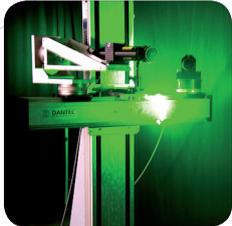




INNOVATIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

Forschungsbericht 2015



Forschung
Entwicklung
Technologietransfer
Versuchstechnik

Herausgeber: Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH

Stand: März 2016

INHALT



Vorwort	5
Kryotechnik und Tieftemperaturphysik	9
Kälte- und Wärmepumpentechnik	33
Luft- und Klimatechnik	49
Angewandte Werkstofftechnik	81
Angewandte Energietechnik	93
Normungsarbeit am ILK	104
Veranstaltungen	108
Verbände und Organisationen	117
Vorträge	118
Veröffentlichungen / Publikationen	126
Ausgewählte Fachberichte	130

VORWORT



Das Jahr 2015 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 25. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges, privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologieunternehmen. Mit einem interdisziplinären Team von 145 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von ca. 13 Mio. € ist das ILK eines der größten privaten Forschungseinrichtungen.

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

Im Jahr 2015 wurden 77 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben am ILK bearbeitet und eine Vielzahl von freifinanzierten Aufträgen für die Industrie durchgeführt.

Dabei sind am Institut für Luft- und Kältetechnik grundsätzlich alle Bereiche des Innovationszyklus, wie grundlagenorientierte und angewandte Forschung, produkt- und verfahrensorientierte Entwicklung einschließlich Prototyprealisierung sowie der Technologietransfer, insbesondere durch wissenschaftlich-technische Dienstleistungen und innovative Planung, Gegenstand der Arbeiten.

Der ILK-Forschungsbericht 2015 beinhaltet ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung sowie ausgewählte Beispiele von wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen des ILK.

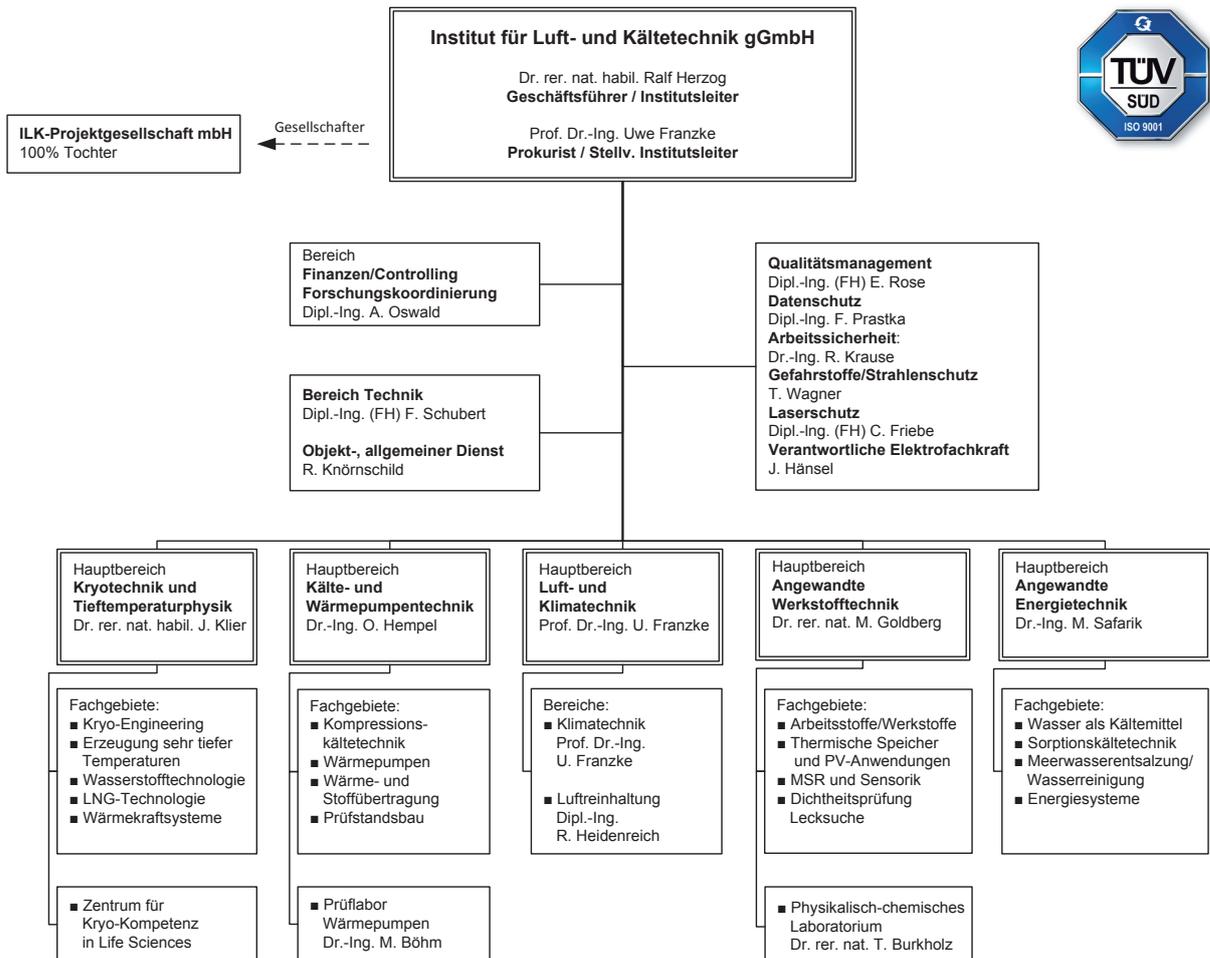
Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Partnern in Wirtschaft, Forschung und im öffentlichen Bereich für die gute Zusammenarbeit im Geschäftsjahr 2015 und bei den ILK-Mitarbeitern für die aktive Mitarbeit und das persönliche Engagement.

Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke

DAS INSTITUT

Organisation



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Vorlaufforschung: Magnetokalorische Kühlung	10
Vorlaufforschung: Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas	12
Final-Intermediate Bulk Freezingprozess	14
Modellgestützte Verarbeitung von Polymeren	16
Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger	18
Mobil einsetzbarer einstufiger Pulse-Tube-Kühler mit Hermetikverdichterantrieb	20
iQDS- Entwicklung eines intelligenten Quencherkennungssystems	22
Expansionsventil für kleine Masseströme	24
Rekuperative Kältemaschine	26
Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2015	
Helium Refrigerator Unit – Helium Verflüssiger zur Kühlung von Magneten	28
Beispiele für FuE-Dienstleistungen im Bereich tiefer Temperaturen 2015 - Biolabor	30

Vorlaufforschung: Magnetokalorische Kühlung

Das abgeschlossene Vorlaufforschungsprojekt hatte zum Ziel, die Eignung der magnetokalorischen Kühlung zur energieeffizienten Erzeugung von Haushalts- und Industriekälte zu erforschen. Betrachtet werden sollte der Einsatz dieser Kühltechnik im Leistungsbe- reich zwischen 1 W und 100 kW und für Tem- peraturen der kalten Seite zwischen +15 °C und -10 °C.

Die magnetokalorische Kälteerzeugung benö- tigt im Vergleich zur klassischen Kompressi- onstechnik deutlich mehr einzelne Komponen- ten; nur im gemeinsamen Funktionsverbund ist überhaupt eine Kälteerzeugung möglich. Deshalb lag besonderes Augenmerk bei der Bearbeitung des Projektes auf dem Ermitteln der wissenschaftlich-technischen Grenzen je- der einzelnen Funktionsgruppe und der sich daraus ergebenden Limitierungen und Rand- bedingungen, welche beim Bau eines funkti- onsfähigen magnetokalorischen Kühlers zu beachten sind.

Das häufig in magnetokalorischen Aggrega- ten als aktiver Regenerator verwendete Ele- ment Gadolinium kam im Versuchsgerät zur Verwendung. Es ist zwar günstig hinsichtlich Beschaffung, Umformbarkeit und Einsetz- barkeit, weist jedoch nur einen äußerst be- schränkten Temperaturbereich auf, in wel- chem sich der magnetokalorische Effekt zeigt. Zur Erzeugung höherer Temperaturdif- ferenzen zwischen warmer und kalter Seite ist somit magnetokalorisches Material wie z. B. La-Fe-Co-Si zu verwenden, welches durch geschickte Schichtung längs der Rege- neratorlänge eine gleitende Einsatztempera- tur aufweist. Bei der Materialauswahl muss je- doch gleichzeitig bedacht werden, dass es die physikalischen Eigenschaften eines Regene- rators bestmöglich wiedergeben muss (hohe Wärmeleitfähigkeit, geringe Wärmekapazität, große Oberfläche).

Als Wärmetransferfluid wurde im Versuchs- gerät Helium unter hohem Druck benutzt, da es eine äußerst geringe Viskosität aufweist und somit Strömungswiderstände bei höheren Betriebsfrequenzen des Kühlers minimiert.

Bei der Erprobung musste jedoch festgestellt werden, dass keine ausreichend hohe Wär- mekapazität im porösen Volumen des Rege- nerators erzielt werden konnte. Im geplanten Funktionsmuster wird ein Medium mit einer höheren volumetrischen Wärmekapazität verwendet.

Der hohen Arbeitsfrequenz des Versuchsge- räts untergeordnet war die Verwendung eines Elektromagneten zur Erzeugung der magne- tischen Flussdichte im aktiven magnetokalorischen Regenerator. Die damit erreichbaren magnetischen Spannungen sind volumetrisch gesehen jedoch geringer als sie mit Perma- nentmagneten erzeugt werden können. Wei- terhin wurde am Versuchsgerät festgestellt, dass in den magnetischen Flussführungs- bauteilen trotz Verwendung von weichmag- netischem Verbundmaterial unerwünschte Wirbelstrom-Verluste auftraten. Diese Verlus- te werden im zukünftigen Funktionsmuster konstruktiv unterbunden.

Am Versuchsgerät wurde bei rund 30 Hz Be- triebsfrequenz ein Maximum der Temperatur- differenz zwischen warmer und kalter Seite ermittelt. Bei tieferen Frequenzen dominierten parasitäre Wärmeströme die Funktion des Kühlers, für höhere Frequenzen ließen die Messwerte auf eine unzureichende Funktion des (aktiven magnetokalorischen) Regene- rators schließen. Da mit steigender Arbeits- frequenz die Wirbelstromverluste quadratisch und die Strömungsverluste sogar kubisch an- steigen während die Zeit für den Wärmeüber- gang im Regenerator linear abnimmt, wird zukünftig bei der Auslegung eines magne- tokalorischen Kühlers die geeignete niedrigere Arbeitsfrequenz gewählt.

Sämtliche erarbeiteten Erkenntnisse und Verbesserungspunkte sollen im Anschluss an dieses Vorlaufforschungsvorhaben im Rahmen eines marktvorbereitenden Ent- wicklungsprojektes gebündelt werden, um die Funktionsmusterreife zu erreichen und das Know-how für die entsprechenden Industrie- partner zur Verfügung stellen zu können.

