

Forschungsbericht 2007

Vorwort der Geschäftsleitung



Die Einheit von Forschung, Entwicklung und Technologietransfer in einem breiten Feld von Technologiebereichen bestimmte satzungsgemäß auch im Jahr 2007 die Geschäftstätigkeit des Instituts für Luft- und Kältetechnik.

Grundlegende Themenstellungen, wie Energie, Umwelt und Lebensqualität prägen die Tätigkeit im Bereich der Forschungsarbeiten. Im Jahr 2007 wurden 62 Forschungsvorhaben im Rahmen spezieller Förderprogramme am ILK bearbeitet.

Dabei sind am Institut für Luft- und Kältetechnik grundsätzlich alle Bereiche des Innovationszykluses als Tätigkeitsfelder gegeben. Dazu gehört die grundlagenorientierte und angewandte Forschung, die produkt- und verfahrensorientierte Entwicklung einschließlich Prototyprealisierung sowie der Technologietransfer, insbesondere durch wissenschaftlich-technische Dienstleistungen und innovativer Planung.

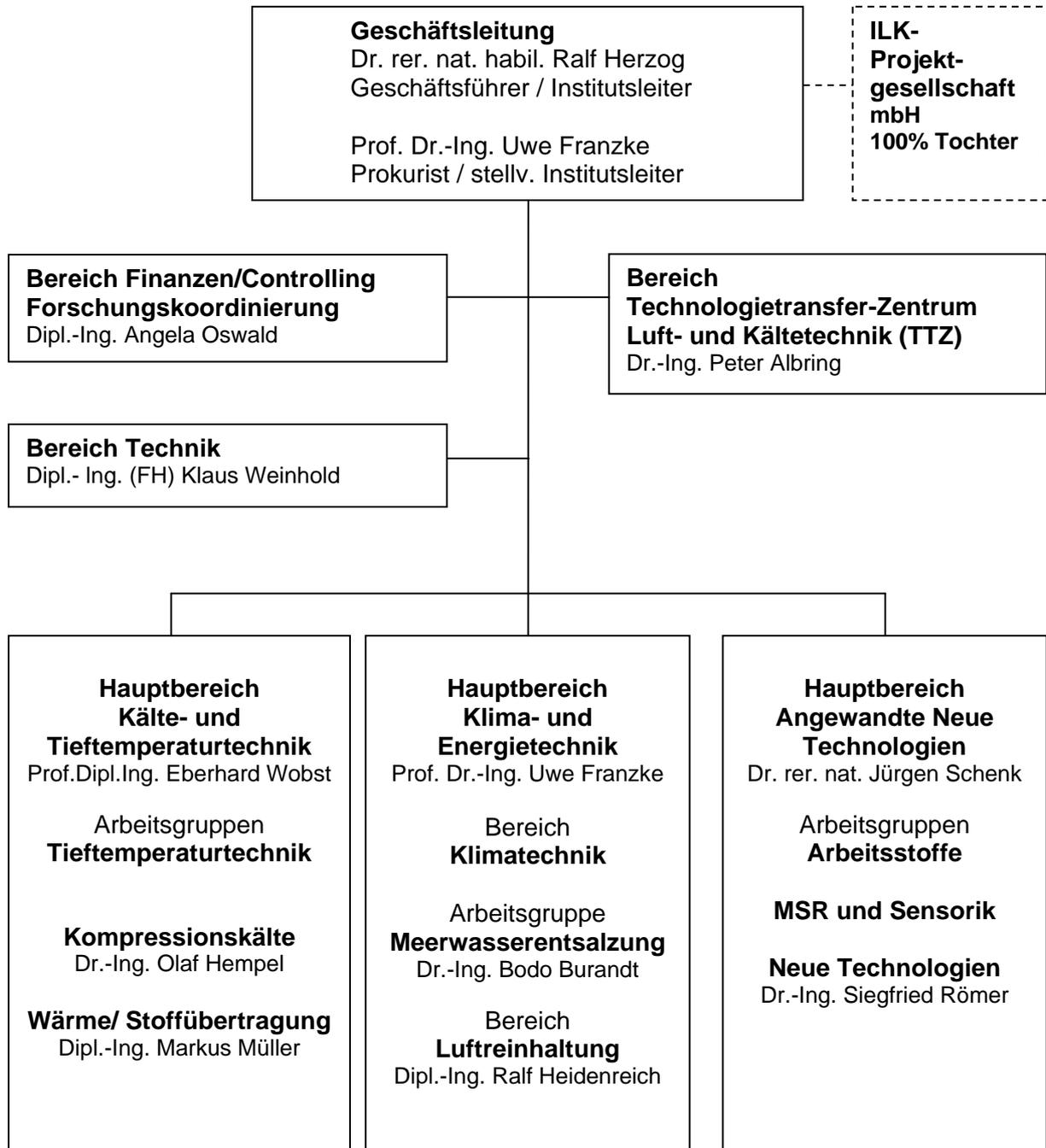
Der ILK-Forschungsbericht 2007 beinhaltet ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung sowie ausgewählte Beispiele von wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen des ILK.

Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Partnern in Wirtschaft, Forschung und im öffentlichen Bereich für die gute Zusammenarbeit im Geschäftsjahr 2007 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 gemeinnützige Gesellschaft mbH



Institut für Luft- und Kältetechnik
Gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden
Telefon (0351) 40 81-520
Telefax (0351) 40 81-525
E-Mail: gf@ilkdresden.de
<http://www.ilkdresden.de>

Inhalt

Tiefemperaturtechnik	2
Kältetechnik	5
Klimatechnik	14
Luftreinigungstechnik	23
Angewandte Neue Technologien/ Werkstoffe/Messtechnik	27
TTZ am ILK	38
Veranstaltungen	40
Anlage (Veröffentlichungen)	43

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung, Entwicklung und Technologietransfer im Jahr 2007

1. Tieftemperaturtechnik

Pulse-Tube-Kryokühler

Entwicklungsergebnisse

Im Ergebnis des Vorhabens wurde das Funktionsmuster eines Split-Pulse-Tube-Kryokühlers entwickelt.



Bild: Split-Pulse-Tube-Kryokühler (Funktionsmuster)

Die Schwerpunkte des Entwicklungsvorhabens betrafen die Auslegung, Konstruktion, Fertigung und Erprobung des Antriebsteils mit dem Verdichter und dem Kaltteil. Für den Antriebsteil wurde ein neuartiger Moving Coil & Core Linearmotor realisiert, der viele Vorteile der Systeme Moving Coil und Moving Magnet in sich vereint und deren Nachteile weitgehend beseitigt.

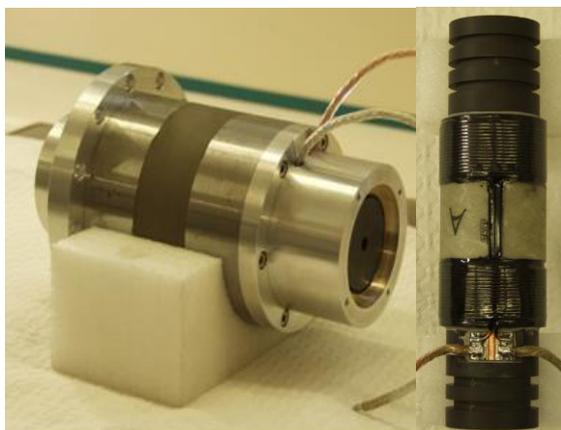


Bild: Moving Coil & Core Linearmotor und dessen Motorschwinger

So können durch den großen nicht bewegten Permanentmagneten im Statorsystem sehr hohe Kraftdichten von über 200 N erzeugt werden. Mechanische Rückstellfedern können entfallen, da die Reluktanzkraft des Magnetsystems die Rückstellung des Schwingers in die Mittellage bewirkt.

Die Abkühllexperimente mit angeschlossenem Kaltteil erbrachten bislang eine minimale Temperatur von 138 K. Durch die weitere Optimierung des Kaltteils soll die Zielstellung 10...20 W bei 80 K mit 500 W elektrischer Antriebsleistung erreicht werden.

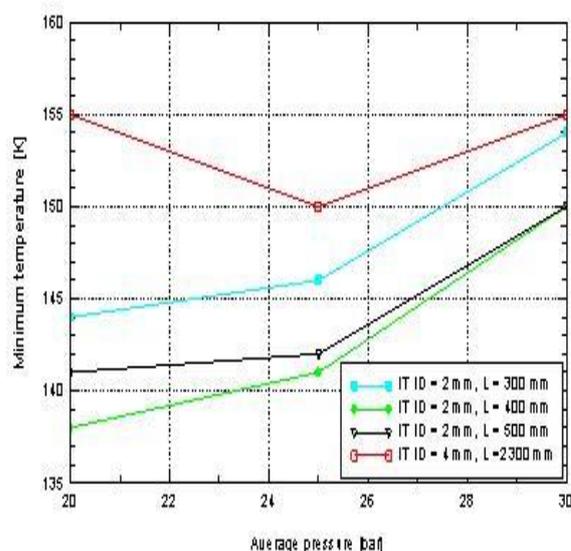


Bild: Abhängigkeit der Minimaltemperatur vom Mitteldruck und von den Einstellungen des fluidischen Phasenschiebers

Vermarktungsziele

Zielgruppen für die wirtschaftliche Verwertung

- Lager- und Transportbehälter für biologische Proben
- Kühlung supraleitender Magnetlager für Ultrazentrifugen bzw. Flywheel-Energiespeicher
- Tieftemperatur-Messkammern

Der Markt der Lager- und Transportbehälter wird favorisiert.

Überführung des kryochirurgischen Gerätesystems

Am ILK wurden auf Anforderungen von medizinischen Einrichtungen kryochirurgische Geräte für die Behandlung von gut- und bösartigen Tumoren und Schmerzen an unterschiedlichen Organen für die medizinische Forschung entwickelt. So wurden Applikatoren zur Behandlung der Trigemini-Neuralgie im Gesichtsbereich und zur Behandlung von Tumoren in der Mundhöhle sowie Sonden zur Behandlung großflächiger Tumore in der Tierheilkunde konstruiert, gefertigt und getestet. In einem vom Land Sachsen geförderten Technologietransfervorhaben wurden in den Jahren 2006 und 2007 die ersten drei Sonden und das dazugehörige Flüssigstickstoffversorgungsgerät in die Kleinserienfertigung überführt.



Bild: Kryochirurgisches Gerätesystem

Zur Übernahme des Know-how und Aufnahme der Serienfertigung konnten die Unternehmen

- MedingLab GmbH Freital, Finalproduzent
- Medizintechnik Deutschmann Zittau, Fertigung der Sonden
- IMM Holding GmbH Mittweida, Fertigung der Steuerung

gewonnen und vertraglich gebunden werden.

Das Produkt „Kryochirurgisches Gerätesystem“ besteht aus:

- Kryochirurgischen Sonden
 - Kontaktsonde
 - Einstechsonde
 - Sprühsonde
- LN2-Versorgungsgerät.

Zur erfolgreichen kryochirurgischen Behandlung von Tumoren müssen die folgenden physikalischen Bedingungen im zu behandelnden Gewebe sicher erreicht werden:

- Gewebetemperatur -40°C
- Kühl- bzw. Gefriereschwindigkeit 80 K/min

Dazu wurden im Vorhaben die Konstruktionen der Sonden und des LN2-Versorgungsgerätes überarbeitet und den Fertigungsbedingungen der Unternehmen angepasst.

Die folgenden Bilder zeigen die Konstruktionen der Anpresssonde und der Einstechsonde.

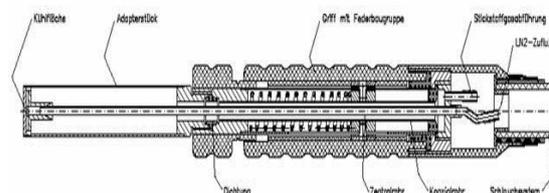


Bild: Kontaktsonde zur Behandlung von Tumoren an der Körperoberfläche

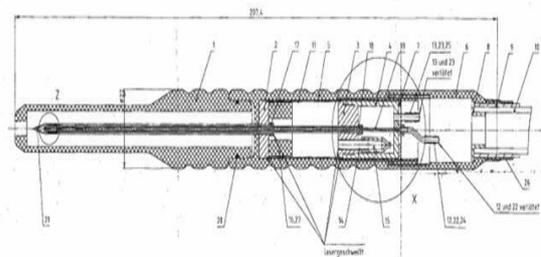


Bild: Einstechsonde zur Behandlung von Tumoren und Schmerzen (Trigemini-Neuralgie)

Das LN2-Versorgungsgerät dient zur Bereitstellung des flüssigen Stickstoffs zur intensiven Kühlung der Sonden und ist nach folgendem Schema aufgebaut. Kern-

stück des Versorgungsgerätes ist ein Vorratsgefäß mit 5 Liter Fassungsvermögen und 4 bar Betriebsdruck. An das Vorratsgefäß werden die Sonden über ein Schlauchsystem und eine Luerverschraubung angeschlossen. Der Betriebsdruck von 4 bar wird zur Erreichung der geforderten Gefriereschwindigkeit in möglichst großer Gewebetiefe (ca. 6 mm) benötigt.

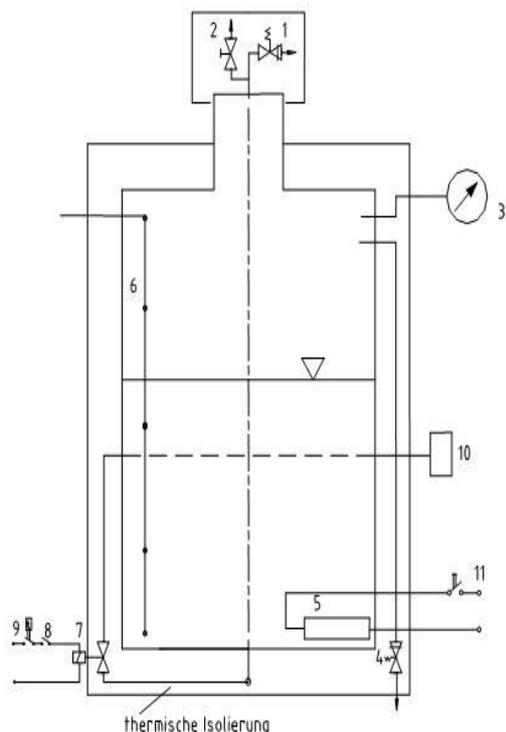


Bild: Schematischer Aufbau des LN2-Versorgungsgerätes

Legende:

- 1 erstes Sicherheitsventil
- 2 Behälterverschlussventil
- 3 Anzeige des Betriebsdruckes
- 4 zweites Sicherheitsventil
- 5 elektrischer Heizer
- 6 flüssiger Stickstoff-Standanzeiger
- 7 Stickstoffaustrittsventil (Magnetventil)
- 8 Tastenschalter am Bedienterminal und parallel Fußschalter für Magnetventil
- 9 zeitgesteuerter Schalter für Magnetventil
- 10 Lueranschluss für Sonden
- 11 Tastenschalter für Heizung

Vom ILK wurde in der Vorhabenslaufzeit die Fertigung der ersten Geräte organisiert und betreut. Weiterhin wurden alle erforderlichen Prüfungen bezüglich Vakuumdichtheit während der Fertigung und entsprechende Tests zur Überprüfung der

Sicherheit und Funktionsweise des Gerätesystems durchgeführt.



Bild: Messanordnung zur Durchführung der Prüfungen und Tests kryochirurgischer Geräte

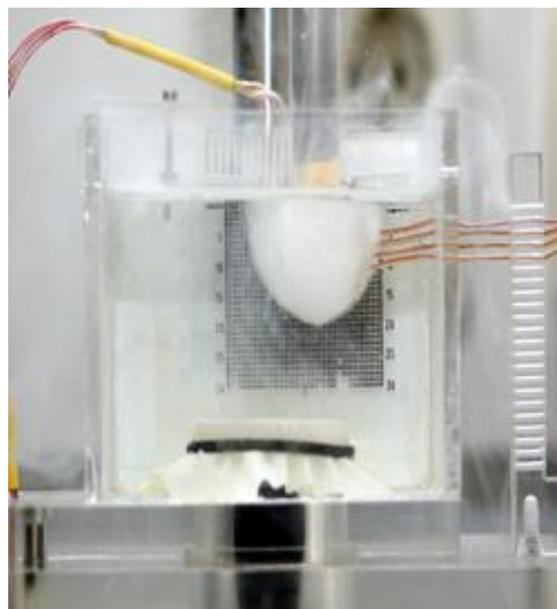


Bild: Test der Kontaktsonde zur Funktionsweise und Qualitätssicherung

Zusätzlich wurden innerhalb des Transfervorhabens im ILK alle für die Zertifizierung des kryochirurgischen Gerätesystems als Medizinprodukt erforderlichen Unterlagen wie Bedienungsanleitung, EG-Konformitätserklärung und Prüfprotokolle erarbeitet und die Zertifizierung des Unternehmens MedingLab als Medizinproduktehersteller und des kryochirurgischen Gerätesystems als Medizinprodukt durch die SLG Prüf- und Zertifizierungs GmbH Hartmannsdorf organisiert.

2. Kältetechnik

Flächenwärmeübertrager mit Mikrostrukturen

Im Projektverlauf wurden unterschiedlichste Varianten von flächenhaft durchströmten Wärmeübertragern entwickelt, gefertigt und getestet. Ergebnisse aus den einzelnen Tests flossen unmittelbar in die weitere Entwicklung ein.

Zum Abschluss des Projektes wurde ein Prototyp für einen Verflüssiger für Haushaltskältegeräte (HKG) entwickelt und gefertigt.



Bild: Prototyp für einen flächenhaft durchströmten Rückwandverflüssiger

Dieser Prototyp weist gegenüber herkömmlichen Verflüssigern zwei entscheidende Vorteile auf:

- Im Fertigungsprozess entfallen die gesamten Arbeitsschritte zur Oberflächenvergrößerung (Anschweißen von Drahtpaketen bzw. Verklemmen von Blechen).
- Die Vermessung zum äußeren Wärmeübergang, durchgeführt auf einem mit Wasser betriebenen Verflüssigerprüfstand, zeigten erhebliche Leistungssteigerungen. Die Leistungssteigerungen betragen bei gleicher Wärmeübertrageroberfläche bis zu 20 % gegenüber einem herkömmlichen Drahtrohr-Verflüssiger.

Die im Projekt erreichte Innovation bezieht sich auf einen Verflüssiger für HKG mit folgenden Eigenschaften:

- gefertigt aus extrudierten Aluminiumprofilrohren
- die gesamte luftseitige Oberfläche weist eine in Strömungsrichtung einheitliche Temperatur auf
- geringerer Raumbedarf bei gleicher Oberfläche
- Fertigung aus einem Endlosprofilstrang
- Einsparung der Fertigungsschritte zur Oberflächenvergrößerung.

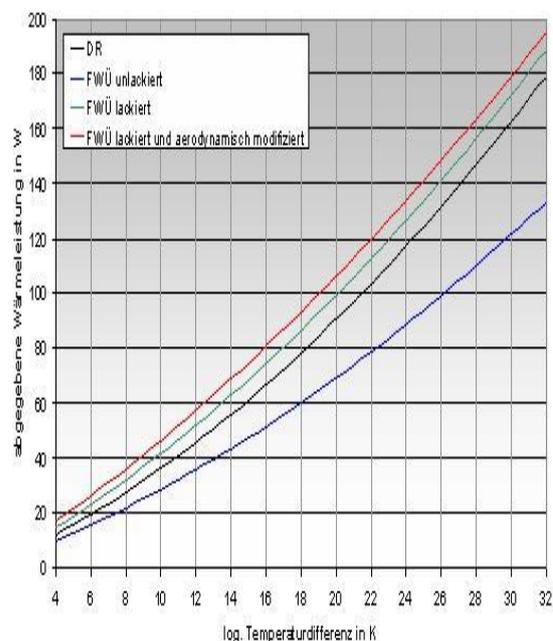


Bild: Vergleich der thermischen Leistung verschiedener Wärmeübertragervarianten

Die Ergebnisverwertung baut auf zwei Säulen auf. Aus den im Projekt entwickelten Innovationen wurden drei Patente angemeldet. Zwei Patente beziehen sich auf neuartige Rückwandverflüssiger mit freier Konvektion. Das dritte Patent bezieht sich auf einen Kompakt-Verflüssiger mit erzwungener Konvektion. Mittels der Vergabe von Lizenzen soll der Hauptteil der Refinanzierung erfolgen. Mit dem Aufbau der Versuchsstände und den gewonnenen Erfahrungen erschließt sich ein weites Feld zur Bearbeitung von Mess- und Entwicklungsarbeiten für die Gestaltung, Auslegung und den Betrieb von Wärmeübertragern.

Innovativer Ölabscheider

Ziel des Kooperationsprojektes zwischen ESK Schultze und ILK war es, neuartige innovative Ölabscheider für die Kältetechnik zu entwickeln. Die Teilaufgabe des ILK bestand darin, die neuen Ölabscheider bezüglich ihrer Ölabscheidewirkung zu vermessen und in ihrer Effizienz zu beurteilen.

Dafür wurde im ILK ein praktikables Messverfahren entwickelt sowie ein entsprechender Messprüfstand gebaut.

Der Abscheidegrad der neuen Ölabscheider sollte mit möglichst hoher Genauigkeit für einen relativ großen Leistungs- und Zustandsbereich bestimmt werden.



Bild: Messprüfstand für Bestimmung des Abscheidegrades von kältetechnischen Ölabscheidern (mit Sole- und Kühlwasseranschlüssen)

Außerdem sollten Referenzmessungen an mehreren marktüblichen Ölabscheidern von verschiedenen Herstellern für eine Vergleichdatenbasis durchgeführt werden.

Die Bestimmung der Ölabscheidegrade erfolgte auf Basis von mehreren simultanen Massenstrommessungen mit Coriolis-Messgeräten im Kälteleistungsbereich von ca. 3 bis 18 kW bei t_0/t_c von $-35/40^\circ\text{C}$ bis $+5/50^\circ\text{C}$.

Bislang existiert kein einheitlicher Standard für die Bestimmung des Abscheidegrades von kältetechnischen Ölabscheidern. Die Angaben der Hersteller zu den Abscheidegraden ihrer Produkte werden nicht nach allgemein gültigen Grundsätzen ermittelt.

Mit dem neu gebauten Messprüfstand kann auf relativ einfache, praktikable Weise das Abscheideverhalten und die Effizienz der Ölabscheider für unterschiedliche Bedingungen und Betriebspunkte quantitativ bestimmt werden.

Das ILK wird diese Leistung am Markt – speziell in der kältetechnischen Branche – anbieten.

Weiterhin zieht das ILK, besonders im Geschäftsfeld Prüfstandsbau, Nutzen aus den Erkenntnissen des Fördervorhabens. Mit den Erkenntnissen aus dem Projekt können Ölabscheider verschiedener Hersteller mit teilweise unterschiedlichen physikalischen Abscheideprinzipien besser beurteilt und effektiver für bestimmte Anwendungen und besondere Einsatzfälle ausgewählt werden.



Bild: Detailansicht vom Messprüfstand mit dem eingebauten Prüfling

Lebensmittelfroster mit Kaltluftmaschine

Seit den neunziger Jahren konnten intensive Forschungsaktivitäten zum Einsatz von Luft in Kälte- und Klimaprozessen beobachtet werden. Ausgelöst durch die Debatte um die chemischen Kältemittel und deren umweltbeeinflussenden Eigenschaften (Zerstörung der Ozonschicht, Treibhauseffekt) wurde Luft als Kältemittel einer intensiven Betrachtung als Alternative für mehrere Anwendungsfälle unterzogen.

