

# Forschungsbericht 2011

## Vorwort der Geschäftsleitung



Das Jahr 2011 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 21. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges, privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologieunternehmen. Mit einem interdisziplinären Team von 135 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von ca.12 Mio. € ist das ILK eines der größten privaten und gemeinnützigen Forschungseinrichtungen.

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

Im Jahr 2011 wurden 82 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 verfahrensorientierte Entwicklung einschließlich Prototyprealisierung sowie der Technologietransfer, insbesondere durch wissenschaftlich-technische Dienstleistungen und innovative Planung, Gegenstand der Arbeiten.

Der ILK-Forschungsbericht 2011 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 2011 und bei den ILK-Mitarbeitern für die aktive Mitarbeit und das persönliche Engagement.

Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog

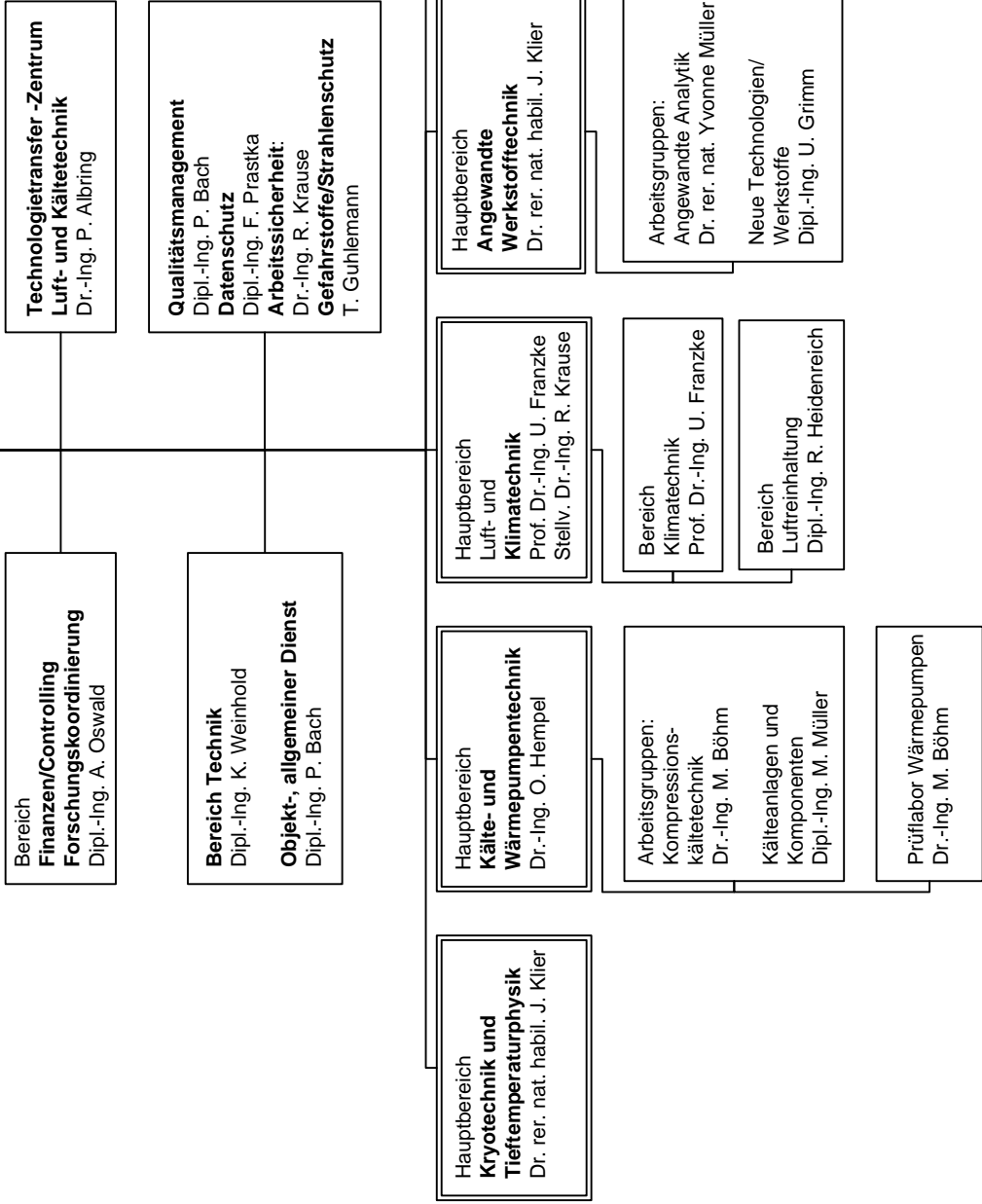
Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke



**Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH**  
 Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog  
**Geschäftsführer / Institutsleiter**  
 Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke  
**Prokurist / Stellv. Institutsleiter**

Gesellschafter  
 ↓

**ILK-Projektgesellschaft mbH**  
 100% Tochter



## Inhalt

1. Kryotechnik und Tieftemperaturphysik	2
2. Kältetechnik	8
3. Klimatechnik	17
4. Luftreinigungstechnik	24
5. Angewandte Werkstofftechnik	30
6. Angewandte Energietechnik	33
7. Normungsarbeit am ILK	37
8. Mitwirkung des ILK in wissenschaftlichen Organisationen und Fachgremien	38
Anlagen	42



# Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung, Entwicklung und Technologietransfer im Jahr 2011

## 1. Kryotechnik und Tieftemperaturphysik

### 1.1. Wasserstoff-Speicherung

Hauptziel der ILK-Untersuchungen ist die Steigerung der Speicherdichte von Wasserstoff im transkritischen Bereich bei hohen Drücken bis zu 1000 bar und im Temperaturbereich um 50 K. Die im Vergleich zur Speicherung im flüssigen Zustand höhere Arbeitstemperatur erlaubt die Verringerung thermischer Verluste bei vergleichbarer Speicherdichte. Im transkritischen Zustand, also oberhalb des kritischen Punkts, können Dichten ähnlich der Flüssigkeit erreicht werden.

Derartige Speicher sind in der gesamten Wasserstoff-Prozesskette von Verarbeitung, Transport, Lagerung bis hin zur Anwendung möglich. Der Schwerpunkt liegt bei mobilen Anwendungen, insbesondere für die Fahrzeugindustrie.

Die Wasserstoff-Infrastruktur am ILK ermöglicht Untersuchungen bei Temperaturen bis hinab zu ca. 10 K und bei hohen Drücken bis zu 1000 bar.

Wesentlicher Bestandteil des Forschungsvorhabens ist die Integration innovativer Komponenten in die Umgebung des Speichers zur Erhöhung seiner Standzeit (Verringerung thermischer Verluste). Dies betrifft insbesondere Lösungen zur Rückkühlung bei Medienentnahme; hier sind unter anderem Kapillar-Expansionskühler zu nennen. Weiterhin soll der Speicher mit einem Latentwärme-Reservoir kombiniert werden.

Innerhalb des Vorhabens erfolgt eine intensive Zusammenarbeit mit der HTW Dresden (Fachbereiche Fahrzeugtechnik und Thermodynamik).

Thermodynamische Berechnungen zum Speicher unter Berücksichtigung des Gewichts und dessen Druckfestigkeit erga-

ben zwei vorteilhafte Ausführungsformen, nämlich Kapillar- und Autoklavspeicher. Da noch offen ist, welche Form sich für Anwendungen durchsetzen wird (möglicherweise sind beide Speicherarten jeweils für bestimmte Einsatzfelder favorisiert), wurden beide Varianten parallel realisiert. Sie sind zudem für das Zusammenwirken mit dem eingesetzten Kryokühler optimiert. Die beiden Speichertypen sind in Bild 1 gezeigt.

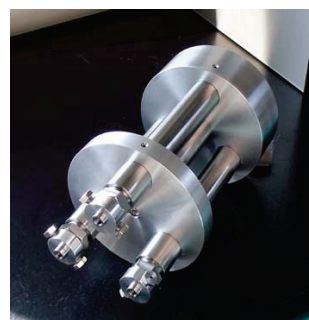
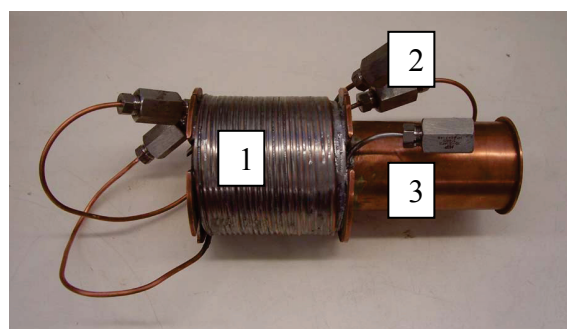


Bild 1: (oben) Kapillarspeicher mit mehrlagigen Kapillaren (1), Hochdruck-Verbindern (2) und Kupferhülse (3) für die Aufnahme am Kryokühler;

(unten) Autoklavspeicher

Umfangreiche Berechnungen wurden zu vorteilhaften Be- und Entladevorgängen des Speichers durchgeführt. Bild 2 veranschaulicht beispielhaft die von der Prozessführung abhängige Energiebilanz bei vorgegebenem Start- und Zielpunkt bei der Beladung des Speichers. Es ergibt sich ein energetischer Vorteil bei einer zunächst isobaren und anschließend isothermen Prozessführung (Variante II). Dieser Prozess erfordert jedoch die Verdichtung des tiefkalten Fluids und ist somit

technisch nur schwer realisierbar. Die am ILK favorisierte isobare Abkühlung des quasi-isotherm verdichteten Gases weist einen etwas höheren Aufwand auf, welcher aber mit ca. 8 % mehr gegenüber der zuvor genannten Variante keinen wesentlichen Nachteil darstellt.

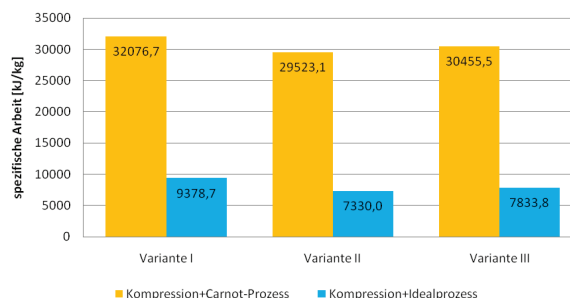


Bild 2: Summe der zugeführten spezifischen Arbeit für Carnot-Prozess und Idealprozess bei Startpunkt (30 bar, 300 K) und Zielpunkt (1000 bar, 35 K), jeweils: zunächst isotherme, dann isobare Prozessführung (Var. I); zunächst isobare, anschließend isotherme Prozessführung (Var. II); gleichzeitige Komprimierung und Kühlung (Var. III)

Für die Auswahl eines geeigneten Latentwärmematerials wurden Messungen an eutektischen Stoffgemischen durchgeführt. So zeigt Bild 3 den Temperaturverlauf bei der Erwärmung einer Mischung aus Methan, Ethan und Propan.

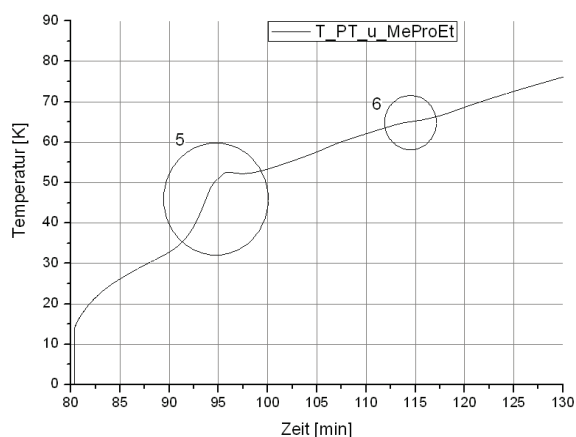


Bild 3: Temperaturverlauf bei Erwärmung einer Methan-Ethan-Propan-Mischung

Die Anstiegsänderung der Kurve bei ca. 50 K (mit „5“ gekennzeichnet) ist dabei auf Eigenschaften des verwendeten Kryokühlers zurückzuführen; sie tritt auch bei Leermessungen in dieser Form auf. Das

Plateau bei ca. 65 K hingegen (mit „6“ gekennzeichnet) resultiert aus dem Phasenübergang fest-flüssig des Alkangemischs. Dieser Wert stimmt gut mit Berechnungen auf Basis bekannter Stoffdaten überein.

Als Beispiel für Untersuchungen zur Rückkühlung sind gemessene und berechnete Werte für Stickstoff-Expansionskühler in Bild 4 zusammengestellt. Eine gute Übereinstimmung zwischen theoretischen und experimentellen Daten ergibt sich erst unter zusätzlicher Einbeziehung des Joule-Thomson-Effekts; eine Berechnung allein auf Basis des Bernoulli-Effekts liefert systematisch zu geringe Werte für die Kühlleistung.

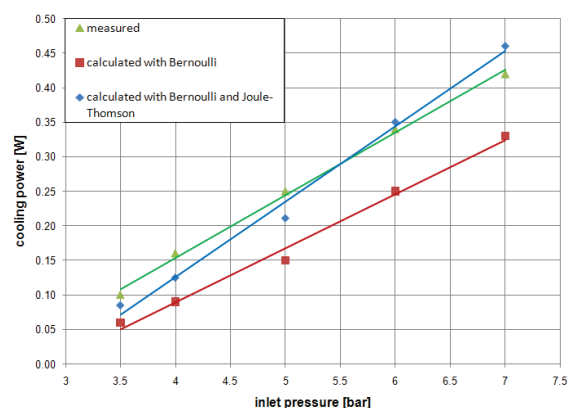


Bild 4: Kühlleistung des Rückkühlers als Funktion des Eingangsdrucks: Messwerte (Dreiecke); Berechnung unter Berücksichtigung des Bernoulli-Effekts (große Quadrate); Berechnung mit zusätzlicher Berücksichtigung des Joule-Thomson-Effekts (kleinere Quadrate); die numerischen Werte basieren auf den gemessenen Stickstoff-Volumenströmen

Die kryogene Hochdruckspeicherung von Erdgas wurde als weitere Anwendung transkritischer Fluide erstmals experimentell demonstriert. Mit einer Steigerung der Speicherdichte bei etwa 220 K um den Faktor 2,3 gegenüber dem Wert bei Umgebungstemperatur (jeweils bei 15 MPa) dient sie als Grundlage für Anwendungen auf diesem Gebiet.

## 1.2. Kryogene Biomaterialien

Im Bereich der Kryobiologie und Life Sciences wurden neue Forschungsgebiete erschlossen.

### Pharmazeutisches Freezing

Der erste Schwerpunkt befasst sich mit der Optimierung von Bulkfreezing-Prozessen biotechnologisch hergestellter Proteine, zu denen beispielsweise Impfstoffe und technische Enzyme zählen. An verschiedenen Stellen der Herstellungs- und Verarbeitungskette sind Lager- und Transportprozesse notwendig, um die chargenweise hergestellten Wirkstofflösungen für eine räumlich getrennte Weiterverarbeitung zu sammeln und zu transportieren. Zum Schutz empfindlicher und hochpreisiger Wirkstoffe erfolgt deren Lagerung und Transport meist im gefrorenen Zustand.

Das ILK Dresden entwickelt Methoden, um die Effizienz der benötigten Gefrierverfahren zu erhöhen und Produktverluste im Einfrierprozess zu minimieren. Im Fokus der Untersuchungen steht das kostengünstige Verfahren des ‚Bottle Freezing‘, das in Laboren und Kleinunternehmen eine weite Verbreitung hat und meist unter vergleichsweise unkontrollierten Bedingungen durchgeführt wird. Auf Basis einer wissenschaftlichen Aufklärung pharmazeutischer Gefrierprozesse entwickelt das ILK Dresden Werkzeuge zur Prozessoptimierung und zur Steigerung der Produktausbeute.

### Biomaterialentwicklung

Der zweite Schwerpunkt befasst sich mit der Entwicklung biologisch abbaubarer Matrixmaterialien für den Einsatz in der Regenerativen Medizin, In-vitro-Diagnostik und Zellkulturforschung.

Insbesondere die stetigen Fortschritte im Bereich der rekonstruktiven Chirurgie und die Forderung der Europäischen Union, die im Rahmen der europäischen Harmonisierung im Bereich der Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien notwendigen Tierversuche durch alternative In-vitro-Testmethoden zu substituieren, führen zu einem wachsenden Bedarf an hoch spezialisierten Gewebeer-

zeugungsprodukten und Matrixmaterialien für die dreidimensionale Zell- und Gewebekultur. Mit der Technik des gesteuerten Ice-Templating (kryogene Porosierung) entwickelt das ILK Dresden ein modernes Herstellungsverfahren zur bedarfsgerechten Erzeugung hochporöser, dreidimensionaler Biomaterialien durch die gezielte Einfrierung und Gefriertrocknung wässriger Biopolymer-Dispersionen. Auf Basis der erforschten Einflüsse von Dispersionseigenschaften und Prozessführung auf die resultierenden Materialeigenschaften konnten statistische Modelle etabliert werden, um Struktur, Porosität und Festigkeit der Materialien bedarfsgerecht zu beeinflussen.

### Gewebekryokonservierung

Die Gewebekryokonservierung ist ein bestehender Forschungsschwerpunkt. Darin werden natürliche Mucopolysaccharide des menschlichen Körpers auf ihr Vermögen hin untersucht, die derzeit für die Gewebekryokonservierung eingesetzten künstlichen Kryoprotektiva zu substituieren.

Die gewonnenen Ergebnisse sollen zum einen dazu dienen, rechtliche Hürden im medizinischen Bereich zu überwinden, indem technisch notwendige, aber kritisch bewertete Zusatzstoffe für die Konservierung von Organen (Augenhornhaut) und künstlich erzeugten, zellhaltigen Gewebetransplantaten (Haut- und Schleimhautersatz) durch körpereigene, natürliche Substanzen ersetzt werden.

Zum anderen sollen die untersuchten Substanzen als Bestandteil der am ILK Dresden entwickelten biologischen Matrixmaterialien eingesetzt werden, um den daraus hergestellten Zell- und Gewebekulturen einen natürlichen Gefrierschutz zu verleihen. Mittelfristig können dann auf Basis dieser optimierten Matrixmaterialien lager- und versandfähige, kryokonservierte Testsysteme für die In-vitro-Analytik entwickelt werden, die es ermöglichen, Tierversuche auf breiter Basis durch Zellkulturtests zu substituieren.

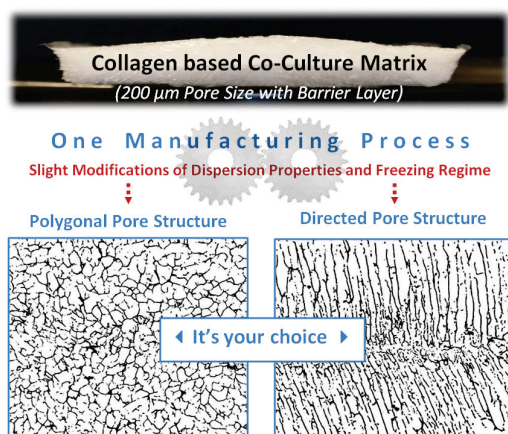


Bild 1: Präsentationsmaterial für die Herstellung maßgeschneiderter Matrixmaterialien für die Zellkultur mit der Ice Templating-Technik (Kryogene Porosierung)

### 1.3 System zur vitalen Kryo-Langzeitlagerung biologischer Gewebe (RACK)

Ziel ist es, für die Kryokonservierung von Geweben einen Prototypen für eine Vorrichtung (RACK) zur Gewährleistung eines optimalen Wärmeeintrages in das Gewebe sowohl beim Einfrieren als auch beim Auftauen zu entwickeln, um eine das Gewebe schädigende Eisbildung zu verhindern. Angestrebte Eigenschaften des RACK:

- Eine Vorrichtung für alle Schritte der Kryokonservierung von Geweben: Einfrieren, Lagern und Auftauen gleichzeitig in mehreren Dosen und in gleicher Weise.
- Geeignet für das Management des Wärmeeintrages in das zu konservierende Gewebe.
- Bestehend aus mehreren Wärmeübertragern (WÜ) und einem Schließmechanismus mit einem reproduzierbaren Anpressdruck auf die Dosen. Die WÜ auf Anforderung durchströmbar mit einem Wärmeträger.
- Auftauen ohne Wasserbad mit Hilfe von gepulstem Gas getragenen Heißdampf (mit Heizmodul) mit bedienerfreundlicher Registrier- Bedien- und Steuereinheit.
- Möglichkeiten zur Gewährleistung einer durchgehenden Qualitätskontrolle bei der Kryokonservierung der Gewebe.

Vorteile aus der Umsetzung dieser Eigenschaften des RACK für die Gewebeprozessierung bei der Kryokonservierung von Geweben:

- Verhinderung der schädlichen Eiskristallbildung sowohl beim Einfrieren als auch bei Auftauen und damit Erhalt einer ausreichenden Zahl von vitalen Zellen im Gewebe nach dem Auftauen.
- Sicherung der gleichartigen Behandlung der Gewebe eines Patienten in mehreren Dosen (Patienten bezogenes Handling der Gewebe).
- Verwendbarkeit in kommerziell erhältlichen Gefrierschränken bei  $-85^{\circ}\text{C}$  (feste Kühlrate von 1 bis 2 K/min) oder automatischen und programmierbaren Einfriergeräten (bis max.  $-196^{\circ}\text{C}$ , mit einer frei einstellbaren Kühlrate).
- Eignung für die Lagerung in handelsüblichen Kryo-Lagersystemen.

Ausgangspunkt für das Projekt waren eigene Arbeiten zur Klärung der Kryokonservierbarkeit von Geweben. In deren Ergebnis entstanden ein Entwurf für das RACK (Bild 1) und das Know-how zur Entwicklung von Kryoprotokollen.



Bild 1: Entwurf für das RACK mit einzelnen Wärmeübertragern und frei verlegter Temperaturmesstechnik

In das Konzept für das neue RACK wurden die angestrebten Eigenschaften einbezogen, z. B. durch eine geänderte Materialauswahl und die Vereinigung der einzelnen WÜ zur Verbesserung der Abführung der Kristallisations- bzw. Schmelzwärme beim Einfrieren bzw. Auftauen. Die innere Struktur der WÜ war den Anforderungen für den ungehinderten Durchgang des Heißdampfes anzupassen (Verhinderung des Einkondensierens des Dampfes zu Beginn des Auftauprozesses).



Das Bild 2 zeigt eine Ausführungsform für das RACK, welches im geschlossenen Zustand stapelbar ist. Auf diese Weise steht dem universellen Einsatz auch in handelsüblichen Einfrier- bzw. Lagereinrichtungen nichts im Wege. Für ein kontrollierbares und damit definiertes Einfrieren des Gewebes wird ein programmierbares Einfriergerät empfohlen.

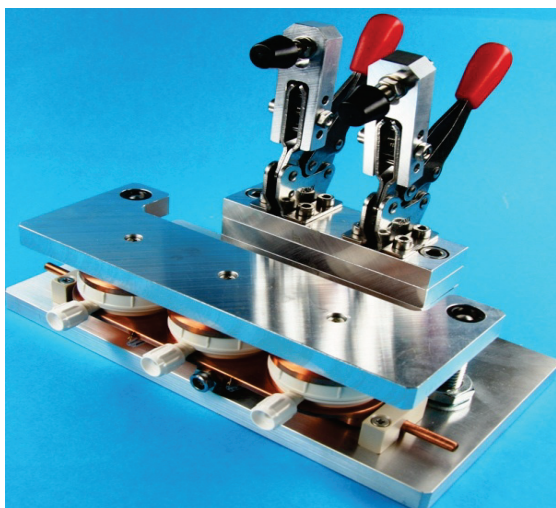


Bild 2: Erste Ausführungsform des RACK: stapelbar, Platz für drei Dosen mit Patientengewebe, Schließmechanismus und integrierten Temperatursensoren

#### 1.4 3-Zyklen-Pulse-Tube-Kühler

Der „3-Zyklen-Pulse-Tube-Kühler“ (kurz 3Z-PTK) ist ein Hochleistungskühler, der bei einer Temperatur zwischen 65 und 80 K eine Kälteleistung zwischen 650 und 1000 W zur Verfügung stellt. In der geplanten Anwendung ist vornehmlich die Kühlung von Anwendungen mit Hochtemperatursupraleitern (HTSL) geplant. Hier sind besonders die Kühlung von supraleitenden Kabeln, resistiven und induktiven Fehlerstrombegrenzern sowie die Kühlung von HTSL-Motoren und -Generatoren zu nennen.

