191

---

Hille, C.; Seidel, R.

1. Zwischenbericht: Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher - MetPCM

ILK-B-4-14-3234

---

Waschull, J.

Aufbau und Kalibrierung eines Wärmeflussplatten-Kalorimeters

ILK-B-4-14-3264

---

## Angewandte Energietechnik

Heinrich, C.; Richter, M.  
Abschlussbericht: Eisentstehung im Vakuum und in unterkühlten Flüssigkeiten  
ILK-B-5-14-0295

---

Kiessling, R.; Safarik, M.  
Masterarbeit: Adiabatic precooling for cooling towers - measurements and analysis of impact an solar driven chiller  
ILK-B-5-14-0290

---

Honke, M.  
Dokumentation Abnahme der Prototypanlage VESS am Standort WHZ  
ILK-B-5-14-0270

---

Richter, L.  
Milchkühlung mit Absorptionskälteanlagen unter Nutzung regenerativer Energie  
ILK-B-5/14-0284

---

Hantsch, A.  
Ein Modell zur Beschreibung erstarrender Tropfen  
ILK-B-5-14-0264

---