Die bei tieferen Temperaturen im Vergleich zu anderen Kälteprozessen erreichbare höhere Leistungszahl war Motivation, den Kaltluftprozess näher experimentell anwendungsbezogen zu untersuchen. Das im ILK Dresden realisierte Projekt „Lebensmittelfroster mit Kaltluftmaschine“ ist in diesem Sinne ein Beitrag zur Untersuchung des Einsatzes natürlicher Arbeitsstoffe in der Kältetechnik.

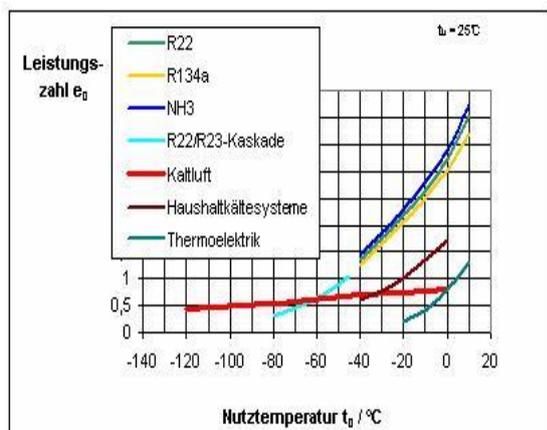


Bild: Leistungszahl unterschiedlicher Kälte-Prozesse



Bild: Lebensmittelfroster – Anlagenaufbau

Am ILK wurde eine Anlage mit innerer regenerativer Wärmeübertragung und isentroper Entspannung aufgebaut. Als Peripherie wurde eine in der Lebensmittelindustrie übliche Frosterkammer mit einer geplanten Kälteleistung von 10 kW bei etwa -60°C installiert.

Die Erweiterung der Funktionalität des „Frosters“ um die Funktion „Kühlung“, die gerade in der Bäckereikälte wichtig ist (z. B. Sahneklima, Tortenlagerung etc.), ermöglicht es, die erforderliche Vorkühlung der ersten Stufe als auch die Kühlung des dem Froster vorgebauten Lagerbereiches zu übernehmen. Diese Funktion kann konsequenterweise eine zweite Kaltluftstufe übernehmen.



Bild: Verdichter-Expansionsmaschine für Luft

Alternativ dazu kam in den Untersuchungen ein separater Kaltdampfprozess zum Einsatz, der über einen Solekreislauf mit dem Kaltluftprozess gekoppelt wurde.

Die theoretisch erreichbaren Temperaturen liegen bei guten Maschinenwirkungsgraden bei -60°C bei Kälteleistungen von etwa 10 kW. Die maschinelle Umsetzung mit nicht prozessoptimierten Maschinen ließ den experimentellen Nachweis bis zu -37°C zu. Begründete Extrapolationen der Maschinendrehzahl auf heutige übliche Werte zeigen das noch inneliegende Potential.

Aus thermodynamischer Sicht hat Luft allerdings gegenüber den bisher eingesetzten umweltproblematischen Kältemitteln eine geringere volumetrische Effizienz. Aus diesem Grund ist die Anlage deutlich größer als vergleichbare Kaltdampfmaschinen. Ausführungsvarianten mit hohen Drücken (30 bar) und daraus resultierenden Rohrleitungsnennweiten

von ca. 25 % des derzeitigen Wertes sind aufgrund fehlender Maschinen (Verdichter, Expander und Motor auf einem gemeinsamen Wellenstrang) nicht realisierbar.

Die aktuelle Kältemitteldebatte, die in den letzten Jahren forciert geführt wird und in rechtlichen Neuorientierungen mündet, führte mit fortschreitender Projektbearbeitung zu einer distanzierteren Bewertung des Einsatzes von Luft in Kälteanlagen.

Ein wirtschaftlicher Erfolg des mit Luft betriebenen Frosters wird nur dann eintreten können, wenn der weitere Einsatz der nicht natürlichen Kältemittel durch internationale Vereinbarungen weiter reglementiert werden sollte.

Kühlung mit feuchten Oberflächen

Entwicklungsziel

Lamellenwärmeübertrager mit temporärer Wasserbenetzung sowie Luftvorkühlung auch für den Leistungsbereich unter 150 kW

Stand der Technik

Für die Rückkühlung flüssiger Medien werden verschiedene Arten von Rückkühlern eingesetzt. Die gebräuchlichsten Formen sind Trockenkühler oder Verdunstungskühler in Form von offenen oder geschlossenen Kühltürmen. Eine Stellung zwischen diesen beiden Arten nimmt der so genannte hybride Trockenkühler ein.

Da luftgekühlte Wärmeübertrager zur Rückkühlung von flüssigen Medien bzw. Kondensatoren für Kältemittel im trockenen Betrieb eine Begrenzung der erreichbaren Temperaturen durch die Lufttemperatur haben, wird diese Grenze durch Befeuchtung erweitert.

Auf dem Markt existierende hybride Trockenkühler arbeiten hierfür mit einem sehr hohen Wasserüberschuss.

Beabsichtigte technische Entwicklung

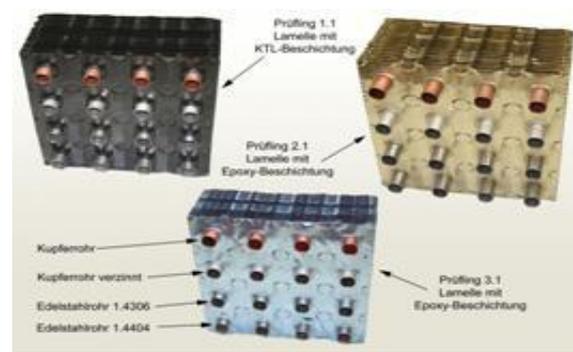
Um den gestiegenen Anforderungen in Bezug auf Effizienz und Energieverbrauch gerecht zu werden, soll ein neues wasser- und energiesparendes Konzept entwickelt werden. Ziel ist es, die Entwicklung einer innovativen Rückkühlerbaureihe für den

Leistungsbereich unter 150 kW in Form eines Rohr-Lamellen-Wärmeübertragers mit temporärer Wasserbenetzung sowie Luftvorkühlung voranzutreiben.

Aufgrund der angebotenen Leistungen der hybriden Rückkühler können verschiedene Anwendungen nicht realisiert werden, die mit Hilfe der neuen Rückkühlerbaureihe erschlossen werden sollen.

Aktueller Stand und Ergebnisse der Entwicklung

Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wurden Korrosionstests an verschiedenen Prüflingen und Leistungsmessungen zu verschiedenen Befeuchtungssystemen und Befeuchtungskonzepten durchgeführt.



Für die Korrosionsuntersuchungen wurden die Prüflinge mit Deionat über einen Zeitraum von insgesamt 1900 Stunden besprüht. Sämtliche Prüflinge, mit Ausnahme eines unbeschichteten Blechwinkels, zeigten nach dem Zeitraum keinerlei Korrosionserscheinungen.

Ein weiteres Ziel des Projektes war es, die Sekundärwassermenge für die Befeuchtung um ca. 20 % zu reduzieren. Die Reduzierung der Sekundärwassermenge sollte mittels geschlitzter und/oder gelochter Rohre realisiert werden, über welche der Wärmeübertrager berieselt wurde. Hierzu wurden die Rohre über, im oder vor dem Wärmeübertrager angeordnet.



Bild: Versuchsanlage

Weiterhin wurden Varianten zur Besprühung über Düsen untersucht. Zum Einsatz kamen Niederdruck- und Hochdruckdüsen. Die Besprühung erfolgte sowohl in als auch gegen die Luftrichtung.

Zur Bestimmung der entsprechenden Leistungsgrößen wurden die verschiedenen Luftzustände für Temperatur und relative Luftfeuchte am Ein- und Austritt und die Wassertemperaturen und Massenströme des Kühl- und Benetzungswassers (Sekundärwasser) gemessen. Die Messungen zeigten, dass unter dem Aspekt einer geringen Sekundärwassermenge die Besprühung mittels Niederdruckdüsen die eindeutig beste Performance lieferte. Eine gleichmäßige Wasserverteilung bei der Berieselung über die verwendeten Rohre war aufgrund der geringen Wassermengen nicht zu erreichen. Es zeigte sich, dass abhängig vom Lufteintrittszustand Leistungssteigerungen bis ca. 70 % bei Lufttemperaturen $> 30\text{ °C}$ zu erreichen sind.



Bild: Versuchsanlage

Auf Grundlage der Ergebnisse wurde eine neue Baureihe konzipiert. Die Entscheidung für die Korrosionsschutzschicht ist noch nicht getroffen, da die Prüflinge noch weiter getestet werden.

FuE-Dienstleistungen für die Kälte-technik-Industrie

Das ILK bietet eine breite Palette von FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie an. Diese geht von Simulations- und Auslegungsrechnungen über die Bewertung von kompletten Kälteanlagen oder Wärmepumpen bis hin zur Untersuchung einzelner Komponenten des Kältekreislaufs.

Das ILK besitzt Know-how und moderne Verdichterprüfstände für Leistungsprüfungen nach EN 13771-1 an hermetischen und offenen Kältemittelverdichtern im Förderstrombereich von 3 bis $200\text{ m}^3/\text{h}$ (max. Kälteleistung ca. 200 kW) mit unterschiedlichen Kältemitteln.

Als unabhängiges Institut arbeitet das ILK seit vielen Jahren erfolgreich mit der ASERCOM zusammen und ist im Auftrag der ASERCOM als zertifizierte Prüfstelle aktiv.

Ende 2007 konnte das Prüflabor Wärmepumpen (PLWP) am ILK Dresden in Betrieb genommen werden. Dieses ILK-Prüflabor ist akkreditiert nach DIN ISO 17025 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) für die Leistungsprüfungen an Sole-Wasser-Wärmepumpen für Leistungen bis 100 kW nach DIN EN 14511.

Wärmepumpen – Untersuchungen

Die positiven Entwicklungen gerade im Heizungswärmepumpenmarkt sind unübersehbar und werden durch ein aktuelles Marktanzreizprogramm unterstützt. Basis der Förderung der Heizungswärmepumpen durch die Politik sind die Mindest-Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen für den Altbaubestand und Neubauten.

Daraus ergeben sich aus Sicht des ILK anspruchsvolle Forschungsaufgaben zur Wärmepumpentechnik:

→ Untersuchungen zur Effizienz von Verdichtern, Wärmetauschern und anderen Komponenten des Kältekreislaufes,

→ Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Kältekreisläufen, insbesondere für Wärmepumpen mit Heiz- und

Kühlfunktion. Gerade diese Anlagenart bietet eine Möglichkeit, die Wohnqualität zu verbessern.

→ Wärmepumpeneinsatzkonzepte für verschiedene Wärmequellen.

Auf diesen Gebieten bietet das ILK die Möglichkeit, Firmen bei der Entwicklung und Optimierung ihrer Produkte fachlich zu unterstützen.

Ergänzend zu den Produktentwicklungen werden die Erzeugnisse und Fremdgeräte im unabhängigen Prüflabor für Sole-Wasser-Wärmepumpen hinsichtlich ihrer thermodynamischen Leistungsfähigkeit normgerecht und Luft-Wasser-Wärmepumpen in Anlehnung an die Norm DIN EN 14511 untersucht.



Bild: Prüfstand Sole-Wasser-Wärmepumpen

Komponentenuntersuchung

Die Verdichter bestimmen maßgeblich die Effizienz der Kälteanlagen und Wärmepumpen. Die erreichbare Leistungszahl, das Verhältnis von Kälteleistung oder Heizleistung zu Antriebsleistung, ist durch den jeweiligen Betriebszustand bestimmt und differiert bei unterschiedlichen Verdichtertypen, Herstellern und Messverfahren. Die unterschiedlichen Messmethoden behindern gegenwärtig teilweise die geeignete Verdichterauswahl für den konkreten Einsatzfall und auch den Erzeugnisvergleich unterschiedlicher Hersteller untereinander.



Bild: Leistungsparameteruntersuchungen am Verdichter

Ausgangspunkt der Untersuchungen am ILK, die sowohl im Rahmen der Leistungsmessungen erfolgen als auch durch ein Förderprojekt unterstützt werden, ist folgende Fragestellung:

„Warum verhalten sich die Verdichter thermodynamisch nicht in jedem Fall so, wie theoretisch erwartet. Warum sind Herstellerangaben nicht sehr zuverlässig?“

Die Ermittlung der Leistungsdaten von Kältemittelverdichtern (Kälteleistung, Antriebsleistung, COP, Liefergrad, isentroper Gütegrad) erfolgt international nach unterschiedlichen Normen aber mit dem gleichen Ziel.

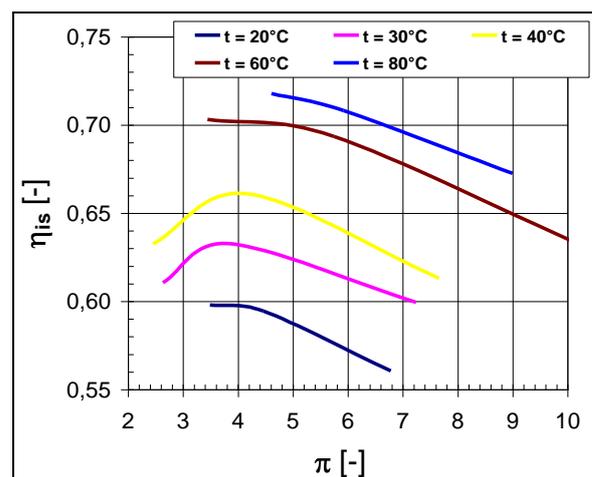


Bild: Verdichterkennzahlen

Zielstellungen des Projektes ist die Überprüfung des rechnerischen Korrekturverfahrens aus der EN 13771-1 und die Entwicklung eines Verfahrens zur Umrechnung für verschiedene Ansaugzustände.

Dem ILK steht eine umfangreiche Datenbasis an Messergebnissen zur Verfügung, die auf internen Prüfständen ermittelt werden. Im Ergebnis wird die Beantwortung auf u. a. folgende Fragen erwartet:

1. Für welche Verdichter ist das Korrekturverfahren nach EN 13771-1 richtig?
2. Wie groß sind die Fehler des Korrekturverfahrens, sind Änderungen an dem Korrekturverfahren notwendig und möglich?
3. Wie groß ist die Differenz bei einer Umrechnung von Prüfergebnissen mit einer Ansaugtemperatur von 20 °C auf solche mit 10 K Überhitzung?
4. Welches Verdichtungsprinzip (Hubkolben-, Scroll- usw.) hat in welchem Anwendungsbereich die besten Liefergrade, isentropen Gütegrade, COP?

Dynamische Simulation von Kältekreisläufen und Anlagen

Der stationäre Betrieb stellt in der Praxis den Sonderfall und nicht den Regelfall dar. Eine Optimierung der Komponenten und Anlagen auf den stationären Betrieb führt in der Regel daher nicht zu einer optimalen Anlagenkonfiguration.

Mit der gesteigerten Komplexität heutiger Systeme und Anlagen sind Zustandsänderungen durch einzelne Einflüsse nicht mehr analytisch darstellbar. Die Kenntnis ist jedoch für den energetisch effizienten Betrieb sowie zur Reduzierung größerer Gefahren bei Schadensfällen zwingend notwendig.

Mit Hilfe dynamischer Anlagensimulationen lassen sich die Auswirkungen von Komponentenmodifikationen unter Praxisbedingungen ermitteln. Hierunter zählen z. B. An- und Abfahrvorgänge oder Vorgänge mit zeitlicher Änderung der Umgebungs- und Lastbedingungen.

Neben Untersuchungen zur Modifikation von Anlagenkomponenten ist die Überprüfung und Optimierung von Regelverfahren ein wesentlicher Schwerpunkt der Anwendung dynamischer Simulationen.

Die Ermittlung der Auswirkungen im Experiment ist im dynamischen Fall mit einem immensen Aufwand verbunden und dennoch oft nur stark fehlerbehaftet möglich.

Viele Größen sind hierbei nicht direkt zugänglich. Besonders in diesen Fällen ist die dynamische Simulation ein wichtiges Hilfsmittel.

Im Bereich der Haushaltskältetechnik findet sich heute überwiegend eine intermittierende Betriebsweise. Diese führt zu einer Aneinanderreihung von An- und Abfahrvorgängen. Hinzu kommen Effekte, wie z. B. die Kältemittelverlagerung durch die Kapillare während der Stillstandszeit.

Das ILK Dresden hat für die Haushaltskälte eine umfangreiche Modellbibliothek entwickelt, welche im Interesse unserer Kunden kontinuierlich verbessert und erweitert wird. Mit Hilfe der Bibliothek können neue Anlagenschaltungen schnell modelliert werden.

Das folgende Bild zeigt ein vereinfachtes Kühlschranksmodell mit Verlustquellen, das anschließend in DYMOLA umgesetzt wurde.

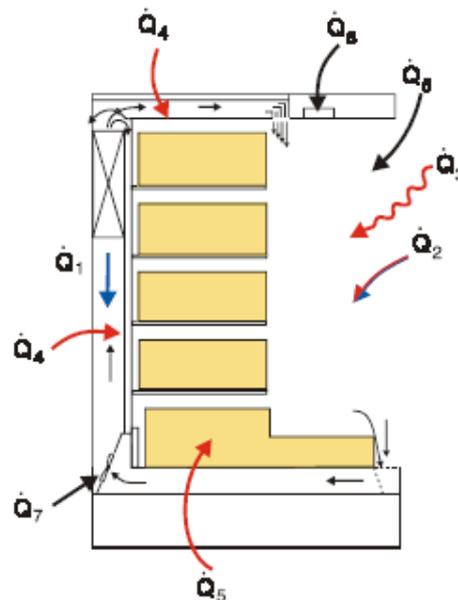


Bild: Verlustmodell eines Kühlschranks

Typische Beispiele für Untersuchungen sind die Auswirkung von Komponentenmodifikationen auf den Normenergieverbrauch oder der Einsatz von Speichermaterialien am Verflüssiger (siehe Bild).

Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich u. a. mit dem Evakuierprozess von Kältekreisläufen sowie der Wärmever-schiebung in Gebäuden mit Hilfe von Multisplit-Klimageräten mit VRV-Technologie.

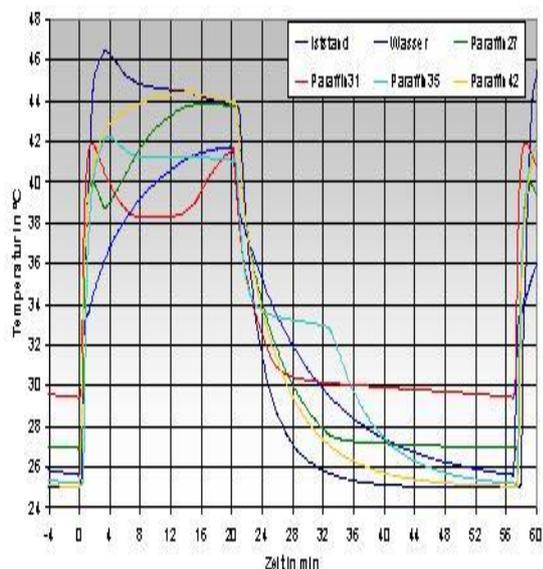


Bild: Verflüssigeroberflächentemperaturen bei verschiedenen Speichermaterialien

Entwicklung und Herstellung kältetechnischer Prüfanlagen

Die Entwicklung des Geschäftsfeldes Kältetechnische Prüfanlagen wurde auch im Jahr 2007 kontinuierlich weitergeführt. In Sachsen konnte ein weiterer Kunde für einen Verdichter-Leistungsprüfstand gewonnen werden.

Der Verdichter-Leistungsprüfstand wurde für den Leistungsbereich 15 bis 125 kW neu konzipiert, ausgelegt und gebaut. Dabei konnte ein neuartiger, modifizierter Kältekreis realisiert werden, der sich bereits im Betrieb bewährte. Der Prüfstand wurde im ILK Dresden vorab originalgetreu aufgebaut und getestet.



Bild: Verdichterleistungsprüfstand 125 kW

Nach der erfolgreichen Erprobung wurde die Prüfanlage komplett im neu erbauten Prüffeld in Schkeuditz, in der dafür vorgesehenen Prüfkammer, installiert. Zusätzlich wurde die Regelung der Raumluft realisiert, so dass die Funktionalität der Prüfanlage weit über die eines üblichen Verdichter-Leistungsprüfstandes hinausging.



Bild: Prüfstand zur Lastsimulation von CO₂-Boostern

Für einen weiteren Neukunden in Rheinland-Pfalz wurde ein Prüfstand zur Lastsimulation von CO₂-Boostern entwickelt. Die Phasen 1 bis 3, Konzeption, Auslegung und Konstruktion, sowie der Bau der Prüfanlage im ILK Dresden konnten im Jahr 2007 abgeschlossen werden. Die CO₂-Booster des Kunden sollen zur Supermarktkühlung eingesetzt werden.

Damit wurde der erste kommerzielle Auftrag zur Anwendung der CO₂-Technologie für eine Prüfanlage aus der Industrie realisiert. Dem kommt vor dem Hintergrund der zunehmenden globalen Klimaerwärmung eine besondere Bedeutung zu.

Neben der Realisierung der neuen Verdichter-Leistungsprüfstände für Industriekunden, wurde im Jahre 2007 großes Augenmerk auf die Weiterentwicklung der Prüfstände unserer langjährigen Kunden

gelegt. So wurden zwei Softwareupdates für im Jahre 2003 gelieferte Prüfstände installiert. Die neue Version beinhaltet Funktionen, die eine schnellere Regelung gestatten und die Sicherheit verbessern.

Der Versuchsbetrieb im Verdichterlebensdauer-Testlabor des ILK wurde 2007 planmäßig fortgesetzt. Es konnten alle Lebensdauerprüfungen nach CECOMAF durchgeführt werden.

Diese umfangreichen Tests an neuentwickelten Hermetikverdichtern verschiedener Hersteller garantieren einen hohen Erkenntnisgewinn vor dem Einsatz im Kältegerät.



Bild: Automatischer Lebensdauerprüfstand für Dauerschaltprüfungen im Testlabor des ILK

ILK am CERN

Seit 1998 delegiert das ILK Mitarbeiter an das europäische Kernforschungszentrum CERN in Genf. Im Speziellen besteht der Kontakt zur Arbeitsgruppe Kühlung und Ventilation (CV) der Abteilung Technischer Support am CERN. Diese Gruppe beschäftigt sich mit zwei bedeutenden Aufgabengebieten. Zum einen werden numerische Simulationen von Kühl- und Ventilationssystemen durchgeführt. Zum anderen ist diese Gruppe verantwortlich für nahezu alle Kühl- und Kälteanlagen der großen Experimente am CERN. In der Gruppe CV werden Auslegung, Design, Konstruktion, Inbetriebnahme und Wartung sowie theoretische Studien und experimentelle Un-

tersuchungen durchgeführt. Der Verantwortungsbereich erstreckt sich von den Schnittstellen der Versorgungseinrichtungen bis hin zu den Wärmequellen wie Detektoren bzw. Elektronikbauteilen.

Für das Jahr 2007 wurde Herr Eisel, Mitarbeiter des ILK, an das CERN, Gruppe CV, delegiert. In dieser Zeit war die langjährige Konzeptionsphase der Kühl- und Ventilationsanlagen bereits abgeschlossen. Die Herausforderungen lagen vornehmlich im Bereich des Anlagenaufbaus, der Inbetriebnahme und beim Sammeln und Auswerten erster Betriebserfahrungen. Erste Ergebnisse gaben Anlass zur Optimierung einiger Anlagen. Die Arbeiten des ILK-Mitarbeiters bezogen sich hauptsächlich auf die Kühlanlagen der großen Experimente CMS, Atlas und Alice am Large Hadron Collider (LHC).