Im Jahr 2011 wurden umfangreiche Optimierungsarbeiten an dem Kühler durchgeführt.

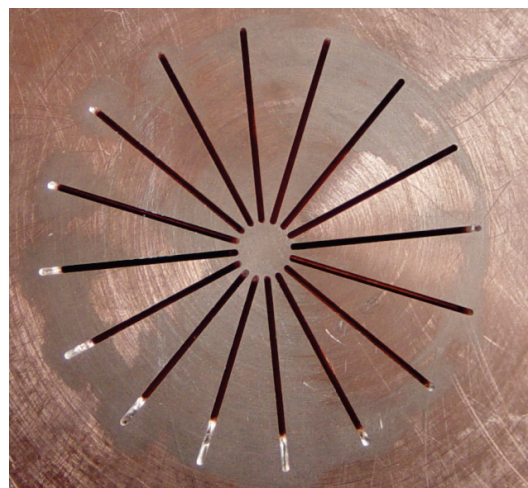


Bild 1: Wärmeübertrager 3Z-PTK

So musste die Fertigung der Wärmeübertrager (siehe Bild 1) so angepasst werden, dass kein Lot mehr in die Strömungsschlitze eindringen kann und so aufwendiges Nacharbeiten vermieden wird.

Wesentlicher ist die Optimierung der Führung und Abdichtung der Kolben in der 3-zyklischen Antriebseinheit, welche erheblichen Entwicklungsbedarf erfordert hat. Das Führungs- und Abdichtungskonzept herkömmlicher Kühler erfordert zumeist eine teure Präzisionsfertigung und/oder kostenintensive Materialien in den Führungselementen (Stichwort Flexure Bearings aus Beryllium-Bronze). Beim 3Z-PTK ist ein System aus PTFE-Führungsbändern und federunterstützten Nutringen zum Einsatz gekommen, siehe Bild 2.

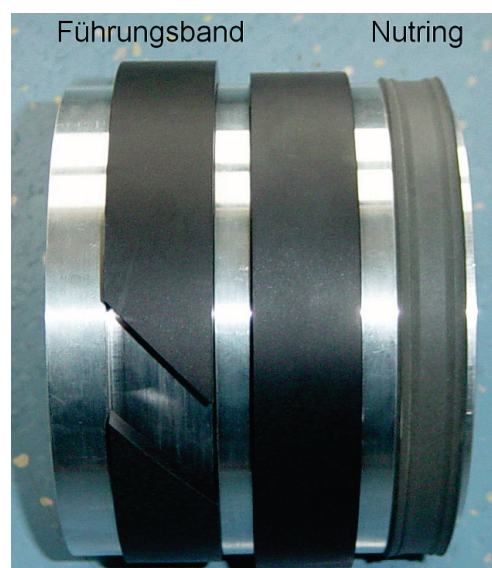


Bild 2: Kolben mit Führung + Dichtung



Bild 3: Funktionsmuster

Mit Beendigung des 3Z-PTK Projektes werden Ergebnisse über das Leistungsverhalten des Kühlers vorliegen. Das in Bild 3 gezeigte Funktionsmuster ist gerade mal einen Meter hoch und benötigt einen Quadratmeter Grundfläche.

#### 1.4 Lösungskältemaschine

Seit Ende 2009 wird die Kühltechnologie für den Temperaturbereich bis hinab zu ca. 50 mK entwickelt. Der Aufbau der  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ -Lösungskältemaschine einschließlich der innovativen Komponenten, welche eine Verkippung des Gesamtsystems erlauben, wurde bereits im Forschungsbericht 2010 dargestellt.

Nach der Reduzierung der äußeren mechanischen Störeinflüsse stellte der Pulsrohrkühler die wesentliche Quelle für Vibrationen dar. Im zeitlichen Verlauf der Beschleunigungswerte, welche an der zweiten Stufe des Vorkühlers gemessen wurden, ist dessen Arbeitsfrequenz von 1,4 Hz als Maximum mit einer zweigeteilten Struktur klar erkennbar (siehe Bild 1). Durch die bereits bei der Konstruktion der Flüssigkeitskreisläufe beginnende Dämpfung (Kombination starrer Lötverbindungen mit Kapillarverbindungen), verbunden mit der weiteren Optimierung beispielsweise von Befestigungselementen, wird nun bereits am  $^4\text{He}$ -Bad eine Verringerung der Schwingungsamplitude um mehr als eine Größenordnung erreicht. Dabei werden vergleichbare Werte sowohl für die radiale als auch für die axiale Richtung beobachtet. Es ist einzuschätzen, dass die verblei-

benden mechanischen und elektrischen Schwingungen unproblematisch für den Betrieb der Lösungskältemaschine sind.

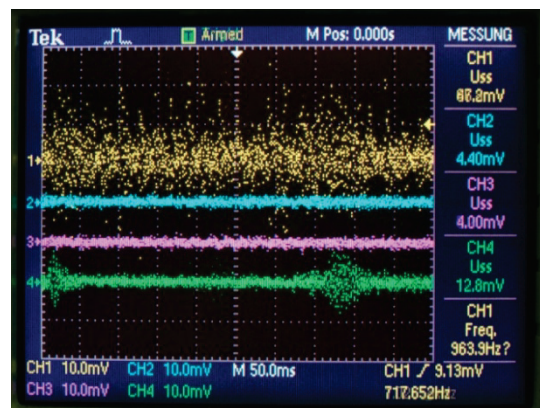


Bild 1: Zeitaufgelöste Beschleunigungswerte an verschiedenen Positionen der Lösungskältemaschine

Ein weiteres Entwicklungsziel war die Optimierung hinsichtlich eines stabilen Langzeitbetriebs des Kühlers. Das Prinzip der thermisch ineinander gekoppelten Flüssigkeitskreisläufe wurde erfolgreich realisiert, zunächst auch mittels gekoppelter  $^4\text{He}$ -Kreise (siehe Bild 2).

Weiterhin konnte die Funktionsfähigkeit der Sorptionspumpen einschließlich Wärmeschalter zur gezielten thermischen An- und Abkopplung während des Betriebs des Kühlers beziehungsweise während des Ausheizprozesses bestätigt werden. Bei ersten Versuchen traten zunächst sehr lange Regenerationszeiten auf, bedingt durch schlechte Wärmeleitung innerhalb der Aktivkohle-Füllung.

Deshalb wurde der Aufbau mittels innerer Kupfer-Elemente modifiziert. Die typische Zeitdauer für die Regeneration beträgt nun etwa 15 Minuten bei einer Heizleistung von ca. 3 W. Während dieser Zeit tritt am Bad des ersten, gepumpten Heliumkreises lediglich eine geringe Temperaturerhöhung auf; die Kühlleistung der Vorkühlung, welche am Kondensator dieses Kreises anliegt, genügt für die Kompensation des zusätzlichen Wärmestroms. Das zweite Heliumbad wird somit nur sehr geringfügig durch die Regeneration der Sorptionspumpe beeinflusst.

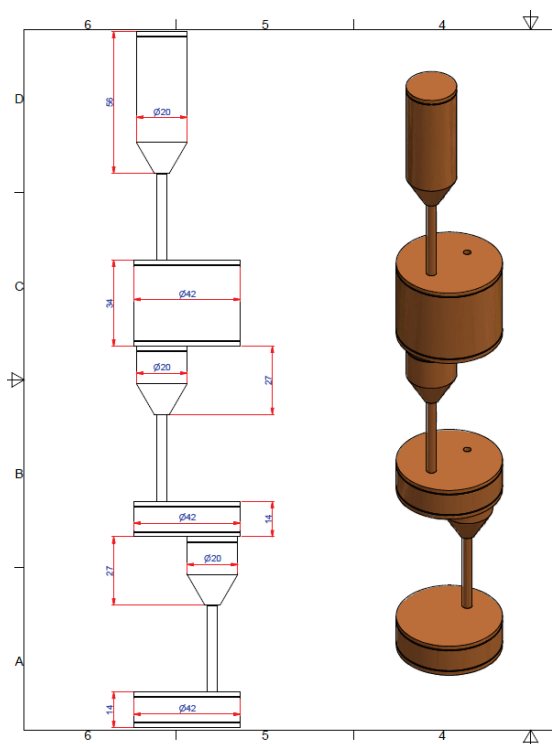


Bild 2: Zusammenbau-Zeichnung der gekoppelten  $^4\text{He}$ -Kreise (Sorptionspumpen sind nicht mit dargestellt).

Mit den vergrößerten Volumina (jetzt beispielsweise 34 ml für jedes der Helium-Bäder) werden nunmehr Zykluszeiten bis zu etwa 5 Stunden zwischen den erforderlichen Regenerationsprozessen erreicht, was eine gute Grundlage für den kontinuierlichen Betrieb der Lösungskältemaschine darstellt. Die recht langen Regenerationsintervalle wirken sich zusätzlich günstig auf die Betriebsstabilität des Kühlsystems aus, wobei gleichzeitig die teilweise Lageunabhängigkeit und die gute Entkopplung von äußeren Störeinflüssen realisiert sind.

## 2. Kältetechnik

### 2.1 $\text{CO}_2$ - Wärmepumpe

Die Erwärmung von Trinkwasser von  $10\text{ °C}$  auf etwa  $70\text{ °C}$  ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Oft erfolgt das auch heute noch durch Erdgas. Es wird also 100 % Primärenergie eingesetzt, wenn keine Wärmerückgewinnung erfolgt.

Der Vorgang stellt eine thermodynamische Grundaufgabe dar, Erwärmen eines Stoffstromes mit großer Temperaturspreizung.

Die Erzeugung der gesamten Heizwärme auf dem oberen Temperaturniveau ist dafür nicht optimal.

Erfolgt die Trinkwassererwärmung mit einer Wärmepumpe, kann Umweltenergie eingekoppelt werden. Da herkömmliche Wärmepumpen die Heizleistung aber bei einem konstanten Temperaturniveau bereitstellen, sind sie dafür nicht ideal geeignet. Aufwändige Speicherlösungen sind die Folge.

Viel besser geeignet wäre eine Wärmepumpe, die bei konstanter Temperatur die Wärme aus der Quelle aufnimmt und mit der gleichen, großen Temperaturspreizung an das Wasser abgibt. Das kann somit im Durchlauferhitzerprinzip stattfinden.

Eine solche Wärmepumpe kann konstruiert werden, wenn ein überkritischer Kreisprozess gewählt wird. Ein nahezu ideales Kältemittel dafür ist Kohlendioxid. Da die mittlere Temperatur der Wärmeabgabe auch deutlich niedriger liegt als bei den heutigen Brauchwasserwärmepumpen, sind Primärenergieeinsparungen bis zu 40 % gegenüber dem Erdgaskessel möglich.



Bild 1:  $\text{CO}_2$ -Wärmepumpe im Test

Nach dem Prinzip des überkritischen Kreislaufes wurde eine Wärmepumpe mit 60 kW Heizleistung für Gewerbebetriebe entwickelt, siehe Bild 1. Die Leistungsgröße ist ausreichend für Hotels mit 200 Betten oder kleinere Krankenhäuser.

Als Wärmequelle wird die Außenluft oder Abluft genutzt, siehe Bild 2. Es kommen aber auch andere Wärmequellen infrage.





Bild 2: Verdampfer für die Quelle Luft

Die Testwärmepumpe wurde im ILK-Versuchsfeld aufgestellt. Die Wärmepumpe befindet sich derzeit im Test. Die Heizleistung entspricht der Auslegung. Die Wassertemperaturen von 70 °C werden erreicht.

## 2.2 Haushaltskältegeräte Energielabel A–80%

Kühlschränke haben eine relativ kleine Kälteleistung und verbrauchen somit nur wenig Elektroenergie. Nach einer Studie des VDMA sind derzeit aber in Deutschland ca. 80 Mio. Stück im Bestand.

Aufgrund der großen Anzahl hat der Elektroenergiebedarf für Haushaltskühlgeräte eine volkswirtschaftliche Bedeutung. Deshalb ist es verständlich, dass auch politische Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs getroffen werden.

Auf europäischer Ebene wurde deshalb ein neues Energielabel für Kühlschränke vereinbart. Die beste Klasse wird „A++++“ sein. Das bedeutet gegenüber der heute üblichen Klasse „A“ eine nochmalige Reduzierung des Energieverbrauchs um 80 %. Eine derartige Verbesserung der Energieeffizienz ist mit normalen konstruktiven Veränderungen nicht erreichbar.

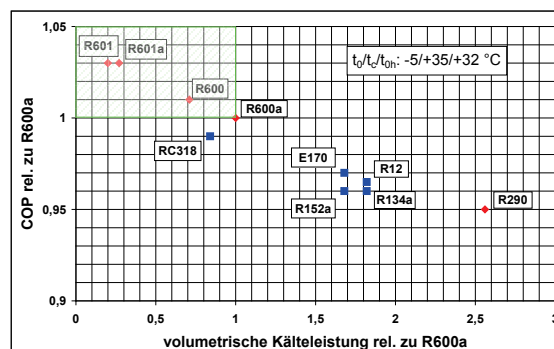


Bild 1: COP in Abhängigkeit der volumetrischen Kälteleistung

Mit neuen Kältemitteln sollen die immer größeren Verdichterverluste bei immer kleineren Kälteleistungen ausgeglichen werden. Es zeigte sich, dass mit den verfügbaren Hermetikverdichtern die Vorteile dieser im Bild 1 dargestellten Kältemittel zurzeit nicht nutzbar sind. Dafür wäre eine Neukonstruktion notwendig. Die Messungen offenbarten aber, dass auch mit dem Standardkältemittel R600a noch ein Potenzial von etwa 20 % Energieeinsparung am Verdichter besteht.

Weiterhin wurden Kühl-Gefrierkombinationen untersucht. Stand der Technik ist die serielle Schaltung der beiden Verdampfer von Kühl- und Gefrierfach. Dadurch liegt die Verdampfungstemperatur im Kühlfach stets tiefer als eigentlich notwendig. Gelingt es diese Temperatur deutlich anzuheben, sind Einsparungen von 20 % der Energieaufnahme des Gerätes möglich.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde die Serienschaltung der Verdampfer verlassen. Durch die Parallelschaltung kann jeder Verdampfer mit seiner optimalen Verdampfungstemperatur betrieben werden. Ein entsprechender Kühlschrank wurde mit Unterstützung eines Kühlschrankherstellers aufgebaut und experimentell untersucht.

Die beabsichtigte Funktion der neuen Schaltung des Kältekreislaufes konnte nachgewiesen werden. Die Nutzung aller Vorzüge ist aber erst durch die Kombination mit anderen Maßnahmen zu erwarten. Insbesondere bei einer zusätzlichen Flächenvergrößerung des Kühlfachverdampfers, kann die deutliche Anhebung der Verdampfungstemperatur erreicht werden.



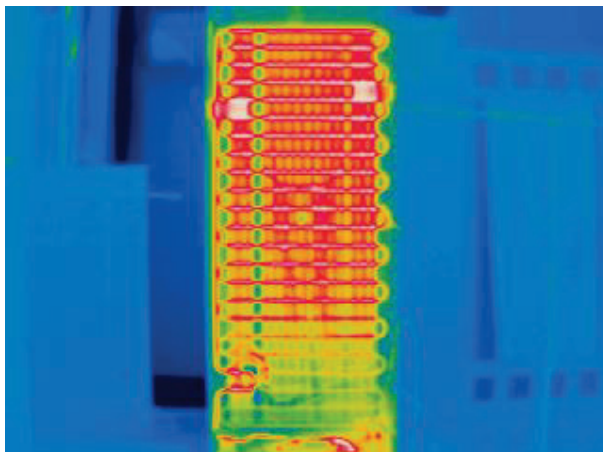


Bild 2: Thermografie des Verflüssigers

In einer weiteren Studie wurde betrachtet, ob bei den kleinen Kälteleistungen eines Kühlschranks andere Kälteerzeugungsverfahren interessant sind. Die letzte Untersuchung dazu lag bereits 20 Jahre zurück. Durch die Entwicklung neuer Materialien und Technologien haben sich in der Zwischenzeit einige Verfahren besonders weiterentwickelt. Wird das Entwicklungstempo beibehalten, ist in einigen Jahren mit dem punktuellen Einsatz von Peltierkühlern zu rechnen. Der Hauptnachteil besteht noch in einer schlechten Energieeffizienz der Module.

### 2.3 Leckageerkennungs- und Diagnosesystem

Kältemittel sind klimarelevante Gase, da sie ein hohes Treibhauspotential besitzen. Die Verwendung dieser Stoffe wird deshalb über internationale Vereinbarungen reguliert. In Europa gilt dafür die sogenannte F-Gase-Verordnung.

Ein wesentliches Ziel der Vorschriften ist es, das Austreten der F-Gase in die Atmosphäre zu verhindern. Das erfolgt z.B. über Vorgaben, wie viel Prozent der Füllmenge einer Kälteanlage pro Jahr maximal austreten dürfen. Somit soll die Dichtigkeit der Anlagen verbessert werden. Diese ist durch regelmäßige Leckmessungen nachzuweisen und zu dokumentieren.

Aus Sicht der Praxis wäre es ideal, wenn eine ständige Fernüberwachung der Anlage erfolgen kann und die Leckagen recht-

zeitig vor Ausfall der Anlage erkannt werden. Dadurch können große Kältemittelverluste vermieden werden und die gesetzlichen Bestimmungen werden erfüllt.

Der Lösungsansatz des Projektes beruht darauf, dass fehlerhafte Betriebszustände anhand charakteristischer Abweichungen zum fehlerfreien Betriebszustand erkannt werden, siehe Bild 1. Über diesen Weg ist auch möglich, eine zustandsorientierte Wartung von Kälteanlagen zu etablieren.

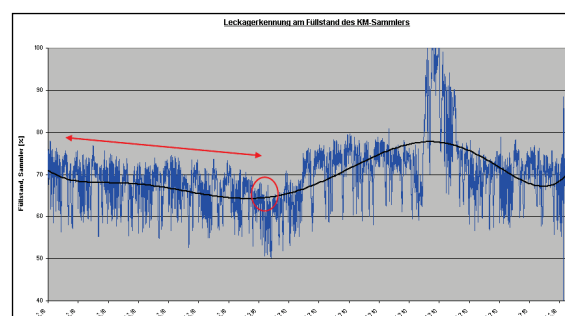


Bild 1: Leckageeinfluss auf Füllstand

Die mathematische Formulierung des fehlerfreien Betriebes der Anlage erfolgt durch ein Zustandsraummodell. Dieses kann aus Messwerten der Anlage automatisch erzeugt werden.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, welche Parameter charakteristisch sind für den Fehlerzustand „Verringerung der Kältemittelfüllmenge“. Diese Untersuchungen erfolgten im Versuchsfeld durch eine gezielte Simulation einer Leckage. Dabei zeigte sich, dass ein einzelner Messwert keine ausreichende Signifikanz für die Kältemittelfüllmenge besitzt. Ein wichtiger Parameter ist aber der Füllstand im Sammler, siehe Bild 2.



Bild 2: Füllstandssonde am Sammler

Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit der gefundenen Ansätze aus den Laborversuchen wurde eine Verbundkälteanlage eines neuen Supermarktes mit zusätzlicher Messtechnik ausgerüstet, siehe Bild 3. Die Messwerte aus dem täglichen Betrieb werden mit dem Zustandsraummodell analysiert. Das Fehlererkennungsmodul muss sicher erkennen, welche Abweichungen sind durch Fehler bzw. normale Einflüsse bedingt.



Bild 3: Installation des Testsupermarktes

Die Schwierigkeiten entstehen durch wechselnde Außenlufttemperaturen oder unterschiedliches Nutzerverhalten durch die Kunden des Supermarktes. Dadurch erfolgt ein ständiges Zu- und Abschalten von einzelnen Kühlstellen. Die Komplexität einer solchen Kälteanlage kann im Labor nur mit sehr hohem Aufwand nachgestellt werden.

#### 2.4 Eisfreie Wärmeübertrager

Das Teilprojekt war Bestandteil des Verbundprojektes „Neue funktionale und biomimetische Oberflächen zur Verhinderung/Verminderung von Eiswachstum“. Das Verbundvorhaben wurde von

- 4 Forschungsinstituten
- 7 Industriefirmen

durchgeführt.

Die Entwicklung und Erprobung von AntiEis-Beschichtungen ist derzeit einer der attraktivsten Bereiche der Oberflächen- und Beschichtungstechnik, da eine ideal eisabweisende Beschichtung erhebliche Vorteile für viele Branchen einschließlich der Luftfahrt, der Windenergie-technik und der Kältetechnik bringen würde. Eine ideale Beschichtung würde neben der Verhinderung von Vereisung auch leicht auf beliebige Substrate aufgebracht werden können, wäre kostengünstig, würde wenig oder gar keine Wartung erfordern und würde wegen der passiven Natur keine Energie benötigen.

Das Ziel derartiger Beschichtungen ist es, die Adhäsion des Eises auf dem Substrat zu reduzieren. Anhaftendes Eis kann sich dann beispielsweise durch das Eigengewicht oder durch einen Luftstrom von der Oberfläche lösen. Um dies zu ermöglichen, muss jedoch die Haftfestigkeit des Eises auf dem Substrat kleiner sein als beispielsweise die Schubspannung aufgrund des Eigengewichts.



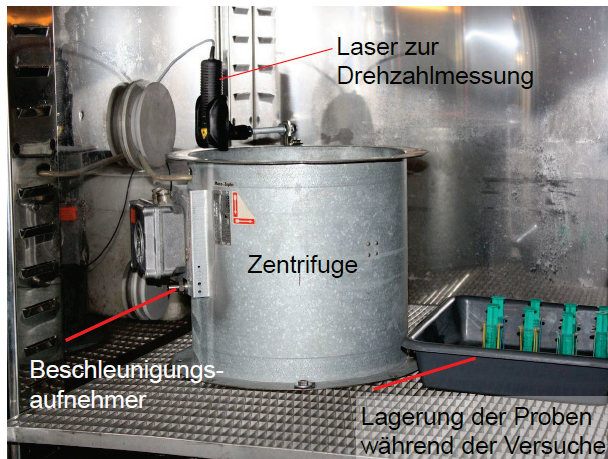


Bild 1: Messeinrichtung für Haftkräfte

Zur Messung der Haftkräfte wurde durch das ILK eine Messeinrichtung, siehe Bild 1, entwickelt.

Das Eis wird auf dem beschichteten Substrat angefroren und bis zum Ablösen des Eises in Folge der Zentrifugalkraft geschleudert. Aus der Ablösedrehzahl kann die Haftkraft des Eises berechnet werden. Mit dieser Methode wurden sehr viele Schichtsysteme der Projektpartner vermessen. Dadurch erfolgte eine Vorauswahl für die Beschichtung von Lamellenwärmeübertragern und Rollläden.

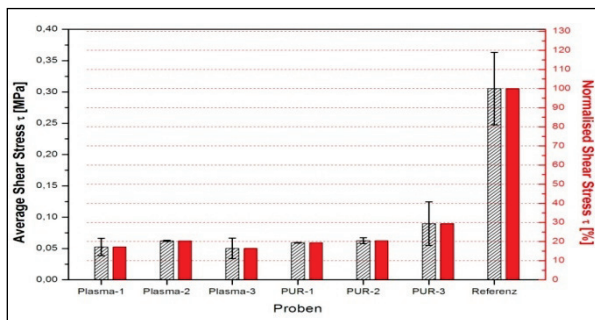


Bild 2: Haftkräfte

Die besten Schichten reduzieren die Haltekräfte auf 20 % einer unbehandelten Probe, siehe Bild 2.

Bei den Wärmeübertragern, siehe Bild 3 und 4, zeigen sich deutliche Veränderungen im Verhalten. Es wurden höhere Entfeuchtungsleistungen, ein anderes Abläufen des Kondensates, eine andere Reifstruktur und veränderte Reifdicken beobachtet. Bei einer Sol-Gel-Schicht zeigte sich auch eine Absenkung des Gefrierpunktes.



Bild 3: beschichtete Lamelle



Bild 4: unbeschichtete Lamelle

Die entwickelten Beschichtungssysteme sind zurzeit noch nicht praxistauglich. Es gibt aber interessante Ansätze für weitere Forschungen. Insbesondere die erhöhte Entfeuchtungsleistung beschichteter Lamellen ist für Luftkühler von Bedeutung.