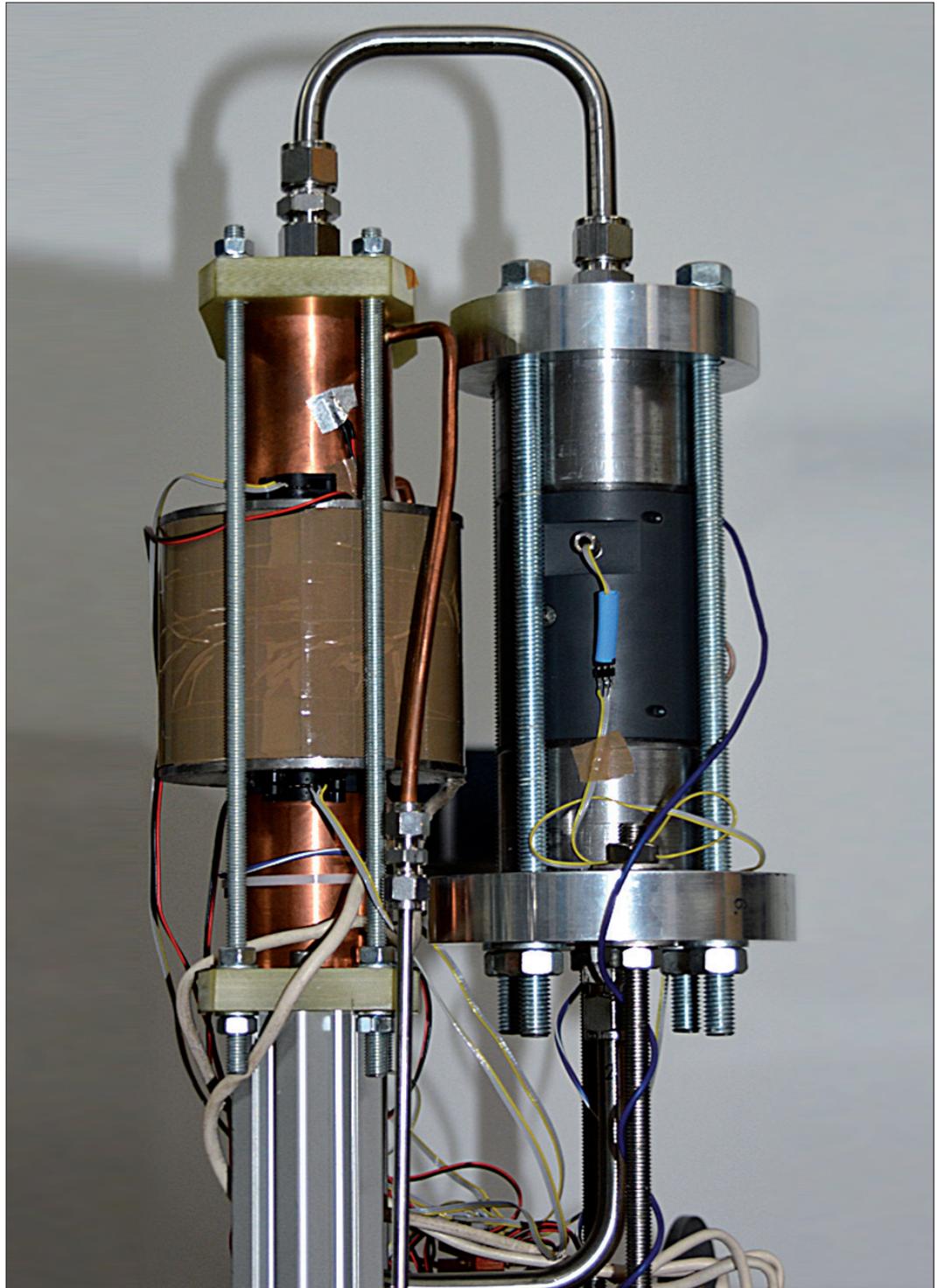


Abbildung 1: Magnetokalorisches Versuchsgerät des ILK Dresden

Vorlaufforschung: Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas

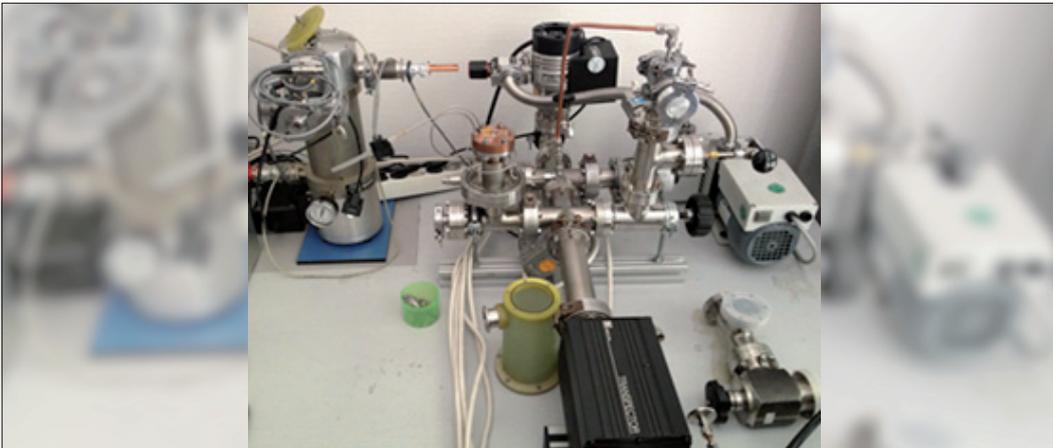


Abbildung 1: Versuchsstand zum Test von Membranproben

Helium ist in zahlreichen Anwendungsgebieten in den verschiedensten Industrie- und Forschungszweigen unentbehrlich. Flüssiges Helium wird zum Beispiel als Kältemittel in Tieftemperaturanwendungen, wie der Magnetresonanztomographie, eingesetzt. Natürliche Heliumvorkommen finden sich in der Erdatmosphäre und in Erdgas. Wegen der sehr geringen Konzentration in Luft (nur ca. 0,0005 %) wird Helium primär aus Erdgas gewonnen. Allerdings ist in den letzten Jahren weltweit eine extreme Heliumknappheit aufgetreten, welche sich in teilweise akuten Lieferengpässen und in einem starken Preisanstieg geäußert hat. Vor diesem Hintergrund sollen innerhalb des hier beschriebenen FuE-Projektes am ILK Dresden neue Ansätze bzw. innovative Prozesse zur Heliumabscheidung aus Erdgas untersucht werden. Insbesondere sollen Prozesse betrachtet werden, die sich dazu eignen, hochreines Helium auch aus Erdgas mit sehr geringen Heliumkonzentrationen effizient gewinnen zu können.

Ein Forschungsschwerpunkt dieses Vorlufforschungsvorhabens ist die Untersuchung neuartiger Tieftemperaturmembranprozesse. Motivation hierbei ist, dass sich durch das Absenken der Temperatur die Selektivität von Membranprozessen erhöhen lässt

und auf diese Weise die Effizienz des Abscheidvorgangs gesteigert werden kann. Um ein geeignetes Membranmaterial auszuwählen, werden Versuche durchgeführt, um verschiedene Materialien zu testen. Untersucht werden hierbei die Temperaturabhängigkeit der Permeationsraten von Methan und Helium und die Materialeigenschaften des Membranmaterials bei tiefen Temperaturen, bis hinab zu 77 K. Als erster Membrantyp werden Polyimid (Matrimid) Membranen untersucht. Der Versuchsstand zum Test der Membranproben ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Permeationsvorrichtung wird mit Hilfe eines Kryokühlers gekühlt. Für sehr kleine Permeationsraten und Druckdifferenzen geschieht die Detektion der durch das Membranmaterial permeierenden Gase mit einem Massenspektrometer, ansonsten geschieht die Gasanalyse mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor und Massendurchflussmesser.

Als nächster Membrantyp werden Kohlenstoffmembranen vom Fraunhofer IKTS untersucht. Diese Membranen bestehen aus einem keramischen Rohr, welches innenseitig mit Kohlenstoff beschichtet ist. Diese Membranen werden in ein vom ILK Dresden konstruierten Modul eingepasst. Die Kühlung des Feedgasstromes bzw. des

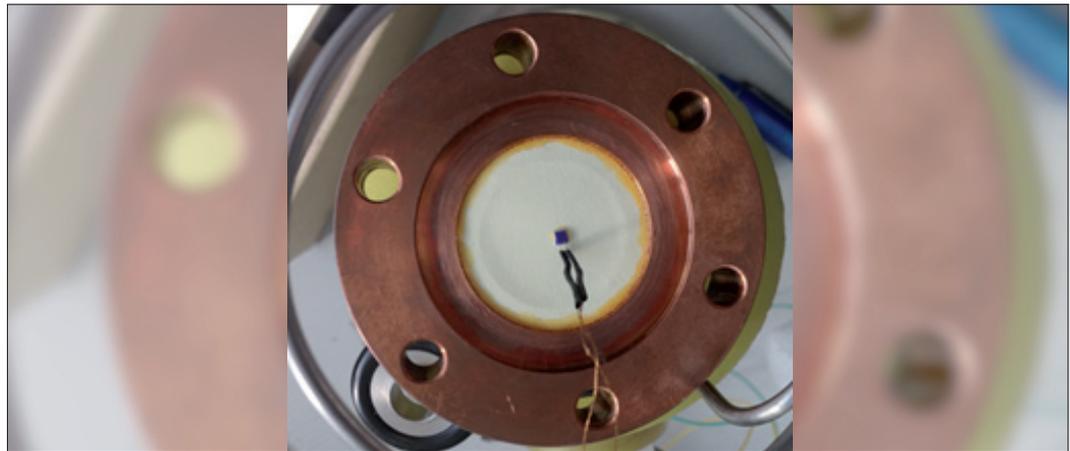


Abbildung 2: Kühlvorrichtung mit Matrimid-Membranprobe und Temperatursensor

Membranmoduls geschieht mittels Wärmetauschern, welche in das Modul integriert werden. Für weitere Versuche wird ein Membranmodul vom Helmholtz Zentrum Geesthacht verwendet, welches aus einzelnen auswechselbaren Membrantaschen aufgebaut ist. Vorteil dieses Moduls ist die Möglichkeit, die Membrantaschen auswechseln zu können. Hierdurch wird es ermöglicht, verschiedene Membranmaterialien zu untersuchen, bzw. Wärmetauscher in das Modul zu integrieren.

Im Anschluss an den Tieftemperaturmembranprozess sollen Kondensations- und Adsorptionsprozesse eingesetzt werden, um das Helium weiter anzureichern und schlussendlich hochreines Helium mit einer Reinheit von 99,999 % herzustellen. Die Kondensations- und Adsorptionsprozesse werden im Rahmen dieses Projektes durch den Einsatz von Wirbelrohren optimiert. Dies stellt den zweiten Forschungsschwerpunkt des Projektes dar. Zu diesem Zweck finden in Zusammenarbeit mit Cryoin Engineering Ltd. (Ukraine) die Auslegung, die Herstellung und der experimentelle Test von Wirbelrohren statt. Die Wirbelrohrtechnologie soll eingesetzt werden, um LN2 auf bis zu 70 K zu unterkühlen. Die Experimente hierzu werden mit Helium als Prozessgas bei

einem Eingangsdruck von 17 bar und einer Eingangstemperatur von 78 K durchgeführt. Darüber hinaus sollen Wirbelrohre zur Kühlung des Roherdgases eingesetzt werden. Hierzu werden Experimente mit folgenden Prozessparametern durchgeführt: 40 bar Eingangsdruck und 273 – 293 K Eingangstemperatur. Es wird erwartet, dass sich auf diese Weise das Roherdgas auf eine Ausgangstemperatur von 233 – 243 K kühlen lässt, bei einem Druckabfall von ca. 30 bar. Die gewonnenen Erkenntnisse werden eine Basis für zukünftige Projekte bilden. Dazu soll im Anschluss an dieses Vorlauforschungsvorhaben im Rahmen von marktvorbereitenden Entwicklungsprojekten eine Funktionsmusterreife für ein Gesamtsystem zur Gewinnung von hochreinem Helium aus Erdgas mit geringem Heliumgehalt erreicht werden. Das Know-how soll dann für die entsprechenden Industriepartner zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin ist beabsichtigt, die Wirbelrohrtechnologie auch zur Effizienzsteigerung von Tieftemperaturanlagen einzusetzen. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für die gewonnenen Erkenntnisse ist die Entwicklung einer Heliumreinigungsanlage zur Wiederverwertung von verunreinigtem Helium.