Ein Schwerpunkt des ILK-Mitarbeiters war die Kälteanlage des CMS (Compact Muon Solenoid, siehe Bild).



Bild: CMS Experiment Halle /1/

Zur Detektion werden sog. Silicon Strip Detektoren genutzt. Im gesamten CMS Tracker sind 25.000 Stück mit 10 Mio. elektronische Auslesekanälen verbaut. Diese Komponenten müssen gekühlt werden.

Die Kälteanlage des CMS-Experimentes besitzt eine Kälteleistung von ca. 150 kW bei $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das Herz, eine Kompressionskälteanlage, ist in einer Service-Halle untergebracht (siehe Bild). Die vom Experiment emittierte Wärme wird an 7 komplexe Pumpenkreisläufe mit einem PFC als Kälteflüssigkeit abgegeben. Ein Solekreislauf überträgt die Wärme von den Pumpenkreisläufen in der Experiment Halle an die Kompressionskälteanlage.



Bild: Kompressionskälteanlage für CMS

Aufgaben, die gelöst werden mussten:

Kühl- und Verdampfungssysteme

- im Temperaturbereich von -35 bis 20 °C,
- unter Einsatz verschiedenster Medien wie PFC (C3F8), HFKW (R507), Wasser und Sole,

bei teilweise ungewöhnlichen und erschwerenden Randbedingungen wie:

- Strahlung (Probleme mit Materialbeständigkeit),
- Magnetfelder (Elektrolyse führt zu Problemen mit Materialbeständigkeit),
- anfällige Elektronik (Problemlösungen sind der Einsatz von PFC, H₂O mit sehr geringer Leitfähigkeit, leckagefreien Wassersystemen im Vakuumbereich),
- Sicherstellung der Zuverlässigkeit (Einbau von Redundanzen),
- Platzangebot und Zugänglichkeit,
- Gewährleistung extrem homogener Temperaturfelder und
- lange Stillstandszeiten.

3. Klimatechnik

LowEx-Kühlung von Hallen

Ziel

Die Lüftung und Kühlung von Industriehallen wird in der Regel durch die realisierten Technologien bestimmt. Häufig sind große Wärmebelastungen und große Schadstoffbelastungen zu verzeichnen, die mit den Einflüssen der Hallenkonstruktion (Tore, Transmission, Hallenhöhe, u. a.) überlagert werden. Aufgrund der vielfach vorhandenen Planungsunsicherheit und nicht verfügbarer Anlagentechnik weisen gerade Industriehallen ein großes Energieeinsparpotenzial auf, da aufgrund der Nutzung die Notwendigkeit der Lüftung und Kühlung nicht weg diskutiert werden kann. Im Zuge der gegenwärtigen Diskussion um CO₂-Einsparungen und Verringerung des Primärenergieeinsatzes sind gerade auch die Industriehallen ein wichtiges Aufgabengebiet im Forschungsschwerpunkt „Heizen und Kühlen mit Niedrigexergie“, bei dem alle energierelevanten Fragestellungen der Auslegung, der Konzeption, der Erzeugung und der Gestaltung der Komponenten betrachtet werden sollen.

Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden sowohl theoretische als auch experimentelle Untersuchungen an Komponenten und Geräten durchgeführt.

Das Bild 1 zeigt das CAD-Modell des untersuchten Prototyps sowie die Ergebnisse der Strömungssimulation für den Bereich des Ventilators und der Beaufschlagung der Wärmerückgewinnung. Die durchgeführten Arbeiten haben zu einer deutlichen Verbesserung der Energieeffizienz des gesamten Gerätes geführt. Die Strömung innerhalb des Wärmeübertragers wird durch dessen Geometrie und insbesondere durch die Strukturierung der Wärmeübertragerplatten geprägt. Es wird davon ausgegangen, dass die Strömung immer dreidimensional und turbulent ist. Zudem kommt, dass wie bei jedem Wärmeübertrager das Strömungsfeld mit einem Temperaturfeld gekoppelt ist. Die Strömung ist daher nichtisotherm. Diese Komplexität gestattet es nicht, die Durchströmung mit ein- bzw. zweidimensionalen Modellen nachzubilden.

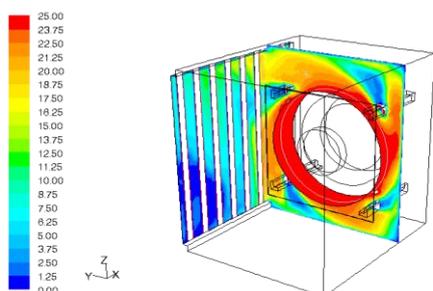


Bild 1: Ergebnisse Strömungssimulation

Für den Istzustand sowie alle eventuellen weiteren konstruktiven Varianten sind daher numerische Strömungssimulationen durchzuführen. Ergebnis dieser Simulationen sind sehr detaillierte Geschwindigkeits- und Temperaturfelder, auf deren Basis die Interpretation der lokalen Strömungsverhältnisse, die Bewertung der Druckverluste sowie die Entwicklung der Temperaturverteilung im Inneren des Wärmeübertragers möglich sind.

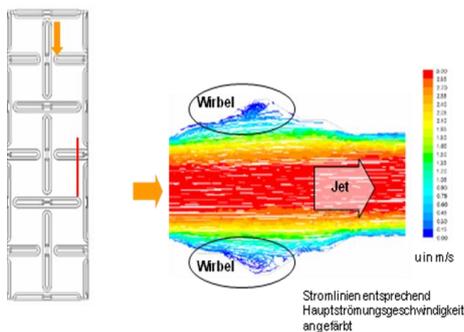
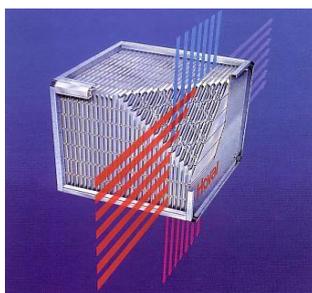


Bild 2: Strömungssimulation des Plattenwärmübertragers

Bild 2 zeigt die Ergebnisse der Strömungssimulation zwischen den Platten des Wärmeübertragers. Potenzial für eine energetische Verbesserung dieser Wärmeübertrager liegt vor allem im Bereich des Queraustausches der Wärme.

Hochleistungs- Wärmeübertrager für die dezentrale Klimatisierung mit Kaltluft

Dieses Projekt ist vom BMWi (EuroNorm) gefördert worden. Im Ergebnis stehen allgemeingültige Designkriterien, die den Bau optimierter Hochleistungs-Wärmeübertrager für nahezu beliebige Einbaubedingungen ermöglichen.

Zielstellungen

Das Ziel dieser Entwicklung sind Hochleistungs-Wärmeübertrager für die speziellen Anforderungen der Kaltluftklimatisierung auf Basis des raumseitig offenen Prozesses mit innerer Wärmeübertragung.

Diese müssen folgende wesentliche Eigenschaften und Funktionen erfüllen:

- Luft-Luft-Wärmeübertrager im Kreuzstromprinzip auf Basis der Wirbelzellenbauart,
- max. Temperaturübertragungsgrade im Auslegungsbereich,
- minimale Druckverluste,
- ausreichend gleichmäßige Beaufschlagung der Wirbelzellen in der Zustromung,
- Gestaltung der Zu- und Abströmgehäuse für maximale Leistungsdaten und kompakte Bauweise für die Anlagenintegration,
- kompakte Bauweise,
- kostengünstige einfache Herstellung,
- einfache Montierbarkeit in der Kaltluftanlage und
- Sicherstellung der Wartungsfreundlichkeit.

Schwerpunkt dabei ist die Schaffung allgemeingültiger Designkriterien, die für nahezu alle Einbaubedingungen eine ausreichend gleichmäßige Beaufschlagung der Anströmflächen garantieren.

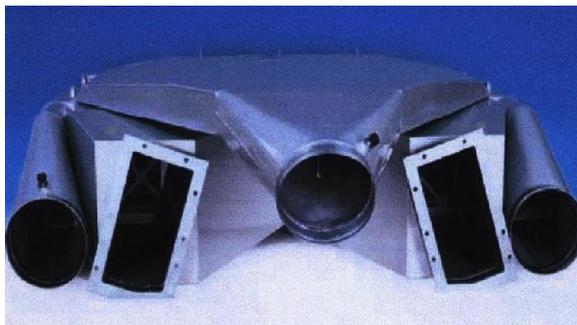


Bild 1: Kaltluftwärmeübertrager in der Schienenfahrzeugtechnik

Ein Beispiel für solche Anströmgehäuse zeigt Bild 1, wobei die Geometrien im Rahmen dieser Entwicklung erheblich einfacher werden.

Untersuchungen an der Kaltluft-Prototypenversuchsanlage (PVA)

Die PVA am ILK Dresden ist ein raumseitig geöffneter Kaltluftprozess mit innerer Wärmeübertragung. Die beiden Wärmeübertrager sind am Markt verfügbare Wirbelzellenmodule mit Gehäusekonstruktionen in der Zu- und Abströmung, die für die PVA modifiziert werden mussten. Im Ergebnis führte das zu einer Flächennutzung für die Wärmeübertragung von nur noch 65 % (innerer Wärmeübertrager).

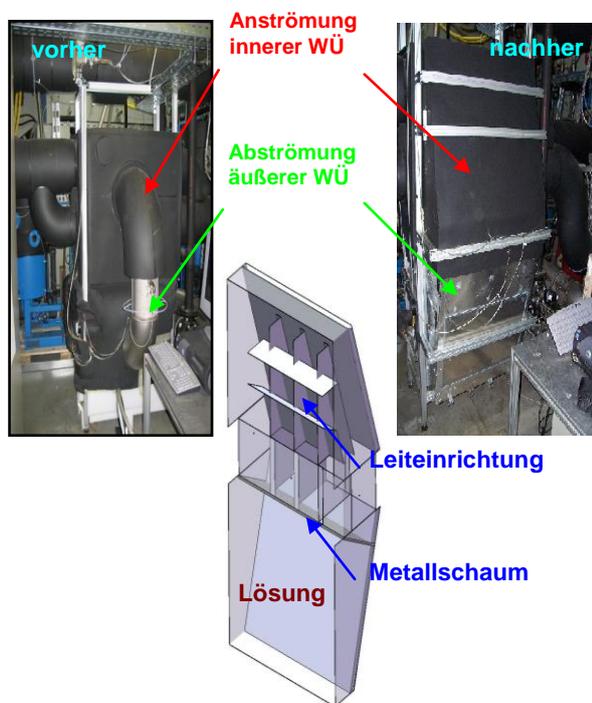


Bild 2: neue Wärmeübertragerkonstruktion in Kaltluft-PVA des ILK Dresden.

Entsprechend der genannten Zielstellungen ist der Übergang von der Abströmung des äußeren zur Zuströmung des inneren Wärmeübertragers optimiert, konstruiert und umgebaut worden (Bild 2).

Unabhängig von der Abströmcharakteristik der Prozessluft aus dem äußeren Wärmeübertrager wird durch die Kombination der Strömungsvergleichmäßigung im Querschnitt (Metallschaumstruktur) und der Strömungsführung eine ausreichend gleichmäßige Beaufschlagung der Wirbelzellenfläche des inneren Wärmeübertragers erreicht. Diese Verbesserung wird in allen Betriebspunkten der Anlage erreicht. Bei 60 % Teillast führt dieser Lösungsansatz zu einer 35 % höheren Kälteleistung. Bei 40 % Teillast ergeben sich 27 % Leistungssteigerung.

Modelluntersuchungen an Wirbelzellenmodulen

Für die Ermittlung allgemein gültiger Designkriterien sind Modelluntersuchungen an Wirbelzellenmodulen mit verschiedenen Lamellenhöhen durchgeführt worden. Die realistischen Einbauverhältnisse sind dadurch bestimmt, dass von einem definiertem Rohranschluss (z. B. Normdurchmesser 125 mm) auf eine erheblich größere Anströmfläche (z. B. 0,2 m²) die Luft ausreichend gleichmäßig verteilt werden muss. Eine so genannte zentrale Zuführung mit anschließender Verteilung ist aus Platzgründen kaum praktikabel, da diese Funktion meist kompakte Konstruktionen erfüllen, strömungstechnisch ungünstige Rohranbindungen verkraften und vertretbare Druckverluste garantieren muss. Dann sind auch die Voraussetzungen für maximale Temperaturübertragungsgrade gegeben.

Die allgemeine Lösungsmethode zeigt Bild 3. In der Regel ist eine ausreichend lange gerade Anströmung für ein ausgebildetes Strömungsprofil nicht zu realisieren. Zumeist sorgen 90°-Krümmungen für eine schlechte Strömungszuführung. Mit dem Einbau einer Vergleichmäßigung (z. B. Metallschaum) am Eintritt des geraden Rohrabschnittes ist eine positive Beeinflussung der Strömungsprofilcharakteristik unabhängig von der unmittelbar davor gegebenen Strömungscharakteristik sicher möglich.

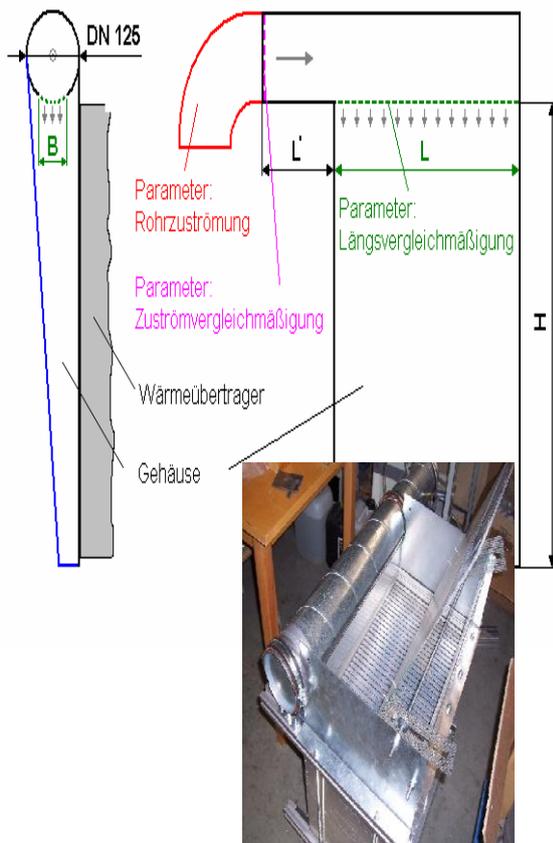


Bild 3: strömungstechnisch optimiertes Zuströmgehäuse für Wirbelzellenmodule

Die Rohranbindung selbst erfolgt dabei über eine der beiden Flächenmaße (Höhe oder Länge) vom Wirbelzellenmodul. Der Luftaustritt wird über die Mantelfläche derart realisiert, dass bereits hier eine Vergleichmäßigung der Luftverteilung erfolgt.

Durch diesen Lösungsansatz reduziert sich die maximale Einbautiefe des Anströmgehäuses praktisch auf den Rohrdurchmesser, womit die Voraussetzungen für eine kompakte Bauweise gegeben sind.

Die Qualität der Beaufschlagung der Wirbelflächenzelle wird maßgeblich durch die wirksame Ausströmrichtung aus dem Rohr und dem Neigungswinkel der Gehäusedeckfläche (Verjüngung der Strömungsfläche im Anströmkasten) bestimmt. Ein zusätzlicher Strömungswiderstand (z. B. Metallschaum oder Lochblech), der am Eintrittsquerschnitt des Zuströmgehäuses integriert wird, schafft eine von der Lamellenhöhe des Wirbelzellenblocks konstruktionsunabhängige Lösung.

Diese Design- und Konstruktionskriterien können vollständig auch auf das Abströmgehäuse angewendet werden. Die Modelluntersuchungen haben ergeben, dass für Rohrgeschwindigkeiten bis zu 7 m/s solche Zu- und Abströmgehäuse der Druckverlust um maximal 5 % gegenüber dem Durchströmverlust des Wirbelzellenblockes ansteigt.

Fazit

Die in diesem Entwicklungsprojekt formulierten Zielstellungen für die Entwicklung von Hochleistungs-Wärmeübertragern konnten erreicht werden. Es sind allgemein gültige Designkriterien zur ausreichend gleichmäßigeren Beaufschlagung von Wirbelzellenflächen nahezu unabhängig von den Einbaubedingungen in relevanten Anlagen entwickelt und bestätigt worden.

Wärmeübertrager mit semipermeabler Membran zur Luftentfeuchtung

Mit dem Trend zu großflächigen Glasfasersfassaden und dem verstärkten Einsatz elektronischer Kommunikations- und Computertechnik sind die Wärmebelastungen in Gebäuden in den letzten Jahren erheblich gestiegen.

Besonders in Bürogebäuden, denkmalgeschützten und Verwaltungsgebäuden fehlt der Platz für aufwendige Luftkanäle und Anlagenräume der zentralen RLT-Anlagen.

Daher haben sich in den letzten Jahren fassadenorientierte dezentrale RLT-Anlagen mit Kühl- und Trocknungsfunktion durchgesetzt, bei denen es häufig zu Problemen bei der Abfuhr des Kondenswassers kommt.

Zur Vermeidung von Kondensat wird ein neuartiger Membranwärmeübertrager entwickelt, bei dem der Wasserdampf von einer Solelösung absorbiert wird. Das Funktionsprinzip zeigt das Bild 1.

Entwicklungsziele/ Parameter

Die Entwicklung des neuen Wärmeübertragers erfolgt mit den folgenden Zielwerten:

- Luftvolumenstrom: min. 100 m³/h (32 °C; 40 % rel. Feuchte)
- Soleeintrittstemperatur: 14 °C
- Kälteleistung: 800 W
- Entfeuchtungsleistung: 0,3 kg/h

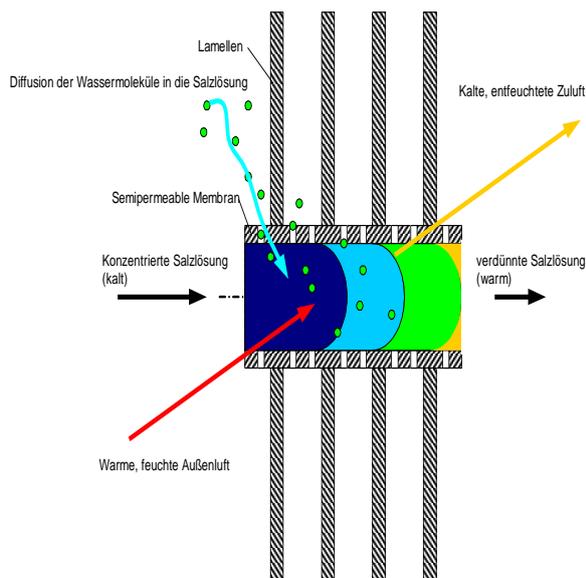


Bild 1 Funktionsprinzip Membranwärmeübertrager

Sorptionsmittel und Membranauswahl

Das verwendete Sorptionsmittel sollte einen ausgeprägten hygroskopischen Charakter besitzen, damit eine effektive Luftentfeuchtung erreicht werden kann.

Hygroskopische Alkohole oder Säuren besitzen entweder eine zu geringe Absorptivität oder sind aus gesundheitlichen bzw. umweltschutztechnischen Gründen ungeeignet. Im Gegensatz dazu sind Salzlösungen, wie wässrige Lithiumchlorid- oder Calciumchloridlösungen auch hinsichtlich der Absorptivität wesentlich besser für den Einsatz als Sorptionsmittel geeignet.

Für den Einsatz in einem RLT-Gerät sollte die Sole außerdem ungiftig und umweltverträglich sein. Für einen kontinuierlichen Entfeuchtungsprozess und störungsfreien Betrieb des Membranwärmeübertragers ist weiterhin die Langzeitstabilität der Sole wichtig.

Als eine wichtige Eigenschaft des Sorptionsmittels ist in Bild 2 die Kristallisationstemperaturen in Abhängigkeit von der Konzentration für Lithiumchlorid- und Calciumchloridlösungen angegeben. Unter Beachtung weiterer Eigenschaften wurde für die experimentellen Untersuchungen Lithiumchlorid ausgewählt.

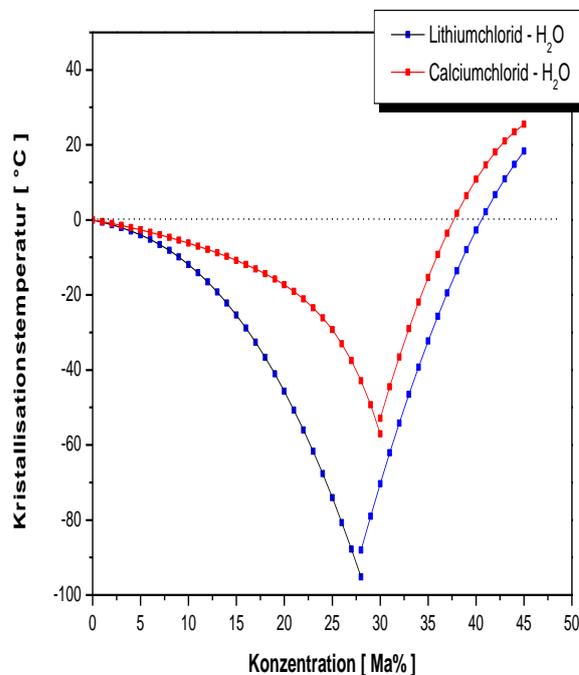


Bild 2: Kristallisationstemperaturen in Abhängigkeit von der Konzentration

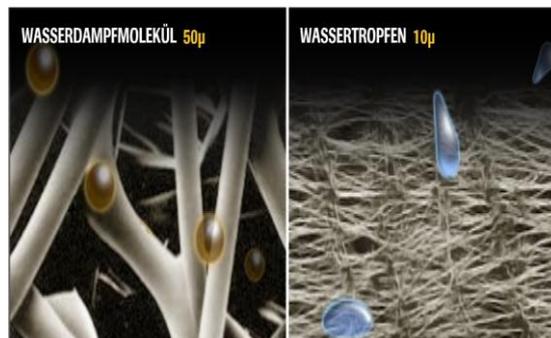


Bild 3: Mikroporöse Struktur der Membran

Für die Membran wurde expandiertes PTFE der Firma Gore ausgewählt. Die mikroporöse Struktur weist 1,4 Milliarden mikroskopischer Poren pro Quadratmeter auf.

Diese Poren sind etwa 20.000-mal kleiner als ein Wassertropfen und rund 700-mal größer als ein Wasserdampfmolekül. Aufgrund der Porengröße kann daher flüssiges Wasser die Membran nicht durchdringen, Wasserdampfmoleküle können jedoch durch die Membran hindurch diffundieren

Konstruktion und Experimentieraufbau

Das Bild 4 zeigt die Prinzipskizze des Wärmeübertragers mit dem Stoffübertrager und dem Luftkühler. In Bild 5 ist der Versuchsaufbau des Stoffübertragers mit einer PTFE-Membran dargestellt.