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

Die Außenaufstellung von Luft-Wasser-Wärmepumpen führt in einigen Fällen zur Lärmbelästigung des Eigentümers oder der Nachbarn. Die Ursachen liegen einerseits im Geräusch der Maschine selbst und andererseits in der Überlagerung der Schallwellen durch die Reflexion an Hauswänden und anderen Hindernissen.

Die Projektziele orientierten sich auf die Reduzierung der Schalleistung der Wärmepumpen, die Untersuchung der Ein-

flussfaktoren in der Praxis und die Weiterentwicklung der Schallmessverfahren im Versuchsfeld des ILK.



Bild 1: Feldmessungen

In Feldmessungen, siehe Bild 1, wurden verschiedene Aufstellsituationen untersucht, die in der Praxis häufig vorkommen. Es zeigten sich typische Randbedingungen, die zu einer Reduzierung oder Erhöhung der Lärmbelastung führen.

Die meisten Phänomene können physikalisch gut erklärt werden. Die Varianten wurden in einem Katalog zusammengestellt, der für die Kundenberatung herangezogen werden kann.

Durch Vergleichsmessungen an Wärmepumpen im Hallraum und in normaler Umgebung konnten das Messverfahren der Schalleistung und der Schallintensität aufeinander abgeglichen werden.

Die Intensitätsmessung kann in Zukunft während der Leistungsmessung von Wärmepumpen im Kalorimeterraum, siehe Bild 2, angewandt werden.

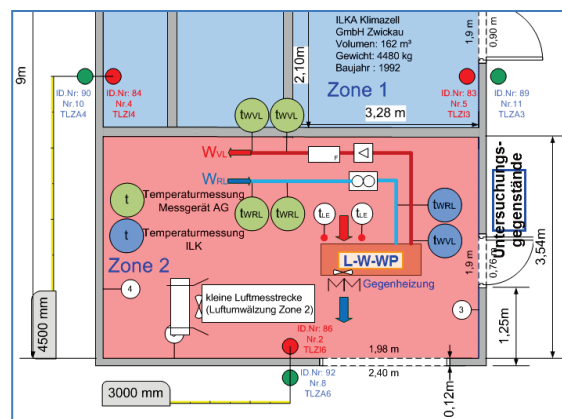


Bild 2: Kalorimeterraum

Dieses Messverfahren wurde auf die wichtigste Schallquelle in der Wärmepumpe, den Kältemittelverdichter, erweitert. Dafür wurde eine spezielle Box (Bild 3) entwickelt, die eine schnelle Bestimmung der Schalleistung bei gleichzeitiger Einstellung der Umgebungstemperatur gestattet.

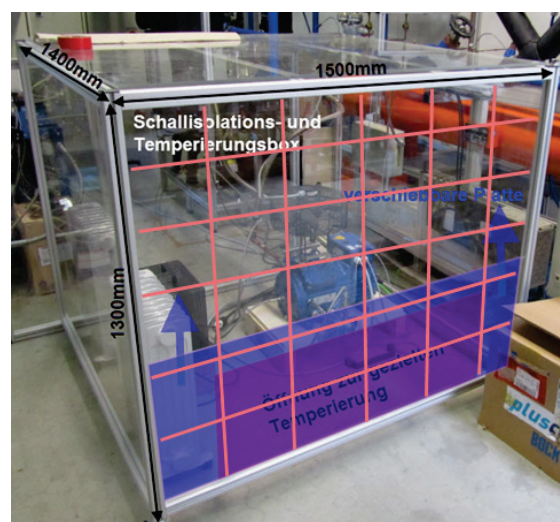


Bild 3: Verdichtermessungen

Aus den Messergebnissen an den Einzelkomponenten und den Wärmepumpen des Projektpartners konnten Erkenntnisse für die Reduzierung der Schalleistung gewonnen werden. In der Folge war durch konstruktive Änderungen eine Absenkung der Schalleistung um 4 dB(A) bzw. 6 % möglich. Eine weitere Reduzierung der Lärmbelastung durch die Wärmepumpe ist bei Beachtung der gefundenen Aufstellregeln möglich. In Summe kann für bisher problematische Fälle eine Halbierung erreicht werden.



## 2.6 Schüttgutentladung

Beim Transport von Kohle friert im Winter das Schüttgut in den offenen Eisenbahnwaggons an. Beim Entladen kommt es dann zu Problemen und Zeitverzögerungen. Selbst durch das Kippen der Waggons um 180° kann die Kohle nicht vollständig entladen werden. Es verbleiben immer Reste zurück.

In der Praxis wurden bereits verschiedene Technologien erprobt, die aber keine zufriedenstellende Lösung darstellen.

Neben dem mechanischen Entfernen ist auch das Beheizen der Waggons verbreitet.



Bild 1: Beheizen von Waggons

In dem Verbundprojekt von 5 Firmen sollte ein neues effektives Verfahren zur Entladung von verdichtetem und angefrorenem Schüttgut entwickelt werden.

Dabei stellte sich die Frage, warum die eingesetzten Verfahren versagen?

Auch nach dem längeren Beheizen der Waggons von den Längsseiten verbleiben angefrorene Schüttgutreste im Inneren. Dieser Auftauvorgang mit ca. 200 kW Heizleistung wurde durch das ILK mit FEM simuliert. Zur Definition der Randbedingungen war es notwendig, die Haltekräfte von feuchter Kohle experimentell zu ermitteln.

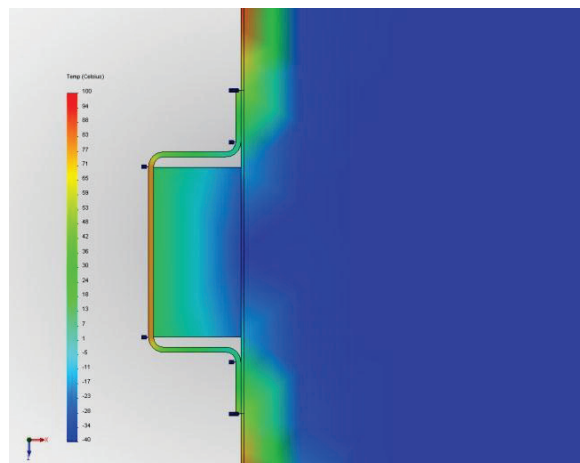


Bild 2: FEM-Simulation Auftauen

Die Berechnungen zeigten, dass die Temperatur von 0 °C hinter den Verstärkungsprofilen der Waggonwand, in den Ecken und den unbeheizten Stirnwänden nicht erreicht wird. Die Zeit für die Beheizung müsste sehr viel länger sein als derzeit praktiziert. Das Verfahren würde dadurch aber vollkommen unwirtschaftlich.

Deshalb wurden durch die Projektpartner insbesondere direkte Verfahren näher untersucht, d.h. Verfahren die unmittelbar an den Kohleresten ansetzen. Viele der Methoden wurden experimentell getestet und hinsichtlich der Funktion und Wirtschaftlichkeit bewertet. Generell kann festgestellt werden, dass alle mechanischen Verfahren, wie Rütteln, Schaben, Kratzen etc., ungeeignet sind. Alle Strahlverfahren, wie z. B. Wasserstrahlen, sind grundsätzlich zu bevorzugen.

Eine Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren hängt aber von der Gestaltung des Gesamtsystems ab. Das betrifft sowohl die Kippvorrichtung für die Waggons als auch die Bedienung der Strahlanlage während des Kippvorgangs.

## 2.7 FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie

### Wärmepumpen

Das Prüflabor Wärmepumpen hat sich im Jahr 2011 durch eine Reihe von internen Schulungen auf die Re-Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Jahr 2012

vorbereitet. In diesem Jahr wird auch die Übertragung der Überwachung auf das staatliche DAkKS abgeschlossen.

Auch in diesem Jahr wurden wieder eine Vielzahl von unterschiedlichen Prüfungen an Wärmepumpen und Kältemittelverdichtern im Industrienauftrag durchgeführt. Einen Schwerpunkt bildete dabei die Anwendung der neuen Norm DIN EN 16147 für Brauchwarmwasserwärmepumpen. Diese löst die alte DIN EN 255-3 ab.

Die Messungen zeigen aber auch, dass sehr viele der neuentwickelten Wärmepumpen nicht nach den Normen geprüft werden können. Die Entwicklung der Technik, insbesondere von Speicherlösungen und Teillastregelmethoden, läuft der Standardisierung deutlich voraus. Dadurch ist es immer wieder notwendig, spezielle Prüfverfahren zu entwickeln, die anwendungsgerechte Ergebnisse liefern. In vielen Fällen würde sonst die normative Prüfung die neue Technik in der Bewertung benachteiligen.

Beispielsweise würden Wärmepumpen zur Brauchwarmwassererzeugung, die einen überkritischen Kältekreislauf haben, durch die Festlegung auf eine Wassertemperaturspannung von 10 K energetisch nicht korrekt bewertet. Wie sich im ILK-Forschungsprojekt „CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe“ zeigte, besteht der Vorteil dieser Wärmepumpenart gerade darin, im Durchlauf-erhitzerprinzip mit Temperaturspannungen von etwa 40 K zu arbeiten. Deshalb war die Entwicklung einer adäquaten Prüfmethode notwendig.

### FuE-Dienstleistungen

Ein Hersteller von Kaltwassersätzen für die Kühlung von Laserbearbeitungszentren hatte sich in der Vergangenheit mit regelungstechnischen Problemen an das ILK gewandt. Die Kaltwasservorlauftemperatur konnte nicht in der engen Toleranz von  $\pm 0,5$  K gehalten werden. Dadurch besteht die Gefahr von Fertigungstoleranzen beim Laserschneiden.

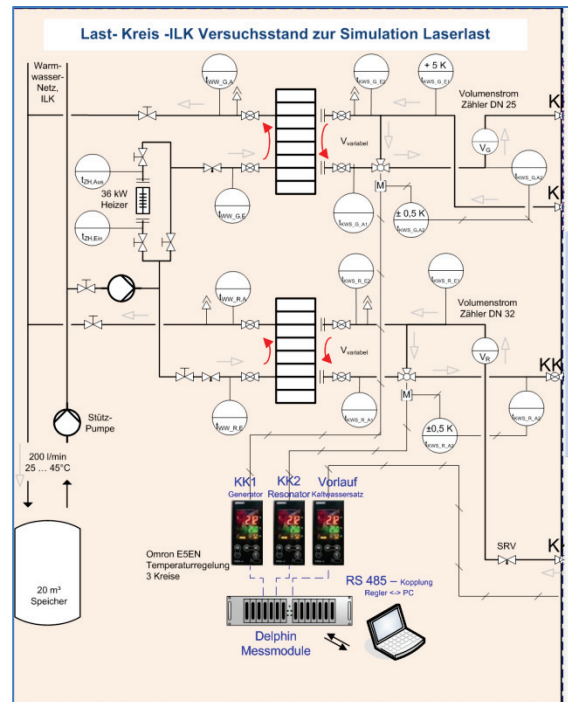


Bild 1: Lastsimulationsanlage Laser

Das ILK entwickelte in den letzten beiden Jahren eine neue Lösung für die Regelung der Kaltwassertemperatur und die Teillast des Kältekreislaufes.

Aufgrund der Arbeitsweise einer Laserschneidmaschine wechselt die Heizlast stufenlos zwischen der Grundlast von ca. 5 % und der Volllast. Dadurch entstehen Sprünge der Wassertemperatur von ca. 7 K mit sehr steilen Gradienten. Zur Untersuchung des Problems und zum Test der neuentwickelten Methoden wurde eine Lastsimulationsanlage (Bild 1) für den Laserbetrieb entwickelt und im ILK-Versuchsfeld aufgebaut.

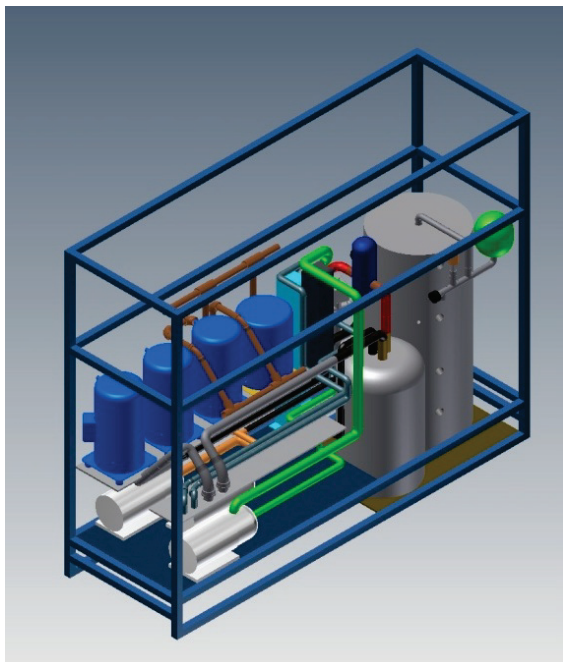


Bild 2: Kältesatz Laserkühlung

Die Lösung wurde durch dynamische Simulation und experimentelle Untersuchungen in einer Funktionstrennung von Teillastregelung des Kältekreislaufes und Wassertemperaturregelung gefunden. Dabei muss die Temperaturregelung sehr schnell reagieren.

Die Entwicklung konnte 2011 abgeschlossen werden. Das Bild 2 zeigt die Konstruktion.

In Folge der steigenden Energiekosten nehmen die Anfragen aus der Industrie für Energieeffizienzberatungen zu. So wurde u. a. ein Automobilzulieferer beraten. Das Unternehmen plant einen Umbau der Kälteanlagen für mehrere Kälteprüfzellen. Die Gesamtanlage wurde durch Simulationsrechnungen und messtechnische Untersuchungen energetisch bewertet. Bei Realisierung der ILK-Vorschläge können zwischen 15 und 30 % der Elektroenergie für die Kälteerzeugung eingespart werden.

## 2.8 Entwicklung kältetechnischer Prüf- anlagen

Das Forschungszentrum Rossendorf (jetzt Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf) ist traditionell in der Kernforschung tätig. In diesem Bereich wird u.a. auch das Siede-

verhalten von Kernbrennstäben im Reaktor untersucht. Damit die Experimente nicht mit Wasser bei hohen Drücken und Temperaturen durchgeführt werden müssen, wurde ein Ähnlichkeitsmodell entwickelt. Durch Wahl eines geeigneten Kältemittels können die Risiken bei der Versuchsdurchführung reduziert werden.



Bild 1: Prüfeinrichtung Siedeveruche

Dabei konnte auf die umfangreiche Stoffwertbibliothek des ILK zurückgegriffen werden, die in einem Vorlauforschungsprojekt erweitert wurde.

Für die Umsetzung des Konzeptes der Siedeveruche war eine Prüfeinrichtung mit Pumpenumlauf des Kältemittels zu entwickeln und zu realisieren, siehe Bild 1. Dabei bestand die Schwierigkeit insbesondere darin, dass die Prüfeinrichtung in einem Bereich mit starker radioaktiver Strahlung erfolgt. Alle Komponenten und Werkstoffe waren deshalb mit dem Auftraggeber auf Eignung zu überprüfen und abzustimmen.

In einem weiteren Auftrag sollten Fahrzyklen realisiert werden, wie sie im Straßenverkehr für die Verdichter der Busklimaanlage auftreten. Ziel der Tests ist die Untersuchung des Betriebsverhaltens unter



Praxisbedingungen, siehe Bild 2. Dafür waren in einer zeitlichen Abfolge unterschiedliche Drehzahlen einzustellen.

Die Herausforderung bestand insbesondere in der Realisierung der Beschleunigungs- und Bremszeiten. Diese waren mit sehr steilen Gradienten nachzubilden.



Bild 2: Thermobox und Antriebssektion zur Prüfung von Fahrzeugverdichtern

Obwohl bei diesem Projekt auf umfangreiche Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt „Automatische Leistungsmessverfahren“ zurückgegriffen werden konnte, waren erhebliche Probleme zu lösen.

Die Bremswirkung des Elektromotors im Prüfstand ist bauartbedingt wesentlich geringer als die eines Dieselmotors im Bus. Dadurch konnten die Verzögerungszeiten nicht eingehalten werden. Erst durch die Weiterentwicklung der Software durch den Hersteller des Frequenzumrichters wurde eine Lösung gefunden. Dieses Beispiel zeigt die erheblichen Risiken der Prüfstandsentwicklungen. Diese sind auch in Zukunft nur über eine Vorausentwicklung von Lösungskonzepten beherrschbar. Diese Entwicklungen sind Teil von neuen öffentlich geförderten Forschungsprojekten.

### 3. Klimatechnik

#### 3.1 Entwicklung leiser CPU-Kühler mit fein strukturierten Schaufeln

Der Hauptprozessor im PC (CPU, Central Processing Unit) ist eine thermisch extrem hoch beanspruchte Baugruppe. Die abzuführenden Wärmestromdichten haben sich dabei in den letzten 10 Jahren etwa verdreifacht und liegen heute bei ca.  $100 \text{ W/cm}^2$ . Mit zunehmender Integrationsdichte ist auch in Zukunft mit einer steigenden Wärmestromdichte zu rechnen. Neben der grundsätzlichen Problematik der Abfuhr dieser hohen Wärmestromdichten ist damit auch die Problematik der unerwünschten/lästigen bis hin zur unakzeptablen Geräuschentwicklung verbunden.

Die technische Innovation der neuartigen leisen CPU-Kühler steckt in der Konstruktion der Ventilatorschaufeln aus feinen Strukturen. Anstelle der üblichen Lauf- und Leit-schaufeln wird eine nicht isotrope Feststoffmatrix mit zueinander beabstandeten Segmenten aufgebaut, durch welche die Strömungskanäle für das Fluid gebildet werden.

Als Grundlage für das Ventilator-konzept wurden im ILK bereits umfangreiche Forschungsarbeiten zu Ventilatoren mit fein strukturierten Lauf- und Leit-rädern durchgeführt. Auf Basis dieser Forschungsergebnisse wurde dem ILK eine internationale Schutzrechtsanmeldung erteilt: Lauf- und Leit-räder für Verdichter und Ventilatoren, EP 04 000 093.7.

Neben der Ventilatorentwicklung ist die Betrachtung von Kühlkörper und Ventilator als strömungsmechanisches System ein weiterer wichtiger Punkt. Damit wird in Bezug auf die abzuführende Wärme eine maximale Effizienz erreicht.

Im Bild 1 sind Simulationsergebnisse für unterschiedliche Kühlkörperproportionen dargestellt. Zur Bewertung der übertragbaren Wärmeleistung wurde die thermische Kenngröße  $\Psi$  [K/W] genutzt, welche von Prozessorherstellern angegeben wird. Dabei zeigen kleine Werte eine höhere Effizienz der Kühlkörper an. An der Darstellung ist zu erkennen, dass für den Kerndurch-



messer das Optimum in der Nähe von 45 mm liegt.

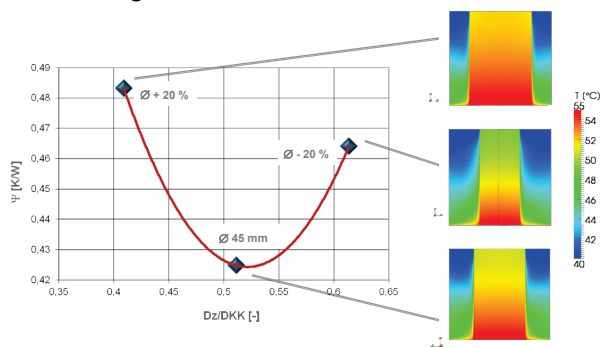


Bild 1: Parametervariation: Kühlkörperdurchmesser (Zylinderkern)

Aus der Vielzahl der Parameterbetrachtungen hat sich die im Bild 2 dargestellte Variante als optimal erwiesen. Der Kühlkörper hat 76 Rippen mit einer Wandstärke von 0,5 mm.

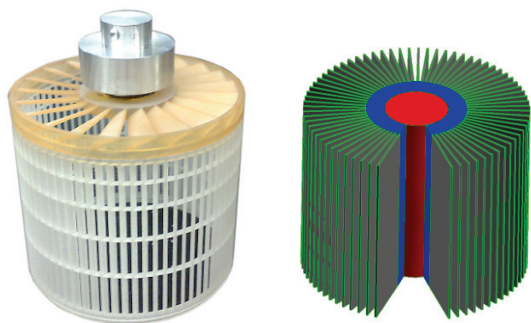


Bild 2: Laufrad bestehend aus Axial- und Radialrad und Modell des Kühlkörpers

Eine wichtige Kenngröße ist die Schalleistung in Abhängigkeit von der übertragenen Wärmeleistung. Der Zusammenhang zwischen übertragener Wärmeleistung und Schalleistung ist im Bild 3 dargestellt. Deutlich ist die gesteigerte Effizienz der Kühlleistung zu erkennen. Damit kann die Ventilatorleistung nochmals reduziert werden. Dies hat zur Folge, dass die erzeugte Schalleistung weiter verringert wird. Die Schalleistung liegt dann im Mittel ca. 6 dB unter dem Wert der Referenzkühler.

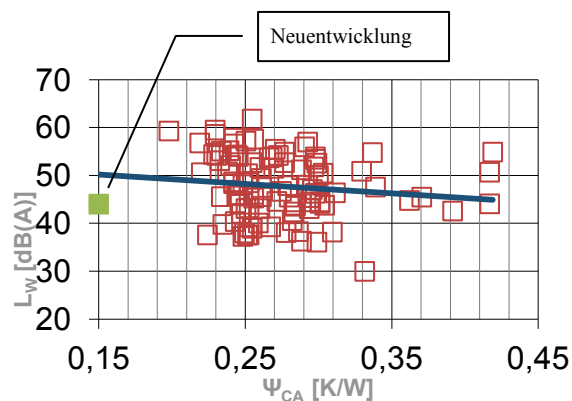


Bild 3: Zusammenhang von übertragener Wärmeleistung, Ventilatorleistung und Schalleistung. Vergleich mit Literaturdaten

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

In der gültigen Energieeinsparverordnung wird vom Gesetzgeber die Prüfung der Effizienz der wesentlichen Komponenten von Klimaanlage bzw. Lüftungsgerät sind jedoch von den zahlreichen Prozessschritten die einzelnen Luftzustandsgrößen nur bedingt bzw. mit sehr hohem Aufwand messbar. Zudem wird ein RL-Gerät durch verschiedene Energieträger versorgt, zu deren Erfassung mit konventioneller Messtechnik eine sehr hohe Sensorausstattung erforderlich ist. Aufgrund dieses Aufwandes ist bei der energetischen Inspektion von Klimaanlage nach EnEV bisher keine Messung von thermodynamischen Zustandsgrößen gefordert und damit eine energetische Bewertung nur auf Basis der Auslegungsdaten vorgesehen. Energieeinsparpotentiale können sich daher aufgrund des hohen, sich daraus ergebenden, Interpretationsspielraums nur teilweise erkannt werden.

Daraus entstand die Intention des Forschungsvorhabens, ein Mess- und Diagnosesystem zu entwickeln, welches es ermöglicht, mit geringem Aufwand, jedoch hoher Zuverlässigkeit alle für die energetische Bewertung von Klimaanlage notwendigen Prozesskenngrößen zu ermitteln.

Als Ergebnis entstand ein mobiles und anwenderfreundliches Gerätesystem, in dem die notwendige Sensortechnik, die Rechentechnik für die Prozesssimulation sowie softwarebasierte Verfahrensvorschriften und die Auswertungen enthalten sind, siehe Bild 1.



Bild 1: Prototyp der Datenerfassung in einer Klimaanlage

Das entwickelte Analysesystem ermöglicht die vollständige Abbildung der Zustandsverläufe in einem Klimagerät mit geringem messtechnischem Aufwand. Dies wird auf Basis einer auf den thermodynamischen Prinzipien basierenden Prozesssimulation (Bild 2) ermöglicht, bei der die vorhandenen Messwerte Stützstellen bilden. Daraus lässt sich der Energiebedarf der einzelnen Prozessschritte berechnen.