Final-Intermediate Bulk Freezingprozess



Ziel des im September 2015 abgeschlossenen Projektes war die Entwicklung eines produktspezifischen Charakterisierungs- und Optimierungsverfahrens für Final¹/ Intermediate² Bulk Freezingprozesse. Bewertungskriterium stellt dabei eine höhere verbleibende relative Produktaktivität dar. Dabei wurden innovative Verfahren entwickelt, die sowohl bei der Produktion von technischen Enzymen als auch bei den Herstellungsprozessen von biopharmazeutischen Proteinen eingesetzt werden können. Der vom ILK Dresden entwickelte bilaterale Ansatz³ ermöglicht eine ressourcensparende und effiziente Bewertung des Produktverlustes durch einen Gefriervorgang. So kann ohne zusätzlichen experimentellen Aufwand die optimale Prozessführung für verschiedene Produkte ermittelt werden.

Durch die entwickelten analytischen Methoden zur Beprobung, Probenaufbereitung und quantitativen Analyse der Medienbestandteile wird eine umfassende Gefrierprozessanalyse für unterschiedliche Gefrierstrategien sowie eine Optimierung von Freezingprozessen zur Stabilisierung von pharmazeutischen Wirkstofflösungen ermöglicht. Die Bewertung der Produktqualität kann dabei wahlweise durch eine in vitro Stabilitätsanalyse oder durch eine Analyse der Protein-Agglomeration erfolgen. Es konnte in beiden Fällen der Nachweis erbracht werden, dass der vom ILK Dresden entwickelte bilaterale Ansatz für eine Produktverlustermittlung zulässig ist. Weiterhin wurde mit der Simulation des Temperaturverlaufes (Abbildung 1) und der

räumlichen Verteilung des pH-Wertes im Gefriergut die Grundlage für ein rein simulatives Optimierungsverfahren geschaffen. Für die Simulation des Gefrierprozesses einer Produktlösung müssen die bestehenden numerischen Modelle für den Temperaturverlauf noch optimiert und mit einer Berechnung des Erstarrungsvorgangs ergänzt werden. Diese Zielstellung wird zurzeit am ILK Dresden durchgeführt. Damit sollen sich zukünftig auch Simulationen von verschiedenen Einfriersystemen durchführen und anhand einer Produktverlustermittlung die optimale Prozessführung ermitteln lassen.

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

¹Hochpotente Lösung aus Biopharmazeutika und Puffersystem

²Produktlösung aus dem biotechnologischen Fermentationsprozess nach einer dreifachen Diafiltration

³„Verfahren zum Aufstellen eines Schädigungsmodells sowie Verfahren zur Ermittlung der erwarteten Qualitätsminderung einer wässrigen Proteinlösung durch Gefrierprozesse“, Erfinder: Holger R., Heidingsfelder J., Spadiut O., Herwig Chr., Aktenzeichen: DE 10 2014 109 570 A1

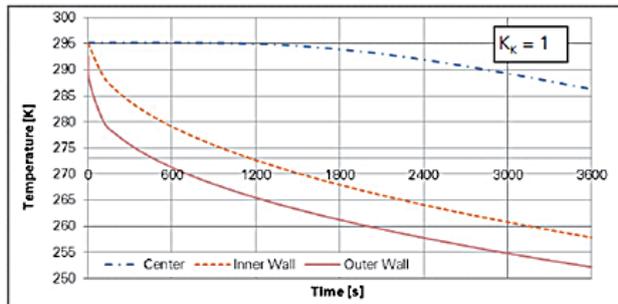


Abbildung 1: Zeitliche Temperaturverläufe nach der analytischen Lösung für die Temperaturen im Zentrum, an der Innenwand und an der Außenwand für reine Wärmeleitung in der wässrigen Lösung,...

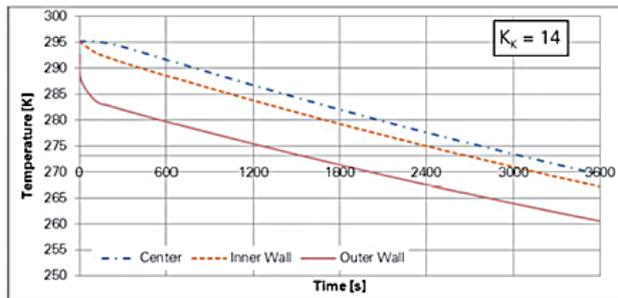


Abbildung 2: ... mit Korrektur für die Konvektion in der Lösung...

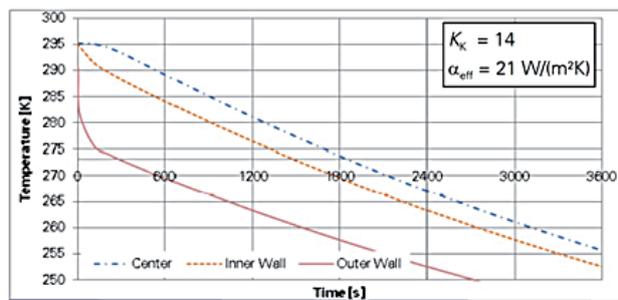


Abbildung 3: ... und mit zusätzlicher Berücksichtigung der Wärmestrahlung an der Außenwand.

Modellgestützte Verarbeitung von Polymeren

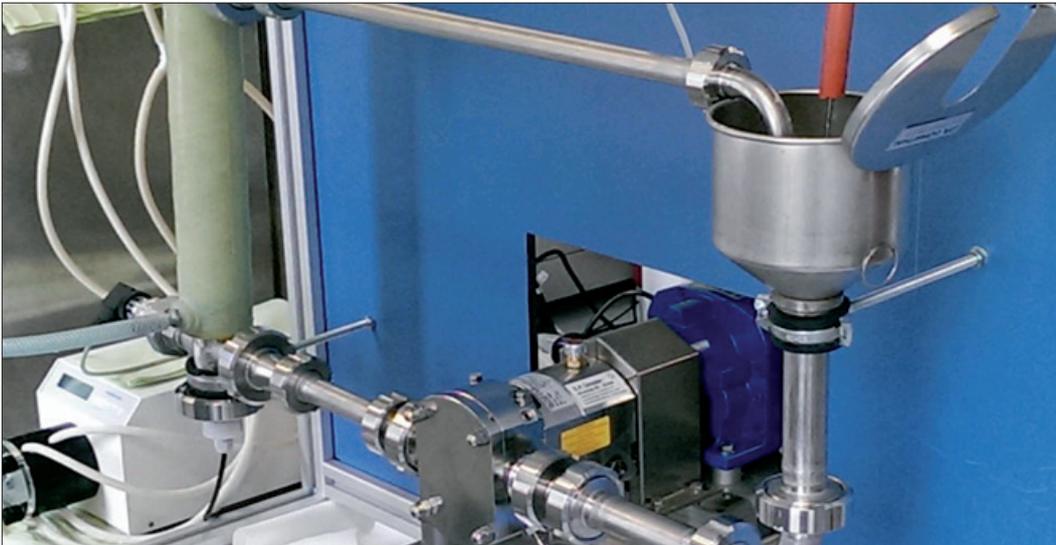


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Vernetzung suspendierten Faserkollagens mit hochenergetischer UV-C Strahlung im Kreislaufverfahren

Die Förder- und Verarbeitungsfähigkeit von Faserkollagensuspensionen aus Tierhäuten in industriellen Gefriertrocknungsprozessen unterliegt starken Schwankungen. Diese resultieren zum einen aus einer schwankenden Rohstoffqualität und zum anderen aus der unterschiedlichen Beanspruchung des Rohstoffs im mehrstufigen chemischen und mechanischen Gewinnungsprozess der Kollagenfasern aus dem tierischen Gewebe. Der industrielle Verarbeiter hat wenig Einfluss auf die natürliche Rohstoffqualität und deren Auswirkungen auf die Eigenschaften der daraus gewonnenen Fasersuspension. Im FuE-Projekt „Modellgestützte Verarbeitung von Biopolymeren“ soll ein Verfahren entwickelt werden, welches unabhängig von den Ausgangseigenschaften eine gleichbleibende Verarbeitungsfähigkeit der Fasersuspension und eine gleichbleibende Produktqualität der daraus hergestellten Biomaterialien ermöglichen soll. Das Verfahren zielt darauf ab, unvermeidbare Qualitätsschwankungen der Fasersuspension hinzunehmen, anhand robuster Materialkennwerte zu analysieren und ihre negativen Prozesseinflüsse durch einfache und

kostengünstige technische Maßnahmen gezielt zu kompensieren.

Als wichtigster Parameter der Rohstoffqualität wurde der native Quervernetzungsgrad des Kollagens ermittelt, der in Abhängigkeit von Fütterungs- und Umwelteinflüssen großen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und die chemische und mechanische Stabilität des Gewebes maßgeblich beeinflusst. 2015 wurde die natürliche Quervernetzung verschiedener Kollagenchargen chemisch aufgeklärt. Nach langer Entwicklungszeit konnte eine Anlage zum Nachstellen der natürlichen Quervernetzung von Fasersuspensionen in Betrieb genommen werden (siehe Abb. 1). Diese dient der Erzeugung von Kollagensuspensionen mit definierten Vernetzungsgraden als eine notwendige Voraussetzung für die quantitative Aufklärung des Einflusses der Quervernetzung auf die Verarbeitungsfähigkeit.

Neben möglichen direkten Auswirkungen hat die schwankende chemische und mechanische Beständigkeit des Rohstoffes bei der Fasergewinnung einen großen Einfluss auf die thermische und chemische Degrada-

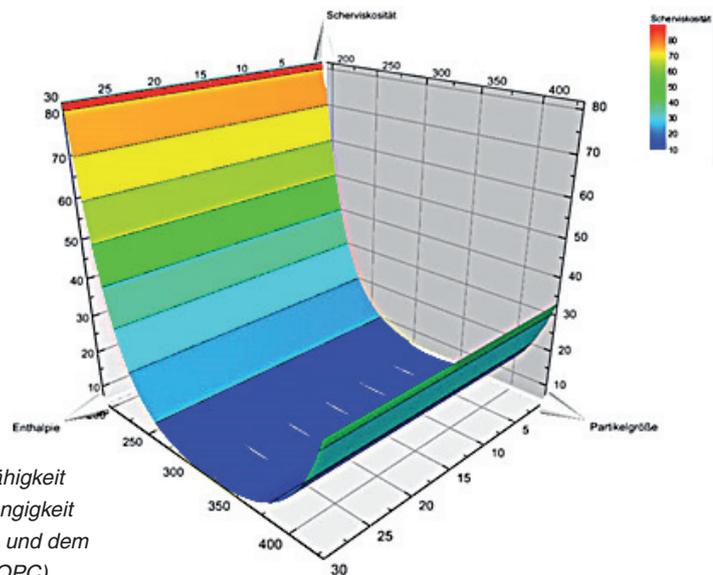


Abbildung 2:
 Statistisches Modell für die Fließfähigkeit
 einer Kollagensuspension in Abhängigkeit
 von ihrer Denaturierungsenthalpie und dem
 Median der Fasergröße (X50,3, EQPC)

dation des Kollagens im mehrstufigen Reinigungs- und Mahlprozess und beeinflusst die Form- und Größenverteilung des Faserkollektives der aufbereiteten Faserkollagensuspension in erheblicher Weise. Zur Aufklärung dieser Einflüsse wurden mehrere Chargen industriell aufbereiteter Faserkollagene hinsichtlich ihres Denaturierungsverhaltens und ihrer Partikeleigenschaften untersucht. Durch stufenweises Aufmahlen des Kollagens mit verschiedenen Mahlverfahren und einer schrittweisen thermischen Schädigung wurde versucht, Denaturierungsgrad und verschiedene Parameter des Partikelsystems quantitativ zu variieren. Die Einflüsse auf die Verarbeitungsfähigkeit der resultierenden Kollagensuspensionen wurden durch vergleichende rheometrische Untersuchungen und Verarbeitungsversuche in einem Pumpenkreislauf mit Möglichkeit zur Simulation verschiedener Leitungsdurchmesser und Fülldüsenquerschnitte aufgeklärt.