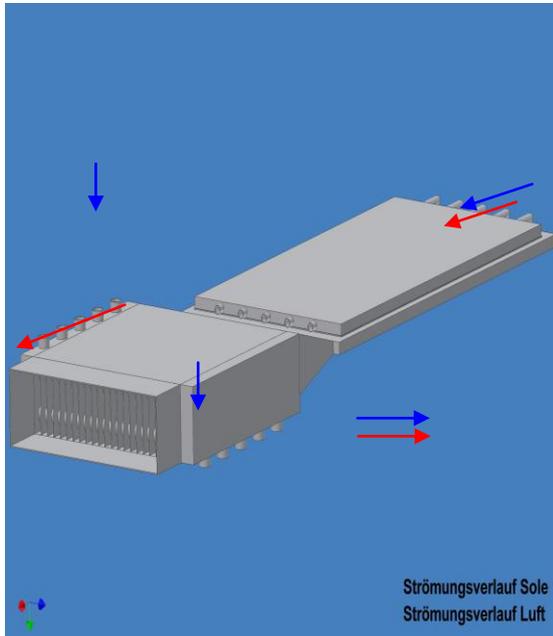


Bild 4: Prinzipskizze des Membranwärmevertragers

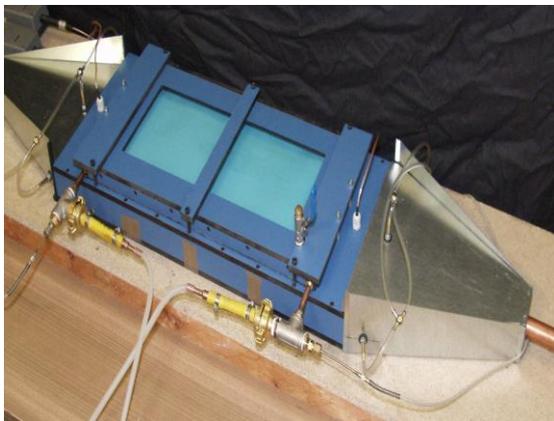


Bild 5: Versuchsaufbau mit PTFE-Membran

Experimentelle Untersuchungen

Das Bild 6 zeigt auszugsweise die gemessenen Luftfeuchten über der Zeit für einen untersuchten Betriebspunkt und die Darstellung des Prozesses im hx-Diagramm. Unter den gegebenen Prozessparametern wird eine mittlere absolute Feuchtedifferenz von $2,4 \text{ g}_{\text{Wasser}}/\text{kg}_{\text{tr. Luft}}$ erreicht.

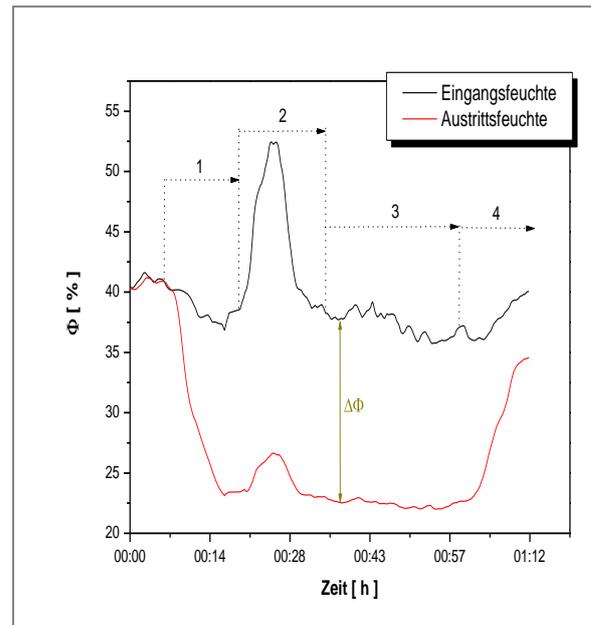


Bild 6: Ein- und Austrittsparameter am Versuchsaufbau

Konstruktion und Aufbau eines Prototyps

Das Bild 7 zeigt Auszüge aus der Konstruktion und dem Aufbau des Prototyps. Für das stoffdichte Verbinden von Membranen und soleseitigen Rahmen werden derzeit Verfahren wie z. B. Ultraschallschweißen und Laserschweißen getestet.

Realisiert werden $2,1 \text{ m}^2$ benetzbare Flachmembran mit GORE™ ID 912050 mit einer fluiddurchlässigen Stützstruktur aus porösem, pulverbeschichtetem Kunststoff in einem tragenden Kunststoffrahmen aus Polypropylen.

Entsprechend der Auslegung wird über diese Membranfläche mit einer 14-grädigen LiCl-Sole (40 % Massenprozent) ein Luftvolumenstrom von $33 \text{ m}^3/\text{h}$ (32 °C , 40 %r.F.) mit einer Entfeuchtungsleistung von 100 g/h entfeuchtet. Die Regelung der

Entfeuchtungsleistung erfolgt mittels Rücklaufbeimischung oder Umlenkschaltung im Solekreislauf.

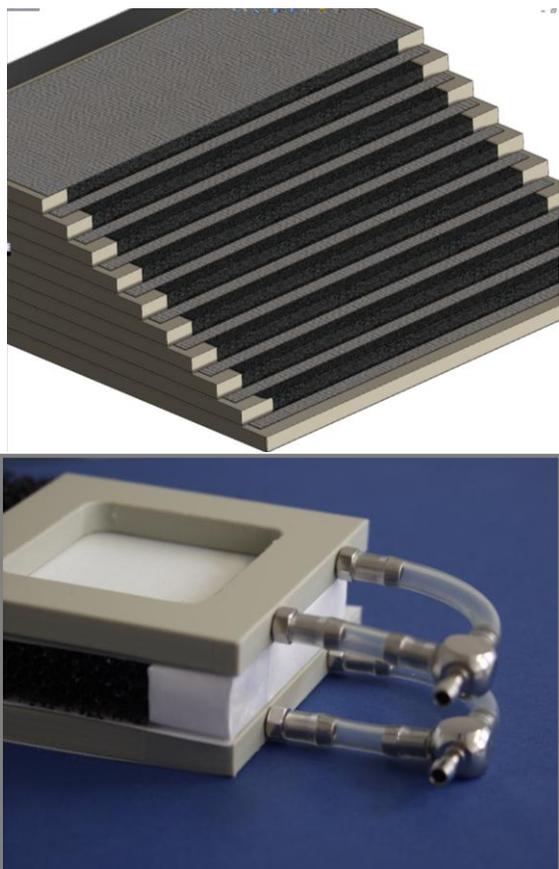


Bild 7: Konstruktion/ Aufbau Prototyp

Innovative TGA-Planung am ILK

Energieanalyse Dresdner Schloss

Die Projektentwicklung beinhaltet das Aufstellen einer gesamtheitlichen Gebäude- und Anlagenstudie. Dabei steht eine nachhaltige Reduzierung der Energieverbrauchswerte, verbunden mit einer Minimierung des CO₂-Ausstoßes im Vordergrund. Es ist 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 sollen.

Aufgrund einer sehr langen Bauzeit sowie der Zergliederung in mehrere Bauab-

schnitte, verbunden mit verschiedenen technologischen Konzepten, erforderte das Gesamtprojekt eine grundlegende ingenieurtechnische Betrachtung, da keine vollständigen Auslegungsdaten der technologischen Anlagen vorhanden waren. Darüber hinaus fehlten bauphysikalische Daten des Baukörpers selbst. Bei diesen Betrachtungen war der derzeit noch nicht fertig gestellte Gebäudeteil sowie geplante Umnutzungen bereits sanierter Gebäudeflügel 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.

Bei der Modellierung des Energiemonitorings zeigte sich als Hauptproblem eine stark dezentral orientierte Installation der einzelnen Medienträger.

Für den nicht fertig gestellten Gebäudeflügel wurden die Betrachtungen teilweise zurückgestellt.

Es konnten im Rahmen einer Forschungsstudie erhebliche Energieeinsparpotentiale nachgewiesen werden, welche zu einer nachhaltigen Reduzierung des CO₂-Ausstoßes beitragen.



Bild 1: Dresdner Schloss, Teilansicht

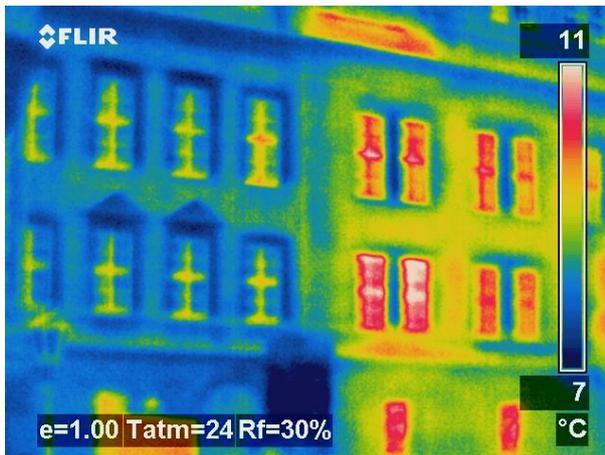


Bild 2: Dresdener Schloss - zugehörige Thermografieaufnahme der Fassade

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

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

Nahkälteversorgungssystem TU Dresden

Das ILK untersuchte im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Durchführung eines Nahkälte-Versorgungssystems als zentrales Kälteverbundsystem Campusbereich der TU Dresden. Fortführend erfolgte die Bearbeitung der Grundlagenermittlung.

Der Campusbereich Südvorstadt ist flächenmäßig der größte Teil der TU Dresden und schließt fast alle der insgesamt 14 Fakultäten auf einem lokalen Gebiet ein.

Hier stehen eine Vielzahl von Gebäuden und Gebäudekomplexen, welche Lehr- bzw. Büroräume, Hörsäle und Labore der TU Dresden und ihre anliegenden Instituten beinhalten. In diesen Gebäuden wurden in den vergangenen Jahren auf Grund der ständigen Zunahme von Technik und

veränderten Nutzungen mehrere verschiedene Kälteanlagen installiert. Diese reichen von vermehrt auftretenden Kleinkälteanlagen, wie Splitgeräten von 2 kW, bis hin zu Großanlagen von 1 MW Kälteleistung.

Die Verwendung der installierten Anlagen gilt einerseits der Abfuhr thermischer Lasten durch die so genannte „Klimakälte“ und dient dem Schutz der vorhandenen, meist teuren aber auch notwendigen Technik in den PC-Pools oder Laboren.

Eine zweite Art des Kältebedarfs stellt sich bei der Bereitstellung technologischer Kälte dar. Dieser Bedarf an Kälte ist gekennzeichnet, dass er auch zu Zeiten anliegt, an denen keine Klimatisierung von Räumen notwendig ist. Dies tritt bei speziellen Forschungsprojekten auf, wo unter konstanten klimatischen Verhältnissen, das ganze Jahr über experimentiert wird.

Diese Art der zum Teil dezentralen Kälteversorgung der einzelnen Räume oder Gebäude ist in Laufe der Zeit zu einem Problem für die TU Dresden geworden.

Ziel der Studie war es, anhand der wissenschaftlichen Erfahrungen und Erkenntnisse einen konzeptionellen Entwurf

- mit der Untersuchung der kältetechnischen Voraussetzungen und Erweiterungen der vorhandenen zentralen Kälteerzeugungsanlagen,
- der Darstellung einer möglichen schrittweisen Herrichtung → technisch sinnvolle und wirtschaftliche Teilbaumaßnahmen sowie
- einen Kostenumriss und Rahmentermine der Maßnahmen

als Kriterien einer angemessenen Durchführbarkeit zu entwickeln.

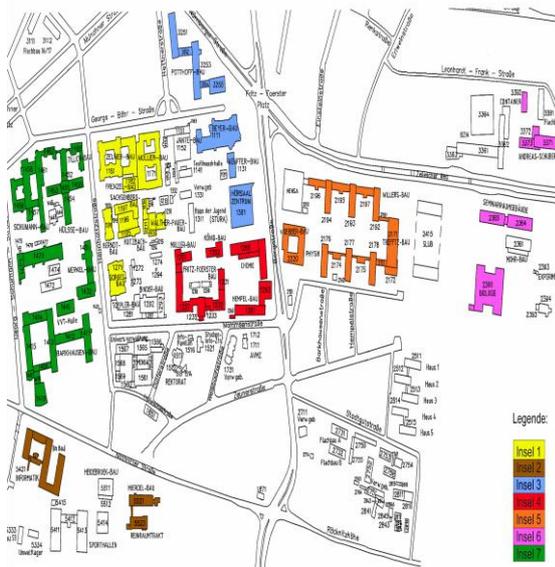


Bild 3: Bildung der Energieinseln mit späterer Zusammenführung zum zentralen Nahkälteversorgungssystem

Die Erarbeitung der Studie basiert auf dem Lösungsansatz der

- Analyse der Bestandsunterlagen und ingenieurtechnische Bewertung (Lastverhalten, Lieferbedingungen, zeitliches Profil der Deckungsraten) der bestehenden Anlagen,
- Abschätzung des Bedarfs und Lieferbedingungen an das Kaltwasser am Standort der Kälteanlage und in Standortnähe befindlicher Liegenschaften / Objekte,
- Untersuchung des Optimierungspotenzials,
- Klärung der hydraulischen Kriterien zur Einbindung (Quelle und/oder Senke) am bestehenden Standort und Möglichkeiten der Verteilungs-/Transportart,
- Kältespeicherungsmöglichkeit an ausgewählten und nachhaltigen Lastschwerpunkten.

Das Ergebnis der Studie beschreibt eine umfangreiche Zusammenstellung und Bewertung der Kälteerzeugungsanlagen im Zentralgebiet der TU Dresden. Es wurden fast 100 Kälteerzeuger, die eine Gesamtkälteleistung von 5,4 MW erzeugen können, ermittelt. Davon könnten 25 Kälteerzeuger in einen Verbund integriert werden. Dabei werden diese erst in sogenannten Inseln / Pools als Liegenschaftszusammenschluss zusammengeführt, um

später nacheinander zum Verbund zusammenzuwachsen.

Die Vorteile eines Nahkältenetzes an der TU Dresden sind im Wesentlichen:

- Kälteerzeuger größerer Leistung arbeiten wesentlich effizienter als viele Kleinanlagen zusammen,
- Kälteerzeuger größerer Leistung haben eine längere Lebensdauer als Kleingeräte,
- Investitionskosten und Wartungsaufwand für Kälteerzeuger mit größerer Leistung im Vergleich zu Kleingeräten bezogen auf die gleiche Kälteleistung ist geringer,
- Redundanz der Kälteerzeuger wird erhöht,
- deutlich höhere Versorgungssicherheit,
- planmäßige Wartungen können ohne Einbußen in der Kälteversorgung durchgeführt werden,
- geringe Investitionen bzw. anteilige Refinanzierung durch Energieeffizienz für Kälteerzeuger bei zusätzlichen Verbrauchern.

Forschungsrichtung Meerwasserentsalzung 2007 im HB 3

Im Jahr 2003 begann das ILK mit dem Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Entwicklung einer dezentralen Meerwasserentsalzungsanlage – MEDESA“. Das Verfahren beruht auf den drei Schritten Verdampfung, Wasserdampfverdichtung und Kondensation. Dadurch wird die Verdampfungsenthalpie komplett zurück gewonnen. Es wird lediglich die Antriebsenergie für den Verdichter benötigt.

Mit diesem Verfahren lässt sich auch bei hohen Salzgehalten des Rohwassers eine sehr gute Qualität des Trinkwassers erreichen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten MEDESA erfolgen in enger Kooperation mit dem Industriepartner WTE Energiesysteme GmbH aus Sachsen.

Die Arbeiten basieren auf jahrelangen Erfahrungen des ILK mit der Entwicklung

von Wasserdampfverdichtern für den Einsatz in der Kältetechnik.

Im Zuge der Entwicklungen wurde ein für die Entsalzungsanlagen angepasster Verdichter entwickelt, wobei der Wirkungsgrad deutlich gesteigert werden konnte.

Hinzu kommt der Vorteil des großen Volumenstroms, so dass sich gegenüber Produkten von Wettbewerbern ein geringeres Temperaturniveau realisieren lässt. Dies verspricht wiederum Vorteile bei Betriebsverhalten und Lebensdauer.

Die zweite wichtige Einzelleistung bestand in der Entwicklung eines neuartigen Plattenwärmeübertragers. Dieser weist gute Wärmeübergangseigenschaften auf und besitzt ein Potenzial zur besonders preisgünstigen Fertigung.



Im Rahmen des komplexen Forschungsprogramms MEDESA wurde eine Prototyp-Versuchsanlage realisiert.

Mit dieser Prototypanlage wurde 2006 und 2007 die technisch-technologische Machbarkeit demonstriert, die Funktionsanalyse durchgeführt und umfangreiche Betriebserfahrungen gesammelt.

4. Luftreinigungstechnik

Staubabscheidetechniken für Stroh- und Getreide- Feuerungen

Aufgabenstellung und Ziel des durchgeführten Vorhabens

Biogene Brennstoffe erlangen durch die CO₂-Neutralität bei der Verbrennung eine immer größere Bedeutung. Allgemein wurde für die Primärenergieerzeugung in Deutschland bis zum Jahr 2050 ein Anteil von 50 % festgeschrieben. Eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien (Biomasse, Solarthermie, Geothermie) zur Wärmeerzeugung von heute 6 % auf 12 % würden die CO₂-Emissionen aus Haushalten, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen um immerhin 6 Millionen Tonnen CO₂ reduzieren. Getreide - und halmgutartige Brennstoffe können hierbei einen wichtigen Beitrag leisten. Ihr Einsatz bringt allerdings auch verschiedene Nachteile mit sich. In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren werden u. a. relativ hohe Anteile an Feinstaub mit dem Abgas freigesetzt. Durch eine stetig steigende Zahl an Biomasse-Verbrennungsanlagen gewinnt die Emissions-Thematik zunehmend an Bedeutung. Verschärfend wirkt sich die derzeit aktuelle Feinstaubproblematik aus. Der Gesetzgeber sieht daher eine Novellierung der 1. BImSchV (zuletzt geändert: Juli 2001) vor. Diskutiert wird dabei u. a. vor allem über den Einsatz von Getreide sowie eine starke Absenkung der Emissionsgrenzwerte entsprechender Anlagen und eine Ausweitung der Verordnung auf Heizkessel ab 4 kW. Inwiefern die technische Weiterentwicklung bzw. Verbreitung der Anlagen von der novellierten Verordnung beeinflusst wird, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden.

Im Rahmen eines von der FNR geförderten FuE-Projektes wurden Feldtests zum Emissionsverhalten von Anlagen zur Stroh-, Strohpellet- und Getreideverbrennung durchgeführt sowie geeignete neue und kostengünstige Abscheidetechniken für Getreide und Strohfeuerungsanlagen erprobt, angepasst und optimiert. Nicht zuletzt wird mit den gewonnenen Erkenntnissen dieses FuE-Projektes eine erweiterte Datenbasis von Messwerten geschaffen, auf deren Grundlage Entscheidungen

für die Genehmigungsfähigkeit von Kleinverbrennungsanlagen getroffen werden können.



Bild : Kleinfeuerungsanlage für Stroh und Getreide

Innovation und Projektergebnisse

Auf Grund der Partikelfinheit und des abzuschheidenden Staubmassenstromes ist für die Abscheideaufgabe die elektrostatische Abscheidung geeignet. Allerdings sind für die in der Industrie üblichen Ausführungen mit Gassenbreiten um 200 mm sehr hohe Spannungen erforderlich. Damit sind hohe Investitionskosten verbunden. Auf Grund der beschränkten Feldstärke und der übrigen Randbedingungen ist für die Abscheidergestaltung eine Gasgeschwindigkeit unter 2 m s^{-1} zu favorisieren. Entsprechend der angestellten Voruntersuchungen wurde im ILK Dresden ein Röhrenelektrofilter mit einer Gassenbreite von 40 mm und einer Anströmgeschwindigkeit von $1,5 \text{ bis } 2 \text{ m s}^{-1}$ konzipiert und gebaut. Die Erprobung des Filters unter Prüfstandsbedingungen zeigte, dass ein stabiles Abscheideverhalten mit Reingastaubgehalten unter 5 mg/m^3 möglich ist. Charakteristisch für den Fraktionsabscheidegrad ist eine sehr gute Abscheidung im Bereich von 10 bis $1 \mu\text{m}$, ein Minimum im

Bereich von 1 bis $0,1 \mu\text{m}$ und eine gute Abscheidung im Bereich von $0,1$ bis $0,01 \mu\text{m}$.

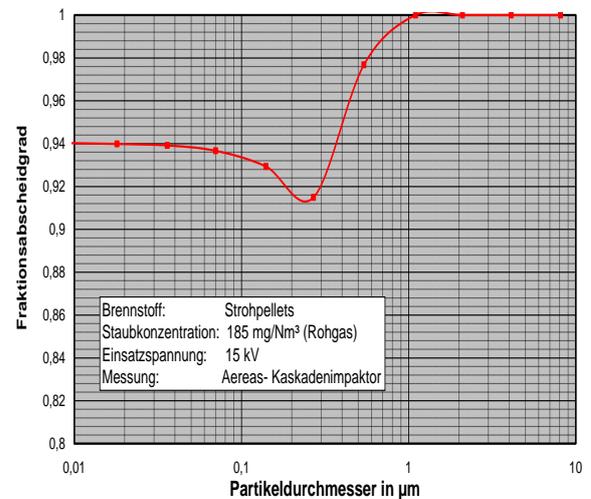


Bild: Fraktionsabscheidegrad des elektrostatischen Abscheiders



Bild: Aufstellung des Abscheiders in einem landwirtschaftlichen Betrieb

Die für das Projekt entwickelten Abscheider wurden an die Anlagen in Dobia und Zottelstedt über Rauchgasweichen angeköpelt. Nach ihrer Inbetriebnahme und Optimierungen vor Ort wurden Versuche

zum Abscheideverhalten mit den Referenzbrennstoffen durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Gesamtanlage in Dobia mit dem Brennstoff Weizenstrohhacksel den nach 1. BImSchV gültigen Grenzwert für Gesamtstaub von 150 mg/mN₃ bei 13Vol%O₂ einhält und übertrifft. Die installierte Abscheidetechnik kann für die Erfüllung zukünftiger Grenzwerte weiter entwickelt und u. a. mit einer Hochspannungs-Abscheidestufe ausgerüstet werden.

Durch den neu entwickelten Abscheider wird die Einhaltung des Grenzwertes für Gesamtstaub nach 1. BImSchV, für die beprobten Versuchsbrennstoffe Gerste, Weizen und Roggenpellets möglich.

Problematisch erweisen sich dabei hohe Wassergehalte in den Körnerbrennstoffen, da sie unter Umständen technologisch bedingt zu Störungen führen können. Jedoch ist der Abscheider zu klein dimensioniert und wird beim Betrieb mit dem Brennstoff Weizenstroh überlastet. Der Brennstoff verursacht sehr hohe Staubemissionen und muss daher für den Einsatz in dieser Heizanlage als nicht geeignet betrachtet werden. Die Einbindung des Elektroabscheiders in die Heizanlage wurde über automatische Rauchgasweichen, Stützventilator (erhöhter Druckverlust) und einer speziellen Steuerung gelöst, bedarf jedoch aus Kostengründen einer Überarbeitung und Vereinfachung. Bezug nehmend auf die guten Messergebnisse mit den Abscheider-Prototypen ist eine Weiterentwicklung anzustreben und notwendig um die Emissionshöhe im Hinblick auf eine zukünftige Verschärfung der Grenzwerte weiter zu senken.

Im mittlerweile erfolgten Praxiseinsatz zeigte sich allerdings eine Anfälligkeit der Abscheider-Konstruktion bei häufigen Betriebsschwankungen und damit einhergehender Unterschreitung des Taupunktes. Auch wurden im Praxis-Einsatz zum Teil so hohe Rohgasstaubgehalte erreicht, dass das Abscheidesystem damit überlastet war. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass es in der Praxis Schwierigkeiten in der Realisierung von stabilen Betriebsbedingungen gibt, die erforderlich sind, um einen störungsfreien Abscheiderbetrieb sicherzustellen.