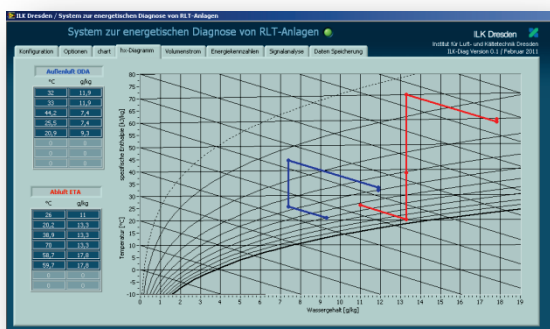


Bild 2: Prozessdarstellung im Mollier h,x-Diagramm

Die dazu erforderliche Messtechnik wurde in kompakter Bauweise in robuste Kunststoffkoffer integriert und wird zur Messung in die ausgewählten Komponenten des RLT-Gerätes gestellt. Desweiteren ist in

die zugehörige Software bereits die Berechnung von Energiekennzahlen integriert, die die energetische Bewertung von Klimaanlage bzw. eine Klassifizierung der Anlagen vereinfacht.

### 3.3 Membranbasiertes Kühldeckensystem für schwülwarme Klimaregionen

Kühldeckensystemen sind aufgrund der Gefahr der Taupunktunterschreitung Leistungsgrenzen gesetzt. Dies gilt insbesondere bei der Kombination mit freier Lüftung. Gerade in schwülwarmen Klimaregionen ist damit der Einsatz von Kühldecken ohne eine energieintensive mechanische Außenluftaufbereitung mit Luftentfeuchtung undenkbar. Ziel ist die Entwicklung eines membranbasierten Kühldeckensystems, welches von Kaltwasser zur Kompensation thermischer Lasten und von stark hygroskopischer, wässriger Lithium-Chloridlösung durchströmt wird. Letztere verhindert auf der Basis eines flüssigen Sorptionsprozesses die sichtbare Kondensation des Wasserdampfes an der Bauteiloberfläche, indem das „Kondensat“ durch die semi-permeable Membran in die Lösung diffundiert und dort in gelöster Form abtransportiert wird. Diese Neuentwicklung ermöglicht sehr niedrige Oberflächentemperaturen ohne Kondensatanfall und somit eine effektive stille Raumkühlung sowie die Möglichkeit zur gleichzeitigen Entfeuchtung der Raumluft.

In Vorbereitung der Konstruktion und zur Eingrenzung und Auswahl von Membran und konstruktiver Gestaltung des Prototyps wurden umfangreiche theoretische und experimentelle Voruntersuchungen zu klima- und gebäudeabhängigen Leistungsanforderungen, thermodynamischen Zusammenhängen, Materialeigenschaften (Permeabilität, mechanische Stabilität, Dichtheit) und insbesondere Membranverarbeitungsverfahren (Kleb- und Schweißverfahren) durchgeführt.

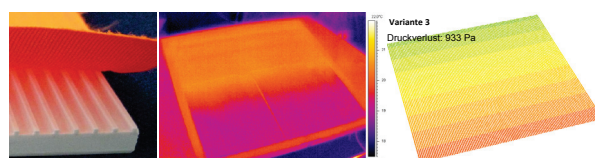


Bild 1: Durchströmung einer Membrankühldecke (Testmuster)

Die Untersuchungen erfolgten an einem 625 x 625 mm großen Prototyp eines Membran-Kühldeckenelements, siehe Bild 1. Diese besteht aus einer Profilplatte (beidseitig eingearbeitete Strömungskanäle) aus Trespa®. Raumseitig aufgeklebt befindet sich die mit Vliesstoff stabilisierte PU-Membran (aktiver Flächenanteil 50%). Auf dem rückseitigen Deckel sind Verteiler- und Sammlerstruktur angeordnet.

Die Messergebnisse bestätigen das Funktionsprinzip des membranbasierten Kühldeckensystems und übertreffen teilweise die aus Simulationsergebnissen formulierten Erwartungen. Bei bestimmten Randbedingungen lässt sich eine Gesamtkühlleistung von 214 W/m<sup>2</sup> bezogen auf die Membrankühldecke nachweisen. Der sensible Anteil beträgt 144 W/m<sup>2</sup>. Der latente Anteil entspricht der Verdampfungswärme von 112 g/hm<sup>2</sup> des aus der Raumluft entzogenen Wasserdampfes. Insgesamt entspricht das nahezu einer Leistungsverdopplung gegenüber konventionellen Kühldecken.

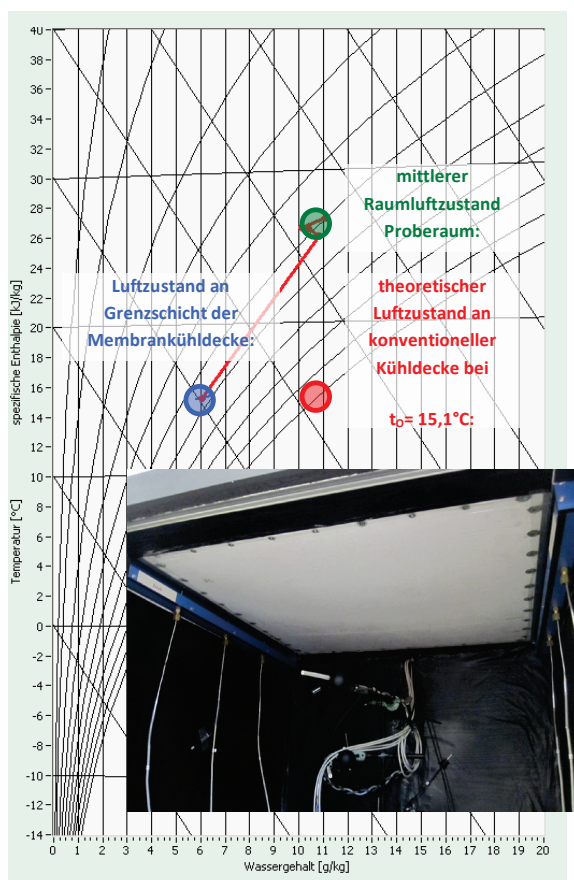


Bild 2: Luftzustände bei 2,5 l/h Sole (13,5°C, 40%) und 80 l/h Wasser (11,0°C)

In Zeiten erhöhter Feuchtebelastung durch die freie Lüftung steigt, bedingt durch die zusätzlich frei werdende Sorptionswärme, die Oberflächentemperatur des Membranelements an (partieller Selbstregelungseffekt zur Sicherung der Kondensatvermeidung). Anders als bei konventionellen Kühldecken ist die Leistung der Membrankühldecke so zu begrenzen, dass die Arbeitsgerade  $\Delta h/\Delta x$  zwischen Raumluftzustand und Luftzustand an der Membranoberfläche (Grenzschicht) das Nebelgebiet nicht durchschreitet. Unterhalb des Temperaturniveaus von 12°C Sole ist konstruktionsbedingt mit lokaler Kondensation zu rechnen.

### 3.4 X-Fluid

Das Projekt „X-Fluid“ ist ein ZIM-Kooperationsprojekt. Das Teilthema „Leistungsmessungen an neuartigen Sorptionsfluiden und Entwicklung eines Schutzsystems gegen Verschmutzung“ umfasst zwei Bearbeitungsschwerpunkte:

1. Prüfung der Eigenschaften neuer Sorptionsfluide
2. Untersuchungen zu Einsparpotentialen von Filterstufen in Klimaanlage durch systembedingte Selbstreinigungseffekte

Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung eines alternativen Sorptionsmittels, das in Klimaanlage wirtschaftlich für die sorptive Kühlung eingesetzt werden kann. Als Vergleichsnorm wird Lithiumchlorid angesetzt, wobei deutlich geringere Kosten erreicht werden sollen.

Außerdem soll nachgewiesen werden, ob durch die Funktion der hygroskopischen Schicht eine Selbstreinigung realisierbar ist, so dass gegebenenfalls Filterstufen eingespart werden können.

Vom Projektpartner wurden verschiedene Proben bereitgestellt. Für diese wurden folgende Eigenschaften ermittelt: Frostsicherheit, Dichte, Oberflächenspannung, Dampfdruck, Wärmekapazität, Viskosität und Verdampfungsenthalpie. Die neuen Rezepturen, basierend auf dem preiswerten Calciumchlorid, zeigen vielfach vergleichbare Eigenschaften zu Lithiumchlorid. So konnten z. B. für den Dampfdruck ebenso wie für die Oberflächenspannung praktisch identische Werte erreicht werden. Es liegen somit Lösungen



vor, die als Ersatz für LiCl einsetzbar sind. Der Test hinsichtlich der Verteilung auf hygroskopischen Oberflächen fiel ebenfalls erfolgreich aus.

Im zweiten Arbeitskomplex wurden die Möglichkeiten der Reinigung der hygroskopischen Oberfläche infolge des Befeuchtens mit den verschiedenen Sorptionsmitteln untersucht. Hierzu war es notwendig, durch den Einsatz verschiedener Methoden das Verhalten von Verunreinigungen beobachten zu können. Mit dem laseroptischen Verfahren konnten sehr gute Ergebnisse beim Nachweis von Veränderungen im Strömungsverhalten bereits bei kleinsten Unebenheiten auf Oberflächen erreicht werden. Die Untersuchungen erfolgten in einem speziellen Versuchsstand, bei dem Wasser durch einen geraden, glatten Rechteckkanal floss. Auf dem Boden simulierten sehr flache Hindernisse in Form von Pfeilen, die entgegen der Strömungsrichtung angeordnet waren, Störungen auf der Oberfläche.

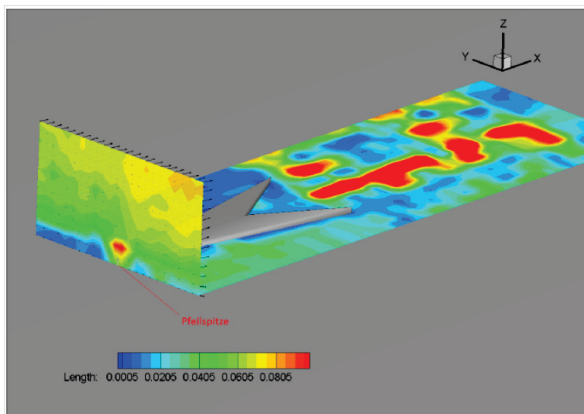


Bild 1: Geschwindigkeitsverteilung

Das Bild 1 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung im Kanal, wenn die laminare Strömung über einer ebenen Fläche durch eine geringfügige Störung der Oberfläche (Pfeilspitze) beeinflusst wird. Auch bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten (hier bis maximal 0,08 m/s) entstehen Unstetigkeiten im Profil, die auf die Veränderung schließen lassen. Somit können durch das laseroptische Verfahren, welches selbst die Strömung nicht beeinflusst, Störungen in der Oberfläche in Form von Ablagerungen aus der Luft nachgewiesen werden.

### 3.5 Entscheidungshilfe Solare Klimatisierung

Die solare Klimatisierung gewinnt durch die neue EPBD, die die Errichtung von „Fast-Nullenergiehäusern“ ab dem Jahr 2021 fordert, enorm an Bedeutung. Der verbleibende Energieaufwand soll in der Regel durch lokal, d. h. am Gebäude erzeugte erneuerbare Energie gedeckt werden. Damit bekommt die solare Klimatisierung einen neuen Stellenwert. Allerdings bleiben die bekannten Probleme der Komplexität, der Kostenintensität und der Fehlersensibilität erhalten.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Entscheidungshilfe erarbeitet, die die Planungsbeteiligten befähigt, in der frühen Projektphase eine Entscheidung für die optimale Art der Klimatisierung, zugeschnitten auf die Gebäudenutzung und den Gebäudeentwurf, für die Gesamtnutzungsdauer zu treffen. Für die Entscheidungshilfe Solare Klimatisierung sind energetische Berechnungen durchzuführen. Die dafür notwendigen Berechnungsmodelle wurden in einer Access-Datenbank aufbereitet. Die Daten für die Gebäudelasten wurden mit Hilfe eines separaten Gebäudesimulationsprogrammes im Stundensschritt ermittelt und in der Datenbank hinterlegt. Das Bild 1 zeigt das Formular für die Berechnung der RLT-Anlage. Es lassen sich 11 konventionelle RLT-Anlagen berechnen.

RLT Anlage			
ID:	1	SFP:	
Projektnummer:	1	Filterkombi-einstz:	
Betriebszeit RLT:	08.00 bis 18.00 Uhr	Filter Energieeffiz:	
wöchentliche Nutzung:	Montag bis Freitag	Art der KIRC:	
Zulufttemperatur Heizen °C:	24	Rückwärmzahl:	
Zuluftfeuchte Befeuchten g/g:	6	Art der Klimatisier:	
Zulufttemperatur Kühlen °C:	18	spez-Heizenergie R:	
Zuluftfeuchte Entfeuchten g/g:	10	spez-Heizenergie R:	
Ventilatorwärme K:	2,0	spez-Heizenergie R:	
Leckage in %:	0	spez-Kühlenergie R:	
Zuluftvolumenstrom Heizen m³/h m³:	20,9	spez-Kühlenergie R:	
Zuluftvolumenstrom Kühlen m³/h m³:	28,8	spez-Wasserverbra:	
Zuluftvolumenstrom IDA m³/h m³:	5,0	spez-Wasserverbra:	
Auslegungsvolumenstrom m³/h m³:	28,8	spez-Strombedarf:	
		CO2 Bilanz kg/m³ a:	

Bild 1: Ein- und Ausgabeformular für die RLT-Anlage

Die Modellierung der RLT-Anlage erfolgt stationär mit einem Zeitschritt von einer Stunde. Es werden die Bilanzen zum Aufwand an Wärme- und Kälteenergie in Abhängigkeit der Außenluftparameter, der Verfügbarkeit der Wärmerückgewinnung und der notwendigen Zuluftparameter berechnet und im Jahresverlauf kumuliert. Bei Anlagen mit Befeuchtungseinrichtungen wird zusätzlich der Wasserverbrauch berechnet. Basierend auf den bedarfswerten der RLT-Anlage können die Energieerzeugungsanlagen bilanziert werden. Das Bild 2 zeigt beispielhafte Berechnungsergebnisse für eine Flachkollektoranlage. Deutlich sichtbar ist der Einfluss der notwendigen Vorlauftemperatur auf den jährlichen Ertrag und damit auf die zu kalkulierenden Wärmekosten. Als Parameter sind die spezifischen Anlagenkosten dargestellt.

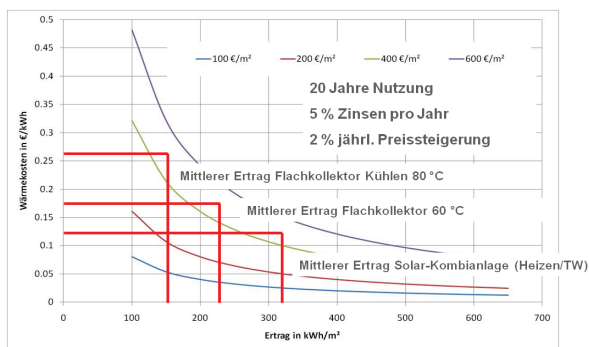


Bild 2: Beispielhafte Berechnungsergebnisse der Solaranlage

### 3.6 Berechnungs-Algorithmen für Freie und Regenerative Kühltechnologien in Nicht-Wohngebäuden

Dieses Forschungsvorhaben wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert. Die Ergebnisse bieten die Basis für die Erweiterung der Berechnungsmethodik nach DIN V 18599 zur Energiebedarfsbilanzierung von RLT-Anlagen und Raumkühlssystemen im Hinblick auf die voranschreitende Nutzungspflicht regenerativer Energiequellen auch im Bereich der Gebäudekühlung.

Im Mittelpunkt des Forschungsprojektes stand dabei die Bewertung der Energieeinsparung bei der Klimatisierung von Gebäuden durch die Verwendung von Systemen zur Freien Kühlung und Kühlsystemen, die

erneuerbare Energieträger nutzen. Ziel war die Erstellung eines Bewertungsverfahrens für die mit der Anwendung verbundene Energiebedarfsreduzierung und die Ermittlung der regenerativen Bedarfsanteile.

Im Ergebnis liegen Untersuchungsergebnisse zur Erhöhung der Abbildungsgenauigkeit der natürlichen Freien Kühlung mit verstärkter Fensterlüftung bzw. natürlicher Sommernachtlüftung im augenblicklichen Monatsbilanzverfahren vor. Darüber hinaus wurden die anlagentechnisch nutzbaren Möglichkeiten zur Freien Kühlung durch die Nutzung von Rückkühlwerken und Freikühlregistern hinsichtlich ihres Beitrages zur Energiebedarfsreduzierung bewertet und Kennwerte für das normative Bilanzverfahren abgeleitet. Gleiches gilt für weitere alternative Kühltechnologien wie die indirekte Verdunstungskühlung, die sorptive Entfeuchtung mit DEC-Technik, die Nutzung von geothermischen Energiequellen (z. B. Grundwassernutzungsanlagen, Erdwärmesonden) und neuartige Regelstrategien konventioneller Kälteerzeuger (z. B. Inverterregelung).

Für die genannten Technologien wurden Energiekennwerte ermittelt und die Abbildung im normativen Kennwertverfahren beschrieben. Daneben wurden neue Bewertungsfaktoren für die Kältespeicherung und für Mehrerzeugeranlagen eingeführt, wodurch das im Ergebnis vorliegende Kennwertverfahren jetzt auch eine ganzheitliche Systembewertung ermöglicht.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind wesentlicher Bestandteil der Erweiterung des Bewertungskataloges der Normteile 3 und 7 der DIN V 18599 (Ausgabe 12/2011) und werden im Zuge der Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2012 direkt in die Praxis überführt. Sie bilden zugleich die Berechnungsgrundlage bei der Ermittlung der Anteile regenerativer Energien und damit dem Nachweis der Einhaltung der im Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) definierten Mindestanteile bei der Gebäudekühlung.

### 3.7 Innovative TGA-Planung am ILK

#### Deutsches Hygiene-Museum Dresden – Großer und Kleiner Saal

Im Rahmen der Konzepterstellung der klimatechnischen Maßnahmen waren für diese beiden multifunktionalen Veranstaltungsbereiche wissenschaftlich-technischen Laboruntersuchungen und Simulationen erforderlich.

Hinsichtlich der Forderungen an Gestaltungsqualität und –variabilität erfolgte die quantitative und qualitative Klärung der Klimatisierungseffektivität.

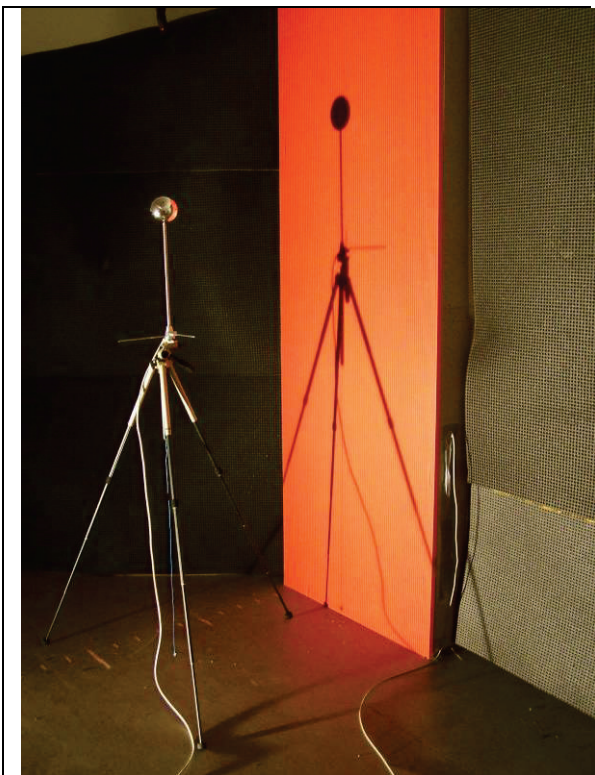


Bild 1: Akustische und hydraulische Untersuchungen des Akustikpaneels im Labor

Unter Anwendung der thermischen Raumströmungssimulation wurde die Variationsbreite der Luftdurchlässe ermittelt. Diese Ergebnisse wurden im Laborversuch (Bild 1) an einer Modellwand erfasst, analysiert und unter künftigen Nutzungsbedingungen bewertet. Die Laboruntersuchungen waren notwendig, um vor allem die hydraulischen und akustischen Auslegungsbedingungen dieses baukonstruktiven Luftdurchlass-elementes eindeutig zu beschreiben.

Für diesen Anwendungsfall wurden die ermittelten Parameter dokumentiert und der Realisierung der Maßnahme zugrunde gelegt.

Der gestalterische Ausführungsanspruch sieht eine eindeutige funktionale Trennung von Veranstaltungs- und Erschließungsflächen in Form einer bautechnischen Vorsatzschale mit Akustikpaneelen im Wandbereich und einer abgehängenen Gitterrostdecke vor. Dahinter erfolgt jeweils die Kanalführung hin zu den Luftauslassebenen. Für die Teilklimatisierung des Großen und Kleinen Saales ist entsprechend der Nutzungsvariabilität ein raumbezogenes und variables Volumenstromkonzept nach dem Prinzip der Quelllüftung berücksichtigt. In Verbindung mit einem Flächenheizsystem mit Kühlfunktion wird sichergestellt, dass die erforderliche Außenluftversorgung erfolgt, die maßgebenden inneren Personen- und Beleuchtungslasten zuverlässig abgeführt werden können und die Behaglichkeitsanforderungen erfüllt werden.

#### Energieeffizienzmaßnahmen Residenzschloss Dresden

Die Projektentwicklung beinhaltet das Aufstellen einer gesamtheitlichen Gebäude- und Anlagenstudie, bei der eine nachhaltige Reduzierung der Energieverbrauchswerte, verbunden mit einer Minimierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Vordergrund steht. Es war zu untersuchen, wie eine effizientere Bewirtschaftung des Gebäudekomplexes erfolgen kann. Unter Berücksichtigung neuer regelungstechnischer Konzeptionen soll eine effizientere Nutzung der vorhandenen Anlagen und der Energieträger erreicht werden.

Das ILK Dresden wurde beauftragt, weil eigene Forschungsergebnisse und langjähriges Wissenspotenzial unterschiedlicher Fachbereiche der Gebäude- und Energietechnik in das Projekt einfließen.

Aufgrund einer sehr langen Bauzeit sowie der Zergliederung in mehrere Bauabschnitte, verbunden mit verschiedenen technologischen Konzepten, erforderte das Gesamtprojekt eine grundlegende ingenieurtechnische Betrachtung. Bei diesen Betrachtungen waren die derzeit noch nicht fertig gestellten Gebäudeteile sowie geplante Umnutzungen bereits sanierter Gebäudeteile zu berücksichtigen. Die zur Verfügung stehenden Optimierungspotenziale wurden untersucht, beschrieben und beurteilt. Dabei wurden steigende Betriebskosten qualitativ bewertet. Darüber hinaus entwickelte das ILK ein Modell zur nutzungsbezogenen Verbrauchserfassung aller relevanten Medienträger als Grundlage für ein Energiemonitoring.

Im Zuge der Bearbeitung konnten Erkenntnisse zur verbesserten bauphysikalischen Gestaltung des Baukörpers gewonnen werden. Auf dieser Basis wurden weiterführende Ideen zur Reduzierung von Heiz- und Kühllasten entwickelt.

Im Rahmen einer Studie konnten erhebliche Energieeinsparpotentiale nachgewiesen werden, welche zu einer nachhaltigen Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beitragen.

Durch die Erweiterung der vorhandenen Komponenten der Einzelraumregelung bestimmter klimatisierter Nutzungsbereiche um weitere Funktionen (Präsenzmeldung, Zeitschaltprogrammen, logischer Verknüpfungen) wurden gegenläufige, unlogische und energieaufwendige Regelsequenzen unterbunden.

Darüber hinaus beabsichtigt der Auftraggeber die Umsetzung des Energiemonitorings für ein liegenschaftsübergreifendes Benchmarking. Die dabei realisierte wissenschaftlich-technische Innovation führt zur Senkung von Investitions- und Betriebskosten und bildet die Grundlage der Kostensicherheit beim Auftraggeber.

## 4. Luftreinhaltungstechnik

### 4.1 Energieökonomische Abscheider

In Artikel 15 der Richtlinie 2008/50/EG vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, welche bis zum 11. Juni 2010 in nationales Recht umsetzen war, wird ein nationales Ziel für die Reduzierung der Exposition gegenüber PM<sub>2.5</sub> zum Schutz der menschlichen Gesundheit definiert.