Als potentielle Regelgrößen zur Kompensation der schwankenden Verarbeitungsfähigkeit wurden Kollagengehalt, Salzgehalt und pH-Wert analysiert. Zur quantitativen

Bestimmung ihrer Einflüsse wurden diese Parameter durch stufenweise Zugabe von Wasser, Salzen und Säuren während der Suspensionseinstellung variiert und rheometrisch ausgewertet. Im Projektverlauf wurde außerdem die Verarbeitungstemperatur bei der Einstellung der Prozesssuspension als zusätzliche Regelgröße identifiziert und in die Untersuchungen einbezogen. Alle effektiven Regelgrößen wurden gemeinsam mit den quantitativ einstellbaren Störgrößen im Rahmen eines statistischen Versuchsplans auf ihre Verarbeitungseinflüsse untersucht. Das Ziel der multivariaten Analyse ist die Ableitung eines statistischen Prozessmodells. Das Modell soll auf Basis der analytisch bestimmten Denaturierungsenthalpie und des Medianwertes der Fasergröße die Verarbeitungseigenschaften von Kollagensuspensionen ermitteln (siehe Abb. 2) und die benötigten Zusätze zur Einstellung der optimalen Förder- und Fülleigenschaften berechnen. Ziel des FuE-Vorhabens ist es, für Industriepartner ein neuartiges Verfahren zur Steigerung der Produktionseffizienz, Produktausbeute und Produktqualität zur Verfügung zu stellen.

Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger

Ziel des FuE-Vorhabens war die Entwicklung einer Maschine zur arbeitsleistenden Entspannung eines zweiphasigen Arbeitsmediums für die Anwendung in Verflüssigungs- und Kaltdampfprozessen der Tieftemperaturtechnik in Form einer Scheibenläuferturbine. Ein Funktionsmuster in Form eines kompakten und effizienten Verflüssigers für permanente Gase wie Luft, Sauerstoff, Stickstoff oder Argon, sollte als Demonstrator für die angestrebte Technologie realisiert werden. Nachdem zu Beginn des FuE-Projektes mit Hilfe von Vorversuchen die Basisdaten der Auslegungsrechnungen erarbeitet werden konnten, wurde über den Aufbau und die Untersuchung eines ersten Versuchsmusters die Mess- und Anlagentechnik validiert und entsprechend der ermittelten und für den finalen Prototypen erwarteten Leistungsparameter beschafft. Wichtig für die Charakterisierung der Turbineneigenschaften war vor allem die Ermittlung der maximal zu erwartenden Drehzahl, der Volumenströme bei unterschiedlichen Druckdifferenzen und das resultierende Drehmomente der verschiedenen Turbinenkonfigurationen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt.

Wie zu Beginn des Artikels dargestellt, konnte die Entwicklung der Entspannungsturbine über die letzten Monate konsequent vorangetrieben werden. Es wurde ein flexibel an die Versuchsparameter anpassbares Funktionsmuster aufgebaut und verschiedene Turbinenausführungen charakterisiert.

Aufgrund der geringen Leistungsanforderungen des Turbinensystems bei gleichzeitig sehr großen Drehzahlen (bis zu 20.000 min⁻¹) wurden spezielle Messsysteme und eine an die Anforderungen angepasste Anlagenperipherie installiert. Über die Anordnung diverser Temperatur- und Drucksensoren konnten die Prozessparameter genau ausgewertet und so die Turbinenbauteile optimiert werden. Die für die Untersuchun-

gen aufgebaute Versuchstechnik ist in Abbildung 2 zu sehen. Der angestrebte Anlagenwirkungsgrad von etwa 20 % soll über die weitere Anpassung der Spaltabstände, der Plattenanzahl und der Plattendicke realisiert werden. Ziel ist es, über einen höheren Durchsatz den Druckverlust über die Turbine von derzeit 10 bar auf ca. 16 bar und damit den Wirkungsgrad von derzeit 10 % weiter zu erhöhen. Damit sollen sich signifikante Wirkungsgradsteigerungen für Kälteanlagen ergeben, die bisher nur mit Drosselventilen betrieben werden.

Die Vermarktung der Entwicklungsergebnisse des FuE-Projektes sollen über die Weiterentwicklung des Funktionsmusters zum Prototyp eines konkreten Industrieprojektes und dessen Anwendung für weitere relevante Prozessparameter realisiert werden. So können Standzeiten und Wartungsparameter ermittelt und die zukünftigen Entwicklungsschritte abgeleitet werden.

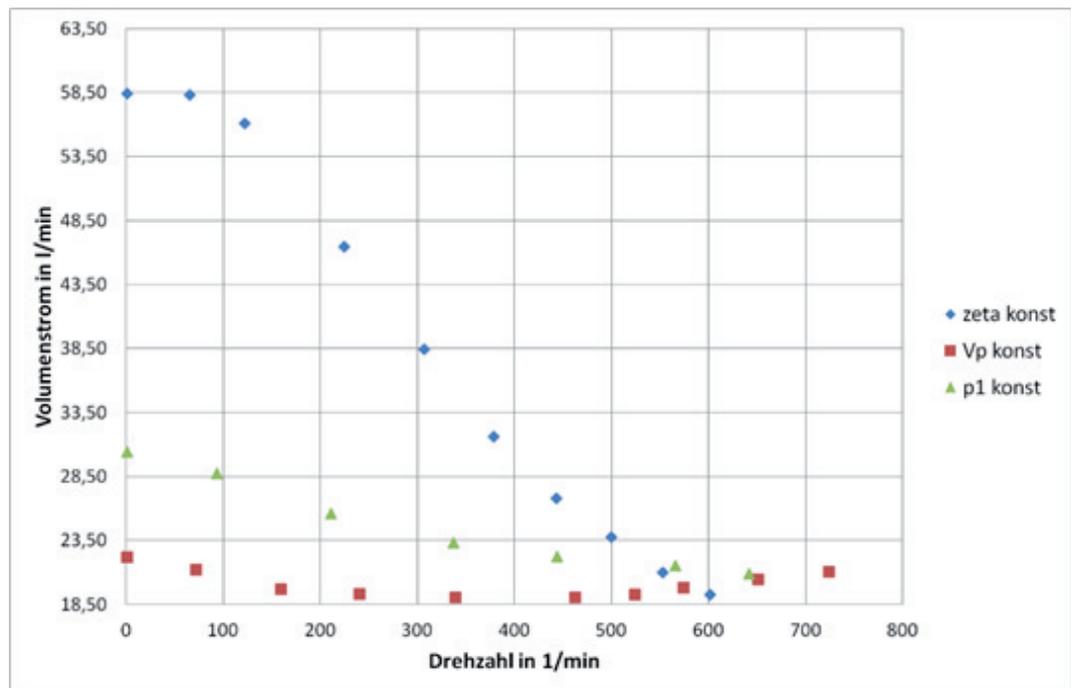


Abbildung 1: Volumenstrom-Drehzahl-Verlauf



Abbildung 2: Versuchssystem zur Optimierung des Turbinenaufbaus; links: Turbine mit Drehmomentsensor; rechts: Turbinensystem mit Messtechnik

Mobil einsetzbarer einstufiger Pulse-Tube-Kühler mit Hermetikverdichterantrieb

Mit den derzeit existierenden Kfz-Wasserstoffspeichertechnologien, dem Hochdruckgasspeicher¹ oder dem tiefkalten Flüssigkeitstank² lassen sich bei gleichem Tankvolumen gegenüber fossilen Brennstoffen wie Benzin oder Diesel nur geringe Reichweiten erzielen. Mit der am ILK Dresden entwickelten Technologie³, der Speicherung von Wasserstoff im überkritischen Zustand, z. B. bei einer Temperatur von 50 K und einem Druck von über 500 bar, kann die Speicherdichte und damit auch die Reichweite eines solchen Fahrzeuges gegenüber der Speicherung bei gleichem Druck und Raumtemperatur mehr als verdoppelt werden.

Im Rahmen des FuE-Projektes wurde ein kompakter und mobil einsetzbarer Pulse-Tube-Kühler für diesen speziellen Anwendungsfall entwickelt. Angestrebt wurde dabei eine Kälteleistung von 5 W bei 50 K mit einer elektrischen Antriebsleistung des Verdichters von weniger als 250 W. Hierfür wurde ein einstufiges Pulse-Tube-Konzept mit einer 4-Ventil-Steuerung einschließlich Mikroprozessor-basierter Steuerung entwickelt, praktisch umgesetzt und getestet. Der gesamte Aufbau, Verdichter, Ventile und Elektronik sind für den Betrieb mit 24 V Gleichspannung realisiert worden. Als Kältemittel wird gasförmiges Helium verwendet.

Zu Projektbeginn wurden sechs verschiedene Hermetikverdichter auf ihre Helium-Tauglichkeit qualifiziert. Bauartbedingt arbeiten diese Verdichter mit einer Ölschmierung. Um zu verhindern, dass Ölanteile in den Kältekreis gelangen, wurde ebenfalls mit kommerziell erhältlichen Abscheidern aus der Kälte- und Klimatechnik eine zuverlässige Ölabscheidung realisiert und erfolgreich erprobt.

Der Kaltteil, bestehend aus dem speziell für die Anwendung ausgelegten Pulse-Tube und der Ventileinheit (Abbildung 1). Alle Komponenten wurden einzeln getestet, op-

timiert und anschließend in den Versuchsstand (Abbildung 2) integriert.

Bisher konnten umfangreiche Erkenntnisse und Ergebnisse zu der Helium-Eignung der Serien-Hermetikverdichter aus der Haushaltskältetechnik, zu der Ölabscheidung, zu dem dynamischen Schaltverhalten der einzelnen Ventile und zu deren Zusammenspiel in der Ventileinheit, der mikroprozessorbasierten Steuerung und dem funktionstüchtigen Versuchsstand gewonnen werden.

Die vollständige Projektdokumentation einschließlich der detaillierten Auswertung der Ergebnisse befindet sich aktuell in Bearbeitung.

¹DYNETEK Druckbehälter, <http://www.dynetek.de/>

²LINDE Patent, <http://www.google.com/patents/DE10052856A1?cl=de>

³ILK-Patent DE 10 2009 020 138.6 und ILK-Patentanmeldung EP 10726881.5

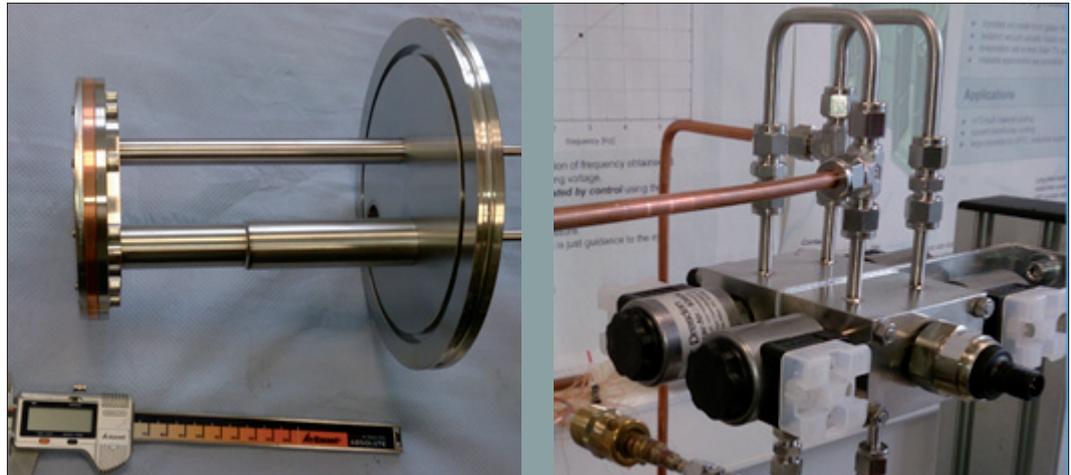


Abbildung 1: links, Pulse-Tube und rechts, die Ventileinheit, bestehend aus vier Magnetventilen und Drucksensoren