Hier ist eine Weiterentwicklung erforderlich. Für die künftige Verschärfung der Grenzwerte sind derzeit keine zuverlässigen und preiswerten Lösungen verfügbar.

Forschungsprojekt der AiF-Gemeinschaftsforschung „Neue Prüfmethode für Sicherheitswerkbänke“

Die Ziele des Forschungsvorhabens waren Validierung und Nachweis der Praxis-tauglichkeit einer neuen Prüfmethode zur Bestimmung des Rückhaltevermögens an der Arbeitsöffnung von Zytostatika-Werkbänken und mikrobiologischen Sicherheitswerkbänken. Wesentliche Vorteile der neuen Personenschutzprüfung gegenüber dem Referenzverfahren und einem weiteren bisher einzigen vor Ort einsetzbaren Verfahren sind die Verwendung von chemisch inerten und biologisch inaktiven Prüfpartikeln, der substanzspezifische Nachweis der Prüfpartikel zur sicheren Unterscheidung von Staubpartikeln aus der Raumluft sowie die Integration eines mechanischen Prüfarms zur realitätsnahen Simulation von Bewegungen des Personals während der Prüfung.

Die Validierung der neuen Prüfmethode erfolgte, wie in der europäischen Norm EN 12469 vorgesehen, durch Vergleich mit dem Referenzverfahren (mikrobiologisches Verfahren). Die durch die Forschungsstellen vorbereitete und durch die TÜV NORD CERT GmbH durchgeführte Validierung zeigte die geforderte Korrelation zum Referenzverfahren. Insbesondere wurde eine tendenziell größere Empfindlichkeit der neuen Prüfmethode gegenüber dem Referenzverfahren ermittelt.

Die Praxistauglichkeit der neuen Prüfmethode wurde nach umfangreicher Modifikation einzelner Komponenten des Prüf-equipments im Rahmen von Laboruntersuchungen und eines Feldtests ermittelt. Die Ergebnisse zeigten die prinzipielle Tauglichkeit für den Einsatz in größeren Krankenhaus-Apotheken und auch in kleineren Offizin-Apotheken. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen befand sich das Prüf-equipment im Status eines Labormusters. Bezüglich Größe, Anzahl und Gewicht einiger Komponenten besteht die Möglich-

keit, einen wesentlich kompakteren Prototyp zu erstellen, z. B. in Form eines Gerätewagens, der alle wesentlichen Komponenten zur Durchführung der Prüfung enthält.



Bild: Sicherheitswerkbank mit Strömungsmesstechnik

Die neue Personenschutzprüfung soll als gleichwertige Prüfmethode in die Normung aufgenommen werden. Durch Mitarbeit in den normgebenden Gremien werden die erreichten Ergebnisse des Forschungsvorhabens den Fachkreisen zur Verfügung gestellt.

Die Bereitstellung einer fundierten Norm zur Personenschutzprüfung von Zytostatika-Werkbänken und mikrobiologischen Sicherheitswerkbänken führt zu einer qualitativ hochwertigen Dienstleistung für eine verbesserte und insbesondere auch vor Ort einsetzbare Personenschutzprüfung. Sowohl Ingenieurbüros als Anbieter dieser Dienstleistung als auch Laborausstatter und Betreiber von Sicherheitswerkbänken profitieren maßgeblich von dieser Entwicklung.

Lufthygienische Ingenieurleistungen für die Industrie

Inbetriebnahme von lufttechnischen Reinraumanlagen

Für die Inbetriebnahme von lufttechnischen Anlagen in reinen Räumen sind meist vor Ort Messungen durchzuführen, auf deren Basis eine Einschätzung in Bezug auf:

- Einhaltung der lufttechnischen Reinraumparameter,
 - Stabilität des Betriebsregimes,
 - Anfälligkeit des Luftzustandes gegenüber inneren Partikelasten
- erfolgen kann.

Für die optimale Berücksichtigung der Rahmenbedingungen wurden vorab Messmethoden entwickelt und verifiziert. Für die Beurteilung und Bewertung der Räume und der Ergebnisse werden der Stand der Technik und diesbezügliche Richtlinien und Normen zu Grunde gelegt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Analyse und den Messwerten ist eine Gesamtbewertung der Anlage zu erstellen.

Für eine Verifizierung der erarbeiteten Messmethodik für Luft- und Partikeltechnik steht ILK Dresden ein Reinraumbereich zur Verfügung.



Bild: Reinraum im ILK Dresden

Für die Prüfung der Deckenfilter sowie Bestimmung der Lüftungs-Charakteristik ist die Generierung von Partikeln in Form eines Prüfaerosols erforderlich. Entsprechende Voruntersuchungen werden dafür durchgeführt, um die Partikelgrößenverteilung (Spektrum) sowie die Partikelanzahl für einen bestimmten Luftvolumenstrom zu vermessen. Dazu erfolgten im ILK Dres-

den Vorversuche mit einem SMPS-System von TSI. Das Anzahl-Maximum der vom Aerosolgenerator generierten Partikel liegt zwischen ca. 0,1 - 0,25 μm . Dies deckt sich mit dem MPPS (most penetrating particle size)-Bereich (ca. 0,1 - 0,3 μm) der zu prüfenden HEPA-Filter.

Dadurch ist eine Aussage zur theoretischen Einstellung des Aerosolgenerators zum Erreichen einer bestimmten Partikelkonzentration gegenüber der bei den Messungen tatsächlich vorgenommenen möglich. Dies lässt wiederum eine Überprüfung der Aerosol-Gleichverteilung vor Ort zu.

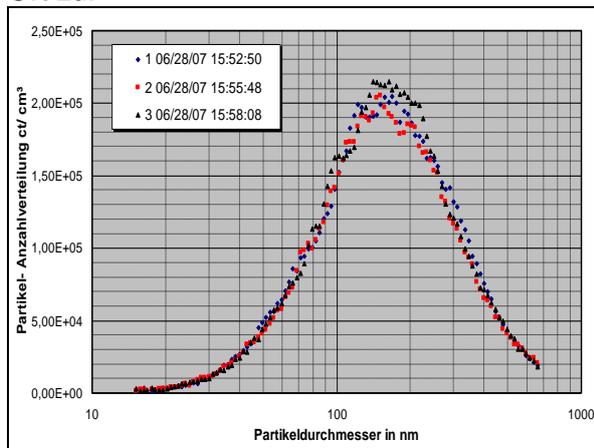


Bild: Partikelgrößenverteilung Prüfaerosol



Bild: Praxismessungen

5. Angewandte Neue Technologien / Werkstoffe/Messtechnik

„Kryopräservation von mittels Tissue Engineering kultivierten 2D-Geweben, Teil 2: Entwicklung von Kryocontainment und Prozesstechnik/Verfahrenstechnik“

Teilvorhaben: Verfahrens- und Hardware-Entwicklung im Labormaßstab für größere Tissue Engineering-Konstrukte“

Ziel des Verbundvorhabens „Kryokonservierung 2“ war es, die Ergebnisse aus dem vorangegangenen und abgeschlossenen FuE-Verbundvorhaben (Teil 1) bzgl. Entwicklung eines geeigneten Kryoprotokolls zur Kryokonservierung von Tissue Engineering-Konstrukten und von dazu benötigter Hardware auf größere, klinisch relevante Tissue Engineering-Konstrukte (max. 4 cm^2) zu übertragen. Ein wesentlicher Projektanteil war die Entwicklung der zur Sicherung des Kryoprotokolls erforderlichen Hardware sowie Prozess-/Verfahrenstechnik. Das Vorhaben hatte eine Laufzeit von 21 Monaten (10/05 – 06/07) und wurde von der SAB unter dem Kennzeichen 10957/1700 gefördert.

Im Verbund waren die folgenden vier Schwerpunkte zu bearbeiten:

- Entwicklung, Bau und Anpassung eines Kryocontainments (DOSE) zur Aufnahme der TE-Konstrukte während der gesamten Züchtungs- und Lagerungszeit, welches gleichzeitig dem gezielten Wärmeaus- und -eintrag entsprechend des Kryoprotokolls dient,
- Entwicklung und Bau eines Equipments (KRYORACK) zur Wärmeübertragung zwischen dem Kryocontainment (DOSE) und der Einfrier- (Freezer) bzw. Auftaueinheit (HEATER)
- Entwicklung und Bau der Auftaueinheit (HEATER),
- Anpassung und Kontrolle der Züchtung der Konstrukte an die zu entwickelnde bzw. zu modifizierende Hardware sowie Entwicklung eines Qualitätsnachweises (Proliferation) zur erfolgreichen Kryokonservierung der TE- Konstrukte.

Für das ILK Dresden ergaben sich daraus folgende Aufgaben:

Für die Komponenten

- Haltevorrichtung (IGEL) für das TE-Konstrukt in der DOSE,
- Kryocontainment (DOSE) zur Aufbewahrung des TE-Konstruktes im IGEL sowie zur Kälte-/Wärmeapplikation bei der Kryokonservierung und Entkonservierung sowie zur Vorbereitung der Transplantation

war eine Methoden- und Konzeptionsentwicklung mit anschließender Erprobung durchzuführen.



Bild: Haltevorrichtung (IGEL) offen in einer Metalldose (links) und im geschlossenen Zustand (rechts)

Die Komponente

- Equipment (KRYORACK) zur Aufnahme mehrerer DOSEN und zur Kälte-/Wärmeapplikation während der Kryokonservierung in einer Gefriereinheit (Freezer)

war zu erproben sowie eine Technologie bzw. ein Verfahren zum standardisierten Umgang mit dieser Vorrichtung zu erarbeiten.

Für den Gesamtprozess der Kryokonservierung von Tissue Engineering Konstrukten waren

- Technologien zum Umgang mit den genannten Vorrichtungen unter sterilen Bedingungen, auch mit Blick auf GLP/-GMP¹-Bedingungen zu erarbeiten,
- Eignungstests der Neuerungen in der Zellkultivierung bzgl. Erhaltung der Kryokonservierbarkeit der TE-Konstrukte durchzuführen.

¹ Good Laboratory/Manufacturing Practice – Richtlinien zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Arzneimitteln und Medizinprodukten

Für das gesamte Vorhaben und damit für das Teilvorhaben des ILK lassen sich folgende Ergebnisse ausweisen:

- Das Kryokonservierungsprotokoll für das Modellsystem Mundschleimhaut wurde erfolgreich in den Labormaßstab übertragen. Es lassen sich mit diesem Protokoll verschiedene Zelltypen in einem Verfahrensschritt zeitgleich konservieren.
- Die Hardware-Komponenten IGEL, DOSE, RACK und HEATER erfüllen alle ihnen zugeordneten Aufgaben.
- Der erzielte Entwicklungsstand für die Komponenten IGEL, DOSE und RACK erlaubt eine nachfolgende Produktentwicklung.
- Das Kryoprotokoll wurde zudem im Tier- und im Patientenversuch mit der zu seiner Umsetzung entwickelten Hardware erfolgreich getestet.

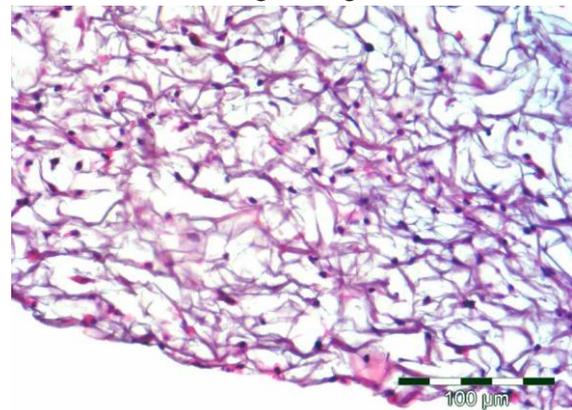


Bild: Kollagen, besiedelt mit Fibroblasten, nach der Kryokonservierung, histologischer Schnitt mit HE-Färbung. In der schwammartigen Struktur sind die Zellkerne (dunkel) und die extrazelluläre Matrix der Zellen (roter Hof um die Kerne) zu erkennen.

Die Arbeiten im abgeschlossenen Vorhaben sind führend im Bereich der Kryokonservierung von Geweben zumindest im deutschsprachigen Raum, vor allem wegen der gesamtheitlichen Problembehandlung.

Im Anschluss an das Vorhaben nach weiteren notwendigen Qualifizierungen/Entwicklungen der Hardware zur Marktreife und als Medizinprodukte sollen diese in gemeinsamer Regie (vorerst Quinger GmbH und Projektgesellschaft der ILK GmbH) hergestellt und vermarktet werden.

Moderne Isolationssysteme für die LNG-Speicherung

Ziel dieses FuE-Projektes am ILK Dresden war die Entwicklung eines neuartigen Isolationssystems für die LNG-Speicherung. Es sollte untersucht werden, mit welchen neuen Materialien sich LNG-Isolationssysteme aufbauen lassen, die den hohen Anforderungen bezüglich thermischer und mechanischer Stabilität, Gasdichtheit, Langlebigkeit, Verfügbarkeit, industrieller Verarbeitbarkeit und vor allem Preis genügen.

LNG steht für „verflüssigtes Erdgas“ (engl.: liquefied natural gas) und hat eine Lager- und Transporttemperatur von ca. -163°C . Auf der Basis von Materialuntersuchungen und -bewertungen sollte ein Paneelkonzept entwickelt und ein Funktionsmodell des Isolationssystems gebaut und untersucht werden.

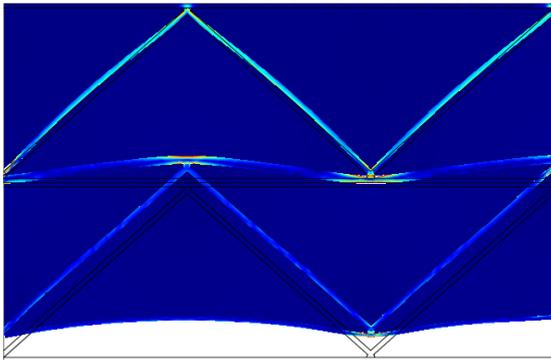


Bild: Simulation von Druckeinflüssen auf die zum Patent angemeldete Paneelstruktur

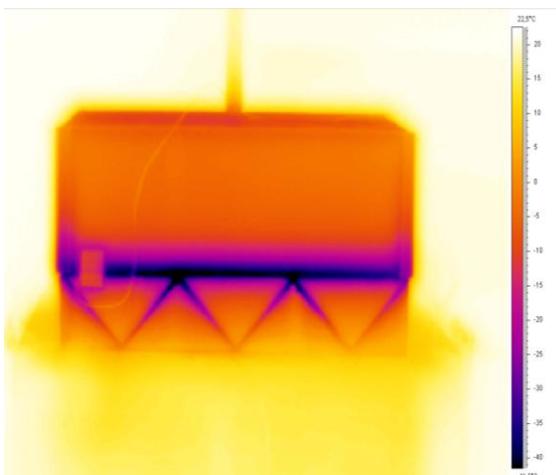


Bild: Thermographische Aufnahme bei Einkühlversuchen am Versuchsmuster des Isolationssystems

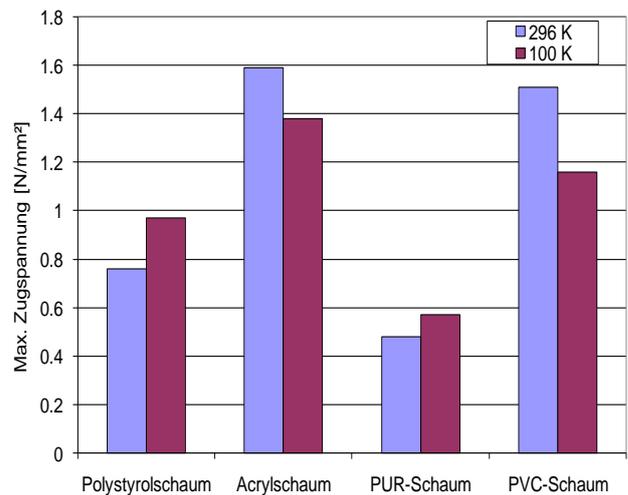


Bild: Darstellung der gemessenen max. Zugspannungen an verschiedenen Schäumen bei vergleichbarer Rohdichte

Bei der Untersuchung von Polymer-schaumstoffen wurde prinzipiell eine gute Eignung für die Isolierung von kryogenen Flüssigkeiten gefunden. Die Materialien sind kältebeständig und verfügen über eine gute Isolationswirkung. Alternativ betrachtete Materialien wie zum Beispiel Schaumglas oder mineralische Presswerkstoffe verfügen dagegen über signifikante Nachteile. Die Untersuchung von Schäumen verschiedener chemischer Zusammensetzung ergab ein differenziertes Bild, bei dem der Polystyrol- und der PVC-Schaumstoff die besten Eigenschaftsprofile in Bezug auf die Nutzung zur LNG-Speicherung zeigten.

Untersucht wurden dazu diverse mechanische Eigenschaften (Zug- und Druckfestigkeiten, Querkontraktion), Wärmeleitfähigkeit, thermische Ausdehnungskoeffizienten und die Wasseraufnahme durch Diffusion.

Als neuartige Werkstoffe für Isolationssysteme wurden faserverstärkte Kunststoffe identifiziert und in einer Materialsystematik werkstofftechnisch getestet (verschiedene Verstärkungen in verschiedenen Matrixsystemen, darunter Glas- und Kohlefasern, Epoxid- und Phenolharze). Von den acht untersuchten Materialien erwies sich glasgewebeverstärktes Epoxidharz als am besten für die vorgesehene Anwendung geeignet. Das Material hat einen vergleichsweise kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, ist besonders un-

ter Tieftemperaturbedingungen sehr fest, preiswert und gasdicht gegenüber Methan, dem Hauptbestandteil von LNG.

Für das Fügen des glasfaserverstärkten Epoxidharzes erwies sich ein 2-K-Epoxidharzklebstoff als besonders geeignet. Damit stand entsprechend der Projektplanung eine Materialkombination für die Konstruktion eines neuartigen Isolationssystems zur Verfügung. Ein solches Isolationssystem wurde konzipiert, seine thermischen und mechanischen Eigenschaften wurden berechnet und das System zum Patent angemeldet.

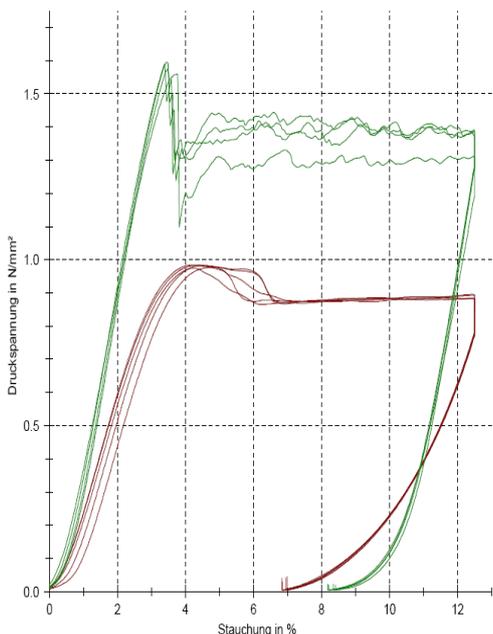


Bild: Spannungs-Stauchungs-Diagramme für einen PVC-Schaum bei 296 K (braun) und 100K (grün)

Im Projektverlauf wurde ein Funktionsmuster des Paneelsystems gebaut und dessen Funktionsfähigkeit nachgewiesen.

Durch die Arbeit an dieser Thematik wurde am ILK Dresden Know-How angesammelt, mit dessen Hilfe bereits innerhalb der Projektlaufzeit signifikante Umsätze erwirtschaftet werden konnten. Für die Übernahme des Patentes konnten Interessenten identifiziert werden. Die Entwicklung neuer Methoden der Werkstoffuntersuchung bei kryogenen Temperaturen wird auch weiterhin ein Forschungsschwerpunkt am ILK Dresden sein.

Nanotechnische Modifizierung von Wärmeübertragerflächen

Das FuE-Vorhaben befasste sich mit der Hydrophilierung von metallischen Oberflächen mittels geeigneter Nanopartikel für die Nutzung im Bereich der Luft- und Kältetechnik. Durch Versuche sollte herausgestellt werden, welche Möglichkeiten der Hydrophilierung angewandt werden können, wie die Hydrophilierung mit dem Substratmaterial bzw. dem Medium interagiert und inwieweit die vollständige Benetzung von Wärmetauscherflächen eine Verbesserung der thermischen Eigenschaften beim Wärmeübergang bietet.

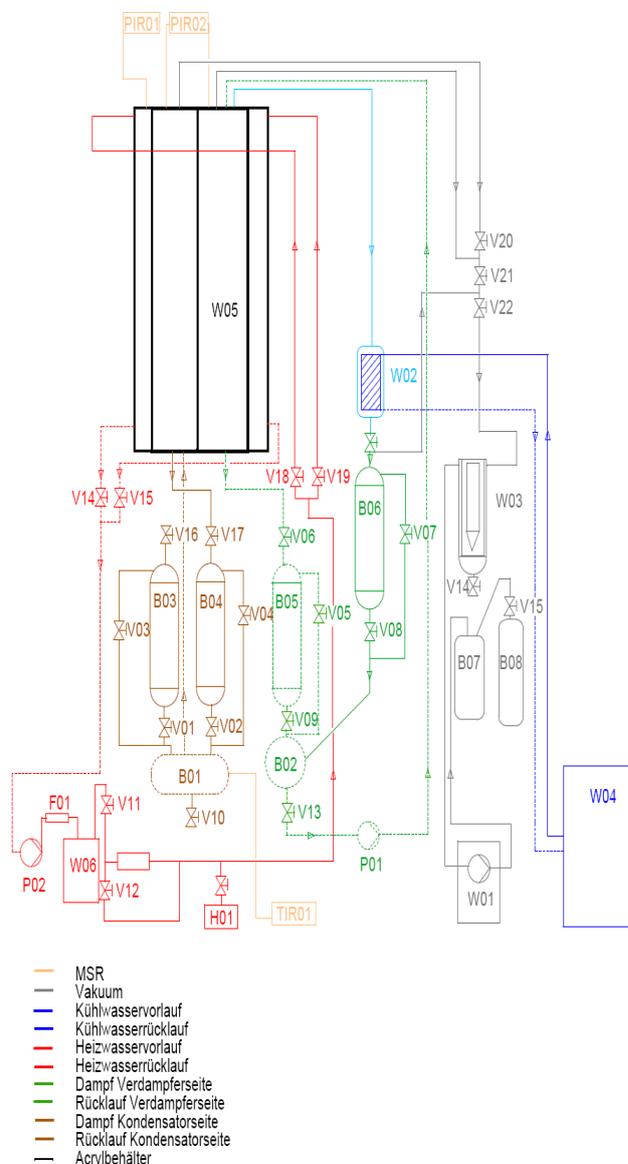


Bild 1: Rieselfilmverdampfer-Versuchsstand zur Bestimmung des Wärmeüberganges

Auf verschiedene Werkstoffe (Al99,5, AlMg3, Cu99 und X5CrNi18.8) wurden industriell SiO₂-Schichten durch PVD-Widerstandsverdampfen, SiO₂-Schichten (Nanogate) durch Sol-Gel-Verfahren, Kohlenstoffschichten durch CVD-Abscheidung und SiO₂-Schichten (Nano-X) durch Sol-Gel-Verfahren aufgebracht.