Danach sollen die Mitgliedstaaten alle erforderlichen Maßnahmen treffen (die keine unverhältnismäßigen Kosten verursachen), um die Exposition gegenüber PM<sub>2.5</sub> zu verringern, damit das nationale Ziel für die Reduzierung der Exposition gemäß Anhang XIV Abschnitt B innerhalb des dort festgelegten Jahres erreicht wird.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass die PM<sub>2.5</sub> Konzentrationen in Deutschland in einem Bereich zwischen 10 und 20 µg/m<sup>3</sup> anzusiedeln sind.

Damit ist ein Handlungsbedarf gegeben und die Immission ist durch Maßnahmen der Emissionssenkung zu reduzieren. Da hier allerdings der Grundpegel zu reduzieren ist, kann auch davon ausgegangen werden, dass die kontinuierlichen Emittenten Gegenstand der Betrachtung sind. Immerhin rund 40 % der Feinstaubemissionen werden durch Industrie und Kraftwerke hervorgerufen. Insgesamt entspricht der Stand der Gasreinigung in der Industrie schon einem hohen Niveau; weitere Absenkungen der Emission durch weitere Abscheidestufen sind technisch schwierig umsetzbar und verursachen enorme Kosten.

Ziel muss es daher sein, die verfügbaren und installierten Techniken durch eine sinnvolle Auswahl von Betriebsparametern optimal zu nutzen. Dazu sollte das bearbeitete Thema einen Beitrag und die Grundlagen für eine solche Herangehensweise liefern. Potentiale eröffnen sich sowohl für großtechnische Anwendungen als auch für Klein- Entstauber. Grundsätzlich sind in der Abstimmung von Filtermaterial, Abreinigung und Abscheider- Geometrie große Verbesserungspotentiale enthalten, die in



Bezug auf die weitere Absenkung der Staubemission und die Energieeinsparung allerdings bislang weniger von Interesse und messtechnisch nicht, oder nur schwer zu untersuchen waren. Mit der neuen schnellen Partikel- Messtechnik wird dies allerdings möglich und es können damit weitere Entwicklungswege aufgezeigt und angeschoben werden. Eine wesentliche Zielstellung des Vorhabens war es auch, die Möglichkeiten zur Senkung des Energieverbrauches Filternder Abscheider zur analysieren, siehe Bild 1.

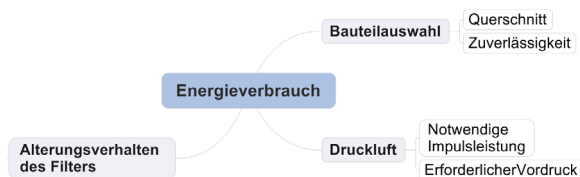


Bild 1: Einflussgrößen auf den Energieverbrauch Filternder Abscheider

Bei den Untersuchungen der Filtermaterialien wurden zwei verschiedene Versuchsstände eingesetzt. Am Normprüfstand (VDI 3926 Typ 1; DIN ISO 11057) wurden die Versuche zum Druckverlustverhalten und zum Staubdurchtritt durchgeführt, Bild 2.



Bild 2: Filterprüfstand nach VDI 3926/DIN ISO 11057

Das Alterungsverhalten wurde an einer anderen Versuchseinrichtung realisiert, bei der das Filtermaterial waagrecht eingespannt ist. Damit wird der Staubkuchen wieder anfiltriert, wie bei einer unvollständigen Regenerierung. Auch ist ein geringerer Einsatz von Teststaub erforderlich. Es konnten Zusammenhänge von Feinstaubdurchtritt und Anströmgeschwindigkeit sowie Druckverlustanstieg ermittelt

werden. Nach der Alterungsphase, welche bei den beiden heißgasbeständigen Materialien auch bei 150 °C durchgeführt wurde, erfolgte eine erneute Untersuchung der Materialien im VDI- Prüfstand. Damit konnten Abhängigkeiten von Feinstaubdurchtritt und Alterungsverhalten ermittelt werden.

In einem weiteren Schritt wurden Untersuchungen an konfektionierten Filtermaterialien durchgeführt um einen Vergleich zwischen Flächenware und Filterelement zu ermöglichen. Dazu wurden umfangreiche Messungen zu Druckverlust und Abscheideleistung an einem eigens dafür errichteten Versuchstand (Bild 3) durchgeführt.



Bild 3: Versuchstand zur Untersuchung von Filterelementen bis 6 m Längen

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten Zusammenhänge im Energieverhalten und der Abreinigung ermittelt werden. Dabei ist deutlich geworden, dass es für eine optimale Auswahl einer Messreihe mit Variation der Umlaufzeit der Druckluftimpulse bedarf. Entsprechend dieser Vorgabe richten sich auch die übrigen Filtrationsparameter aus.

Weiterhin wurden das Abreinigungssystem und die Abreinigungsparameter variiert. Die Ergebnisse und Eingangsparameter wurden in Hinsicht auf das Energie-Einsparungspotential hin ausgewertet. In den nachfolgenden Schaubildern sind die Zu-



sammenhänge und Ergebnisse zur energetischen Optimierung des Filtrationsprozesses exemplarisch dargestellt, siehe Bild 4 und 5.

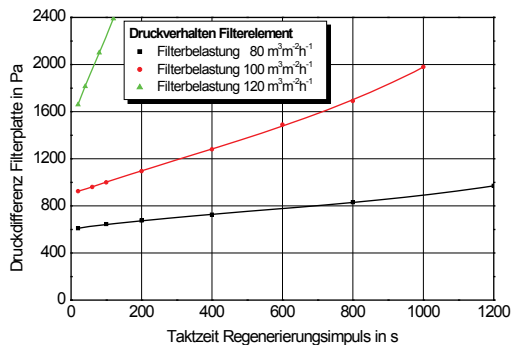


Bild 4: Druckverhalten in Abhängigkeit der Filterflächenbelastung der Abreinigung

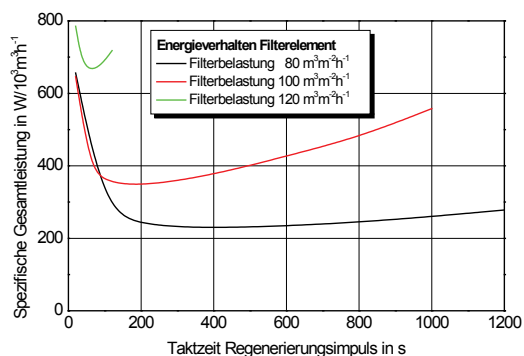


Bild 5: Energieverbrauch in Abhängigkeit der Filterflächenbelastung der Abreinigung

#### 4.2 Entwicklung eines Verfahrens zum simultanen Vergleich von Filtern

Zunehmend von Interesse bei der Filtration von Kfz-Innenraum- und Ansaugluft ist die Prüfung der Abscheidewirkung von ultrafeinen Partikeln, wie z.B. Rußpartikeln aus motorischen Abgasen des Straßenverkehrs. Hierzu sind die Aussagefähigkeit der derzeitigen Verfahren und der sinnvolle direkte qualitative Vergleich verschiedener Filter begrenzt. In Untersuchungen zur Filterprüfung nach den geltenden Normen konnte immer wieder die geringe Praxisrelevanz festgestellt werden. In Folge der Trennung von Bestäubung mit Teststäuben und der Untersuchung der Filtereffizienz mit aus Flüssigkeiten generierten Testaerosolen (DEHS, DOP, Parafine) ergibt sich

eine Diskrepanz zwischen den sehr guten Testergebnissen im Labor und in den in der realen Anwendung des Filters festzustellenden weitaus niedrigeren Wirkungsgraden.

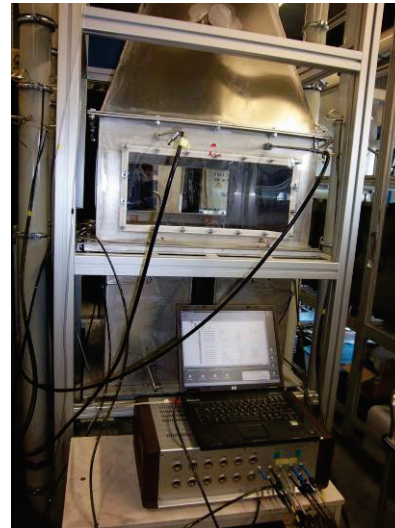


Bild 1: Versuchsstand mit Komplettanbindung und applizierter Messtechnik

Der Versuchsstand wurde mit den ausgewählten Bauteilen und Baugruppen realisiert. Bild 1 zeigt die Umsetzung des Konzeptes als aufgebauten Versuchsstand im ILK-Versuchsfeld. Dabei erfolgt im Besonderen die Ausrüstung mit Messtechnik, sowie speziellen Entnahmesonden und Probenahmevorrichtungen.

In Untersuchungen wurden Prüfungen von drei verschiedenen Filtermaterialien in den vier separaten Prüfkanälen durchgeführt. Bild 2 zeigt die Druckdifferenzmessung für die Filtermaterialien. Es ist zu erkennen, dass mit einer Erhöhung des Volumensstromes ein Anstieg der Druckdifferenz in Abhängigkeit des Filtermaterials erfolgt.

Wird eine Fraktionsabscheidegradmessung der verschiedenen Materialien mit DEHS-Aerosol durchgeführt, lässt sich zeigen, dass die Materialien in allen Prüfkanälen Nr. 1 und Nr. 4 einen höheren Fraktionsabscheidegrad im Zusammenhang mit dem höheren Durchströmungswiderstand generieren. Die im Vorhaben entwickelte Lösung des Versuchsstandes mit integriertem Prüfverfahren besticht durch seine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten.

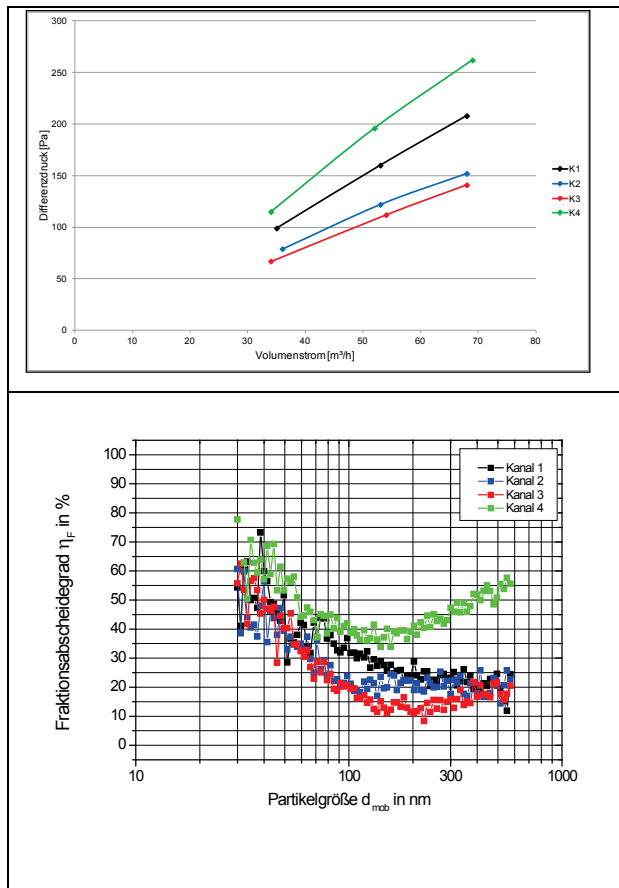


Bild 2: Druckdifferenzmessung von Filtermaterialien in vier getrennten Prüfkanälen

### 4.3 Trennmittelabscheider für Druckgussmaschinen

Zur wirtschaftlichen Serienproduktion dünnwandiger und filigraner Gussteile setzt die metallverarbeitende Industrie hoch automatisierte Druckgussverfahren ein. Dabei geht der Trend dahin, immer schwerere Guss-Stücken im Druckguss herzustellen.

Die thermischen Lasten sind beim Gießprozess höher und die notwendigen Trennmittelmengen werden größer. Nach dem derzeitigen Stand werden die beim Gießvorgang freiwerdenden Aerosole in die Werkhalle freigesetzt. Dies ist mit einer Belastung der Luft am Arbeitsplatz verbunden. Die Verdampfung des Trennmittels an der heißen Oberfläche der Gießform und die Tropfenbildung beim Versprühen des Trennmittels unter hohem Druck, hat die Bildung eines hochkonzentrierten Trennmittel-Aerosols zur Folge.

Wird auf die gezielte Erfassung und Abscheidung der Trennmittel-Emissionen verzichtet, schlägt sich ein Ölfilm auf Druckgussmaschinen, der Maschinenperipherie und den Hallenwänden nieder. Zudem kondensiert in den kalten Monaten der Wasserdampf aus und die Konzentration der Aerosoltröpfchen in der Hallenluft erreicht ein Maß, bei welchem die Nebelbildung einsetzt, siehe Bild 1.



Bild 1: Freisetzung Trennmittel-Aerosol

Neben diesen Aspekten stellt sich die Frage nach Gesundheitsbeeinträchtigungen der Arbeiter aufgrund der mikrobiologisch wirksamen Konservierungsmittel.

Für die Untersuchungen im Labor musste zunächst eine Aerosol-Dosierung entwickelt werden. Bild 2 zeigt die Vorrichtung.



Bild 2: Trennmittel-Aerosol - Dosierer

Die Innovation im Rahmen des Forschungsvorhabens lag vor allem in folgenden Punkten:

- Erfassung der Trennmittel- Emissionen durch Einsatz einer flexiblen Absaughaube, welche bei Produkt- und Werkzeugwechsel zurückgefahren werden kann und einen hohe Erfassungs- Wirkung durch die partielle Einhausung sicherstellt;
- Kombination von elektrostatischer Agglomeration, Kondensation, elektrostatischer Abscheidung, sowie einem Schüttstofffilter zur Abscheidung von dampf-, partikel- und tropfenförmigen Emissionen → Abscheidung von Gas- und Aerosol- Fracht.

#### 4.4 Biomassesystem

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

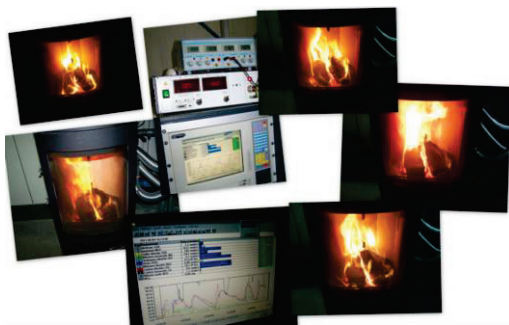


Bild 1: Versuchsdurchführung mit Kamin

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

- Kamin,
- Wärmespeicher,
- Abscheider,
- Regelung

beinhaltet.

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

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

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

Versuchsergebnisse (Bild 1) am Labor-musterprüfstand haben gezeigt, dass mit dem Feststoffspeichersystem der Wirkungsgrad des Feuerungssystems um bis zu 14 % erhöht werden kann und Staubkonzentrationen im Reingas von < 15 mg/m<sup>3</sup> mittels des Staubfilters erzielt werden können.

Dabei erfolgt eine sehr gute Abscheidung der nanoskaligen Stäube an der Niederschlags- Elektrode des entwickelten elektrostatischen Abscheiders (vgl. Bild 2). Daher wurde eine Abreinigungsvorrichtung (Bild 3) entwickelt, mit welcher auch der Langzeit- Betrieb sichergestellt ist.



Bild 2: Staubabscheidung an der Niederschlagselektrode



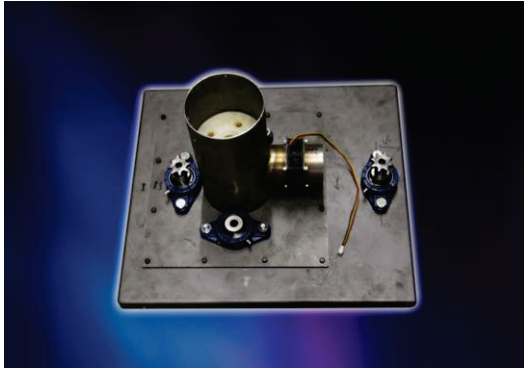


Bild 3: Abreinigungsvorrichtung

#### 4.5 Filterentwicklung - Ingenieurleistungen für die Industrie

##### Filterprüfung für spezielle Einsatzbedingungen

Innenraumfilter für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge müssen extremen Bedingungen hinsichtlich Feuchte, Staub und Schadstoff standhalten und gleichzeitig die Anforderungen erfüllen, die an persönliche Schutzausrüstungen gestellt werden. Daher sind die Prüfanforderungen für die Leistungsprüfung besonders anspruchsvoll:

- Prüfvolumenstrom 30 ... 120 m<sup>3</sup>/h
- Relative Feuchte 80 ±3%
- stabile Temperierung 23 ±2°C.

Die Temperierung erfolgt durch die Klimatisierung des Prüfraumes, aus dem die Vorrichtung die Luft ansaugt wird und einer geregelten Widerstandsheizung im Luftaufbereitungskanal, siehe Bild 1.

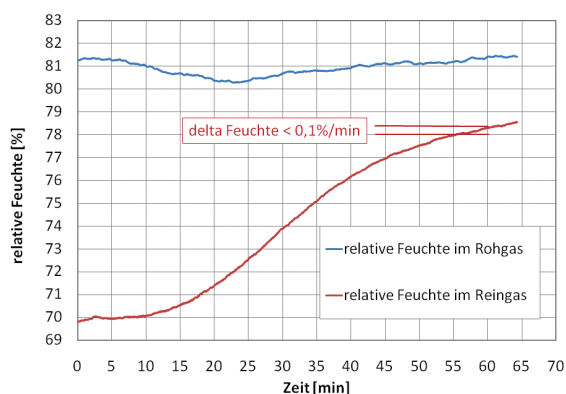


Bild 1: Roh- und Reingasfeuchte am Prüfstand

Für die Realisierung des geringen Prüfvolumenstromes von 30 m<sup>3</sup>/h wurde am Prüfstand eine neue Ablufführung installiert, die alternativ zur bisherigen Ablufführung

geschaltet werden kann. Die Messung und Überwachung des Volumenstroms erfolgte mit einer Messblende.

Die Größe und die Form der Filterelemente ermöglichen den Einsatz des standardisierten Prüfstandes für Kabinen-Innenluftfiltern nach DIN 71460-1 (Bild 2), welcher durch geeignete Modifikationen auch für die Bewertung von Kabinenfiltern von landwirtschaftlichen Fahrzeugen genutzt werden kann. Die wesentlichen Modifikationen bestehen dabei in der Erfüllung der Anforderungen der DIN EN 15695-2.



Bild 2: Prüfstand mit Messtechnik

##### Leistungsprüfung und Produktentwicklung

Entscheidend für eine Produktentwicklung im Filtrationsbereich ist ein Vergleichstest für die jeweiligen Entwicklungsstufen unter reproduzierbaren Bedingungen. In diesem Fall wird ein DEHS-Prüfaerosol (Bild 1) und ein Prüfgas mit 500 ppm Cyclohexan gefordert. Dies kann im ILK zuverlässig realisiert werden und dadurch können Entwicklung sichtbar gemacht werden.

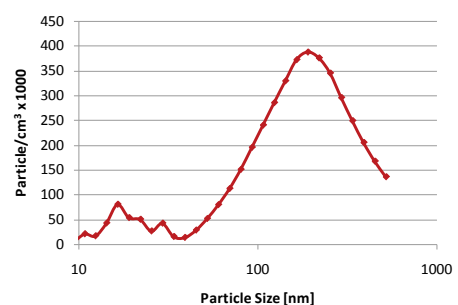


Bild 1: Partikelgrößenverteilung Prüfaerosol

## 5. Angewandte Werkstofftechnik

### 5.1 Transporteigenschaften ökoeffizienter Kältemittel-Öl-Gemische

Der verstärkte Einsatz von Halbhermetik- und Hermetikverdichtern in der Kältetechnik erfordert die genaue Kenntnis über die elektrischen Transporteigenschaften der eingesetzten Kältemittel-Öl Gemische in Kompressionskältemaschinen. Da es sich bei Kältemittel-Öl Gemischen zumeist um isolierende bzw. schlecht elektrisch leitende Flüssigkeiten handelt, sind die elektrischen Eigenschaften weitestgehend unbekannt. Zudem steht durch den Ersatz der Kältemittel mit hohem Ozonabbaupotential und neuerdings auch dem Ersatz von Kältemitteln mit hohem Treibhauspotenzial die Frage nach den thermischen Transporteigenschaften der neuartigen Kältemittel bzw. Kältemittel-Öl Gemische, wie sie später im Kältekreislauf zu finden sein werden.

Ziel des Vorhabens ist es demzufolge, Methoden zu entwickeln bzw. vorhandene Methoden anzupassen, so dass die Ermittlung der elektrischen und thermischen Transporteigenschaften von Kältemittel-Öl Gemischen unter den Gesichtspunkten des Einsatzes von neuartigen Arbeitsstoffen in der Kältetechnik ermöglicht wird. Unter diese Gesichtspunkte fällt zum Beispiel der Fakt, dass es sich bei Kältemittel-Öl Gemischen um Zweistoffgemische handelt, welche zur Ausbildung von ausgeprägten Mischungslücken tendieren und von denen eine Komponente sehr hohe Drücke aufweist, wobei die andere nahezu nicht verdampft. Derart verschiedene Stoffe, zum einen monomolekulare, verflüssigte Gase und zum anderen polymere, mit Additiven versetzte Stoffe mit inhomogener Molmassenverteilung, elektrisch und thermisch zu charakterisieren, ist Aufgabe dieses Vorhabens.

Die zu bestimmenden elektrischen Transporteigenschaften umfassen die elektrische Leitfähigkeit, die Dielektrizitätskonstante sowie den elektrischen Verlustfaktor. Die thermischen Eigenschaften beinhalten die Wärmeleitfähigkeit, die Temperaturleitfähigkeit und die Wärmekapazität.

Systematisch untersucht und umfassend wissenschaftlich analysiert werden sollen neben den ausgewählten Kältemittel-Öl Gemischen auch die Einflüsse von Additiven und von Alterungserscheinungen der Arbeitsstoffe auf die Transporteigenschaften. Im Ergebnis soll eine neuartige Methode abgeleitet und verifiziert werden, die es für diese Stoffe ermöglicht, Verschleiß- und Alterungszustände von Kältemittel-Öl Gemischen nur durch Änderung ihrer spezifischen Transporteigenschaften zu erfassen.

Für die Anwendung in Kältekreisläufen, welche in der Zukunft mit Kältemitteln mit niedrigem Global Warming Potential (GWP < 150) betrieben werden sollen, kommen nach derzeitigem Kenntnisstand natürliche Kältemittel und nur wenige synthetisch hergestellte Kältemittel in Frage. Aus der recht übersichtlichen Palette dieser Kältemittel wurde, aufgrund des anstehenden Ersatzes des weitverbreiteten Kältemittels R134a in der mobilen und stationären Kälte das Drop-In Kältemittel R152a ausgewählt. Zur Diskussion in der automobilen Klimatisierung, und schon erfolgreich in der stationären Kälte verwendet, steht das Kältemittel R744. Es wurde deshalb auch in die Untersuchungen eingeschlossen.

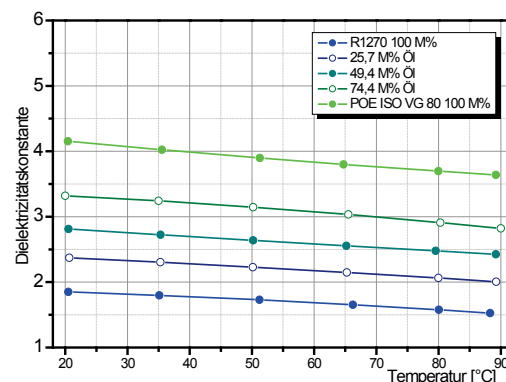


Bild 1: Dielektrizitätskonstante von R1270 – Reniso Triton SEZ 80 Gemischen

Um einen Vergleich des Einflusses des Kältemittels auf die elektrischen Eigenschaften der Öle zu ermöglichen, wurden auch Untersuchungen mit dem natürlichen Kältemittel R1270 durchgeführt (Bild 1).

Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit unter Druck wurde eine Messzelle nach dem Prinzip der Thermal Hot Wire Methode aufgebaut (Bild 2).