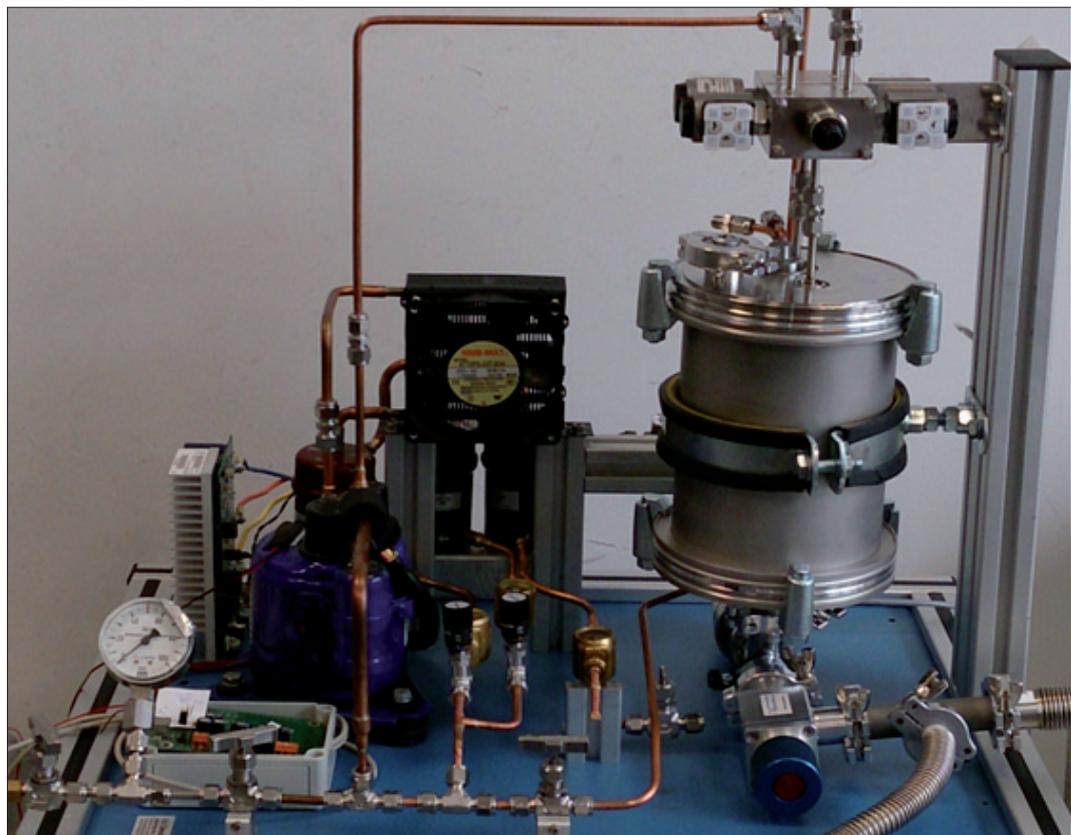


Abbildung 2: Versuchstand, bestehend aus Rollkolbenverdichter (links unten, blau), dem Kühler, der Ölabscheidung (vom Kühler verdeckt) und dem Kaltteil (rechts, Pulse-Tube im Rezipient mit obenliegender Ventileinheit)

iQDS- Entwicklung eines intelligenten Quencherkennungssystems

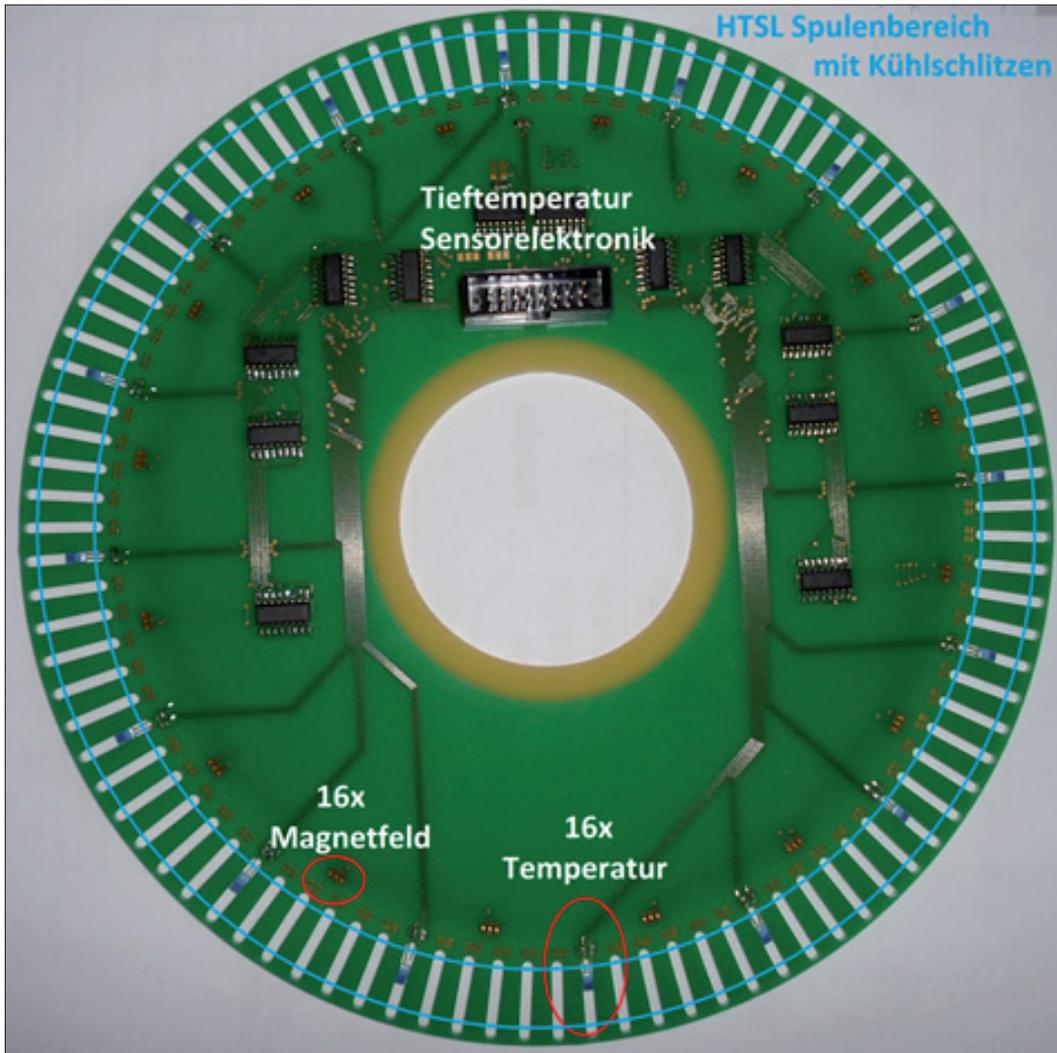


Abbildung 1: Spulenträgerplatte (eine Seite) mit Tieftemperatur-geeigneter Elektronik für die Erfassung von Temperatur- und Magnetfeldverteilung mit jeweils 16 Sensoren pro Seite. Die Spule befindet sich nach dem Zusammenbau im Bereich der Kühlschlitze.

Anwendungen von Supraleitern gewinnen zunehmend an technischer und wirtschaftlicher Bedeutung, beispielsweise für Komponenten der Hochenergietechnik. Aufgrund der vergleichsweise einfachen Kühlung gilt dies insbesondere für Hochtemperatursupraleiter (HTSL), welche teilweise bereits bei der Temperatur von flüssigem Stickstoff eingesetzt werden können. Neben der Temperatur ist das

Magnetfeld eine weitere entscheidende Einflussgröße, welche wegen des Stromflusses im Leiter die Anwendung stark beeinflusst. Werden kritische Werte des HTSL-Materials für Temperatur oder Magnetfeld überschritten, so kommt es zum Verlust der Supraleitung, dem sogenannten Quench, der mit einer Erwärmung des Leiters verbunden ist. Wegen seiner selbstverstärkenden Wirkung ist dieser

Effekt mit einer starken Verdampfung des Kühlmittels und einer potentiellen Schädigung der Anwendung verbunden. Da eine vollständige Homogenität des HTSL-Materials nicht gewährleistet werden kann und somit das Quenchverhalten durch Defekte im Supraleiter bestimmt wird, werden technische Anwendungen meist deutlich unterhalb der Stromstärken betrieben, welche für das Material charakteristisch sind. Damit verbunden ist neben höherem Materialverbrauch oft auch eine Einschränkung für die Anwendung, beispielsweise aufgrund von limitiertem Bauraum.

Ziel des seit September 2014 laufenden Vorhabens ist die Entwicklung eines intelligenten Systems zur Vorhersage und Vermeidung sowie Detektion von Quenches in Supraleitern (intelligentes **Q**uench-**D**etektions-**S**ystem – iQDS), wodurch die zuvor beschriebenen Nachteile reduziert werden sollen. Es soll dabei die Notabschaltung der Supraleiter-Komponenten und, durch die Quenchvermeidung, die damit verbundene Degradation der Supraleiter vermieden werden. Stattdessen erfolgt eine kontrollierte Reduzierung der Leistung des Systems bei einer beidseitigen Interaktion zwischen der Ansteuer Elektronik des HTSL und des iQDS. Arbeitsschwerpunkt ist dabei die zuverlässige Detektion von Temperaturverteilung, Magnetfeldverteilung und Strom im Supraleiter.

Wesentliche Arbeitsinhalte des FuE-Projektes sind die Entwicklung und Umsetzung einer verteilten Temperaturmessung für HTSL, die Verbesserung der Ortsauflösung und der Genauigkeit, Messungen im Wechselmagnetfeld, die Erfassung der magnetischen Gesamtbelastung des Supraleiters als maßgebender Faktor der Stromtragfähigkeit sowie die Verbesserung der Störimmunität bei der Quench-

spannungsmessung im Wechselmagnetfeld. Weiterhin erfolgen die Kompensation von äußeren Einflüssen für eine schnelle und sichere Erkennung, die Überwachung und Regelung der Kühlleistung (höhere Energieeffizienz) sowie eine komplette Systemüberwachung, d. h. die Erfassung aller Parameter und Zustände.

Als Beispiel für die Komponenten des iQDS ist in Abbildung 1 eine Einheit für die Messung von Temperaturen und Magnetfeldern zu sehen. Diese ermöglicht es, unter Tieftemperaturbedingungen jeweils 16 Temperatur- und Magnetfeldsensoren pro Seite auszulesen. Generell ist die Elektronikentwicklung für kryogene Anwendungen ein wesentlicher Inhalt dieses Vorhabens.

Für die Versuche mit Supraleitern wurde ein spezieller Kryostat konstruiert, in den die Spulen, die Kühlung, die Sensoren und die Stromzuführungen modular eingebaut werden können. Des Weiteren besitzt der Kryostat eine separate, thermisch isolierte Kernöffnung, in der Messungen durchgeführt werden können. Die Kühlung soll durch flüssigen Stickstoff erfolgen. Durch die Druckregelung einer zugehörigen Vakuumpumpe ist es möglich, die Temperatur zwischen 65 K (180 mbar) und 88 K (3 bar) einzustellen.

Expansionsventil für kleine Masseströme

Ziel des FuE-Vorhabens ist die Entwicklung eines Expansionsventils im Kälteleistungsbereich unter 200 W. Die Ventilentwicklung soll zur Temperierung von Medien und Proben in der Tieftemperaturtechnik und zur Untersuchung von industriellen Anwendungen im Labormaßstab dienen.