Zur Untersuchung der Langzeitstabilität wurde ein kombinierter Test entwickelt, bei dem auch die biologischen Eigenschaften der modifizierten Oberflächen beurteilt werden können. Mit einem optimierten Versuchsstand zur Bestimmung des Wärmeüberganges wurden hydrophile und hydrophobe Bleche untersucht (Bild 1).

Für die Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit wurden Salzsprühnebeltests und Kondenswasser-Konstantklima-Prüfungen durchgeführt. Zur Charakterisierung der Schicht wurden Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahmen (REM) (Bild 2) hergestellt und Energiedispersive Röntgen-Analysen (EDX) durchgeführt. Des Weiteren wurden Kontaktwinkel (Bild 3 und 4), Masseänderungen und Schichtdicken bestimmt.

Die Auswertung der unterschiedlichen Material- und Beschichtungsvarianten wurde komplex anhand der Kriterien Hydrophilie, Wärmeübergang, Haftfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Langzeitstabilität, Applizierbarkeit und Kosten durchgeführt.

Bei ersten durchgeführten Vergleichsmessungen konnten keine signifikanten Unterschiede der Wärmedurchgangskoeffizienten unbehandelte Bleche im Vergleich zu nanotechnisch modifizierten Schichten ermittelt werden. Auch mit hydrophil eloxierten Blechen konnte kein Nachweis des theoretisch erwarteten erhöhten Wärmedurchgangs erbracht werden.

Im Ergebnis des FuE-Projektes wurde für ausgewählte nanoskalige Schichtvarianten wie die Nano-X-Beschichtung eine dauerhaft stabile Kombination von hydrophiler Schicht und Material experimentell nachgewiesen.

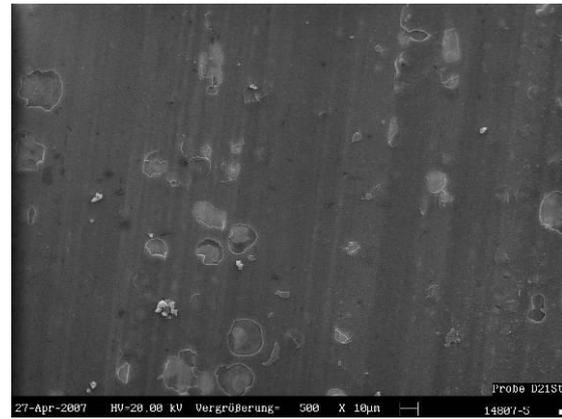


Bild 2: Durch Salzsprühnebeltest abgelöste Nano-X-Strukturen

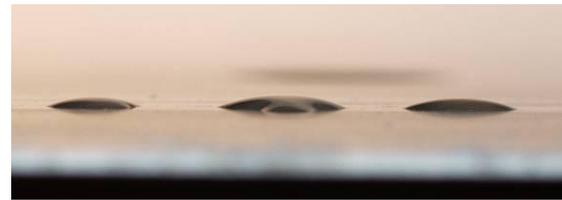


Bild 3: Hydrophile Oberfläche



Bild 4: Hydrophobere Oberfläche

Die im Projekt nachgewiesenen positiven Effekte durch Einsatz hydrophiler Nano-X-Schichten auf Al sowie AlMg3 sind somit vor allem innerhalb geschlossener Kreisläufe mit reinem Wasser interessant, da dort die bessere Benetzung sehr vorteilhaft ausgenutzt werden kann.

Durch die Bearbeitung des Themas wurden im ILK wertvolle Erfahrungen auf den folgenden Gebieten gewonnen:

- Beschichtungstechnologien von Oberflächen,
- Untersuchungsmethoden und Bewertung der Beständigkeit von Materialien und Beschichtungen in Trinkwasser und Meerwasser,
- Einflussfaktoren und Parametrierung des Verhaltens hydrophiler und hydrophober Oberflächeneigenschaften,
- Entwicklung geeigneter Messmethodiken zur Bestimmung des Wärmeübergangs nanotechnisch modifizierter Wärmeübertragungssysteme,
- Analyse und Bewertung biozider Wirkungen von Schichten.

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen des ILK führten zu zusätzlichen Dienstleistungsangeboten für die Charakterisierung und Qualifizierung von Schichtsystemen für unterschiedliche Anwendungen im Bereich geschlossener Kreisläufe.

Drucktransmitter für die Luftfahrt

Die Entwicklung von Drucktransmittern für Anwendungsgebiete mit sehr schwierigen Betriebsbedingungen, wie z. B. dem Flugzeugbau erfordert die Entwicklung spezieller Prüftechniken und -technologien.

Ziel des Teilprojektes des ILK Dresden im Verbundprojekt mit der ADZ Nagano GmbH und der TU Dresden war es, Prüftechnologien insbesondere für speziell konzipierte und gefertigte Prüfmuster zu entwickeln, um somit die Voraussetzungen für den Aufbau zuverlässiger Drucktransmitter für die Luftfahrtindustrie zu schaffen.



Bild 1: Ungleichmäßige Schweißnaht

Im Ergebnis wurde ein innovatives Gesamtprüfsystem entwickelt, welches sich aus den folgenden Einzelprüfungen zusammensetzt: Temperaturbelastungsprüfungen im Bereich -74 °C bis 150 °C , Prüfungen zur Korrosionsstabilität (Salzsprühnebeltest), Kompatibilität mit speziellen Fluiden, Lecksuche/Dichtheit, Feuchtebelastungsprüfungen, Schwingungs- und Stoßbelastung sowie elektromagnetische Verträglichkeit.

Für die Temperaturbelastungsprüfungen wurde die dynamische Temperaturcharakteristik des Prüfsystems ermittelt. An Drucktransmittern für verschiedene Druckbereiche wurden Feuchte- und Temperaturbelastungsprüfungen entsprechend der Luftfahrtnormen durchgeführt.

Unterschiedliche Drucktransmitter wurden Salzsprühnebeltests unterzogen. Die ausgefallenen Drucktransmitter wurden aufgetrennt und hinsichtlich der Korrosion untersucht. Dabei wurden u. a. Erfahrungen bei der Analyse und Bewertung der Schadbilder gesammelt (Bild 1).

Nach einer Recherche zur Kompatibilität gegenüber Fluiden wurde ein Versuchsaufbau mit einem speziellen Autoklaven realisiert, in dem alle Fluide (z. B. Kerosin und Enteisungsflüssigkeiten) entsprechend den Anforderungen für die Kompatibilitätsuntersuchungen eingesetzt werden können.

Ein Schwerpunkt war die Entwicklung eines Prüfstandes zur Dichtheitsprüfung, der es ermöglicht, Prüflinge nach dem Vakuumhauben-Leckmessverfahren (Bild 2) als auch nach dem Druckhauben-Leckmessverfahren zu überprüfen.

Der Prüfstand kann wahlweise mit Helium oder Wasserstoff (als Komponente im Formiergas) betrieben werden. Momentan sind Prüfdrücke bis 40 bar realisierbar, perspektivisch sind Prüfdrücke bis 200 bar geplant. Zu diesen extremen Drucklagen kann ein Temperaturbereich von -74 °C bis $+150\text{ °C}$ angefahren werden. Die kleinste nachweisbare Leckrate beträgt 1×10^{-10} mbarl/s.



Bild 2: Vakuumhauben-Prüfstand

Für die Temperaturbelastungsprüfungen wurde die dynamische Temperaturcharakteristik des Prüfsystems ermittelt. An Drucktransmittern für verschiedene Druckbereiche wurden Feuchte- und Temperaturbelastungsprüfungen entsprechend der Luftfahrtnormen durchgeführt.

Mit verschiedenen Drucktransmittern wurden Feuchte-Temperatur-Zyklen entsprechend der Prüfnorm gefahren. Die Kondensation und Vereisung im Inneren eines Drucktransmitters wurde mikroskopisch ausgewertet (Bild. 3).



Bild 3: Eisbildung am Bonddraht

Die theoretische Abschätzung der Schadwirkung durch Feuchte führte zu den Schlussfolgerungen, dass die Montage unter trockenen Bedingungen erfolgen muss und die elektronischen Bauelemente mit einem Isolierlack gegen Kurzschlüsse geschützt werden sollten.

Zur Erzeugung der geforderten Stoß- und Vibrationsbelastungen wurden die hausinternen Möglichkeiten durch die Ausleihe eines Schwingregelsystems von der Data Physics Deutschland GmbH ergänzt. Bei geprüften Leiterplattenaufbauten wurden teilweise starke Veränderungen bzgl. ihrer Widerstandswerte nachgewiesen, die durch Risse in den Lotstrukturen verursacht wurden.

Die EMV-Prüfungen wurden in Kooperation mit der SLG Prüf- und Zertifizierungs GmbH, Hartmannsdorf durchgeführt. Um den vollen Umfang der Sensorqualifizierung abzudecken, ist noch eine Erweiterung der durchgeführten Teilprüfung durch SLG erforderlich.

Die Prüfmethode für Drucktransmitter, die in der Luftfahrt eingesetzt werden, wurden so entwickelt und eingerichtet, dass bei späterer Produktion der Drucktransmitter diese Aufgaben vom ILK als

Dienstleistung für die Hersteller und Anwender durchgeführt werden können.

Das im Projekt akkumulierte Wissen erhöht die Leistungsfähigkeit des ILK. Es konnten neue Kooperationserfahrungen gesammelt und wichtige neue Branchenkontakte zur Luftfahrtindustrie hergestellt werden. Durch die Stärkung der Sachkompetenz des ILK wird nach einer entsprechenden Akquisition mit weiteren Aufträgen aus der Industrie gerechnet.

Mikrostrukturierte Wärmeübertrager in der Kältetechnik

2007 wurde nach zwei Jahren Bearbeitungszeit das InnoWatt-Projekt „Online-Dampferzeuger“ erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen dieses Projekts wurden grundlegende Erfahrungen für den Einsatz mikrostrukturierter Wärmeübertrager in der Kältetechnik gesammelt und innovative Anwendungen vorangetrieben.

Ein Schwerpunkt des Projekts war die Erzeugung von Wasserdampf im Durchlauf-erhitzer. Diese Technik bietet völlig neue Perspektiven bei der dezentralen, effektiven Bereitstellung kleiner Dampfmengen.

Den zweiten Schwerpunkt auf dem Gebiet der Mikrostrukturtechnik bildeten Untersuchungen zum Einsatz entsprechender Wärmeübertrager als Verdampfer im herkömmlichen HFKW-Kältekreislauf zur Kälteerzeugung. Dabei sind aus Sicht einer industriellen Anwendung Übertragungsleistungen im Bereich mehrerer Kilowatt als Minimum anzusetzen. Bekannt waren bisher nur Versuche bei relativ geringen Leistungen.

Technischer Vorteil einer solchen Lösung wäre die erhebliche Verringerung des Bauvolumens verbunden mit einer entsprechend geringeren Kältemittelfüllmenge. Das wäre insbesondere für mobile Anwendungen etwa in der Transportkälte von großem Vorteil.

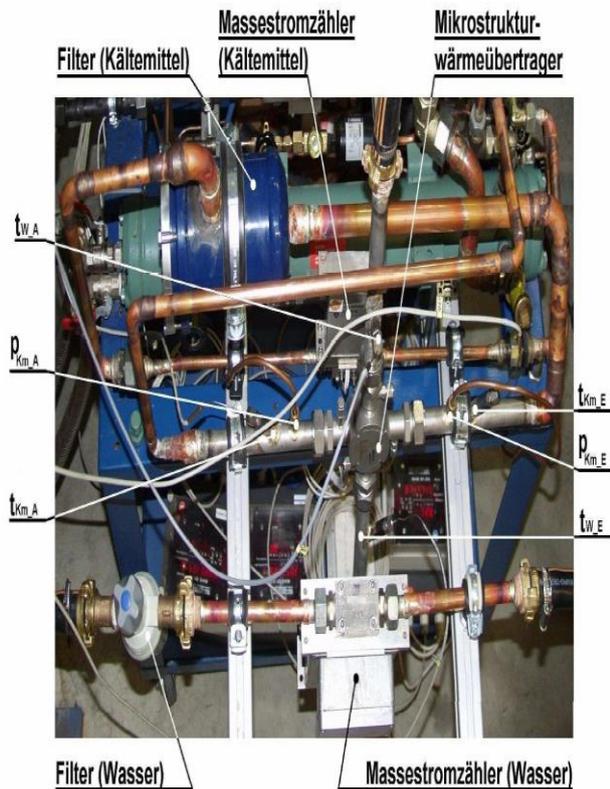


Bild: Mikrostrukturwärmeübertrager auf Leistungsprüfstand

Als problematisch für den Einsatz von Mikrowärmeübertragern bei höheren Kälteleistungen galt bisher die relativ große Menge des im Kältekreislauf umlaufenden Öls. Dieses Öl ist für die Schmierung des Verdichters erforderlich. Für mikrostrukturierte Bauteile birgt es die Gefahr der Verstopfung und somit des Bauteilausfalls. Dieses Risiko ist ein großer Vorbehalt gegenüber Mikro-Komponenten in der Kältetechnik.

Im Projekt konnte nachgewiesen werden, dass bei geeigneter Prozessführung und Einsatz optimierter Öle keine derartigen Probleme auftreten. Dieser praktische Nachweis wurde durch Prüfstandsversuche (Bild) bei Übertragungsleistungen von 5 kW erbracht. Somit konnten Grundlagen für erste Einsatzversuche an konkreten Kälteanlagen mit dem Ziel späterer Produktentwicklungen in nachfolgenden FuE-Projekten gelegt werden.

Das ILK Dresden bietet neben den Prüfstandsmessungen auch Beratungs- und Projektierungsleistungen zur Auslegung von Steuer- und Regelsystemen für Mikrostrukturapparate an.

Materialuntersuchungen und Tribodisign neuer Generationen von CO₂-Ventilen

Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes zwischen der AWP Kälte-Klima-Armaturen GmbH Prenzlau und dem ILK wurden neuartige Armaturen für die CO₂-Kältetechnik im trans- und überkritischen Arbeitsbereich entwickelt. Insbesondere die sichere Beherrschung wesentlich höherer Drucklagen bis ca. 140 bar im Vergleich zu konventionellen Kältetechnikdrucklagen von ca. 25 bar waren für die Entwicklung der Armaturen maßgebende technische Anforderungen. Die tribotechnische Ausgestaltung der Werkstoffe im Zusammenwirken mit unterschiedlichen Kältemittel-Öl-Gemischen sowie das Erreichen notwendiger Dichtheit der Komponenten durch Auswahl und fertigungs- und montagegerechte Spezifikation geeigneter Dichtwerkstoffe stellen wesentliche Herausforderungen mit erheblichem Innovationspotenzial innerhalb des FuE-Projektes dar.

Seit einigen Jahren wird ein verstärktes Augenmerk auf den Einsatz von CO₂ als natürliches Kältemittel gelegt. Insbesondere die Autoindustrie hat frühzeitig CO₂ als Kältemittel in PKW-Klimaanlagen erfolgreich getestet. Aber auch in der Bus-Klimatisierung, der Transportkühlung, für Wärmepumpenanlagen und Tiefkühl-Kaskadensysteme wird der Einsatz von Kohlendioxid gegenwärtig intensiv geprüft.

Das Kältemittel CO₂ ist preisgünstig, nicht brennbar, thermisch äußerst stabil, nur in hohen Konzentrationen gesundheitsschädlich und in großen Mengen verfügbar. Aufgrund seiner Umweltneutralität besteht kein Anlass für spezielle Maßnahmen zur Rückgewinnung oder umweltgerechten Entsorgung des Kältemittels. Nachteilig sind die hohen Stillstands- und Betriebsdrücke in den CO₂-Kälteanlagen. Während durch geeignete technische Maßnahmen, wie Ausgleichsbehälter, Druckhaltungsanlagen oder Abblasventile, der Stillstandsdruck zu beherrschen ist, müssen die Bauteile, die während des Betriebes mit dem Hochdruck (bis ca. 140 bar) beaufschlagt werden (Verdichter, Gaskühler, Ventile), den hohen mechani-

schen Belastungen standhalten und die erforderliche Dichtheit aufweisen.

Ausgehend von Anforderungen des FuE-Partners AWP und analysierten Einsatzanforderungen der Ventile in überkritischen CO₂-Kältekreisläufen erarbeitete das ILK Vorschläge zur Auswahl geeigneter Werkstoffe und Kältemaschinenöle insbesondere in Hinsicht auf die tribotechnische Auslegung der Ventile zur Sicherung der Funktionsfähigkeit und Dichtheit bei den wesentlich erhöhten Drucklagen.



Bild: Entwickelte CO₂-Ventilmuster

Bei der Auswahl geeigneter Kältemaschinenöle für den Einsatz in CO₂-Kälteanlagen sind sowohl die Temperatur-Druck-Bedingungen im Verdichter als auch die im Kreislauf zu berücksichtigen. Als wesentliche Eigenschaft gilt dabei die Viskosität. Im Verdichter muss eine Mindestviskosität des Schmiermittels eingehalten werden, um die Reibung und somit den Verschleiß der bewegten Teile (Lager, Kolben, Ventile) gering zu halten. Andererseits darf die Viskosität des Öles in den kalten Anlagenteilen (Verdampfer, Saugleitung) nicht zu groß werden, damit die notwendige Ölrückführung zum Verdichter gewährleistet wird. Das Besondere dabei ist, dass das Kältemaschinenöl und das Kältemittel im Verdichter und den anderen Anlagenteilen im ständigen Kontakt miteinander stehen und infolge dessen wichtige physikalische Eigenschaften des

Schmiermittels beeinflussen. Neben der Viskosität ist das Mischungsverhalten von Öl und Kältemittel, d. h. die Anzahl der flüssigen Phasen und die Art und Größe der Mischungslücke von Bedeutung. Weitere wichtige Merkmale sind die Dichte und die Löslichkeit. Die Löslichkeit drückt aus, in welchem Verhältnis sich Kältemittel und Schmierstoff völlig ineinander lösen. Diese Eigenschaft wird durch das Dampfdruckverhalten veranschaulicht. Darüber hinaus sind tribologische Eigenschaften des Schmierstoffes unter Anwesenheit des Kältemittels für die Auslegung der CO₂-Ventile von entscheidender Bedeutung.

Innerhalb des FuE-Projektes wurde im ILK der Almen-Wieland-Versuchsstand modernisiert und erweitert, um die vorgesehenen neuen Werkstoffe und Beschichtungssysteme in Verbindung mit unterschiedlichen Kältemittelölen hinsichtlich des mechanischen Verschleißes erproben und vergleichend bewerten zu können. Ziel war der Nachweis zulässiger Mindest-Reibwerte und Fresslasten der eingesetzten Werkstoffpaarungen bei unterschiedlichen CO₂-Kältemittelölen, Drucklagen und Lagerbelastungen. Im Ergebnis der Untersuchungen konnten Empfehlungen für Kältemittelöle ausgesprochen, die für unter- sowie überkritischen Einsatz in CO₂-Kälteanlagen die Funktion der entwickelten Ventile gewährleisten.

An hergestellten Funktionsmustern der CO₂-Ventile zeigten sich im Probetrieb Ablagerungen bzw. Verschmutzungen. Durch Infrarotuntersuchungsmethoden dieser abgelagerten Partikel konnte der Nachweis geführt werden, dass es sich dabei um Undichten der Ventilmuster handelte. Im Labor des ILK wurden deshalb unterschiedliche Chargen von Versuchsmustern hinsichtlich Dichtheit detailliert untersucht. In Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner AWP konnte durch konstruktive Veränderung der Ventile eine wesentliche Verbesserung der Dichtheit erreicht werden, die auch in Referenzmessungen am ILK nachgewiesen werden konnten.

Im Ergebnis des FuE-Projektes entstanden funktional geprüfte Muster von CO₂-Ventilen, die im Anschluss an das Projekt von AWP zur Serienreife weiterentwickelt

und weltweit vermarktet werden können. Das ILK wird die Weiterentwicklung zur Serienreife und die Markteinführung der CO₂-Ventile in Fortsetzung der begonnenen FuE-Kooperation aktiv begleiten.

Die Expertise des ILK als unabhängige Sachverständigenorganisation auf dem Gebiet der Dichtheitsprüfung sowie als Branchenspezialisten für luft- und kälte-technische Anlagen konnte durch das abgeschlossene FuE-Vorhaben wesentlich gestärkt werden.

Entwicklung eines Resorptions-Verfahrens für neue, energiesparende Kälteerzeugung ohne HFKW, HFCKW und FCKW

Da es sich abzeichnet, dass die nach dem Verbot von FCKW und HFCKW noch erlaubten HFKW zunehmenden Restriktionen und absehbaren Verboten (Automotiv-Bereich) unterliegen und die Kältemittel Ammoniak, Propan und Propen giftig oder brennbar sind bzw. mit Luft leicht explosive Gemische bilden, andererseits mit Kohlendioxid betriebene Kältesysteme energetisch oft ungünstiger als HFKW-Anlagen sind und mit sehr hohen Drücken arbeiten, ist es an der Zeit gewesen, die Frage nach alternativen Arbeitspaaren für die Absorptionskälte zu stellen.

Ein Stoffsystem für Absorptionskälteanlagen besteht aus dem Kältemittel in der Gasphase und einem Stoffgemisch aus Kältemittel und Absorbens in der kondensierten Phase. Es besteht dabei die Möglichkeit, dass zum einen das Kältemittel physikalisch im Absorbens gelöst ist, z. B. im System NH₃/H₂O und zum anderen das Absorbens im flüssigen Kältemittel gelöst ist, wie im System H₂O/LiBr. In beiden Fällen wird die Absorptionswärme für die Kälteerzeugung genutzt.

Im Projekt sollten vom ILK Dresden hauptsächlich Systeme untersucht werden, welche Wasser als Kältemittel und Salze als Absorbentien beinhalten. Bedingung für die vorliegenden Untersuchungen war, dass die eingesetzten Salze halogenfrei sind, da Halogenide starke Korrosions-

probleme in der Absorptionskältetechnik aufwerfen.

Bei der Auswahl neuartiger Stoffsysteme für Absorptionskälteanlagen auf wässriger Basis sind vordergründig zwei Aspekte zu betrachten. Die Stoffsysteme sollten zum einem den Dampfdruck des verwendeten Absorptionskältemittels stark herabsenken und zum anderen sollte keine Kristallisation des Salzes bzw. kein Erstarren der Lösung auftreten. Zum Vergleich der Dampfdrücke wird die sehr gut bekannte relative Luftfeuchte der gesättigten Salzlösungen bei Standardbedingungen (1 bar, 20 °C bzw. 25 °C) herangezogen.

Unter diesen Voraussetzungen (gute Löslichkeit, keine Halogene) waren für die praktische Bearbeitung folgende Systeme von Bedeutung:

- Kombinationen aus Nitraten,
- Kombination der Alkalimetallhydroxide,
- Kombination gleichartiger organischer Anionen (Formiate, Acetate, Oxalate),
- Kombination von Kaliumhydroxid mit anderen Kaliumsalzen,
- Ionic Liquids.

Nach umfassenden Vorbetrachtungen bei reinen Nitrat-Lösungen wurden folgende Systeme näher untersucht:

- LiNO₃ - Mn(NO₃)₂
- Ca(NO₃)₂ - Mn(NO₃)₂
- Ca(NO₃)₂ - Mg(NO₃)₂
- LiNO₃ - Mn(NO₃)₂ - Mg(NO₃)₂
- LiNO₃ - Mn(NO₃)₂ - NH₄NO₃
- LiNO₃ - Mn(NO₃)₂ - Ca(NO₃)₂

Durch Kombination der Alkalinitrat-systeme, Erdalkalinitratsysteme und Mangannitrat können über einen weiten Konzentrationsbereich Feuchten von 22 % r.F. bis > 90 % r.F. eingestellt werden. Da aber für Absorptionskälteanlagen relative Feuchten von ca. 10 % bei Raumtemperatur gefordert werden, sind diese Systeme für die Anwendung in diesem Bereich der Technik ungeeignet.