Bild 2: Messzelle zur Messung von Wärmeleitfähigkeiten unter erhöhtem Druck

Die einzelnen Peripheriegeräte, wie Spannungsversorgung, Spannungsmessung, Strommessung, Widerstandsdekade, Temperatur und Druckmessung wurden vom ILK Dresden miteinander verbunden und in einen einzigen Messplatz integriert und werden gerade getestet.

## 5.2 Werkstoffverhalten unter überkritischen CO<sub>2</sub>-Bedingungen von Kälteanlagen

Dank seiner Umweltverträglichkeit (ODP = 0) sowie seines vernachlässigbaren, direkten Treibhauspotentials (GWP = 1) erwächst Kohlendioxid zu einem attraktiven Kältemittel. Aufgrund seiner Stoffeigenschaften ist der Einsatz von CO<sub>2</sub> (R744) jedoch nicht ganz unproblematisch. Dank technisch verbesserter Komponenten können zwar die höheren Drucklagen von R744 in Kältekreisläufen beherrscht werden, jedoch besteht oberhalb einer Temperatur von 31°C (der kritischen Temperatur des CO<sub>2</sub>) die Gefahr, dass Kohlendioxid Eigenschaften annimmt, die sich von gasförmigem CO<sub>2</sub> wesentlich unterscheiden (überkritisches CO<sub>2</sub>). Die dabei auftretenden Wechselwirkungen mit den Komponenten kältetechnischer Kreisläufe können zu frühzeitigen Alterungserscheinungen von Materialien und damit zum Ausfall der Anlagen führen. Gefahren überkritischen Kohlendioxids erwachsen dabei vor allem aus der gesteigerten

Gaspermeation durch Polymerwerkstoffe sowie einer damit verbundenen, gesteigerten Gefahr von Materialschädigungen infolge eines plötzlichen, raschen Druckabfalls (explosive Dekompression).

Ferner weist überkritisches Kohlendioxid ein gesteigertes Extraktionsvermögen gegenüber nicht-metallischen Werkstoffen auf. Als weiterer wichtiger Aspekt sei die Möglichkeit einer unerwünschten Desorption von an Molsieb gebundenen Wassern genannt. Die Schädigungsmechanismen sowie die wechselseitige Beeinflussung von Kältemitteln, Schmierstoffen sowie Konstruktions- und Dichtwerkstoffen in hochbeanspruchten CO<sub>2</sub>-Thermoprozessanlagen sind noch weitgehend unerforscht und stellen ein Hemmnis bei der Einführung dieses umweltfreundlichen Kältemittels dar. Das beschriebene Forschungsvorhaben diente daher der systematischen Untersuchung und Bewertung komplexer, wechselseitiger Einflüsse von thermischer Belastung, überkritischem CO<sub>2</sub> als Kältemittel sowie ausgewählter Kältemaschinenöle. Deren Wirkung auf die funktionale Beständigkeit von Kunststoffen und Elastomeren stand dabei im Fokus der Arbeit. Anhand einer ganzheitlichen Analyse der Arbeitsstoffe Kältemittel, Kältemaschinenöl und Werkstoff wurden zunächst mittels statischer Untersuchungen in Hochdruckbehältern (Autoklaven) unerwünschte Wechselwirkungen der Arbeitsstoffe untereinander aufgezeigt.

In einer zweiten Phase des Projekts wurde ein Hochdruckkältekreislauf konzipiert und aufgebaut, welcher unter überkritischen Bedingungen des Kohlendioxids betrieben wurde (Bild 1).

Neben systematischen Untersuchungen zum Trocknungsprozess in Gegenwart von Molsieb, wurde die Materialbeständigkeit ausgewählter, o.g. Elastomere geprüft und mit den Daten der eingangs beschriebenen Autoklavenversuche verglichen. Im Falle des HNBR-Werkstoffs wurden nach thermischer Behandlung im Kreislauf test erhöhte relative Änderungen der mechanischen Kennwerte in Bezug auf die Ergebnisse der statischen Untersuchungen konstatiert. Eine Prüfung der Materialbeständigkeit im Sinne dynamischer Kreislaufuntersuchungen ist daher generell angeraten.

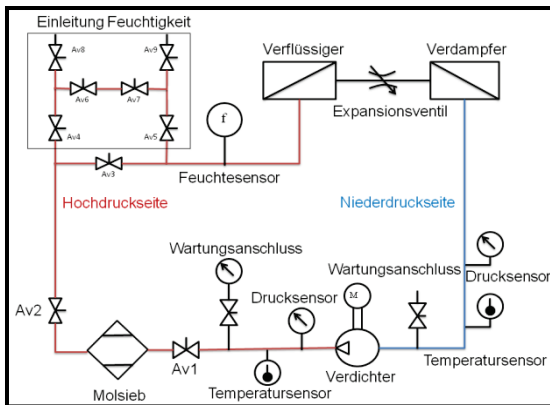


Bild 1: Schaltbild des überkritisch betriebenen CO<sub>2</sub>-Prüfstands

### 5.3 Optoelektronischer Feuchteindikator für Kälteanlagen

Der Feuchtegehalt des Kältemittels ist eine zu beachtende Größe beim Betrieb von Kälteanlagen. Bestimmungsgemäß ist in Kälteanlagen von trockenem Kältemittel mit einer bestimmten Restfeuchte auszugehen. Diese Restfeuchte wird zusätzlich durch den zumeist integrierten Trockner zusätzlich reduziert. Dennoch kann der Feuchtegehalt aufgrund von Leckagen, z.B. durch Korrosion bei der Verwendung von Wasser als Kälteüberträger, ansteigen und zu ungewollten chemischen Reaktionen oder funktionellen Behinderungen beim Anlagenbetrieb führen.

Wasser kann zu Korrosion und Hydrolyse-Reaktionen mit Kältemaschinenölen führen. Durch die Expansion des feuchten Kältemittels kann das freie Wasser zur Vereisung des Expansionsventils oder zu unerwünschten Effekten im Verdampfer führen. Im Rahmen des Projektes Optoelektronischer Feuchteindikator für Kälteanlagen wurde ein optoelektronischer Sensor zur Anlagenüberwachung entwickelt. Dieser wird an das an der Kälteanlage befindliche Schauglas montiert und ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung der Parameter Feuchte, Temperatur und Blasenbildung/Trübung des Kältemittels. Zur Lösung der Problemstellung wurden im Rahmen des Projektes Untersuchungen zu konstruktiven Unterschieden der am Markt verfügbaren Schaugläser vorgenommen, optische Eigenschaften der Kombination von optoelektronischem Sensor und Schauglaskonstruktion sowie zu optischen Kältemitteleigenschaften in

flüssigem oder gasförmigem Zustand vorgenommen.

Der optoelektronische Sensor bildet eine Kombination von LEDs verschiedener Wellenlängen, die auf den Farbumschlag des im Schauglas befindlichen Farbindikators abgestimmt sind. Eine zweite funktionelle Einheit bilden die auf dem Sensor befindlichen Fotodioden, die mit speziellen Filtern auf die optische Erfassung des reflektierten Lichtes abgestimmt sind.

Das ILK Dresden hat sich im Rahmen des Projektes mit der Entwicklung der Elektronik zur Steuerung der optoelektronischen Einheit und Auswertung der Messergebnisse beschäftigt. Durch die Integration einer Temperaturmessstelle wird die Verbindung zur jeweiligen Löslichkeitskurve von Wasser in Kältemittel für verschiedene Kältemittel hergestellt. Der im Rahmen des Projektes entwickelte Sensor kann wahlweise den Farbumschlag des Indikators im Schauglas oder den absoluten Wassergehalt als PPM (mg Wasser / kg Kältemittel) als Ausgangsgröße generieren. Durch die Überwachung des freien Raumes im Schauglas werden Blasenauftreten, Füllstand oder Kältemittelmangel detektiert. Bei einer permanenten Überwachung der Anlage lassen sich somit funktionelle Probleme oder zunehmende Verschleißerscheinungen erfassen. Das Sensorsystem mit dem Kurznamen „LuKaS“ wird momentan in einem Feldtest erprobt und überwacht Feuchtegehalt sowie Blasenauftreten einer kommerziellen R134a Kälteanlage im Supermarktbereich.

### 5.4 Neue Trockner-Generation – NTG

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zu neuen Trockner-Generationen waren durch das ILK neue energieeffiziente Trocknungsprinzipien für die Handtrocknung zu untersuchen, zu entwickeln und deren Funktionsnachweis für eine zeit- und energieeffiziente Trocknung von Händen zu erbringen. Ausgangspunkt der Arbeiten war eine kritische Analyse und energetische Bilanzierung von Handtrockner-Referenzsystemen.

Die grundlegende Aufgabe der objektiven und quantifizierten Beurteilung von Trock-



nungseffekten (Wegblasen, Verdunstung) wurde durch die Entwicklung und Erprobung eines Funktionsdemonstrators für die neue Trockner-Generation gelöst. Basierend auf einer Riffelscheibe als Substrat in Verbindung mit einem integralen, visuellen Detektor- und Sensorprinzip (Bild 1) konnten Trocknungsvorgänge verstanden und optimiert werden; erstmals konnten Trocknungszeiten objektiv gemessen und unabhängig von Probanden Händen vergleichend bewertet werden.

Als neue Trocknungsprinzipien wurden insbesondere Ionisationstrocknung, Ozon, Strahlungstrocknung sowie verteilte/ pulsierende Luftströme wissenschaftlich untersucht und evaluiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Ionentrocknung auf dem Effekt eines Ionenwindes beruht; das Wirkprinzip des Effekts wurde aufgeklärt und hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten bewertet. Als wesentlicher, für die Handtrocknung neuer Trocknungsmechanismus wurde die Strahlungstrocknung identifiziert. Mit optimierten Strahlern kann eine wesentliche Verbesserung der Trocknung erzielt werden, wobei die Energieeffizienz der Strahlungswärme merklich höher als die eines konventionellen Heißluftgebläses ist.

Die Arbeiten zur Optimierung luft- und heizungstechnischer Baugruppen konzentrierten sich besonders auf den Heizer, das Lüfterrad und die Luftführung. Einsatzmöglichkeiten neuer Materialien für den Heizer (Metallschaum und Keramik) wurden entwickelt und getestet. Entsprechend den Vorgaben wurden verschiedene Lüfterräder mit unterschiedlichem Fokus konstruiert.

Die Auslegung wurde dabei einerseits für ein energetisch optimales, andererseits für ein akustisch gutes Laufrad vorgenommen, wobei sich unterschiedliche Formen und Größen der Räder ergaben. Eine Verbesserung der Luftführung resultierte unter anderem in Varianten mit mehrseitigem Luftaustritt, verteilten Düsen und einem optimierten Bauraum für eine gute Durchströmung der Heizung, einem Entwurf mit Doppelspiralführung sowie Varianten mit angepasster Zuführung (Ansaugung) über das Laufrad, den Druckraum mit der Heizung und die Austrittsöffnungen.

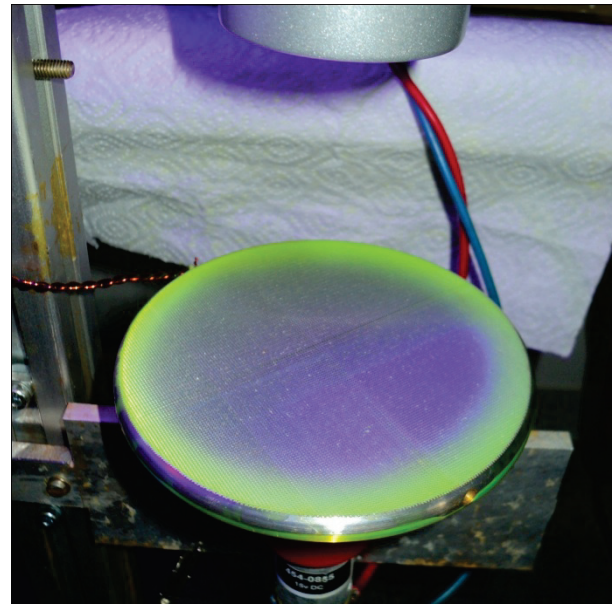


Bild 1: Trocknung einer Riffelscheibe mit integraler, visueller Trocknungsbewertung

## 6. Angewandte Energietechnik

### 6.1 Transporteigenschaften von Eis-Wassergemischen

Eine wesentliche Voraussetzung für eine sichere Auslegung von Eisspeicheranlagen mit Vakuumeis ist die genaue Kenntnis der Transporteigenschaften von Eis-Wassergemischen in Abhängigkeit von Eisgehalt, Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsquerschnitten sowie der Art und der Konzentration des Gefrierpunkt erniedrigenden Additivs. Insbesondere dann, wenn das Eis durch Direktverdampfung von Wasser im Vakuum entsteht.

Im Rahmen des Projekts wurden Eis-Wassergemische mit Salzen als Additiv hinsichtlich ihrer rheologischen Eigenschaften vermessen. Die Ergebnisse der Experimente dienen der Berechnung von Widerstandsbeiwert und Druckverlust. Es war zu prüfen, inwieweit bekannte Berechnungsansätze gültig sind. Ein im ILK aufgebauter Eisspeicher mit einer Wasserdampfkältestufe und Direktverdampfung im Vakuum stellt bis zu 6 m<sup>3</sup> Eis-Wassergemisch zur Verfügung. Über einen bestimmten Bereich von Eis-konzentration und Additivkonzentration wurden in einer im Rahmen des Projekts



gebauten Versuchseinrichtung Strömungsparameter gemessen.

Die beschreibenden dimensionslosen Kennzahlen Re-Zahl und He-Zahl enthalten die Zähigkeit und die Dichte als Stoffeigenschaften. Zur Messung der Zähigkeit wurde ein Rohrviskosimeter genutzt. Das Rohrviskosimeter verfügt über drei zylindrische, glatte Rohre unterschiedlichen Durchmessers. Mit mehreren Messrohren konnte der Einfluss des Strömungsquerschnitts auf das Fließverhalten untersucht werden.

Die Bestimmung der Viskosität beruht auf einer exakten Druckmessung. Eine zur Versorgung der Messstrecke mit konstantem Eisanteil in der Flüssigkeit vorauszusetzende gute Durchmischung zu sichern, erwies sich als schwierig. Es wurden unterschiedliche Verfahren zum Verhindern von Verklumpen und Entmischen des Eis-Wassergemisches untersucht. Dabei konnte das grundsätzlich unterschiedliche Verhalten des Eiswassergemisches im Verdampfer, bei einem Umgebungsdruck unterhalb der Erstarrungstemperatur, bzw. im Speicher beobachtet werden.

Aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts leiten sich einige interessante wissenschaftliche Fragestellungen und neue Forschungsfelder ab.

Dazu gehören Arbeiten, die zum besseren Verständnis von Eisbildung und Eisentstehung an Oberflächen und in unterkühlten Flüssigkeiten führen, Untersuchungen des Wärmeübergangs aus Eis-Wassergemischen mit und ohne Phasenübergang, Arbeiten zur Gestaltung von energieeffektiven Mischeinrichtungen in Eisspeichern.

Eis als kostengünstig herstellbares PCM (phase change material) hat Bedeutung bei der Entwicklung innovativer Speicherkonzepte in dezentralen Systemen der komplexen Energieumwandlung.



Bild 1: Vakuum-Eisspeichersystem in der WSH Zwickau

## 6.2 Verwendung von Kristallisationsadditiven und Mehrkomponentensalzgemischen in Wasser-Lithiumbromid-Resorptionskälteprozessen zur Kälteerzeugung unter 0°C (MinusResorber)

Mit dem Einsatz von Solarwärme oder Abwärme angetriebene Sorptionskälteanlagen an Stelle von Kompressionskälteanlagen kann Strom und Primärenergie eingespart werden. Am Markt verfügbare Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen nutzen Wasser als Kältemittel und können demzufolge zur Kälteerzeugung bis minimal 4°C eingesetzt werden. Viele Kälteanwendungen benötigen jedoch Temperaturen knapp unter 0°C.

Es bestand die Aufgabe, eine Absorptionskälteanlage zu einer Resorptionskälteanlage (Bild 1) umzubauen und, unter Verwendung ausgewählter Additive zur Kristallisationshemmung, im Bereich der Kälteerzeugung unter 0°C zu untersuchen. Vorbereitend zur Anlagenuntersuchung wurden chemische Untersuchungen durchgeführt, mit denen die Effektivität der Kristallisationshemmung, die Stabilität der Zusätze, sowie deren Auswirkungen auf Korrosion und Sicherheit analysiert und bewertet wurden.

Nach dem Betrieb und der Messung der Versuchsanlage konnte die prinzipielle Funktionstüchtigkeit der Resorptionskälteanlage unter Verwendung eines 4-Komponenten-Salzgemisches nachgewiesen werden. Es wurden Kältenutztemperaturen bis zu  $-4^{\circ}\text{C}$  erzeugt, ohne dass Kristallisationserscheinungen beobachtet wurden. Jedoch konnten noch keine stabilen Betriebsbedingungen mit den geplanten Kälteleistungen und Wärmeverhältnissen gesichert werden. Schlechte Anlagendichtheit und die Entmischung der Salze trug zu den nicht befriedigenden Ergebnissen bei Kälteleistung und Wärmeverhältnis bei.

Nach Lösung dieser Probleme kann mit den avisierten Werten gerechnet werden. Aus den Ergebnissen (Bild 2) wurden weitere Arbeitsschwerpunkte abgeleitet.



Bild 1: Ansicht der im ILK-Versuchsfeld installierten Resorptionskälteanlage

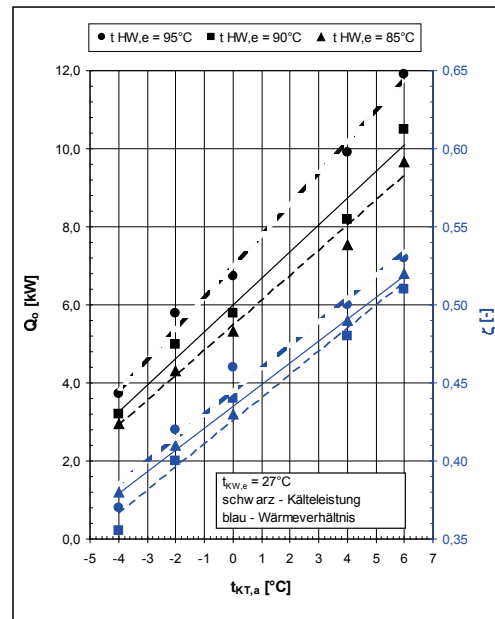


Bild 2: Kälteleistung und Wärmeverhältnis der Versuchsanlage im Resorptionsbetrieb in Abhängigkeit der Kälteerzeuger-Austritts- und Heizwassereintrittstemperatur

### 6.3 Multi-Effekt-Wasserentsalzungsanlage mit Quattro-Effekt für den dezentralen Einsatz

Wasser ist das wichtigste Lebensmittel. Die Verfügbarkeit über eine minimale Menge sauberen Wassers ist für Teile der Erdbevölkerung nicht gesichert. Folgen des Klimawandels und des Raubbaus an natürlichen Quellen sind, besonders in unterentwickelten Regionen, verantwortlich für den Wassermangel. Sauberes Wasser wird, ebenso wie fossile Energieträger, für große Teile der Weltbevölkerung zum Luxusgut. Die reichen Nationen werden am leichtesten mit der zunehmenden Wasserknappheit fertig. Sie verfügen über ausreichenden Zugang zu den Energiequellen und die technische Voraussetzungen, um den Wasserbedarf mit Hilfe großer Entsalzungsanlagen zu befriedigen. Für arme Menschen bleiben nur das Leben mit unsauberem Wasser und das Ertragen der unausweichlichen Folgen für Gesundheit und Wohlergehen.

Damit die notwendige Wasseraufbereitung für große Teile der Weltbevölkerung nicht zusätzliche  $\text{CO}_2$ -Emissionen verursacht, ist die Entwicklung von Aufbereitungsverfahren, die mit regenerativer Energie oder auf der Basis der Kraft-Wärmekopplung arbeiten, unabdingbar. Für die Befriedigung einfachster

Energiebedürfnisse steht in unterentwickelten Regionen im Allgemeinen nur Solarenergie oder Abwärme von dezentralen kleinen Stromerzeugern (Motorgeneratoren) zur Verfügung.

Im Projekt wurde eine Multi-Effekt- Meerwasserentsalzungsanlage entworfen, konstruiert, aufgebaut und umfangreich getestet. Diese MED-Anlage ist gekennzeichnet durch neu entwickelte Plattenwärmeübertrager mit bis zu 4 integrierten Effekten „Quattro-Effekt“.

Dieser Wärmeübertrager ermöglicht eine extrem kompakte Bauweise. In umfangreichen Messreihen wurde ein sehr großer Leistungsbereich getestet. Die Anlage wurde im Laufe des Projekts um einen weiteren Quattro-Effekt erweitert, so dass 10 Wärmeübertrager in Reihe geschaltet waren. Die Anlage wurde für eine Heizleistung von 10 kW ausgelegt und in einem Leistungsbereich von bis zu 12 kW erfolgreich betrieben. Im gesamten Leistungsbereich konnten nach durchgeführten Optimierungsmaßnahmen reines Destillat von bis zu 2 l/min (2,9 m<sup>3</sup>/Tag) erzeugt werden.

Ein erster Feldtest (Bild 1) einer Single-Quattro-Anlage wurde im Frühjahr 2011 am Rhein durchgeführt. Hier wurden umfangreiche Erkenntnisse zur Vorfilterung und zum automatischen Betrieb der Anlage gesammelt. Eine weitere Single-Quattro-Effekt-Anlage für einen Feldtest 2012 am Meer wurde aufgebaut



Bild 1: Erster Feldtest am Rhein, Sommer 2011

#### 6.4 Komponentenentwicklung für eine hocheffiziente dezentrale solarunterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Innerhalb eines Verbundforschungsvorhabens soll ein Anlagensystem der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung zur Nutzung solarer Prozesswärme von 250°C entwickelt werden. Die Solarwärme wird von neuartigen Parabolrinnen-Kollektoren bereitgestellt. Eine lastorientierte Abstimmung aller Komponenten des Anlagensystems untereinander ist Voraussetzung für eine effiziente und wirtschaftliche Nutzung der Energie. Die einzelnen Anlagenteile sind prinzipiell am Markt verfügbar. Ein integrales System zur solaren Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, in einem für den dezentralen Einsatz geeigneten Leistungsgrößenbereich, steht derzeit noch nicht zur Verfügung. Im Unterschied zu den bestehenden solarthermischen Kraftwerken, (>50 MW<sub>el</sub>) zielt die Entwicklung auf Anlagengrößen zwischen 500 kW<sub>el</sub> und 5 MW<sub>el</sub> und besetzt damit einen Markt, der die Umsetzung dezentraler Versorgungssysteme ermöglicht.

Das Ziel des ILK-Teilprojektes ist die Entwicklung, der Bau und die Erprobung einer thermisch angetriebenen Kälteanlage zur hocheffizienten Nutzung von Solarwärme im kleinen Leistungsbereich. Als Vorzugsvariante wird eine Double Effekt – Absorptionskälteanlage mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Lithiumbromid angesehen. Die Anlage soll einen hohen Umwandlungswirkungsgrad von Heizwärme in Kälteenergie (Wärmeverhältnis > 1,2) besitzen. Nach Test und Vermessung der Kälteanlage soll diese innerhalb des Verbundforschungsvorhabens an die solare Kraft-Wärme-Kopplungsanlage angeschlossen werden. Dort wird das Zusammenwirken mit leistungsfähigen Parabolrinnen-Kollektoren getestet. Die thermische Kälteanlage wird für folgende Randbedingungen ausgelegt:

- Kälteleistung 50 kW,
- Kälteflüssigkeittemperatur Eintritt 16°C / 12°C Austritt,
- Kühlwassertemperatur Eintritt 34°C / 39°C Austritt,
- thermischer Antrieb über gesättigten Heißdampf 145°C.