Das Projekt erfolgt in Zusammenarbeit mit der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V., Villingen-Schwenningen und einem Industriepartner, mit denen die gemeinsame Entwicklung und eine spätere Vermarktung durchgeführt werden soll.

Zu Beginn des Projektes wurden eine Vielzahl möglicher Ausführungen gegenübergestellt und bewertet, die vielversprechendsten Ventil- und Antriebskombinationen werden in einem eigens dafür aufgebauten Versuchsstand analysiert und charakterisiert. Es wurden Materialien recherchiert, die im Kontakt mit den eingesetzten Kältemitteln und Ölen beständig, gut zu bearbeiten und kostengünstig sind. Dabei konnten zahlreiche Kunststoffe gefunden werden, die, falls für kritische Bauteile Metalle verwendet werden müssen, auch miteinander verbunden werden können.

Als ein weiterer wichtiger Untersuchungsschritt wurden verfügbare Öle, Kältemittel und deren Gemische aus laufenden und neuen Kältekreisläufen entnommen und hinsichtlich der zirkulierenden Stoff- und Partikelkonzentrationen untersucht. Daneben wurde die Filterleistung unterschiedlicher Filtertrockner für den benötigten Leistungsbereich untersucht.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die insgesamt sehr sauberen Kältemittel und Öle eine gewisse Anzahl an Partikeln größer 100 µm beinhalten, die aber zuverlässig von den Filtertrocknern zurückgehalten werden können.

Für die Ventiluntersuchungen wird ein Versuchsstand mit einem handelsüblichen, drehzahlgeregelten Kältekompressor, einem luftgekühlten Verflüssiger sowie einem Kältebad zur genauen Temperierung der Kältemittelflüssigkeit vor dem Expansionsventil aufgebaut.

Ziel der Ventiluntersuchungen ist es, die Regelgenauigkeit sowie die Regel- und Reproduzierbarkeit der Ventil- und Antriebsvarianten zu prüfen, um daraus ein funktionierendes Ventilsystem ableiten zu können.

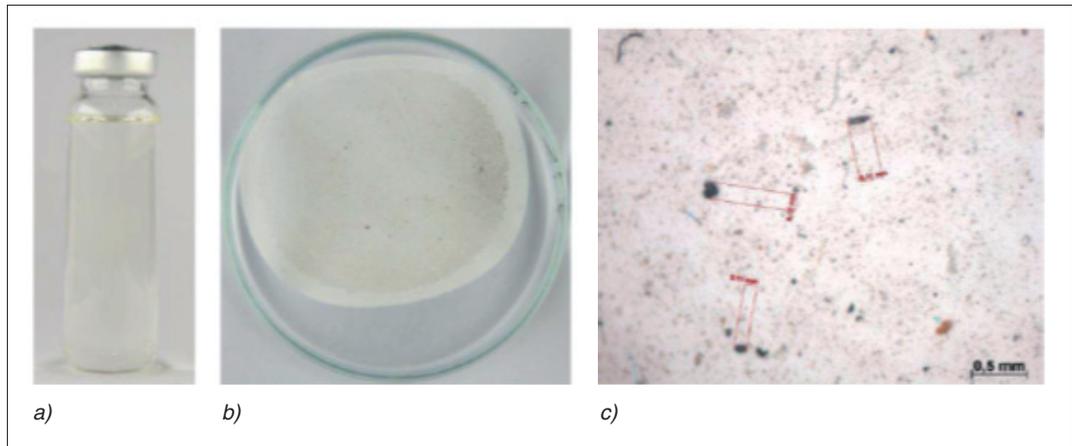


Abbildung 1: Beispiel eines Filterpapiers des gespülten Kompressoröles; a) Ölprobe, b) Filterpapier, c) Mikroskopische Aufnahme des Filterpapiers (Ausschnitt)

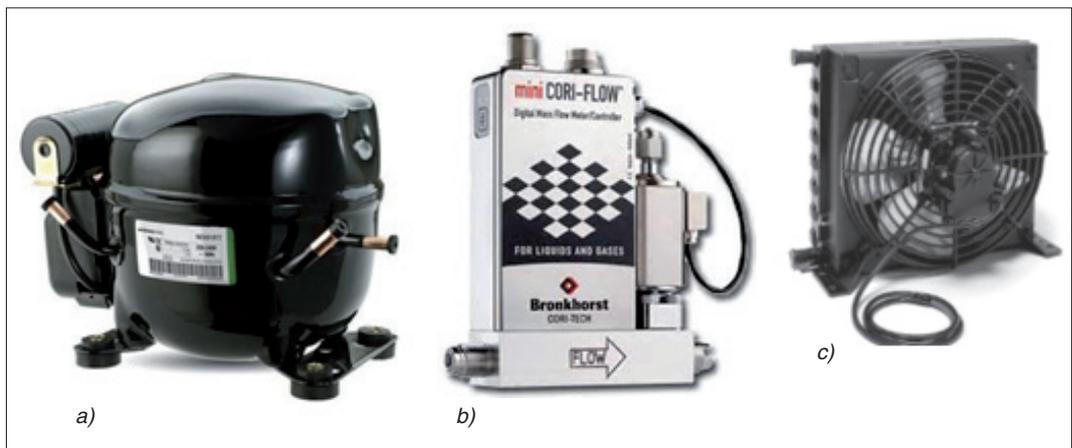


Abbildung 2: Versuchsstandsbauteile; a) Verdichter, b) Massestrommesser, c) Verflüssiger

Rekuperative Kältemaschine

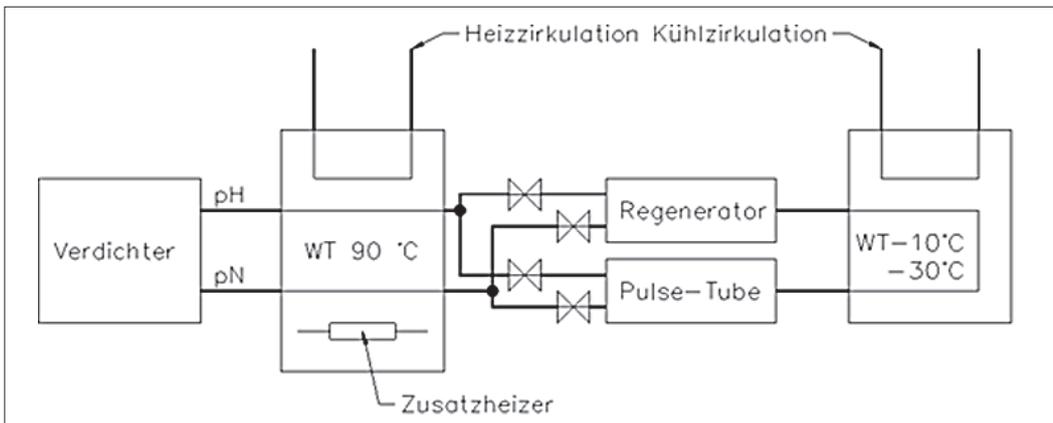


Abbildung 1: Prinzipschaubild rekuperative Kältemaschine

Die Ausgabebereiche von Betriebskantinen sind durch die Notwendigkeit der simultanen Bereitstellung von Kälteleistung und Heizleistung charakterisiert. Dies geschieht üblicherweise dadurch, dass am Ort der Ausgabe warmer Speisen Heizleistung erzeugt wird, um Wasserbäder auf eine Temperatur von ca. 75 °C zu erwärmen. Am Ort der Ausgabe kalter Speisen (Dessert-Ausgabe, Salat-Theke) wird dagegen mit Hilfe eines Kälteaggregats Kälteleistung auf einem Temperaturniveau von -10 bis -30 °C erzeugt. Die Abwärme des dafür nötigen kälteerzeugenden Prozesses wird üblicherweise der Raumluft zugeführt.

Um die Energiebilanz von Speisenausgaben signifikant zu verbessern, ist es sinnvoll, die Systeme zur Erzeugung von Kälteleistung und Heizleistung durch Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung thermisch miteinander zu verbinden, so dass die aus dem kälteerzeugenden Prozess resultierende Heizleistung auf dem Temperaturniveau der Warmhaltung von Speisen genutzt werden kann.

Klassische Kompressionskälteaggregate sind zur Wärmeabgabe bei einer Temperatur von maximal 55 °C ausgelegt. Um die Anforderungen der Anwendung zu erfüllen, muss jedoch die Temperatur der Wärmeabgabe auf ca. 90 °C erhöht werden. Das

bedeutet, dass die Kältemaschine in der Lage sein muss, die auf der Kühlseite entnommene Kälteleistung über eine Temperaturdifferenz von 100 bis 120 K zu pumpen. Bei dieser Anforderung versagen klassische einstufige Kälteaggregate.

Auf dem Gebiet der Erzeugung von Tieftemperatur-Kälteleistung werden üblicherweise Gaskreisprozesse auf der Basis von Stirling-, Gifford-McMahon- oder Pulse-Tube-Prinzipien eingesetzt. In einstufigen Anordnungen ist es üblich, eine Tieftemperatur von -250 bis -200 °C zu realisieren. Die Wärme-Abgabe wird üblicherweise bei Temperaturen von 60 bis 80 °C abgegeben. Das bedeutet, dass mittels dieser Gaskreisprozesse in einstufigen Anordnungen üblicherweise Wärme über Temperaturdifferenzen von 260 bis 330 K gepumpt wird.

Eine Besonderheit der Pulse-Tube-Systeme ist, dass sie, analog wie klassische Kompressionskältemaschinen, keine bewegten Maschinenelemente auf der kälteerzeugenden Seite des Kreisprozesses benötigen. Sie können außerdem über eine Ventilsteuerung mit einem in der Kälte- und Klimatechnik üblichen Gleichstromverdichter betrieben werden. Dabei können auch auf der warmen Seite des kälteerzeugenden Prozesses aus der Kompressionskältetechnik bekannte Wärmeübertrager eingesetzt werden.

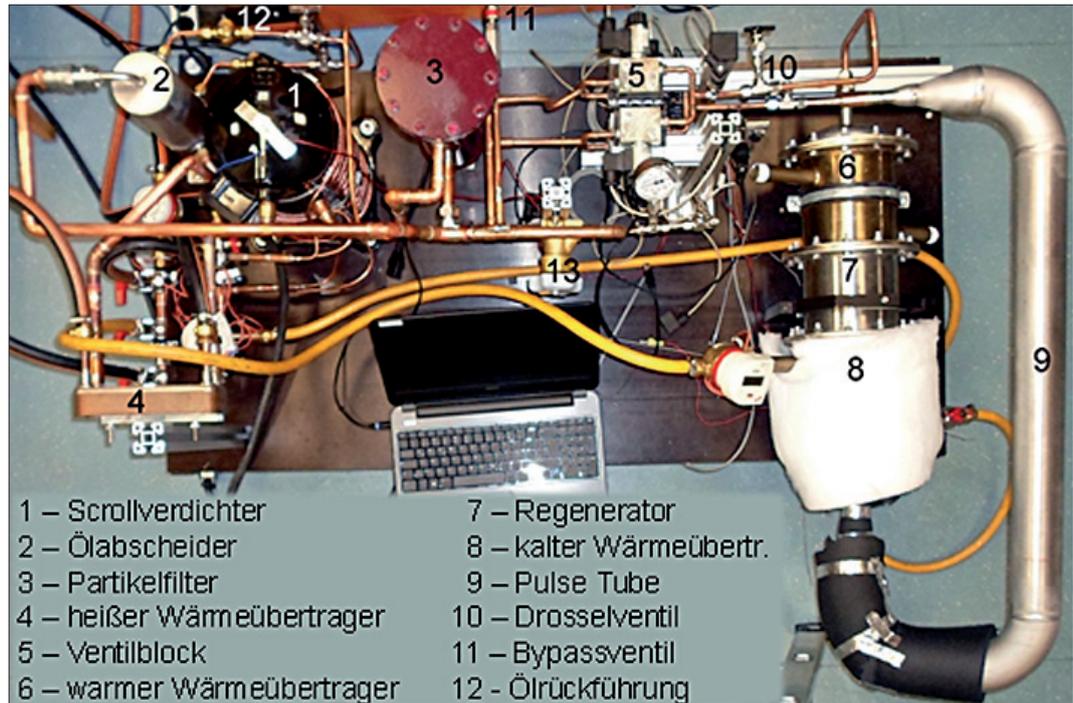


Abbildung 2: Funktionsmuster der rekuperativen Kältemaschine

Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau des rekuperativen Kühlers. Zwischen den beiden Wärmeübertragern für die Heiz- und Kühlzirkulation befinden sich der Ventilblock mit vier Ventilen sowie der Regenerator und das Pulse-Tube. Über den Ventilblock wird wechselseitig, mit einer Arbeitsfrequenz zwischen 2 und 5 Hz, ein Hochdruck von 25 bar und ein Niederdruck von 18 bar generiert.