Natronlauge ermöglicht im Konzentrationsbereich um 10 mol% (20 M%) eine Gefrierpunktniedrigung von über 25 °C.

Mit Kaliumlauge erreicht man im gleichen Konzentrationsbereich um 10 mol% (30 M%) deutlich tiefere Temperaturen. Dort ist eine Abkühlung ohne Erstarren der Lösung bis -65 °C möglich. Die relativen Feuchten von ca. 10 %, welche für Arbeitsstoffe für Absorptionsanlagen gewünscht sind, werden von den beiden Laugen jedoch nur von den gesättigten Laugen erreicht. Eine Kombination der beiden Laugen, wie sie von Smith, Beutler und anderen vorgeschlagen wurde, kann eine Absenkung der Kristallisationstemperatur bei gleichbleibender geringer Feuchte bewirken. Aus diesem Grund wurden orientierende Messungen der Feuchte im System NaOH - KOH durchgeführt. Eine Absenkung der Feuchten auf $<10\%$ r.F. innerhalb der 50 M%igen Laugensysteme ist nicht möglich.

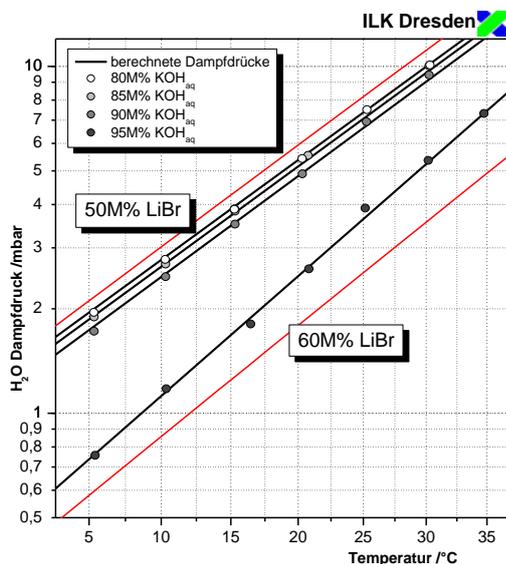


Bild 1: Dampfdruckverlauf im System 60M% KOH + K_3PO_4

Die Feuchten der 60 M%igen Lösungen sind im gewünschten Bereich, jedoch bereitet die Bestimmung der Kristallisationstemperatur Probleme. Festzuhalten ist, dass das Stoffsystem NaOH - KOH bedingt für den Einsatz in Kälteanlagen in Frage kommt, jedoch in einem engen Konzentrationsbereich (50 M% - max. 60 M%) die Kristallisationstemperatur von um die 0 °C auf Raumtemperatur ansteigt, was zu einem „Einfrieren“ der Kälteanlage führen kann.

Im Rahmen des Projektes wurden Messungen am System Kaliumformiat - Was-

ser durchgeführt. Diese zeigten, dass die oben erwähnten organischen Substanzen ungeeignet für Absorptions-Kälteanlagen sind.

Im Anschluss an diese Untersuchungen wurden Feuchtemessungen im System KOH - K_3PO_4 durchgeführt (Tab. 1).

Die Messungen am System KOH / K_3PO_4 ergaben erstmals eine Absenkung der relativen Feuchte unter die gewünschten 10 %.

Die Absenkung der Kristallisationstemperatur der Lösungen ist im System 60 M% - Salz (Tab. 1) sehr gut und entspricht den Forderungen einer Absorptionskälteanlage im Klimabereich.

Tabelle 1: Feuchtemessungen im System KOH - K_3PO_4

(KOH) [M%]	(K_3PO_4) [M%]	Temp [°C]	Feuchte [%]	$T_{\text{Krist.}}$ [°C]
60	-	19,3	12,5	ges.
57	3	19,9	13,2	4,8
54	6	20,0	13,5	5,1
51	9	20,0	14,4	-0,7
48	12	20,0	15,9	-15
-	60	19,9	52,2	< 20
61,75	3,25	19,9	9,8	>20

Aufgrund der guten Werte für die Absenkung der relativen Feuchte im System KOH / K_3PO_4 , wurden Untersuchungen zum Wasserdampfdruckverhalten des Systems mit 60 M% Salzgehalt durchgeführt (Bild 1).

Der in der Abbildung verwendete KOH - Gehalt der Lösung ergibt sich aus der Gesamtmasse an KOH, bezogen auf die Gesamtmasse an Salz, da diese Konzentration immer 60 M% betragen soll bzw. stellt den Massenanteil einer 60 M%igen KOH-Lösung (KOH_{aq}) dar.

Die Dampfdruckerniedrigung liegt im Bereich der kommerziell verwendeten LiBr-Lösungen, jedoch sind noch weitere Untersuchungen notwendig, um eine endgültige Aussage über die Eignung des Systems zu treffen.

6. Technologie-Transferzentrum am ILK

Mit dem Aufbau eines Technologietransferzentrums innerhalb des ILK wurde die Umsetzung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen zu KMU, vorzugsweise im Freistaat Sachsen, weiter verbessert.

Das ILK-TTZ vermittelt Kontakte und organisiert die Zusammenarbeit zwischen dem ILK als Technologiegeber auf der einen Seite und unterschiedlichen Unternehmen, die an neuen Technologien, Verfahren oder Produkten interessiert sind auf der anderen Seite.

Nach der Gründung eines Technologietransferzentrums im Jahr 2002 wurden spezielle, vom Freistaat und der EU geförderte Projekte für den Transfer von innovativen Technologien bearbeitet.

In insgesamt 6 Vorhaben wurden die Ergebnisse abgeschlossener Entwicklungen zu unterschiedlichen KMU transferiert und erfolgreich abgeschlossen.

Im Jahr 2007 wurden die Projekte

- Kryomedizinische Gerätetechnik und
- Photovoltaische Applikationen

mit der Überführung des technologischen Know-how an klein- und mittelständische Unternehmen in Sachsen abgeschlossen.

Mit einer Vielzahl von sächsischen KMU wurden im Rahmen von Transferverträgen Leistungen ausgetauscht.

Netzunabhängige und energieautarke photovoltaische Applikationen für Kühlung, Stromversorgung und Monitoring

(Gefördert im Rahmen der Technologieförderung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und mit Mitteln des Freistaates Sachsen)

Vom ILK Dresden wurden mehrere spezielle photovoltaische Applikationen zur autarken Kühlung in netzfernen Regionen entwickelt. Innerhalb dieses Vorhabens wurde das am ILK Dresden erarbeitete Know-how für diese Applikationen an KMU

transferiert, mit dem Ziel, diese dadurch wirtschaftlich zu stärken, Arbeitsplätze zu sichern und neue zu schaffen.

Der Fokus des Technologietransfers lag auf den zwei Produktgruppen „Solarer Wasserkühler“ und „Systemangepasster Umrichter“. Der solare Wasserkühler nutzt die Energie eines Photovoltaikgenerators zur Kühlung oder Erwärmung von Brauchwasser und wurde unter ökonomischen und produktionstechnischen Gesichtspunkten modifiziert.



Bild: Solarer Wasserkühler

Der systemangepasste Umrichter wurde im ILK Dresden für die autarke photovoltaische Versorgung von Kühlanlagen entwickelt. Im Rahmen des Vorhabens erfolgte die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten für die Energieversorgung solarer Pumpensysteme. Durch den Einsatz von Standardpumpen und industriellen Frequenzumrichtern konnte ein flexibles und kostengünstiges System erstellt werden.

Die beteiligten Unternehmen aus Sachsen übernehmen die Herstellung beider Systeme. Zielmärkte für den Vertrieb liegen hauptsächlich in Südeuropa, dem arabischen Raum und Afrika.

Der Einsatz des Pumpensystems wird auch in Deutschland erfolgen. Dazu wurde mit einem beteiligten Unternehmen die Anwendung zur Wasserversorgung für Viehtränken auf netzfernen Weiden erschlossen, die in den Sommermonaten eine wirtschaftliche Alternative zum Anttransport darstellt. Für den Wasserkühler wurden deutschland- und weltweit mehrere Interessenten an Vertrieb und Einsatz

gefunden. Neben der Anwendung zur Kühlung von Brauchwasser kann die Anlage auch zur indirekten Kühlung und Kältespeicherung eingesetzt werden.

Durch den Technologietransfer und die daraus resultierenden Produkte wird der Umsatz der beteiligten Unternehmen gesteigert, Arbeitsplätze werden gesichert und neue geschaffen. Die Orientierung der photovoltaischen Applikationen auf internationale Märkte führt zu einer Stärkung der Exportfähigkeit der Technologienehmer. Erste Demonstrationsanlagen beider Anwendungen sind für 2008 geplant.

Technologietransfer R-718 Kaltwassersätze

Das aktive Bemühen um den Transfer von Forschungsergebnissen vergangener Jahre auf dem Gebiet R-718-Kaltwassersätze sowie die entsprechende Weiterentwicklung unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und der gegenwärtigen Markterfordernisse war eine weitere Aufgabe des TTZ.

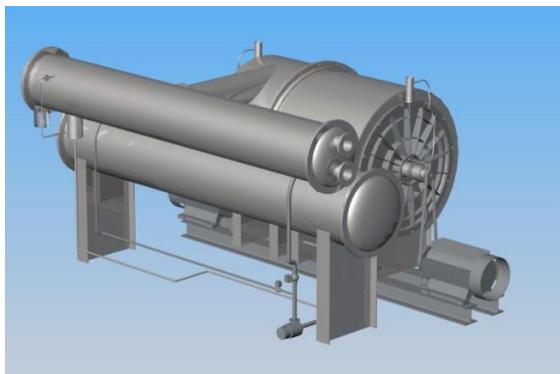


Bild: Konzept Kaltwassersatz R718 3. Generation

Aus der kritische Analyse aller Herstellungs- und Betriebserfahrungen von R718-Kälteanlagen, (Aquaturno) welche zum Teil seit fast 7 Jahren im praktischen Einsatz laufen, sind Grundlage eines FuE-Projektes. Zielstellung ist die Entwicklung einer Baureihe R-718-Kaltwassersätze mit wettbewerbsfähigen Herstellungskosten. Es entstand ein Verbundprojekt, auf dessen Grundlage ab 2008 eine weitere FuE-Periode beginnen wird.

Zur Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten des Wasserdampfturboverdichters der nächsten Generation wurde ein weiteres Forschungsprojekt „Vakuumeiszeugung“ vorbereitet.

Mit der Form der direkten Eisherstellung im Verdampfer, ohne Wärmeübertragungsflächen, könnte die Kältespeicherung hinsichtlich ihrer energetischen und ökonomischen Randbedingungen eine neue Bedeutung erhalten.

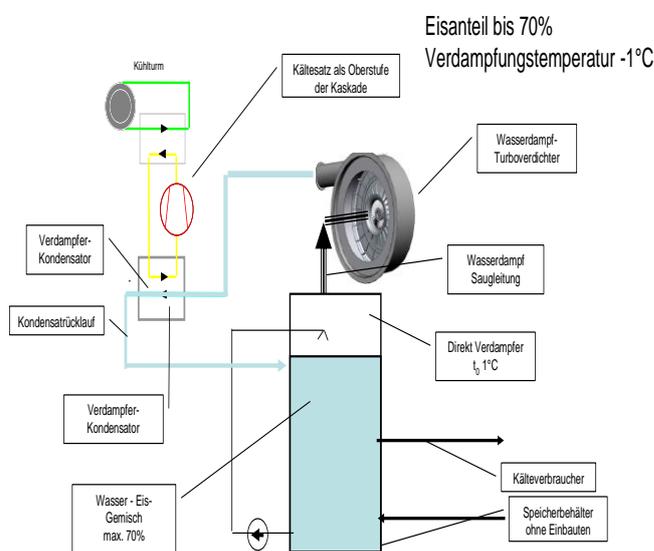


Bild: Schematischer Aufbau einer Kaskadenkälteanlage zur Vakuumeisspeicherung

Mit den Aktivitäten Technologietransferzentrum unterstreicht das ILK seine Stellung als industrienahes Forschungsunternehmen. Das TTZ unterhält Kontakte zu Transfereinrichtungen in Sachsen.

Durch Verbindungen zu Vereinigungen, die insbesondere die Anwendungen regenerativer Energie und rationelle Energieverwendung befördern, schafft das TTZ Kontakte zu neuen Kunden und neuen Märkten für Forschungs Kooperation und FuE-Dienstleistung.

Ausgewählte Veranstaltungen des ILK für den Wissenstransfer 2007

1. Veranstaltungen / Seminare / Beratungen

- Veranstaltungen des DKV-Bezirksvereins (11) im ILK von 01/2007 bis 12/2007
- Arbeitsgruppe GVT-AK3 „Mechanische Trennverfahren/-Technik“ 12.03.2007
- Meeting VDA SAE CRP 150-2 WP2 28.03.2007
- 4. Wiederholungsaudit ISO 9001:2000 TÜV Management 22./23.05.2007
- Adhoc-Sitzungen des Normungsausschusses Heizungs- und Raumluftechnik AA 2.54 27.06.2007
- Dresdner Kolloquium „Energieeffiziente Kälteerzeugung für Industrie und Gewerbe“ (Gemeinschaftsveranstaltung ILK / Forschungszentrum FKW) 06.09.2007
- Beratung Videocon Industries Ltd. India 20.09.2007
- Durchführung von Kick-off-Meetings im ILK zu bewilligten Forschungsvorhaben 26./27.03.2007
19.07.2007
01./02.2007
05.11.2007

2. Messebeteiligung

- ISH Frankfurt a. Main 06.-10.03.2007
- AiF Innovationstag Berlin 14.06.2007
- Internationaler Kongress für Erneuerbare Energien in Mecklenburg-Vorpommern August 2007

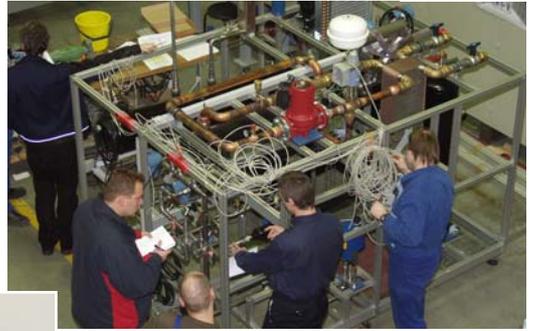
3. Ausgewählte Besucher

- Besuch Regierungs-/Wirtschaftsdelegation Fürstentum Liechtenstein 31.08.2007



- Besuch von MdB, Herr Andreas Lämmel und Herrn Andreas Storm, Parlamentarischer Staatssekretär BMBF 26.09.2007





ILK Mitarbeiter bei ihrer verantwortungsvollen Tätigkeit

Anlage

Veröffentlichungen

Publikationen

Safarik, M.

„Entwicklung, Anwendung und Demonstration solar betriebener Absorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich“
Berliner Energietage 2007 – Workshop,
DENA + Berliner Energieagentur, Berlin,
09.05.2007, Tagungsband

Kuhn, M.

„Kraft-Wärme-Kälte-Kopp-lung: Funktionsprinzip/ Aktuelle und zukünftige Technologien“
BHKW Consult, Rastatt
12.06.2007, Tagungsband

Wobst, E.; Safarik, M.;
Richter, L.

„Energieeffiziente Kälteerzeugung unter 0°C durch den Einsatz von Sorptionskälteanlagen“
Dresdner Kolloquium, Dresden,
06.09.2007, Tagungsband

Safarik, M.

„Solarthermische Kühlung im kleinen Leistungsbereich“
DBU, Osnabrück, 11.-12.09.2007, Tagungsband

Safarik, M.

„Stand der Entwicklung und Marktverfügbarkeit von Absorptionskälteanlagen“
AGO AG, Kulmbach, 25.09.2007, Tagungsband

Richter, L.; Kuhn, M.

„Mehrjährige Betriebsergebnisse einer kleinen NH₃/H₂O-Absorptionskälteanlage“
AGO AG, Kulmbach, 25.09.2007, Tagungsband

Richter, L.

„Untersuchung einer Ammoniak-Kaskadenkälteanlage mit Kompressions- und Absorptionsstufe“
AGO AG, Kulmbach,
26.09.2007, Tagungsband

Safarik, M. u.a.

„Results of monitoring the EAW SE 15 absorption chiller in solar cooling installations“
2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, 18.-19.10.2007, Tagungsband

Safarik, M. u.a.

„Solar cooling applications with the EAW SE 15 absorption chiller“
2nd International Conference Solar Air-Conditioning,
Tarragona, 18.-19.10.2007,
Tagungsband

Franzke, U.; Koch, H.

„Flächenbedarf für die TGA – die neue VDI 2050“
BHKW-Almanach 2007, 1, S. 82-84

Franzke, U.

„Expertenumfrage: Neue Auslegungsregeln der Klimatechnik – Für und Wider?“
KI Luft- und Kältetechnik, Heidelberg
(2007)4, S. 18-23

Seifert, Chr.; Rouvel, L.

„Wärmeeintrag in den Raum aufgrund kurzweiliger Einstrahlung“
KI Luft- und Kältetechnik, Heidelberg
(2007)7/8-9, S. 24-26, S. 34-38

Hackeschmidt, K.; Khelifa, N.; Girlich, D.

„Verbesserung der nutzbaren Wärmeleitung in Latentspeichern durch offenporige Metallschäume“
KI Luft- und Kältetechnik, Heidelberg
(2007)11,
S. 33-37

Frenzel, W.-P.

„Hycoknit® - ein effizientes regenerierbares Filtermedium für die Prozessluftfiltration“
Kettenwirk Praxis (2007)4

Frenzel, W.-P.

„Hycoknit® - high efficient cleanable filter media for process gas filtration“
Technische Textilien (2007)3

Junk, M.; Dischner, M.; Schenk, J.

„Schaumbildung in Kältemittel/Öl-Systemen“
KWK-Taschenbuch 2008

Spörl, G.; Reinsch, H.; Martinez, I.
 „Temperaturprofile in einem automati-
 schen Einfriergerät für die Medi-
 zin/Biologie“
 DKV-Tagungsbericht, Vol. 34, Bd. I/4,
 2007

Braumöller, J.; Meier, U.
 „Prüfstandsuntersuchungen zum Dich-
 theitsverhalten von Pkw-Klimaanlagen“
 DKV-Tagungsbericht, Vol. 34,
 2007

Vorträge

Herzog, R.
 Eröffnungsvortrag zum Dresdner Kollo-
 quium „Energieeffiziente Kälteerzeugung
 für Industrie und Gewerbe“
 Dresden, 06.09.2007

Herzog, R.
 „Innovationen der Luft- und Kältetechnik“
 (Delegation aus Liechtenstein)
 Dresden, 31.08.2007

Safarik, M.
 „Solare Klimatisierung“
 Rahmenprogramm zur Messe „Haus
 2007“, Dresden, 01.03.2007

Wobst, E.
 „Kälteerzeugung und -anwendung“
 TAW, Wuppertal, 05. – 06.03.2007,
 26. – 27.11.2007

Safarik, M.
 „Entwicklung, Anwendung und Demonstra-
 tion solar betriebener Absorptionskältema-
 schinen im kleinen Leistungsbereich“
 Berliner Energietage 2007 – Workshop
 09.05.2007

Kuhn, M.
 „Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung: Funktions-
 prinzip/ Aktuelle und zukünftige Technolo-
 gien“
 BHKW Consult, Rastatt,
 12.06.2007

Wobst, E.
 „Energieeffiziente Kühlkälteerzeugung“
 Uponor GmbH, Leipzig,
 04.07.2007

Wobst, E.
 „Kälteanwendung (Verdichter und Wärme-
 übertrager)“
 Meisterlehrgang, Reichenbach, 24. –
 25.08.2007, 14. – 15.09.2007

Wobst, E., Safarik, M.,
 Richter, L.
 „Energieeffiziente Kälteerzeugung unter
 0°C durch den Einsatz von Sorptionskäl-
 teanlagen“
 Dresdner Kolloquium, Dresden,
 06.09.2007

Safarik, M.
 „Solarthermische Kühlung im kleinen Lei-
 stungsbereich“
 DBU, Osnabrück,
 11.-12.09.2007

Safarik, M.
 „Stand der Entwicklung und Marktverfü-
 gbarkeit von Absorptionskälteanlagen“
 AGO AG, Kulmbach,
 25.09.2007

Richter, L.; Kuhn, M.
 „Mehrjährige Betriebsergebnisse einer
 kleinen NH₃/H₂O-Absorptionskälteanlage“
 AGO AG, Kulmbach,
 25.09.2007

Richter, L.
 „Untersuchung einer Ammoniak-
 Kaskadenkälteanlage mit Kompressions-
 und Absorptionsstufe“
 AGO AG, Kulmbach,
 26.09.2007

Safarik, M. u.a.
 „Results of monitoring the EAW SE 15
 absorption chiller in solar cooling installa-
 tions“
 2nd International Conference Solar Air-
 Conditioning, Tarragona, 18.-19.10.2007

Safarik, M. u.a.
 "Solar cooling applications with the EAW
 SE 15 absorption chiller"
 2nd International Conference Solar Air-
 Conditioning,
 Tarragona, 18.-19.10.2007

Franzke, U.
 „Untersuchungen zur energetischen Quali-
 tät der TGA-Systeme im BSW Rodewisch“
 Rodewisch, 28.03.2007

Franzke, U.
 „Streifzug durch die Welt der Normen und
 Richtlinien“
 Fachgespräch TGA,
 Fa. Caverion, Lufthansa Flight Center,
 Frankfurt a.M.,
 08.-09.05.2007

Franzke, U.
 „Moderation des Programmausschusses
 „Lufthygiene““
 4. VDI-Fachtagung Hygienemanagement,
 Leonberg,
 22.-23.05.2007

Franzke, U.
 „Klimatechnik“
 Vorlesungsreihe an der
 HTW Dresden, Frühjahrssemester

Franzke, U.
 „Energieeffiziente Auslegung von Kälte-
 und Klimaanlageanlagen unter veränderten kli-
 matischen Randbedingungen“
 KLIMA-Tag des FGK, Hamburg,
 14.06.2007

Franzke, U.
 „Folgen steigender Außentemperaturen
 auf die Kälte- und Klimatechnik“
 Forum für Klimakompetenz,
 Berlin, 05.09.2007,
 Dortmund, 06.09.2007,
 Leipzig, 20.09.2007
 Blaustein (Ulm), 21.09.2007
 DKV BV Sachsen,
 ILK Dresden, 08.10.2007

Franzke, U
 „Installation and Commissioning Guide-
 lines“
 IEA Task 38 Meeting, Barcelona, 15.-
 17.10.2007

Buschmann, M.
 "On Self-Similarity of Wall-Bounded
 Flows", 5th Internat. Symp. on Turbulence
 and Shear Flow Phenomena, München,
 27.-29.08.2007

Buschmann, M.
 "Structure and Mean Velocity Profile of
 Pipe Flow"
 11th European Turbulence Conference,
 Porto,
 25.-28.07.2007

Krause, R.
 „Voraussetzungen für numerische Simula-
 tionsrechnungen“
 BSH intern, Giengen,
 02.07.2007

Mai, R.
 „Stand und Perspektive der solaren Klima-
 tisierung aus der Sicht des ILK Dresden“
 PtJ-Workshop „Solare Klimatisierung“,
 Stuttgart,
 03.05.2007