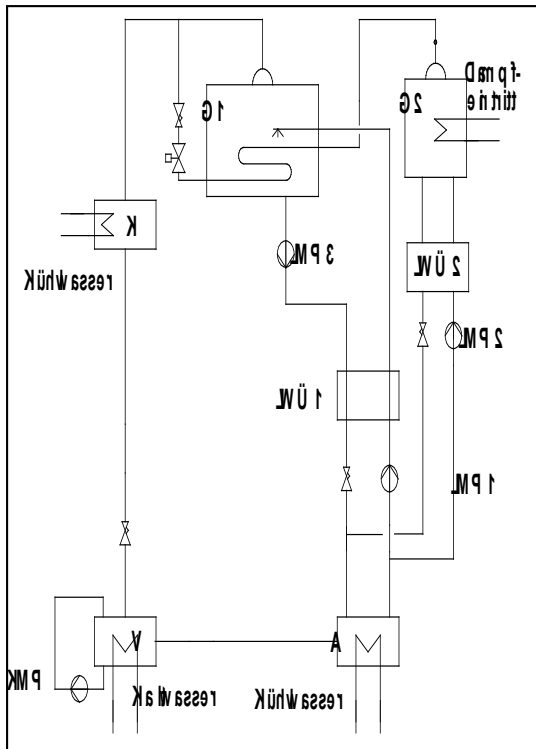


Bild 1: Vereinfachtes Schaltschema der DE-AKM

Im Jahr 2012 wird die Double Effect – Absorptionskälteanlage (Bild 1) fertig gestellt und im Versuchsfeld des Kooperationspartners erprobt und vermessen.

### 6.5 Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien – Analyse von solarthermischer und photovoltaisch gespeister Kälteerzeugung - EvaSolK

Im Projekt EvaSolK wird untersucht, unter welchen Randbedingungen und in welchen Anwendungsbereichen erfolgversprechende Perspektiven für solare Kühlung liegen. Schwerpunktmäßig sollen Verfahren zur Raumklimatisierung sowie zur Kühlung Lagerung und Prozesskältebereitstellung untersucht werden. Dabei werden solarthermische und solarelektrische Verfahren gegenübergestellt. Ein eingehender Vergleich dieser Techniken ist bisher nicht erfolgt, ist aber angesichts eines steigenden Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung und fallender Preise für die photovoltaische Stromerzeugung von hohem Interesse.

Der Lösungsansatz im EvaSolK-Projekt beinhaltet eine vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Techniken zur Kühlung und Klimatisierung hinsichtlich des Primärenergieeinsatzes, der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der energetischen Effizienz und der Kosten. Zudem wird qualitativ auf Aspekte der verbleibenden Stromnetzbelastung eingegangen.

Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die Ermittlung des Standes der Technik in konventioneller, elektrisch betriebener Kältetechnik, die in einem messtechnischen Teil des Vorhabens vorgenommen wird.

Die Analysen erfolgen schwerpunktmäßig dem gegenwärtigen technischen Stand entsprechend, aber Potenziale für Effizienzsteigerungen werden abgeschätzt und besonders in die Betrachtung aufgenommen.

## 7. Normungsarbeit am ILK

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

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

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

Die Berechnung der auf ein Gebäude wirkenden solaren Strahlung wird in der VDI 6007-3 geregelt. Hier werden alle relevanten Berechnungen für die solare Einstrahlung an einer Stelle definiert. Völlig neu ist die Definition der Strahlungsbedin-



gungen am CDD (cooling design day) und in einer CDP (cooling design period).

Die VDI 2078 beschreibt die Berechnung der Kühllast und der Raumtemperatur klimatisierter aber auch nicht klimatisierter Gebäude. Die Arbeiten zur VDI 2078 konnten im Jahr 2011 abgeschlossen werden.

Diese neue Richtlinie weist gegenüber der bisherigen Richtlinie wesentliche Neuerungen auf, wie:

- korrekte Erfassung der Wandaufbauten,
- mechanische und natürliche Lüftung sowie Flächenheizung und -kühlung sind integraler Bestandteil des Rechenverfahrens,
- korrekte Berücksichtigung von Betriebsweise und Regelungsstrategie,
- Berücksichtigung eines zulässigen Schwankungsbereiches für die Raumtemperatur,
- Möglichkeit der Vorgabe der operativen Temperatur als Berechnungsziel,
- Kopplung der thermischen Berechnung mit den aktiven Anlagenkomponenten, bei Leistungsänderung abhängig von der Raumtemperatur,
- Möglichkeit der Ganzjahressimulation mit Testreferenzjahrdaten,
- Berechnung von Raumlufthtemperatur, operativer (empfundener) Temperatur, Kühllast sowie Heizlast bei Vorgabe der erforderlichen Randbedingungen,
- definierte Randbedingungen für das Außenklima bei der Kühllast- und Raumtemperaturberechnung.

Dass umfangreiche Testbeispiele, deren Eingabedaten und Ergebnisse auf CD erscheinen werden, sowie genaue Angaben zur Validierung von Software Bestandteil dieser grundlegenden Richtlinie sind, kennzeichnet eine neue Qualität der Normungsarbeit.

Die verbesserte Berechnungsmethodik ist die Grundlage einer energieökonomischen und die Ressourcen schonenden Raumluftechnik. Sie ermöglicht zudem bereits im Entwurfsstadium des Gebäudes durch

entsprechende Gestaltung, den künftigen Energiebedarf zu verringern.

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

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

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

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

### International Institute of Refrigeration IIR



Das International Institute of Refrigeration (IIR) ermöglicht als zwischen-

staatliche wissenschaftlich-technische Organisation das Bündeln von wissenschaftlichem und industriellem Know-how in allen Bereichen der Kältetechnik und ihren Anwendungen auf globaler Ebene. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives IIR Mitglied.

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

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

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

#### **Forschungsrat Kältetechnik e. V.**

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

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



Die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik ist eine von 12 Fachgesellschaften im Verein Deutscher Ingenieure. Mit ca. 16.000 von 130.000 Mitgliedern des VDI setzt die VDI-GBG insbesondere im Bereich der Technischen Regeln Akzente. Die VDI-GBG ist außerdem fachlicher Träger zahlreicher Semina-

re und Tagungen in der VDI-Wissensforum GmbH. Regional ist die Gesellschaft in 45 Bezirksvereinen mit lokalen Angeboten für die Mitglieder da. Das ILK ist seit vielen Jahren aktives Mitglied.

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

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

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

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

#### **VDI-Fachgebiet Umwelttechnik**



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

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

Heidenreich ist weiterhin im Dresdner Bezirksverein des VDI Obmann des Arbeitskreis Umwelttechnik.

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



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

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

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

### **Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung**



**DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.**

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

gewonnen und in die Facharbeit innerhalb der DGZfP eingebracht werden.

### **Verbundinitiative Automobilzulieferer Sachsen**



**Verbundinitiative  
Automobilzulieferer Sachsen**  
Saxony Automotive  
Supplier Network

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

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

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

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

## Ausgewählte Veranstaltungen des ILK für den Wissenstransfer 2011

### Seminare / Veranstaltungen / Messen

• Veranstaltungen des DKV-Bezirksverein Sachsen (8) im ILK	01/11 – 12/11
• Durchführung von Kick-off-Meetings im ILK zu bewilligten Forschungsthemen	21. + 22.03.11, 20.06.11, 14. + 21.09.11
• Messebeteiligung ISH, Frankfurt am Main	15. – 19.03.11
• Arbeitskreis R1234yf	02.03.2011
• VDA Arbeitskreis Klima-Service	08.03.2011
• ILK-Kolloquium über Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Energetische Inspektion und Commissioning	13.04.2011
• SAENA-Workshop „Absorptionskälte-Solare Kühlung“	21.06.2011
• 18. Innovationstag Mittelstand des BMWi, Berlin	30.06.2011
• 11. Überwachungsaudit DIN EN ISO 9001:2008, TÜV Management Süd	04./05.07.2011
• 2. Familientag des ILK	02.09.2011
• ILK-Kolloquium „Energieeffizienz in der Wärmepumpen- und Kälte-technik“	16.09.11
• 8. Kolloquium Luftreinhaltung „Luftreinhaltung - eine komplexe Herausforderung“	27.09.11
• ILK-Kolloquium „Hochtemperatursupraleitung und Angepasste Kryotechnik - neue Technologien für die Energietechnik“	07. + 08.12.11
• ILK – Jahresabschlussveranstaltung	16.12.11
• Mitgliederversammlung des Vereins zur Förderung der Luft- und Kälte-technik e. V.	19.09.11



## Anlagen

### Veröffentlichungen

#### Publikationen

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

Böhm, M.:  
"Sprunghafte Effizienzverbesserungen weiterhin nicht zu erwarten".  
DIE KÄLTE & Klimatechnik, Stuttgart  
(2001)9, S. 30-34

Buschmann, M.H.  
„Thermal conductivity and heat transfer of ceramic nanofluids“  
International Journal of Thermal Sciences,  
2011.

Ehle, A., Feja, St., Buschmann, M.H.  
„Temperature Dependency of Ceramic Nanofluids Shows Classical Behavior“  
JOURNAL OF THERMOPHYSICS AND HEAT TRANSFER Vol. 25, No. 3, 2011.

Mai, Ronny  
„Berechnung des Energiebedarfes regenerativer Kühltechnologien“  
KI Kälte Luft Klimatechnik,  
12/2011, S.20-24

Paatzsch, R.; Berg, H-P.:  
"Steigerung der Energieeffizienz in der Kälteerzeugung".  
KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
(2011)12, S. 16-19

Paatzsch, R.:  
„Erweiterung der Einsatzgrenzen für luftbeaufschlagte Wärmeübertrager“  
KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
(2011)4, S. 23-26

Paatzsch, R.; Berg, H-P.:  
"Steigerung der Energieeffizienz in der Kälteerzeugung".  
KI Kälte Luft Klimatechnik, Heidelberg  
(2011)12, S. 16-19

Pohl, S., Feja St., Buschmann, M.H.  
„Thermal conductivity and heat transfer of ceramic nanofluids show classical behavior“  
TMNN 2011, Antalya, Turkey, 2011

Preibisch, St., Dietzel, D., Friebe, Ch., Buschmann, M.H.  
„Experimental and numerical investigation of dimplelike protrusions employed in recent heat exchangers“  
13. European Turbulence Conference, Poland, Warsaw, 2011

Rosenbaum, Hannes  
„Der Grundstein ist gelegt... Erhebliches Einsparpotential durch Membranbasierte Raumklimatisierung“  
SANITÄR+HEIZUNGSTECHNIK 7/2011,  
S.34-37

Rosenbaum, Hannes  
„Membranbasierte Raumklimatisierung“  
Die KÄLTE + Klimatechnik 12/2011,  
S.48-51

Safarik, M.; Schweigler, C.; Wiemken, E.; Zachmeier, P  
„Assessment of perspectives of solar cooling technologies“  
ISHPC International Institute of Refrigeration / Tagungsband  
Padua/Italien; 6.-8.4.2011

Safarik, M.; Richter, L.; Albring, P.; Weidner, G.; Wild, Y.  
„APPLICATION OF ABSORPTION CHILLERS ON VESSELS“  
ISHPC International Institute of Refrigeration / Tagungsband  
Padua/Italien; 6.-8.4.2011

Safarik, M.  
„Kälte aus Wärme – aktuelle Entwicklungen in der Sorptionskältetechnik“  
ILK Dresden / Tagungsband  
Dresden, 16.09.2011

Safarik, M. ;Zachmeier, Schweigler, Wiemken  
„Potential and Limits of solar thermal and solar electric cooling“  
veranstaltet von Otti e.V., Regensburg / Tagungsband  
Larnaka,12.-14.10.2011

Dr. Spörl G. Dipl.-Ing. H. Reinsch  
 „Development of an all-purpose system for  
 the management of thermal transfer into  
 biological tissue“  
 Konferenzunterlagen ICR  
 August 2011

Waschull, J.; Henschler, W.; Römer, S.  
 „Comparison of storage concepts for PV-  
 cooling systems“  
 2nd Symposium Small PV-Applications  
 Poster and Paper  
 Ulm, 06./07.06.2011

### Vorträge

Albring, P.; Safarik, M.; Weidner, G.  
 „Kälte aus Wärme: Verfahren, Beispiele,  
 Perspektive“  
 5. Internationale Anwenderkonferenz für  
 Biomassevergasung,  
 Stuttgart 11.02.2011

Albring, P.  
 „Kälteerzeugung aus KWK und Solarener-  
 gie“  
 Tagung für Industrielle und gewerbliche  
 Kälteerzeugung mittels KWK und  
 Solarthermie,  
 Berlin, 28.06.2011

Albring, P. Honke, M.,  
 „Ice Making and Ice Storage, with Water  
 as Refrigerant“  
 The 23rd IIR International Congress of  
 Refrigeration, August 2011, Prague,  
 Czech Republic

Albring, P.  
 „Nachhaltige Kältetechnik aus Abwärme  
 und erneuerbaren Energien“  
 14. Internationale Solarkonferenz Meck-  
 lenburg Vorpommern, Wietow, 08.08 2011

Albring, P.  
 „Kühlen und Speichern - Energieeffizienz  
 mit Wasser als Kältemittel“  
 Tagung Energieeffizienz in Wärmepumpen  
 und Kältetechnik,  
 Dresden, 16.9.2011

Albring, P.  
 „Grenzen und Möglichkeiten der Strom-  
 und Wärmeerzeugung aus geothermi-  
 schen Tiefenbohrungen“  
 Sächsischer Geothermietag 2011  
 Zwickau/Oelsnitz, 6. - 7. Oktober 2011

Dr. Blei, Steffen  
 „Verfahren zum simultanen Vergleich von  
 Filtern“  
 8. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhal-  
 tung  
 Dresden, 27.09.2011

Feja, St.  
 „Measurement of electrical properties of  
 refrigerants and refrigerant-oil mixtures“  
 23rd IIR International Congress of Refrige-  
 ration  
 Prag, 22-26.08.2011

Prof. Franzke, Uwe  
 „Umsetzung der Maschinenrichtlinie in der  
 TGA“  
 Vortrag VDI  
 Stuttgart, 24.01.2011

Prof. Franzke, Uwe  
 „Die EnEV in Verbindung mit der Luft- und  
 Kältetechnik“  
 Vortrag auf Fachforum "Lüftungs- u. Kälte-  
 technik in der Sanierung"  
 Garbsen, 03.03.2011

Prof. Franzke, Uwe  
 „Solare Klimatisierung – Chancen für die  
 TGA- Branche“  
 Messe ISH Frankfurt am Main  
 Klima- Forum des FGK  
 Frankfurt / M., 17.03.2011

Prof. Franzke, Uwe  
 „Strömungstechnische und energetische  
 Anforderungen an die Klimatechnik“  
 „Entwicklungsanforderungen und –  
 potenziale von RLT- Anlagen“  
 Vorträge auf 1. DKA- KLIMATAG 2011  
 (Dresdner Kühlanlagenbau)  
 Dresden, 08.03.2012

Prof. Franzke, Uwe  
 „Sicherung der Nachhaltigkeit durch  
 Commissioning“  
 ILK- Kolloquium „Nachhaltigkeit, Energie-  
 effizienz, Energetische Inspektion und  
 Commissioning“ 13.04.2011

Dresden, 13.04.2011

Prof. Franzke, Uwe

„Raumluftqualität in Klassenräumen“  
Sächsische EnergieAgentur SAENA  
Dresden, 16.05.2011

Prof. Franzke, Uwe

„Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Die neue VDI 6022“

VDI- Expertenforum

15.09.2011 in Stuttgart

20.09.2011 in Berlin

22.09.2011 in Essen

Prof. Franzke, Uwe

„Nachhaltiges Bauen – Planen, bauen und betreiben – Innovative Gebäudetechnik“  
21. Wissenschaftliche Konferenz an der Hochschule Mittweida  
Mittweida, 27.10.2011

Prof. Franzke, Uwe

„Untersuchungen zum Energieeinsparpotenzial der Raumlufttechnik in Deutschland“

Vorstellung der Studie für Parlamentarier und Journalisten im Deutschen Bundestag  
Berlin, am 28.10.2011

Prof. Franzke, Uwe

„Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von RLT- Anlagen“

11. Netzwerktreffen „Energieeffiziente RLT- Anlagen und adiabate Kühlung“  
Universitätsklinikum Hamburg- Eppendorf  
Hamburg, 09.11.2011

Prof. Franzke, Uwe

„Raumlufttechnik und CE- Kennzeichnung“  
Veranstaltung des Arbeitskreises Stuttgart des ITGA (Industrieverband Technische Gebäudeausrüstung Baden-Württemberg e.V.)

Stuttgart, 15.11.2011

Prof. Franzke, Uwe

Ergebnisse der „Untersuchungen der Energieeinsparpotenziale der Raumlufttechnik in Deutschland“

Pressekonferenz Fachverband Gebäude-Klima e.V.

Frankfurt am Main, 06.12.2011

Dr. Frenzel, Wolf-Peter

„Raumklimagerät Airflower mit elektrostatischem und biologischen Schadstoffabbau“  
8. Dresdner Kolloquium zur Luftreinigung

Dresden, 27.09.2011

Dr. Frenzel, Wolf-Peter

“Filter Media of High-tech Fibers for Cleaning of Exhaust Gas during Biomass Incineration”

5. Aachen-Dresden International Textile Conference

Aachen, 24.-25.11.2011

Dr. Frenzel, Wolf-Peter

„Hochleistungsfasern für Filtermedien – Werden sie den thermischen und chemischen Anforderungen bei der Rauchgasreinigung nach Biomassekesseln gerecht?“

10. Internationales Symposium – 20 Jahre Stand der Technik der industriellen Filtration

Bad Cannstatt, 29./30.11.2011

Friebe, Christian

„Experimentelle und numerische Untersuchungen von Dimple-ähnlichen Verformungen auf Wärmeübertrageroberflächen“  
19. Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmechanik"

Ilmenau , 06. - 08. September 2011

Friebe, Christian

„Laseroptische Untersuchungen an Kühlmöbeln“

Messung und Optimierung von Kühlmöbeln in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Forschung e.V. der HTW Dresden und der KUBB, Bretnig-Hauswalde

17.05.2011 Edeka-Gruppe

17.08.2011 Teko und Wurm

15.09.2011 Kaufland

18.10.2011 Epta

24.10.2011 AHT

25.10.2011 Hauser

Grimm, U.

„R1234yf trace impurities and their influence to the stability of the refrigerant-oil system“

ARSES 2011, IIAAR Phoenix

Scottsdale, Arizona, 27-29.09.2011

Heidenreich, Ralf  
 „Aktive Beeinflussung der Raumluftqualität durch Zuluftfiltration“  
 3. Deutsches Forum Innenraumhygiene  
 Essen, 16.02.2011

Heidenreich, Ralf  
 „Neue Filtermedien zur Emissionsminderung bei der thermischen Nutzung regenerativer Energieträger“  
 Dechema  
 Frankfurt am Main, 17.02.2011

Heidenreich, Ralf  
 „Strömungs- und Abreinigungsgradmessung in einer HT Luftdusche“  
 European Lab Design + Hygiene: Convention 2011  
 Nürnberg, 24.05.2011

Heidenreich, Ralf  
 „Neue Filtermedien zur Emissionsminderung bei der thermischen Nutzung regenerativer Energieträger“  
 8. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung  
 Dresden, 27.09.2011

Heidenreich, Ralf  
 „Abscheidung von Feinstpartikeln aus der Biomasseverbrennung an HYCOKNIT-Filtermaterialien“  
 10. Internationales Symposium  
 Potsdam, 29.11.2011

Holfeld, Stefan  
 „Energieeffiziente Reinigung von Trocknerabluft in der Solarindustrie“  
 8. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung  
 Dresden, 27.09.2011

„Laseroptische Untersuchungen an Kühlmöbeln“  
 Messung und Optimierung von Kühlmöbeln in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Forschung e.V. der HTW Dresden und der KUBB, Bretnig-Hauswalde  
 14.09.2011 Carrier

Mai, Ronny  
 „Grundlagen der EnEV – Leitlinien für die Energetische Inspektion“  
 ILK- Kolloquium „Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Energetische Inspektion und Commissioning“  
 Dresden, 13.04.2011

Mai, Ronny  
 „Raumluftqualität in Klassenräumen“  
 Sächsische EnergieAgentur SAENA  
 Dresden, 16.05.2011

Mai, Ronny  
 „Vollklima kontra EnEV. Das Klimakonzept im Albertinum“  
 TGA-Fachgespräch der YIT-Niederlassung  
 Dresden  
 Dresden, 12.09.2011

Mai, Ronny  
 „Energetische Inspektion von Klimaanlage nach EnEV §12“  
 BHKS-Seminarveranstaltung  
 Berlin, 24.02.2011  
 Esslingen, 13.05.2011  
 Berlin, 23.09.2011

Mai, Ronny  
 „Energieeffizienz – Die neue EnEV (2009, 2012)“, Teil 2: Raumluft- und Klimatechnik  
 VDI-Wissensforum  
 Freising, 06.07.2011

Müller, M.:  
 „Überhitzungsoptimierter Verdampfer“.  
 Dresdner Kolloquium der Kältetechnik  
 „Energieeffizienz in der Wärmepumpen- und Kältetechnik“,  
 Dresden, 16.09.2011

Müller, R.; u.a.:  
 „Elastomerkapselung von Hochtemperatur-Latentwärmespeicher material“  
 Technomer 2011, Chemnitz, 10.-12.11.2011

Müller, Y.; Feja, St.; Grimm, U.  
 „Electrical properties of the liquid phase of refrigerant-oil mixtures“  
 ARSES 2011, IIAAR Phoenix  
 Scottsdale, Arizona, 27-29.09.2011



- Müller, Y.; Römer, S.:  
„Werkstoffverhalten unter scCO<sub>2</sub>-  
Bedingungen“  
DKV Tagung  
Aachen, 16.-18.11.2011
- Noack, Ralf:  
„Untersuchung der eisvermindernden Wir-  
kung von neuen Materialbeschichtungen“.  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung  
Aachen, 16.-18.11.2011
- Dr. Kade, A.  
„Aktuelle Kryostatentechnik für HTSL-  
Anwendungen“  
Dresdner Kolloquium „Hochtemperatur-  
supraleitung und angepasste Kryotechnik -  
neue Technologien für die Energietechnik“  
Dresden, 07.-08.12.2011
- Dr. Kaiser, G.  
„Cold Pump“ for cryogenic Liquids  
23rd International Congress of Refrigera-  
tion  
Prag, 21.-26.08.2011
- PD Dr. Klier, J.  
„Kalte Speicherung von Brenngasen und  
angepasste Kühltechnik“  
I2S-Symposium  
Dresden, 30.05.2011
- Dipl.-Ing. Kuhn, M.  
„3-Zyklen Pulse-Tube-Kühler (3Z-PTK) für  
kryogene Hochleistungsanwendungen“  
Dresdner Kolloquium „Hochtemperatur-  
supraleitung und angepasste Kryotechnik -  
neue Technologien für die Energietechnik“  
Dresden, 07.-08.12.2011
- Peusch, A.:  
„Schallmessung an Kältekreisläufen“  
Dresdner Kolloquium der Kältetechnik  
„Energieeffizienz in der Wärmepumpen-  
und Kältetechnik“  
Dresden, 16.09.2011
- Rogge, Ralph  
„Technische Berufe rund um Kunst und  
Kulturguterhaltung“  
Berufstag der Staatlichen Kunstsammlun-  
gen Dresden  
Dresden, 15.09.2011
- Rogge, Ralph  
„Chancen in der Zusammenarbeit von Un-  
ternehmen und Museen zur beruflichen  
Interessentengewinnung an Schulen“  
Podiumsgespräch zum Projektauftritt  
„NaKuP- Naturwissenschaft trifft Kunst,  
Praxis begeistert“  
Dresden, 15.11.2011
- Röllig, P.:  
„Kältetechnisches Expansionsventil für  
kleine Leistungen“.  
Deutsche Kälte-Klima-Tagung  
Aachen, 16.-18.11.2011
- Römer, S.:  
„Universal energy efficiency measurement  
method of refrigeration systems“  
23rd IIR International Congress of Refrige-  
ration  
Prag, 22-26.08.2011
- Römer, S.:  
„Objektive Bewertungsgrundlagen für Käl-  
teanlagen“  
5. Altenstädter Kältetage, 21.-22.09.2011
- Safarik, M.  
„Sorptionanlagen – Kälte aus Wärme“  
DIHK, IHK Berlin  
Berlin, 31.3.11
- Safarik, M.  
„Kälteerzeugung aus Wärme“  
Bäckerworkshop: Energieeinsparung und  
Optimierungsansätze im Bäckerei- und  
Konditorhandwerk  
Steinbeis Europazentrum Stuttgart  
Pforzheim, 14.04.2011
- Safarik, M.  
„Sorptionanlagen – Kälte aus Wärme“  
SAENA  
Dresden, 21.06.2011
- Dr. Spörl, G.  
„Development of an all-purpose system for  
the management of thermal transfer into  
biological tissue“  
23rd International Congress of Refrigera-  
tion Prag, 21.-26.08.2011
- Waschull, J.  
„Thermische Speicher in der Kälte- und  
Klimatechnik“  
Innovationsforum PolymerTherm, Rudols-  
tadt, 06.-07.09.2011