Abbildung 2 zeigt das Funktionsmuster, mit dem die Funktionsfähigkeit eindrucksvoll nachgewiesen wurde. Damit gelang am ILK Dresden erstmalig der Aufbau eines Pulse-Tube-Kühlers mit einem Gleichstromverdichter und einer Ventilsteuerung anstelle eines klassischen Druckwellenerzeugers. Es wurde mit einer elektrischen Antriebsleistung von 8 kW eine Heizleistung von 9 kW bei einer Temperatur von 120 °C realisiert. Die Kälteleistung betrug 500 W bei einer Temperatur von -5 °C, die bereits schon

nach 15 Minuten erreicht wird. Während der umfangreichen Erprobung über 300 Betriebsstunden wurden zahlreiche Optimierungspotenziale bestimmt, um die Kälteleistung signifikant zu steigern. So sind die Strömungsverluste vor allem im Bereich des Ventilblocks durch größere Rohrquerschnitte zu reduzieren. Darüber hinaus sind die Kühlung des Verdichters und die Durchströmung der Wärmeübertrager zu optimieren. Auf diese Weise kann die anvisierte Kälteleistung von 3,5 kW erreicht werden.

Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2015

Helium Refrigerator Unit – Helium Verflüssiger zur Kühlung von Magneten

Das Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna, Russland, ist eine internationale wissenschaftliche Forschungsorganisation. Die Aktivitäten am JINR umfassen theoretische und experimentelle Studien in elementarer Nuklear-, Teilchen- und Festkörperphysik. Wie aus Veröffentlichungen bekannt ist¹, wird dort ein neuer Nuclotron-basierender Teilchenbeschleuniger mit dem Namen NICA aufgebaut (NICA – Nuclotron-based Ion Collider fAcility), um ein Quark-Gluon Plasma (QGP) erzeugen und untersuchen zu können. Für diesen supraleitenden Speicherring wurden sehr spezielle Testeinrichtungen benötigt, mit der die supraleitenden Magnete (Dipolmagnete) des Speicherrings getestet und qualifiziert werden können. Diese Facility für die Magnete beinhalten Teil-Verflüssiger zur Kühlung mit flüssigem Helium.

Darüber hinaus ist das Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt damit beschäftigt, ebenfalls einen neuen leistungsfähigen Teilchenbeschleuniger aufzubauen (FAIR Projekt²). Durch die enge wissenschaftliche Kooperation zwischen dem JINR und dem GSI werden demnächst auch supraleitende Magnete für das FAIR Projekt an den Teil-Verflüssigern des ILK Dresden am JINR getestet und qualifiziert. Details zu grundlegenden Parametern und Funktionsweise der innovativen Teil-Verflüssiger sind dem ILK-Forschungsbericht zur Entwicklung von kryotechnischen Anlagen aus dem Jahr 2013 zu entnehmen.

Im Jahr 2015 wurde die Anlage zum Test der supraleitenden Magneten, bestehend aus drei Teil-Verflüssigern, durch unsere Wissenschaftler und Ingenieure am JINR vervollständigt und mit der LN₂ und Heliumperipherie verbunden (siehe Abbildung 1). Nach aufwendigen Tests, Erweiterung der Programmierung und zusätzlicher Hardware, kann nun der Test an den Magneten beginnen. Parallel zur Montage der Teil-Ver-

flüssiger wurden Massenstrommessgeräte inkl. Elektronik am ILK Dresden entwickelt, um den Heliummassenstrom direkt am supraleitenden Magneten messen zu können (siehe Abbildung 2).

Das ILK Dresden unterstützt das JINR bei der Auswertung und Interpretation der Versuchsergebnisse und trägt so dazu bei, dass die ersten bereitstehenden supraleitenden Magnete ordnungsgemäß getestet werden können.

Die Ergebnisse werden in weiteren Projekten zur Entwicklung von Anlagenkomponenten für das JINR verwendet.

¹<http://nica.jinr.ru/>

²https://www.gsi.de/forschung_beschleuniger/fair.htm



Abbildung 1: Helium Teil-Verflüssiger des ILK Dresden in der Versuchshalle am JINR



Abbildung 2: Blick auf das Bedienelement des Helium Teil-Verflüssigers des ILK Dresden. In der rechten oberen Ecke sieht man das Display des entwickelten Massenstrommessgerätes.

Beispiele für FuE-Dienstleistungen

im Bereich tiefer Temperaturen 2015 - Biolabor

Ingenieurtechnische Beratung für Auslegung einer Kühlkammer

Aufgrund fehlender Erfahrungen bei Planern und Anlagenbauern hinsichtlich des Zeitverlaufes beim Einfrieren flüssigen Gefrierungsgutes und der Auswirkungen spezieller Lagerbedingungen auf die Gefrierzeit und die Temperaturstabilität im Kühlgut und der Gefrierkammer wurde das ILK Dresden beauftragt, ein Gesamtkonzept für die Anwendung bei einem Industriepartner auszulegen und zu planen. Speziell ging es dabei darum, für ein Unternehmen der Pharmabranche zur Erweiterung ihrer Produktionskapazitäten eine alternierend arbeitende Einrichtung zur Kühlung des Versandgutes und der benötigten Transportbehälter genau zu analysieren und die benötigte Anlagentechnik zu bewerten. Im Detail stellten dabei die Überprüfung der Kühl- und Gefriereigenschaften des Kühlgutes, die Berechnung der Wärmetransportvorgänge im Kühlgut und in der Kühlkammer, die notwendigen Leistungsparameter der Kältemaschine und die Auswahl der Aggregate sowie die Darstellung und Beschreibung der technischen Umsetzung unter Berücksichtigung des vorgegebenen Zeitmanagements eine sehr interessante Aufgabe, aber auch eine große Herausforderung dar. Es konnten alle Anforderungen über eine spezielle Kombination konventioneller Anlagenbauteile realisiert werden. Die Anlage wurde entsprechend den Anforderungen des Auftraggebers umgesetzt und in Betrieb genommen.

Kryochirurgisches Equipment

Für eine deutsche Universität wurde für eine dort angesiedelte Studie zur Erarbeitung einer neuen Behandlungsmethode der Hypophyse von Katzen ein kryochirurgisches Equipment für Arbeitstemperaturen um -140 °C durch das ILK Dresden auf Grund seiner langjährigen Erfahrung im Bereich der kryochirurgischen Gerätekonzipierung entwickelt. Dabei ging es im Besonderen um Auslegung/Design, Bau und Funktions-

test einer speziellen Einstichsonde und einer modernisierten LN₂-Versorgung (Abbildung 1). Außerdem wurde der Auftraggeber bei der Auswahl und Beschaffung geeigneter Einstich-Thermoelemente und einer passenden Auswerteeinheit unterstützt. Die Einstich-Thermoelemente wurden einer 2-Punkt-Kalibrierung und Funktionstests unterzogen. Das LN₂-Versorgungsgerät und die Einstichsonde wurden entsprechend der Wünsche des Auftraggebers gefertigt und nach erfolgreichem Funktionsnachweis übergeben.

Dichtheitsprüfung von Laborröhrchen

Für die Teilnahme an einer internationalen Ausschreibung zur Lieferung von Kryoröhrchen benötigte ein Industriepartner Dichtheitsprüfungen von Laborröhrchen mit Druckbeaufschlagung. Ziel der Untersuchungen war der Nachweis der Dichtheit von Mikro-Tubes während des Transportes in einem Flugzeug. Besonders bei einem Versand auf dem Luftweg sind die für die biologischen Proben verwendeten Packmittel stark schwankenden Umgebungsbedingungen (Druck, Temperatur) und damit besonderen Beanspruchungen ausgesetzt. Für den bestimmungsgemäßen Gebrauch der Röhrchen ist die Zuverlässigkeit der Dichtwirkung auch auf dem Transportweg erforderlich. Für den Nachweis der Transportsicherheit wurden Untersuchungen zum Dichtverhalten von Kryo-Tubes nach Forderung von 49 CFR §173.27 (2a) bei 63,25 mbar Prüfdruck (95 kPa Innendruck) über einen Temperaturbereich von -40 bis 55 °C durchgeführt. Zur Kontrolle des Temperaturverlaufes innerhalb der Kryo-Tubes wurde während der Untersuchung die Temperatur in einem Probenröhrchen gemessen und aufgezeichnet. Die Dichtheitsbewertung aller geprüften Gefäße erfolgte durch gravimetrische Kontrolle nach der Druckprüfung. Die Dichtheitsprüfung wurde nach den gestellten Anforderungen des Auftraggebers erfolgreich durchgeführt und die Ergebnisse in Form eines Prüfprotokolls übergeben.

Kryolabor

Für mehrere deutsche Forschungsinstitute und Universitäten wurden Kryostate in unterschiedlicher Ausführung bzgl. Material und Volumen sowie Funktion entwickelt, gefertigt und getestet. Ein Beispiel ist ein Flüssigstickstoff-Ringkryostat aus Glasfaser verstärktem Epoxidharz zur Kühlung einer Spule aus Hochtemperatursupraleiter-Material. Auf Grund der extremen geometrischen Anforderungen und der beim Betrieb des Kryostaten zu sichernden elektrischen Spannungsfestigkeit waren umfangreiche mechanische und thermische Auslegungsberechnungen erforderlich. Der Kryostat wurde nach der Herstellung erfolgreich getestet und an den Auftraggeber ausgeliefert. Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung eines Heliumkryostats aus nichtmagnetischem Edelstahl für die Erarbeitung eines neuen berührungslosen Durchflussmesssystems für aggressive Medien unter Verwendung von Hochtemperatursupraleitern. Der Temperatureinsatzbereich liegt zwischen 45 und 85 K. Diese Art von Kryostat stellte eine große Herausforderung sowohl aus kryotechnischer als auch anwendungsseitiger Sicht dar. Es wurden zwei Kryostate gebaut, getestet und ausgeliefert.



Abbildung 1: Modernisiertes LN₂-Versorgungsgerät

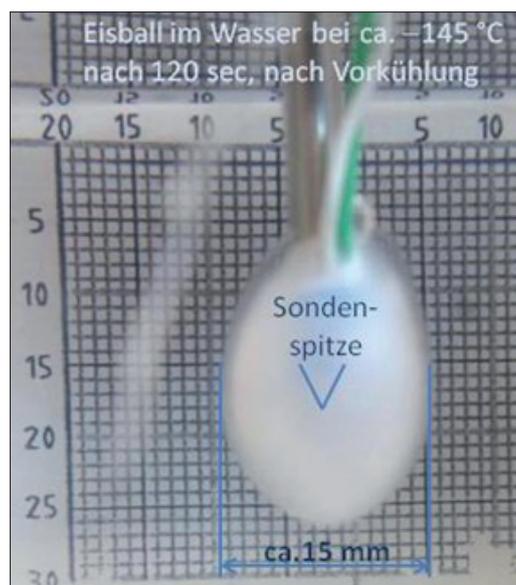


Abbildung 2: Eisballtest als Nachweis der Funktionalität der Einstichsonde sowie der dazugehörigen Versorgungseinheit

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen DynKA	34
GEOHEAT-Modular aufgebaute Direkt-verdampfer-Erdwärmesonde	36
Funktionsbedingte Anpassungen Kältekreislauf Wäschetrockner	38
Luftbeaufschlagte Ammoniakverdampfer	40
MiTiBo-Tec – KÜHL	42
FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2015	44
Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen	46

Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen DynKA

Die Verdampfung von Kältemitteln in einem Wärmeübertrager führt zu wechselnden Strömungsformen dieser Zweiphasenströmung vom Eintritt bis zum Austritt des Verdampfers. Die Verdampfung und die Strömung sind durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet. So kommt es bereits in einem unregulierten Verdampfer zu einer örtlichen Schwankung des Verdampfungsdruckes des letzten Flüssigkeitstropfens. Liegt dieser Punkt in der Nähe des Verdampferaustritts, dann ist die Überhitzung zu klein und es kommt zur Instabilität des Verdampfungsprozesses.