Mai, R.
 „Ein Streifzug durch die Welt der Normen
 und Richtlinien“
 9. TGA Fachgespräch Caverion GmbH,
 Dresden,
 06.09.2007

Ziller, F.
 „Working Principles of the Process Heating
 and Cooling Unit“
 1st Solar Intern. Conf., Perrysburg/Ohio

Friebe, Chr.
 „Arbeitsweise der Prozesskühlung“
 Johanna Solar, Brandenburg, 27.06.2007

Heidenreich, R.
 „Elektrostatisches KleinfILTER für Kleinfewe-
 rungsanlagen“
 Seminarveranstaltung „Emissionsminde-
 rung bei Kleinfewe rungsanlagen“,
 Berlin, 14.11.2007

Heidenreich, R.
„Technische Möglichkeiten der Minderung von Feinstaubemissionen“
13. Internationale Fachtagung „Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe“,
Freiberg, 6. - 7.9.2007

Heidenreich, R.
„Projekt Staubabscheidetechniken, Vorstellung der Projektergebnisse“
Fachseminar „Alternative Biobrennstoffe“,
Berlin, 21.06.2007

Heidenreich, R.
„Senkung der Feinstaubemission in kleinen Biomassefeuerungsanlagen“
Enertec Forum „Verwertung von Biomasse“, Leipzig, 05.03.2007

Heidenreich, R.
„Abscheidung von Feinstpartikeln“
TAW-Seminar „Auslegung von Staubabscheidern“,
Wuppertal, 21.03.2007

Heidenreich, R.
„Hygieneschulung nach VDI 6022“
Seminar V9B, Maintal,
05.-07.09.2007

Braumöller, J.; Meier, U.
„Prüfstandsuntersuchungen zum Dichtungsverhalten von Pkw-Klimaanlagen“
DKV-Tagung, Hannover,
21.-23.11.2007

Spörl, G. u.a.
„Cryopreservation of Tissue Engineered Mucosa“
57. Kongr. Dtsch. Ges. für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Rostock-Warnem.,
29.05.-02.06.2007

Spörl, G., Reinsch, H.; Martinez, I.
„Temperaturprofile in einem automatischen Einfriergerät für Medizin/Biologie“
DKV-Tagung, Hannover,
21.-23.11.2007

Spörl, G. u.a.
„Cryopreservation of 3D Tissue Engineering Constructs“

1. Sächs. Biotechnologietag, Dresden,
28.11.2007

Reinsch, H.
„Investigation of Scaffold Materials for the Tissue Engineering of Cryopreservable Artificial Tissue Constructs“
1. Sächs. Biotechnologietag,
Dresden, 28.11.2007

Reinsch, H.
„Kryokonservierte artifizielle Gewebekonstrukte für den Einsatz in der regenerativen Medizin“
6. Thüringer Biomaterial Kolloquium, Erfurt, 13.09.2007

Waschull, J.; Guhlemann, T.
„Development of Phase Change Material for Heat Storage“
2nd Internat. Renewable Energy Storage Conf. , Bonn, 19.-21.11.2007

Römer, S.
„Angepasste Werkstoffe für Wasserstoffanwendungen“
Dresdner Wasserstofftag, 24.04.2007

Albring, P.
„Regenerative Energien zum Heizen“
Workshop des deutschen Werkbundes zum solaren Bauen, Dresden, Nov. 2007

Albring, P.
„Strom-, Wärme- und Kältespeicher“
Fachtagung Wärme- und Kältespeicher,
Leipzig,
20.09.2007

Ausgewählte Fachberichte

Kälte- und Tieftemperaturtechnik

Vollmer, D.
CO2KreisPlus, Version 1.1.2 – Programmbeschreibung
ILK-B-2-06-552a

Eisel, Th.; Müller, M.
Optimierung von Plattenverdampfern – Abschlussbericht
ILK-B-2-07-575

- Safarik, M.
Entwicklung eines Absorptionsaggregates kleiner 5 kW Kälteleistung (AKA 5) – Zwischenbericht
ILK-B-2-07-579
- Tzscheuschler, A.; Bratanitsch, K.
Baureihe modularer CO₂-Kältegeräte
ILK-B-2-07-586
- Kaiser, G.
Analyse des Standes der Technik zur Rückverflüssigung von Erdgas für Transportschiffe und Landtanks
ILK-B-2-07-588
- Müller, M.
Dokumentation zum Simulationsprogramm „Ablufttrockner mit Kompressionswärmepumpe“
ILK-B-2-07-592
- Richter, L.
Untersuchung des Einsatzes von Lamellenwärmeübertragern als Rieselfilmabsorber in H₂O/LiBr-Absorptionskälteanlagen
ILK-B-2-07-595
- Noack, R.
Aufbau und Erprobung einer umschaltbaren Luft-Wasser-Wärmepumpe
ILK-B-2-07-608
- Richter, L.
Betrieb der Absorptionskälteanlage SE 15 als Wärmetransformator zur Heizungsunterstützung innerhalb solarthermischer Anlagen
ILK-B-2-07-609
- Safarik, M.; Richter, L.; Kuhn, M.
Test eines Ionic Liquid als Arbeitsstoffpaar in einer Absorptionskältemaschine
ILK-B-2-07-611
- Heinrich, C.; Stangl, R.; Kuhn, M.
Optimierung Nofrost-Gefrierschrank GSN32 durch Entwicklung einer gezielten Luftströmführung im Rückwandkanal
ILK-B-2-07-612
- Wobst, E.; Böhm, M.; Sussek, W.
Supermarkets – Eco-Efficiency Concept – Specific Performance Features
ILK-B-2-07-626
- Schumann, B.
Qualitätssicherung von Dämmstoffen bzgl. der wärmetechnischen Eigenschaften – Normen und Prüfmethoden
ILK-B-2-07-633
- Richter, L.
Auslegung eines mobilen Absorptionskälteaggregates zur Fahrzeugkühlung
ILK-B-2-07-637
- Bratanitsch, K.; Hauptmann, J.
Messungen am Mikrostruktur-Wärmeübertrager 765-K-3.2
ILK-B-2-07-639
- Hempel, O.; Tzscheuschler, A.; Böhm, M.
Entwicklung eines einheitlichen Prüfkonzeptes für die Typ- und Serienprüfung von Fahrzeugklimageräten
ILK-B-2-07-642
- Binneberg, A.
Bericht zur Analyse über Methoden und Verfahren zur Messung der Wärmeausdehnungskoeffizienten im Temperaturbereich von 78 K bis 300 K
ILK-B-2-07-643
- Wobst, E.
Stellungnahme „Sammler als Komponente in einem Kühlwasser-Rückkühler“
ILK-B-2-07-657
- Heinrich, C.
Erweiterte Parametersimulation, Modellentwicklung und Simulation: Verflüssiger mit zusätzlichen Wärmespeichern
ILK-B-2-07-664
- Röllig, P.
Ingenieurwissenschaftliche Leistungen zur Lastsimulation von Booster-Verbundanlagen mit R744 bis 110 kW Kälteleistung
ILK-B-2-07-670

Kuhn, M.
Einsatz von Kunststoffen in Absorptions-
kälteanlagen
ILK-B-2-07-678

Paatzsch, R.
Entwicklung einer innovativen Rückküh-
lerbaureihe mit Lamellenrohrwärmeübert-
ragern und temporärer Wasserbenetzung
sowie Luftvorkühlung auch für den Lei-
stungsbereich unter 150 kW - Abschlussbe-
richt
ILK-B-2-07-682

Böhm, M.; Hauptmann, J.
Experimentelle Untersuchungen von Öldif-
ferenzdrucksensoren
ILK-B-2-07-683

Binneberg, A.
Überführung eines kryochirurgischen Ge-
rätessystems in die Serienfertigung –
Schlussbericht
ILK-B-2-07-689

Bratanitsch, K.
Bestimmung der CO₂-Löslich-keit in Was-
ser mit und ohne Abdeckung der Wasser-
oberfläche
ILK-B-2-07-691

Kaiser, G.
Mikromechanischer Bernoulli/Joule-
Thomson-Kühler – Abschlussbericht
ILK-B-2-07-694

Heinrich, C.
Flächenwärmeübertrager mit Mikrostruktu-
ren – Abschlussbericht
ILK-B-2-07-703

Klima- und Energietechnik

Friebe, Chr.
Konstruktionsvorlagen für Anlagen der
ILK-Projektgesellschaft
ILK-B-31-07-3304

Ziller, F.
Messung und Bewertung der Luftdichtheit
und des Wärmedämmstandards der Ge-
bäudehülle des Depotbereiches der Ge-
denkstätte Buchenwald
ILK-B-31-07-3305

Buschmann, M.;
Franzke, U.
LowEx-Kühlung von Hallen in Gewerbe-
und Produktionsbetrieben
ILK-B-31-07-3307

Wittek, K.; Seifert, Chr.
Tageslicht in Arbeitsräumen
ILK-B-31-07-3311

Krause, R.; Honke, M.
Gutachten zur Ermittlung der Geräusch-
quellen der mechanischen Entrauchung-
sanlage am Flughafen Dresden - Ergän-
zung
ILK-B-31-07-3283-1

Seifert, Chr.;
Hackeschmidt, K.; Ehle, A.
Gymnasium „Luisenstift“ Radebeul, Nach-
weis des sommerlichen Wärme-schutzes
nach VDI 2067,
Bl. 10 u. 11
ILK-B-31-07-3302

Friebe, Chr.; Lange, B.
Solarthermie2000plus: Messprogramm
Solare Klimatisierung Berufsschule Rode-
wisch
ILK-B-31-07-3308

Hackeschmidt, K.; Ehle, A.
Strömungssimulation für ein Kühllager in
Indiana/ USA
ILK-B-31-07-3320

Krause, R.
Messung der Luftdurchlässigkeit von Tep-
pichbodenelementen
ILK-B-31-07-3321

Mieck, S.
Theoretische und experimentelle Arbeiten
zur Auslegung eines Wärme-übertragers
mit semipermeabler Membran zur Luftent-
feuchtung
ILK-B-31-07-3313

Kussin, J.
Zwischenbericht - Wärmeübertrager mit
semipermeabler Membran zur Luft-
entfeuchtung
ILK-B-31-07-3314

Ziller, F.

1. Zwischenbericht: Entwicklung eines
Brennstoffzellenklimagerätes
ILK-B-31-07-3316

Kanter, R.; Krause R.

Experimentelle Untersuchungen an einem
Deckenkühler
ILK-B-31-07-3323

Hackeschmidt, K.

2. Zwischenbericht - Hochleistungs-
Wärmeübertrager für die dezentrale Klima-
tisierung mit Kaltluft
ILK-B-31-07-3317

Seifert, Chr.;

Hackeschmidt, K.; Ehle, A.

Gymnasium „Luisenstift“ Radebeul. Nach-
weis des sommerlichen Wärme-schutzes
nach VDI 2067,
Bl. 10 u. 11, Teil 2: Altbau
ILK-B-31-07-3319

Mai, R.

1. Zwischenbericht: Fehlerüberwachungs-
system für RLT-Anlagen
ILK-B-31-07-3318

Krause, R.

2. Zwischenbericht: Luftdurchlass mit Mik-
roperforation
ILK-B-31-07-3208

Krause, R.

3. Zwischenbericht: Luftdurchlass mit Mik-
roperforation
ILK-B-31-07-3309

Hackeschmidt, K.

Abschlussbericht: Motorisierte Verdichter-
Turbinen-Einheit für die dezentrale Ge-
bäudeklimatisierung
ILK-B-31-07-3325

Hackeschmidt, K.; Ehle, A.

Simulationsberechnungen für sehr große
Kühlager
ILK-B-31-07-3332

Krause, R.; Friebe, Chr.

Schallmessungen an einem adiabaten
Kühlgerät
ILK-B-31-07-3334

Friebe, Chr.

Messungen an einem adiabaten Kühlgerät
ILK-B-31-07-3326

Wanka, S.; Seifert, Chr.

Berechnung des g-Wertes nach VDI 6007-
02
ILK-B-31-07-3331

Ziller, F.

Begutachtung der thermischen und strö-
mungstechnischen Verhältnisse in der
Halle des Marie-Elisabeth-Lüders-Hauses
ILK-B-31-07-3303

Krause, R.

Messung der Luftdurchlässigkeit von Tep-
pichbodenelementen
ILK-B-31-07-3321

Franzke, U.

Bewertung der thermischen Luftparameter
im Callcenter Cottbus unter Beachtung der
baulichen Rahmenbedingungen
ILK-B-31-07-3343

Ziller, F.; Friebe, Chr.

Strömungstechnische Untersuchungen im
Plenarsaal
ILK-B-31-07-3333

Krause, R.

Untersuchungen zum Schalldruckpegel
des Rückkühlers im MELH
ILK-B-31-07-3341

Franzke, U.

Messung des dynamischen Verhaltens der
Zuluftbefeuchter
ILK-B-31-07-3348

Krause, R.

Abschlussbericht Luftdurchlass mit Mikro-
perforation
ILK-B-31-07-3309

Friebe, Chr.

Software zur Berechnung von Zustands-
größen feuchter Luft zwischen -90 °C und
373 °C
ILK-B-31-07-3358

- Ziller, F.
Software zur Darstellung von Prozessen
im Mollier-h, x-Diagramm
ILK-B-31-07-3356
- Girke, A.
Untersuchungen an einem Deckendurch-
lass
ILK-B-31-07-3359
- Mai, R.
2. Zwischenbericht: Fehlerüberwachungs-
system für RLT-Anlagen
ILK-B-31-07-3351
- Hackeschmidt, K.
3. Zwischenbericht: Untersuchungen zum
Einsatz offenporiger Metallschäume in
Latentspeichern zur Klimatisierung von
Räumen
ILK-B-31-07-3361
- Friebe, Chr.
Zwischenbericht: Messprogramm Solare
Klimatisierung Berufsschule Rodewisch
ILK-B-31-07-3355
- Franzke, U.; Friebe, Chr.
5. Zwischenbericht: LowEx-Kühlung von
Hallen in Gewerbe- und Produktions-
betrieben
ILK-B-31-07-3354
- Krause, R.; Rosenbaum, H.
Zwischenbericht: Wärmeübertrager mit
semipermeabler Membran zur Luftent-
feuchtung
ILK-B-31-07-3350
- Friebe, Chr.
Software zur Berechnung und Darstellung
des Prozessverlaufes in berieselten Me-
tallschaumwärmeübertragern
ILK-B-31-07-3364
- Ziller, F.; Ritscher, U.
Untersuchungen zur Schadgasausbreitung
im Laborgebäude des Biologischen Institu-
tes der TU Dresden mit dem Tracergas-
verfahren
ILK-B-31-07-3365
- Gebhardt, B.; Ziller, F.
Theoretische und experimentelle Untersu-
chungen an einem halboffenen Sorptions-
prozess
ILK-B-31-07-3369
- Ziller, F.
Messung des Schalldruckpegels im „Euro-
pasaal“ nach der Installation von Umluft-
kühlgeräten
ILK-B-31-07-3372
- Puls, T.; Hackeschmidt, K.
Untersuchungen an Hochleistungswärme-
übertragern für die Klimatisierung mittels
Kaltluft
ILK-B-31-07-3363
- Ziller, F.
Untersuchung der Druckverluste an den
Wetterschutzgittern im MELH
ILK-B-31-07-3371
- Franzke, U.; Ehle, A.; Hackeschmidt, K.
Beratungsleistungen zur Optimierung der
Quelluftdurchlässe in den Büro-räumen im
Kanzleramt
ILK-B-31-07-3389
- Franzke, U.
Optimierung der Betriebsweise der Bau-
teilkühlung im Kanzleramt
ILK-B-31-07-3362
- Rosenbaum, H.
Energieanalyse Schloss Dresden (Bear-
beitungsstufe 1)
ILK-B-31-07-3328
- Franzke, U.; Ritscher, U.
Nachrüstung von Kühlern in den RLT-
Anlagen – Überprüfung der technischen
Machbarkeit
ILK-B-31-07-3382
- Friebe, Chr.; Ehle, A.
Simulationsberechnungen für die freie
Konvektion an einem Körper in einer Fer-
tigungshalle
ILK-B-31-07-3380

- Hackeschmidt, K.
Kennlinienmessungen an Ventilatoren
nach DIN 23163
ILK-B-31-07-3393
- Ehle, A.; Ziller, F.; Buschmann, M.H.
Strömungstechnische Untersuchungen im
Abgeordnetenrestaurant
ILK-B-31-07-3392
- Ehle, A.; Buschmann, M.H.
Simulationen zur Sauerstoff-anreicherung
in Schienenfahrzeugen
ILK-B-31-07-3398
- Müller, M.; Henschler, W.; Buschmann,
M.H.
Entwicklung eines Berechnungstools zur
Auslegung von Glattrohrwärme-
übertragern
ILK-B-31-07-3394
- Hirschelmann, M.; Mai, R.
Auslegung eines Eisspeichersystems
ILK-B-31-07-3387
- Birnbaum, Th. u.a.
Messung und Bewertung der Emission an
gießereitechnischen Anlagen
ILK-B-33-07-1374
- Frenzel, P.
Innovative Vlieswirkstoffverbunde für die
Luftreinhaltung in der Industrie, in Fahr-
zeugen und im Haushalt - Schlussbericht
ILK-B-33-07-1383
- Heidenreich, R.
Verbesserung der Lufteinblasung bei Mul-
denfeuerungen
ILK-B-33-07-1384
- Birnbaum, Th.; Heidenreich, R.
Partikelmessungen in Reinräumen des
Sächsischen Serumwerkes Dresden
ILK-B-33-07-1386
- Heidenreich, R.; Frenzel, W.-P.
Gutachten zur Filterklasse von Zuluftfiltern
ILK-B-33-07-1388
- Heidenreich, R.; Wagner, S.
Testing Compressed Air Filter for Oil Mist
Removal Efficiencies
ILK-B-33-07-1389
- Weinhold, K.;
Heidenreich, R.; Wagner, S.
Hygieneuntersuchungen in der RLT-
Anlage des Institutes für Luft- und Kälte-
technik gGmbH
ILK-B-33-07-1389a
- Heidenreich, R.
Bestimmung von Silizium-dioxid- Konzent-
rationen in Abhängigkeit verschiedener
Prozessgasparameter
ILK-B-33-07-1390
- Wagner, S.; Heidenreich, R.
Realitätsnahe Prüfmethode von Zytostati-
ka- und Sicherheitswerkbänken (Zwi-
schenbericht 2006)
ILK-B-33-07-1392
- Heidenreich, R.; Wagner, S.; Kurtze, S.
Abscheidung von kühlenschmierstoffhaltigen
Aerosolen und Schadgasen - Abschluss-
bericht
ILK-B-33-07-1394
- Frenzel, W.-P.
Vergleichende Untersuchungen an acht
Motorfiltern
ILK-B-33-07-1395
- Birnbaum, Th.
Abbrandversuche mit Biomasse-Pellets
ILK-B-33-07-1396
- Birnbaum, Th.
Erstmessung der Emissionen an einer
Abgasreinigungsanlage der Keramikin-
dustrie
ILK-B-33-07-1400
- Heidenreich, R. u.a.
Ultrafeine Aerosole – Abschlussbericht
ILK-B-33-07-1401
- Heidenreich, R.
Untersuchungen zur Bestimmung der Ab-
luftzusammensetzung von Reflow-
Lötssystemen
ILK-B-33-07-1405

Heidenreich, R.;
Birnbaum, Th.
Hygienische Untersuchungen an Erd-
schotterspeichern
ILK-B-33-07-1406

Frenzel, W.-P.;
Heidenreich, R.
Bestimmung der Druckverlust- und Ab-
scheidecharakteristik von Gestrickpackun-
gen
ILK-B-33-07-1408

Heidenreich, R.; Wagner, S.
Luftkeimmessungen in der Zuluft von RLT
- Anlagen und Innenräumen der SLUB –
Dresden
ILK-B-33-07-1410

Heidenreich, R.; Blei, St.
Kontaminationsfreie Baugruppenträger
und Baugruppen
ILK-B-33-07-1421

Wagner, S.; Heidenreich, R.
Schadstofffreier Komfortarbeitsplatz –
1. Zwischenbericht
ILK-B-33-07-1423

Angewandte Neue Technologien

Spörl, G.; Reinsch, H.
Entwicklung von potenziellen Trägermate-
rialien für das Tissue Engineering: Struk-
turuntersuchungen und thermisches Ver-
halten ausgewählter Biomaterialien für
Knochen- und Weichgewebeersatz
ILK-B-4-05-2334

Spörl, G.; Reinsch, H.
Entwicklung von potentiellen Trägermate-
rialien für das Tissue Engineering: Form-
stabilität, Degradation und Besiedlungs-
verhalten ausgewählter Biomaterialien für
den Knochen- und Weichgewebeersatz
ILK-B-4-05-2336

Hernschier, W.
Zwischenbericht „Netzunabhängige und
energieautarke photovoltaische Applika-
tionen für Kühlung, Stromver-sorgung und
Monitoring“
ILK-B-4-07-2468

Römer, S.
Zwischenbericht: Entwicklung von CO2-
Ventilen
ILK-B-4-07-2470

Waschull, J.
ILK-Beitrag zum Abschlussbericht des
Netzwerkprojektes „Neue hochporöse Ma-
terialien und Systeme für die Energiespei-
cherung und Wärmetransformation“
ILK-B-4-07-2501

Leupolt, H.; Feja, St.
Mikro-Thermoelektrischer Spannungsge-
nerator
(Zwischenbericht)
ILK-B-4-07-2522

Feja, St.; Schenk, J.
Neue Stoff-/Absorptionssysteme für Re-
sorptionskälteanlagen
(Abschlussbericht)
ILK-B-4-07-2536

Krusche, J.
Nanotechnische Modifizierung von Wär-
meübertragerflächen
ILK-B-4-07-2537

Krusche, J.
Entwicklung einer leistungsfähigen und
umweltstabilen Generation von Druck-
transmittern für die Luftfahrt (LuftSens),
Teilthema: Entwicklung und Erprobung
anforderungsgerechter Prüftechnik für
Drucktransmitter im Anwendungsbereich
Luftfahrt
ILK-B-4-07-2547

Krusche, J.
Erfolgskontrollbericht - Entwicklung einer
leistungsfähigen und umweltstabilen Ge-
neration von Drucktrans-mittlern für die
Luftfahrt (LuftSens), Teilthema: Entwick-
lung und Erprobung anforderungsgerech-
ter Prüftechnik für Drucktransmitter im
Anwendungsbereich Luftfahrt
ILK-B-4-07-2555

Spörl, G.; Reinsch, H.
Sachbericht „Entwicklung von potentiellen
Trägermaterialien für das Tissue Enginee-
ring“
ILK-B-4-07-2478

Junk, M.
Ökoneutrale Inhibierung von LiBr-
Arbeitslösungen (Abschlussbericht)
ILK-B-4-07-2503

Leupolt, H.; Henschler, W.
Anpasswandler für solare Pumpensysteme
ILK-B-4-07-2534

Krusche, J.
Untersuchungen zur Korrosion nanotechnisch
modifizierter Schichten
ILK-B-4-07-2539

Braumöller, J.
Online-Dampferzeuger
ILK-B-4-07-2556

OAD/Technologietransfer

Albring, P.
Economic, energetic and ecological efficiency
of the combined power, heat and cold
generation
ILK-B-10-07-14

Sussek, W.
Literaturrecherche zum miniaturisierten,
dreidimensionalen Strömungssensor
ILK-B-91-07-07