Ziller, Falko; Mai, Ronny  
 „Energetische Inspektion von RLT-  
 Anlagen“  
 YIT Seminar  
 Dresden, 26.-30.09.2011

### Posterpräsentation

Dipl.-Ing. Reinsch, H.; Dipl.-Ing. Hei-  
 dingsfelder, J.; Kretschmer, R.  
 „Tailor-Made Collagen-Based Matrices for  
 Cell Culture, Medicine and Diagnostics“  
 World Conference on Regenerative Medi-  
 cine  
 02.-04.11.2011

Dr. Kaiser, G.; Dr. Schneider, M.;  
 PD Dr. Klier, J.; Dr. Herzog, R.;  
 Dipl.-Ing. (FH) Klupsch, M.  
 „Cold Pump“ for cryogenic Liquids“  
 23rd International Congress of Refrigera-  
 tion  
 Prag, 21.-26.08.2011

### Ausgewählte Fachberichte

#### Kryotechnik und Tieftemperaturphysik

Kaiser, G.; Schneider, M.; Klupsch, M.  
 3. Zwischenbericht Kryoflüssigkeitspumpe  
 mit kaltem Linearantrieb  
 ILK-B-1-11-058

Schneider, M. u.a.  
 2. Zwischenbericht: Kryogene Hochdruck-  
 speicherung von überkritischem Wasser-  
 stoff - Verfahrens- und Komponentenun-  
 tersuchung  
 ILK-B-1-11-065

Reinsch, H.  
 1. Zwischenbericht: Kryogene  
 Prozessierung von Pharmaka und Bioma-  
 terialien  
 ILK-B-1-11-069

Spörl, G.  
 1. Zwischenbericht: Vitale Kryo-  
 Langzeitlagerung biologischer Gewebe  
 ILK-B-1-11-070

Kuhn, M.; Kaiser, G.  
 Zwischenbericht: 4-Zyklen-Pulse-Tube-  
 Kühler  
 ILK-B-1-11-071

Großmann, B.  
 Abschlussbericht: Kühltechnologien für  
 Tieftemperatur-Materialprüfkammern -  
 Teilthema: Konzept, Auslegung und Un-  
 tersuchung von Modulen für Tieftempera-  
 tur-Materialprüfkammern  
 ILK-B-1-11-080

Großmann, B.; Kuhn, M.  
 1. Zwischenbericht: „Wachstums-kern PO-  
 LAR - VP2: LNG-Anlagen und Tank-  
 Peripherien“  
 ILK-B-1-11-092

Schneider, M. u.a.  
 3. Zwischenbericht: Kryogene Hochdruck-  
 speicherung von überkritischem Wasser-  
 stoff - Verfahrens- und Komponentenun-  
 tersuchung  
 ILK-B-1-11-101

Kaiser, G. u.a.  
 Abschlussbericht Kryoflüssigkeitspumpe  
 ILK-B-1-11-111

Schneider, M.  
 Sachbericht „Kompakte Lösungskältema-  
 schine zur kontinuierlichen Kühlung von  
 Strahlungssensoren“, Teilthema: „Entwick-  
 lung und Aufbau einer Lösungskältema-  
 schine mit sehr hoher  
 Langzeit-Stabilität für variable Einsatzbe-  
 dingungen“  
 ILK-B-1-11-116

#### Kälte- und Wärmepumpentechnik

Peusch, A.; Noack, R.  
 Prüfung an einer Luft-Wasser-  
 Wärmepumpe (Typ 1)  
 ILK-B-2-10-1002

Edler, Chr.  
 Ölrückführung in Rollbond-Verdampfern  
 ILK-B-2-11-1017

Hauptmann, J.; Böhm, M.  
 Untersuchungen an 2 Hubkolben-  
 Kältemittelverdichtern aus Schienenfahr-  
 zeug-Klima-Anlagen  
 ILK-B-2-11-1019

- Hauptmann, J.; Böhm, M.  
 Untersuchungen an 2 Schrauben-  
 Kältemittelverdichtern aus Schienenfahr-  
 zeug-Klimaanlagen  
 ILK-B-2-11-1020
- Hempel, O.  
 2. Zwischenbericht 2011: Haushaltskälte-  
 geräte für das neue Energielabel A-80%  
 ILK-B-2-11-1021
- Hempel, O.  
 2. Zwischenbericht 2010: Mikrowärmetau-  
 scher in der Kältetechnik  
 ILK-B-2-11-1022
- Hauptmann, J.; Böhm, M.  
 Befundung eines Scroll-Verdichters Sanyo  
 C-SBS210H38L  
 ILK-B-2-11-1026
- Paatzsch, R.  
 Abschlussbericht - Innovativer Luftvorkühl-  
 satz für trockene Rückkühler  
 ILK-B-2-11-1028
- Noack, R.; Peusch, A.  
 Prüfung an einer Luft-Wasser-  
 Wärmepumpe (Typ 3)  
 ILK-B-2-11-1029
- Röllig, P.  
 Expansionsventile kleiner Leistung für käl-  
 tetechnische Anwendungen - Schlussbe-  
 richt  
 ILK-B-2-11-1030
- Böhm, M.; Edler, Chr.  
 Alternative Verdichter / Verdichtungsprin-  
 zipien für Haushaltskältegeräte  
 ILK-B-2-11-1032
- Noack, R.  
 1. Zwischenbericht 2011: VALK-Verfahren  
 zur Abtauminimierung von Luftkühlern  
 ILK-B-2-11-1035
- Noack, R.; Linck, St.  
 Schalleistungsmessung an Prototypen  
 von Kühl- und Tiefkühlaggregaten mittels  
 Hallraumverfahren nach DIN EN ISO  
 3741:2001  
 ILK-B-2-11-1036
- Tzscheuschler, A.  
 Umweltfreundliche CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe zur  
 Trinkwassererwärmung für das Gewerbe  
 ILK-B-2-11-1037
- Vollmer, D.; Kleeberg, A.  
 2. Zwischenbericht: Leckageerkennungs-  
 und Diagnosesystem für Kälteanlagen  
 ILK-B-2-11-1038
- Noack, R.; Peusch, A.  
 Level 2 - Report: Baureihenprüfung Luft-  
 Wasser Wärmepumpe nach EHPA  
 ILK-B-2-11-1048
- Hauptmann, J.  
 Testbericht: Leistungsmessung Tecumseh  
 TFH2511Z  
 ILK-B-2-11-1055
- Noack, R.; Peusch, A.  
 Prüfung einer Wärmepumpe der WP-Serie  
 ILK-B-2-11-1056
- Peusch, A.; Noack, R.  
 Prüfung der Luft/Wasser- Wärmepumpe  
 LWZ-B-8 WBNH  
 ILK-B-2-11-1057
- Peusch, A.; Noack, R.  
 Prüfung einer Wärmepumpe der WP-Serie  
 (Typ17)  
 ILK-B-2-11-1058
- Peusch, A.; Noack, R.  
 Level 2 - Report: Baureihenprüfung Sole-  
 Wasser Wärmepumpen WP-Serie Mefus  
 und Frisch  
 ILK-B-2-11-1060
- Paatzsch, R.  
 Studie zur energetischen Bewertung des  
 Kälteprüfhauses Gebäude Si 108  
 ILK-B-2-11-1061
- Peusch, A.; Noack, R.  
 Prüfung einer Sole/Wasser Wärmepumpe  
 mit Wasserspeicher (QH=14 kW)  
 ILK-B-2-11-1062
- Peusch, A.; Noack, R.  
 Prüfung einer Sole/Wasser-Wärmepumpe  
 mit Wasserspeicher (QH=9 kW)  
 ILK-B-2-11-1064



Röllig, P.  
Studie zur Machbarkeit einer Kleinwärmepumpe mit dem Kältemittel Ammoniak für die Wohngebäudeheizung im Bereich von ca. 10 kW Heizleistung  
ILK-B-2-11-1066

Müller, M.  
UBA-Studie „Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln“ - Sachbericht 1. Halbjahr. 2011  
ILK-B-2-11-1068

Noack, R.  
Entwicklung Luft-Wasser-Wärmepumpe mit verbesserter Arbeitszahl - Abschlussbericht  
ILK-B-2-11-1069

Peusch, A.  
Reduzierung der Schallemission an Luft-Wasser-Wärmepumpen - Abschlussbericht  
ILK-B-2-11-1071

Vollmer, D.  
Siedetemperaturgleichung für R227ea  
ILK-B-2-11-1072

Noack, R.  
Prüfung an einer Luft-Wasser-Wärmepumpe nach DIN EN 14511-3:2008-02  
ILK-B-2-11-1080

Hauptmann, J.  
Prüfbericht Verdichterleistungsmessung, Sanden TRSE07, R1234yf  
ILK-B-2-11-1081

Müller, M.  
Zwischenbericht „Studie Kältetechnologien in Deutschland“  
ILK-B-2-11-1082

Peusch, A.; Hauptmann, J.  
Untersuchungen an einer Sole/Wasser-Wärmepumpe „WWP S 8 ID“  
ILK-B-2-11-1083

Hauptmann, J.; Böhm, M.; Peusch A.  
Untersuchungen an einem Kältemittelverdichter aus Schienenfahrzeug-Klima-Anlagen  
ILK-B-2-11-1085

Stangl, R.  
Fertigungsversuche Mikrowärmetauscherblock durch Lasersintern  
ILK-B-2-11-1087

Müller, M.  
Abschlussbericht  
„Verdampfergerätesystem zur Erhöhung der Effizienz von Kälteanlagen“  
ILK-B-2-11-1090

Noack, R.  
Untersuchungen an Huckepack-Kälteaggregaten  
ILK-B-2-11-1091

Edler, Chr.  
Betriebsverhalten einer umgebauten Einbau-Kühl- / Gefrier-Kombination KIS38 2TZ  
ILK-B-2-11-1094

Paatzsch, R.  
Vermessung der Kälteanlage Klinikum Aschaffenburg, 2. und 3. Termin  
ILK-B-2-11-1101

Kleeberg, A; Vollmer D.; Ilgen A.  
Leckageüberwachungs- und Diagnosesystem  
AP2: Entwicklung Zustandsraummodell  
AP3: Test Zustandsraummodell  
ILK-B-2-11-1102

## **Luft- und Klimatechnik**

### **Bereich Klimatechnik**

Franzke, U.  
Berechnungsmodelle für die Entscheidungshilfe Solare Klimatisierung  
ILK-B-31-11-3563

Friebe, Chr.  
2. Zwischenbericht: Konvektion in Industriehallen  
ILK-B-31-11-3639

Franzke, U.  
5. Zwischenbericht: Entscheidungshilfe Solare Klimatisierung  
ILK-B-31-11-3643

Ziller, F.

3. Zwischenbericht: System zur energetischen Inspektion von Klimaanlage  
ILK-B-31-11-3645

Krause, R.

5. Zwischenbericht: Entwicklung leiser CPU-Kühler mit fein strukturierten Schaufeln  
ILK-B-31-11-3647

Rosenbaum, H.

1. Meilenstein: Anforderungsprofil an ein textiles Verbundsystem zur Raumluftklimatisierung  
ILK-B-31-11-3648

Rosenbaum, H.; Herfert, H.

1. Zwischenbericht: Textiles Verbundsystem zur Raumluftklimatisierung  
ILK-B-31-11-3649

Rosenbaum, H.

1. Zwischenbericht: Membranbasiertes Kühldeckensystem für schwülwarme Klimaregionen  
ILK-B-31-11-3650

Mai, R.; Schiller, H.

2. Zwischenbericht: Berechnungs-Algorithmen für Freie und Regenerative Kühltechnologien in Nichtwohngebäuden  
ILK-B-31-11-3653

Buschmann, M.H.

1. Zwischenbericht: Innovative Untersuchungen zu Kondensation in der Klimatechnik  
ILK-B-31-11-3654

Buschmann, M.H.

2. Zwischenbericht: Optimierung des Wärmeüberganges in strukturierten Rohren  
ILK-B-31-11-3655

Friebe, Chr.; Hendtke, Chr.

3. Zwischenbericht: Strahlpumpe für effizientere Flüssigsorptionsprozesse  
ILK-B-31-11-3658

Pohl, St.; Buschmann, M.H.

Experimentelle Untersuchungen von Nanofluiden in Rohren  
ILK-B-31-11-3660

Hackeschmidt, K.; Krause, R.

1. Zwischenbericht:  
Rohrbündelwärmeübertrager mit innovativer Füge-technologie - Untersuchungen am  
2. Prototypen mit Reinigungsanlage  
ILK-B-31-11-3666

Franzke, U.; Schiller, H.

Untersuchungen zum Energieeinsparpotenzial der Raumlufttechnik in Deutschland  
ILK-B-31-11-3667

Liebig, Chr.; Döge, S.; Friebe, Chr.

Entwicklung und Erprobung einer geeigneten Messstrategie zur Erfassung von definierten Verschmutzungen auf beschichteten Wärmeübertrageroberflächen mittels eines laseroptischen Verfahrens - Diplomarbeit  
ILK-B-31-11-3674

Hackeschmidt, K.

Abschlussbericht - Entwicklung einer aktiven Fensterlüftung  
ILK-B-31-11-3685

Mai, R.

Überarbeitung der Energiekennwerte in DIN V 18599 Teil 3 und Teil 7 für Wetterdaten nach TRY04-2011  
ILK-B-31-11-3688

Rosenbaum, H.

Abschlussbericht: Textiler Kombinationskollektor  
ILK-B-31-11-3700

Buschmann, M.H.

Abschlussbericht: Optimierung von strukturierten Rohren mittels Nanofluiden  
ILK-B-31-11-3712

Krause R.; Ehle A.

Abschlussbericht: Entwicklung leiser CPU-Kühler mit fein strukturierten Schaufeln  
ILK-B-31-11-3721

## **Luft- und Klimatechnik**

### **Bereich Luftreinhaltung**

Heidenreich, R.; Blei, S.

Ermittlung der Korngrößenverteilung in einem Presswerk zur Auslegung von Abscheidern in Lüftungsanlagen  
ILK-B-33-11-1589

Blei, S.; Heidenreich, R.  
Entwicklung eines Verfahrens zum simultanen Vergleich von Filtern  
2. Zwischenbericht 2011  
ILK-B-33-11-1590

Heidenreich, R.  
2. Zwischenbericht: Neue Filtermaterialien  
ILK-B-33-11-1591

Holfeld, S.; Heidenreich, R.; Böhme, A.; Schmidt, D.; Knörnschild, R.; Dr. Junk, M.  
Trennmittelabscheider für Druckgussmaschinen -  
2. Zwischenbericht 2010  
ILK-B-33-11-1592

Frenzel, W.-P.; Böhme, A.; Heidenreich, R.  
Energieökonomische und emissionsminimierte filternde Abscheider - 2. Zwischenbericht  
ILK-B-33-11-1593

Birnbaum, Th.  
Beratung zum Betrieb von raumluftechnischen Anlagen  
ILK-B-33-11-1594

Heidenreich, R.  
Bestimmung eines Korrekturfaktors für einen Staubsensor  
ILK-B-33-11-1595

Birnbaum, T.  
Ermittlung von Emissionen an einer BHKW-Anlage  
ILK-B-33-11-1596

Birnbaum, T.  
Untersuchung eines Biomasse - Brennstoffs  
ILK-B-33-11-1602

Schmidt, D.; Heidenreich, R.  
Neuartige Abscheideverfahren für Schadstoff-Emissionen bei der Materialbearbeitung mittels Lasertechnik - Asemclas  
ILK-B-33-11-1605

Heidenreich, R.  
Ergebnisauswertung der Messungen zur Auslegung und Parametrierung der Filter-Demonstrationsanlage in der Feinhütte Halsbrücke  
ILK-B-33-11-1610

Heidenreich, R.; Frenzel, W.-P.; Böhme, A.  
Leistungsmessung an der R+B Filterplatte 905-001-000036  
ILK-B-33-11-1611

Heidenreich, R.; Blei, S.  
Untersuchungen an einem Abscheider zur Ölnebelabscheidung  
ILK-B-33-11-1616

Holfeld, S.  
Applikationstest des Nebelgenerators CFG 290  
ILK-B-33-11-1621

Heidenreich, R.  
Staub- und Hygieneuntersuchungen an einem RLT- Gerät der Frauenkirche Dresden  
ILK-B-33-11-1624

Birnbaum, Th.  
Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen  
ILK-B-33-11-1626

Heidenreich, R.  
Zyklonberechnungen  
ILK-B-33-11-1627

Heidenreich, R.  
Untersuchungen zur Schadstoffabscheidung an einem Trockner für Solar- Wafer  
ILK-B-33-11-1628

Holfeld, S.; Heidenreich, R.; Böhme, A.; Schmidt, D.; Knörnschild, R.; Dr. Junk, M.  
Trennmittelabscheider für Druckgussmaschinen -  
3. Zwischenbericht 2011  
ILK-B-33-11-1638

Heidenreich, R.; Dr. Blei, S.  
Ermittlung der Abluftparameter in einer Fertigungshalle zur Auslegung der RLT-Anlage  
ILK-B-33-11-1640

Heidenreich, R.; Frenzel W.; Grimm U.; Müller  
Aircover - Abschlussbericht  
ILK-B-33-11-1643

Heidenreich, R.; Berger, M.; Birnbaum, Th.  
Schadstoffarmes Verbrennungssystem für  
Schreinerei-Restholz unter besonderer  
Beachtung der Feinstaub und Stickstoff-  
oxid- Emissionen, Zwischenbericht 2011  
ILK-B-33-11-1644

Birnbaum, Th.  
Untersuchung der Luftqualität in einem  
Innenraum  
ILK-B-33-11-1649

Heidenreich, R.; Holfeld, S.  
Untersuchungen zum Abscheidegrad von  
Kabinenfilterelementen gegenüber DEHS-  
Aerosol mittels Scan-Methode  
ILK-B-33-11-1652

### **Angewandte Neue Technologien**

Rittsche, A.  
Zwischenbericht: „Optoelektronischer  
Feuchteindikator“ 02/2011  
ILK-B-4-11-2882

Krusche, J.  
Vergleichsuntersuchungen zur Wasser-  
dampfdurchlässigkeit von Membranen  
ILK-B-4-11-2885

Müller, Y.  
Zwischenbericht: Werkstoffverhalten unter  
scCO<sub>2</sub>-Bedingungen von Kälteanlagen  
ILK-B-4-11-2886

Hernschier, W.  
Energieversorgungsmodule und Energie-  
management  
ILK-B-4-11-2889

Waschull, J.; Hernschier, W.  
Zwischenbericht „Modulare photovolta-  
ische Energieversorgung für Kompressi-  
onskälteanlagen mit Backup und Ener-  
giemanagement“  
ILK-B-4-11-2890

Germanus, J. u.a.  
Ökoeffizientes Kältemittelazeotrop Ammo-  
niak-Dimethylether - 2. Zwischenbericht  
ILK-B-4-11-2893

Waschull, J.  
1. Zwischenbericht:  
Latentspeicherverdampfer (Lavek)  
ILK-B-4-11-2894

Feja, St.  
2. Zwischenbericht: Transporteigenschaf-  
ten ökoeffizienter Kältemittel-Öl-Gemische  
ILK-B-4-11-2895

Römer, S.  
Entwicklung technischer Komponenten  
von Händetrocknung und deren Umset-  
zung in eine Neue Trockner Generation-  
NTG - Zwischenbericht  
ILK-B-4-11-2899

Krusche, J.  
Untersuchungen zur Gel-Beschichtung der  
Zellmembran in Drucktransmittern  
ILK-B-4-11-2913

Dr. Müller, R.  
Entwicklung einer luftgestützten Abde-  
ckung für große Flächen, insbesondere für  
Rasen und Kunstrasenplätze in Sport- und  
Trainingszentren  
ILK-B-4-11-2916

Hernschier, W.  
Drucktransmitter EMV  
ILK-B-4-11-2930

Krusche, J.  
Prüfung von Drucktransmittern unter ext-  
remen Klima-Bedingungen  
ILK-B-4-11-2931

Krusche, J.  
Qualifizierung höchstverfügbarer Druck-  
transmitter für extreme Einsatzbedingun-  
gen  
Teilthema ILK: Prüfung von Drucktransmit-  
tern für extreme Einsatzbedingungen  
ILK-B-4-11-2932

Dr. Müller, R.  
Neue energieeffiziente Trocknungs-  
prinzipien und deren Funktionsnachweis  
ILK-B-4-11-2941

Germanus, J. u.a.  
Ökoeffizientes Kältemittelazeotrop Ammo-  
niak-Dimethylether  
ILK-B-4-11-2956



## Angewandte Energietechnik

Heinrich, C.

1. Zwischenbericht zu AP 1 u. 2 und Zwischenstand AP 3 des UBA-Projekts: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen der Industrie und Gebäudeklimatisierung  
ILK-B-5-11-0109

Albring, P.

Zwischenbericht  
„Entwicklung und Erprobung eines energie-rationalen und umweltfreundlichen Kaltwassersatzes mit Wasser als Kältemittel und neuem Wärmeübertrager und Turboverdichterkonzept“  
ILK-B-5-11-0110

Safarik, M.

-Zwischenbericht I  
COACH (Components for an Optimised Air Cooled Absorption Chiller)  
ILK-B-5-11-0112

Richter, L.

Beschreibung der Projektausführung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in einem Tiefkühlager mittels BHKW und Kompressions-Absorptions-Kaskadenkälteanlage  
ILK-B-5-11-0113

Albring, P.

Berechnung des Druckverlustes in Drahtgestrick-Tropfenabscheidern (R718 - Wasser als Kältemittel)  
ILK-B-5-11-0114

Schröter, M.; Burandt, B.

Diplomarbeit  
Test und Optimierung einer Multieffektdestillationsanlage kleiner Leistung  
ILK-B-5-11-0119

Kühn, M.; Burandt, B.

Diplomarbeit  
Konstruktion und Teilaspekte der Auslegung einer Double-Quattro-MED-Anlage  
ILK-B-5-11-0120

Richter, L.

Abschlussbericht - Untersuchung der Verwendung von Kristallisationsinhibitoren innerhalb von H<sub>2</sub>O-LiBr- Resorptionskälteanlagen zur Erzeugung von Kälte unter 0°C  
ILK-B-5-11-0122

Kretzschmar, Th.

Benetzung der Innenseiten stehender Rieselrohrreife eines luftgekühlten Absorbers COACH  
ILK-B-5-11-0124

Burandt, B.

Verfahren zur Eisherstellung und Eisspeicherung im Direktverdampfungsprozess mit Wasser als Kältemittel und mechanischem Kompressor, Abschlussbericht  
ILK-B-5-11-0126

Richter, L.

Untersuchung Gestaltungskonzept Double Effect - Absorptionskälteanlage SolTri  
ILK-B-5-11-0129

Trommler, G.

Beschreibung und Auswertung der Untersuchung des R718 Verdichters (AQC-1-620-380-65) im ILK Versuchsfeld  
ILK-B-5-11-0130

Heinrich, C.; Wittig, S.

Studie: Einsatz von Wärmepumpen für den Trocknungsprozess in Geschirrspülern  
BSH  
ILK-B-5-11-0131

Richter, L.; Wilzki, S.

Bachelorarbeit - Vermessung einer Mehrkomponenten-Absorptionskältemaschine  
ILK-B-5-11-0133

Richter, L.

Zwischenbericht I 2011 - Komponentenentwicklung für eine hocheffiziente dezentrale solarunterstützte KWKK  
ILK-B-5-11-0134

Heinrich, C.; Kretzschmar, Th.

Studie zur Anwendung alternativer Kapillarrohrmodelle aus Literaturquellen für die Modelica Bibliothek zur HHK-Simulation  
ILK-B-5-11-0137

Kretzschmar, Th.  
Gewinnung von CO<sub>2</sub> aus Gasgemischen  
mit kältetechnischen Methoden  
ILK-B-5-11-0140

Richter, L.  
Konzentrationsbestimmung in wässrigen  
Lithiumbromidlösungen  
ILK-B-5-11-0141