Die Lage des Gebietes der Stabilität und Instabilität wird durch die sogenannte MSS-Linie (minimales stabiles Signal) gekennzeichnet. Diese Linie ist eine Eigenschaft des Verdampfers, insbesondere seiner Konstruktion.

Für die Regelung der Überhitzung eines Verdampfers wird in der Regel ein Expansionsventil verwendet. Die Dynamik dieses Regelkreises und des Stellgliedes haben einen zusätzlichen Einfluss auf die Dynamik der gesamten Baugruppe.

Zielstellung des Projekts ist die Ermittlung von grundsätzlichen Zusammenhängen des dynamischen Verhaltens zwischen Entspannungs- und Verdampfungsprozess und davon abgeleitet die Ermittlung von Verbesserungspotentialen konstruktiver, gestalterischer und regelungstechnischer Art zur Verbesserung der Wärmetransporteffizienz, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Kälteanlage/-maschine.

Da eine experimentelle Erprobung aller Varianten von Verdampferkonstruktionen und Expansionsorganen sehr zeitaufwendig wäre, bietet sich eine dynamische Simulation für die Klärung der Haupteinflussfaktoren an.

Für einen Lamelle-Rohr-Verdampfer wurde ein Grundmodell erstellt. Für die Umsetzung dieses Modells in eine Berechnungsumgebung wurde MATLAB/SIMSCAPE gewählt. Das Modell beinhaltet die Geometrie des Wärmeübertragers, die thermodynamischen und strömungstechnischen Zusammenhänge der Zweiphasenströmung während der Verdampfung und Stoffdatenmodule für das Kältemittel und die Luft.

Bei Testrechnungen zeigten sich erhebliche Probleme einer fehlenden Konvergenz der Modelle. Diese wurden durch die Definition sogenannter Übergangsfunktionen weitgehend überwunden. Diese sind erforderlich, da es in der Natur keine sprunghaften Veränderungen gibt, wie zwischen einzelnen Berechnungsmodellen.

Nach Fertigstellung des dynamischen Berechnungsmodells für den Verdampfungsprozess ist die Erstellung eines Modells für das Expansionsorgan, z.B. ein Thermostatisches Expansionsventil geplant. Beide Modelle sollen im Anschluss gekoppelt werden. Mit diesem Simulationsmodell der Gesamtbaugruppe können dann die ersten Untersuchungen zur Beeinflussung der Überhitzungsregelung erfolgen.

GEOHEAT-Modular aufgebaute Direkt-verdampfer-Erdwärmesonde

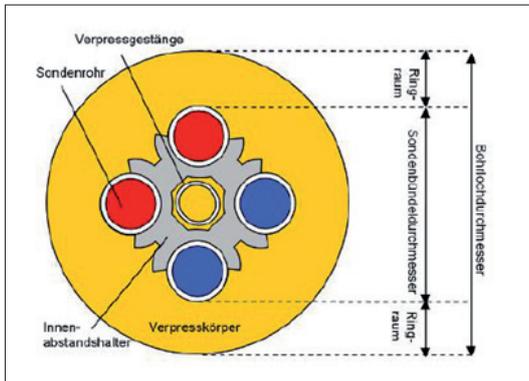


Abbildung 1: U-Rohr-Doppelsonde

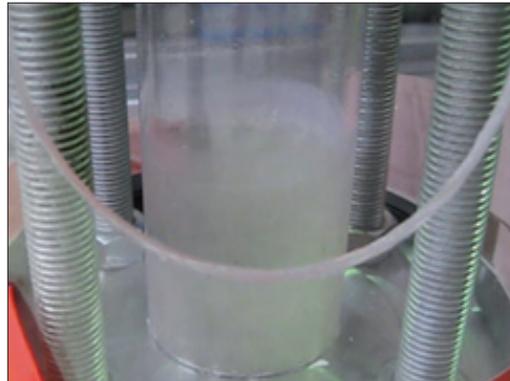


Abbildung 2: Poolverdampfung am Boden des transparenten Verdampfers

Zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung kann die Bereitstellung von Niedertemperaturenergie zur Raumheizung einen wesentlichen Beitrag leisten. Die Beheizung von Gebäuden wird deshalb in der Zukunft zunehmend mit Wärmepumpen erfolgen müssen. Diese erreichen eine hohe Jahresarbeitszahl, wenn der Temperaturhub gering ist. Das Erdreich stellt dafür eine sehr attraktive Wärmequelle dar, da ganzjährig hohe Wärmequellentemperaturen von 5 bis 10 °C nutzbar sind.

Stand der Technik für die Erdreichnutzung sind derzeit U-Rohr-Sonden, die mit Sole durchströmt werden.

Die Direktverdampfung des Kältemittels in der Erdwärmesonde verspricht eine Verbesserung der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe um ca. 10 bis 15 %. Das wird durch eine Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen dem Erdreich und dem verdampfenden Kältemittel erreicht. Projektziel war die Entwicklung einer speziellen Erdwärmesonde für Tiefen bis 100 m.

Bei der ursprünglichen Idee einer Fallfilmsonde mit einer abschnittswise Kältemittelspritzung ist eine Reihe von Problemen zu überwinden. Dazu zählen die Ölrückführung aus der Sonde zum Kältemit-

telverdichter, die gleichmäßige Benetzung der Wärmeübertragerfläche in der Erdsonde über die gesamte Höhe und die Überhitzungsregelung. Die Benetzungsversuche in einem Glasmodell zeigten die Schwierigkeiten einer vollständigen Verdampfung des Kältemittels im Fallfilm. Am Sondenboden staut sich unverdampftes Kältemittel. Mit zunehmender Flüssigkeitssäule steigen der Druck und damit die Siedetemperatur am Sondenboden.

Aufgrund der technischen Schwierigkeiten und sehr hoher Erdsondenkosten wurde dieses Konzept verlassen. Die Helixsonde vermeidet eine Vielzahl technischer Probleme und garantiert eine einfache Ölrückführung. Zur Untersuchung dieses Sondentyps wurde eine 6 m hohe Testsonde untersucht. Es erfolgte insbesondere eine Messung der Druckverteilung in der Sonde in Abhängigkeit von der Höhe. Das war erforderlich, da in der Literatur nur sehr wenige Angaben zu senkrechten Verdampferrohren zu finden sind. Überraschenderweise zeigte sich, dass der Druck am tiefsten Punkt der Sonde nicht wesentlich höher ist als am Eintritt.

Auf der Grundlage dieser Messergebnisse wurden weitere Erdsondentypen mit parallelen Kältemittelpässen konstruiert. Ziel dieser Variantenuntersuchungen war eine

Erdsonde, die sich auf unterschiedliche Eigenschaften des Erdreiches und Bohrtiefen anpassen lässt. Ein zweiter Schwerpunkt sind niedrige Kosten für die Erdsonde in der Herstellung bei der Einbringung in die Erdbohrung.

Die technischen Fragen einer direktverdampfenden Erdsonde konnten gelöst werden. Die Kosten einer Direktverdampfungs-sonde werden aber stets über den Kosten der Solesonden liegen, da im ersten Fall ein korrosionsbeständiges Rohr in das Erdreich einzubringen ist.

Während der Laufzeit des Projektes haben sich die Auflagen der Behörden für die Geothermie weiter verschärft. So sind zu-

sätzliche Maßnahmen erforderlich, um das Austreten und Verbleiben von Kältemitteln in das Erdreich sicher zu verhindern. Die damit verbundenen Fragen der Haftung für Umweltschäden lassen potenzielle Industriepartner zögern, die Technologie der Direktverdampfung anzuwenden.

Teilergebnisse des Projektes sind anwendbar auf die Entwicklung einer Messmethode und entsprechender Prüfstände für Wärmepumpen mit Direktverdampfung im Erdkollektor nach DIN EN 15879-1. Für die Vermarktung der Erdsonde selbst ist im nächsten Schritt ein Demonstrationsprojekt einer 100 m-Sonde erforderlich.

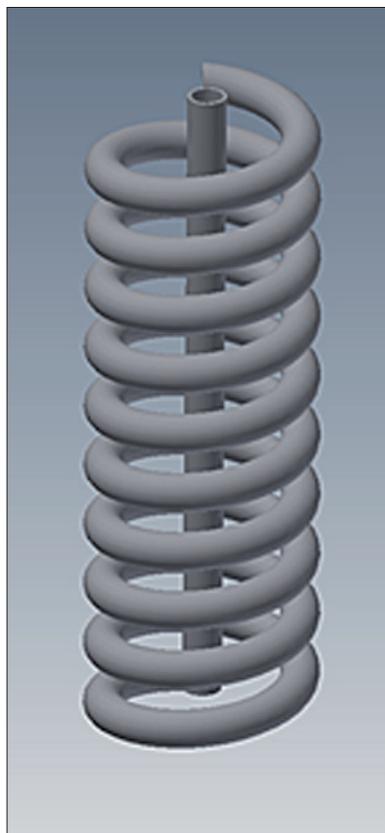


Abbildung 3: Helixsonde



Abbildung 4: Test-Erdsonde 6 m

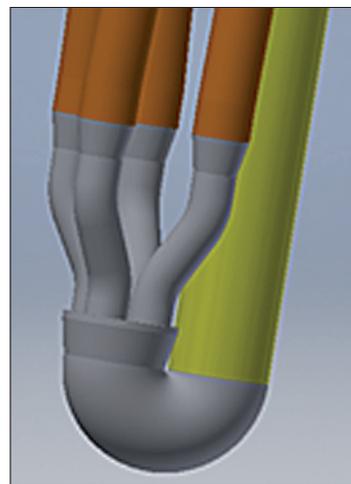


Abbildung 5: Sondenfuss

Funktionsbedingte Anpassungen Kältekreislauf Wäschetrockner

Moderne Wäschetrockner sind mit einer Wärmepumpe ausgerüstet. Gegenüber einem Kondensationstrockner mit Elektroheizer wird bei einer Wärmepumpe die Heizenergie durch Nutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes erzeugt. Dadurch werden die kalte und warme Seite des Kältekreislaufes für die Entfeuchtung bzw. Heizung der Luft zum Trocknen der Wäsche genutzt.

Bei diesen Wärmepumpen erfolgt die Expansion des Kältemittels, wie bei vielen Kleinkältekreisläufen, durch ein Kapillarrohr. Diese Expansion lässt somit keine Überhitzungsregelung am Verdampfer zu. Um den Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen zu schützen, wird bei diesen Kreisläufen die Kältemittelfüllmenge begrenzt.

Der Vorteil einer Drosselkapillare ist eine sehr einfache und preisgünstige Lösung. Der Nachteil ist, dass die Kältemittelfüllmenge immer nur für einen Betriebspunkt optimal ist. Weichen die Betriebsbedingungen vom Auslegungspunkt ab, fällt in der Regel die Energieeffizienz des Prozesses. Deshalb verwendet man in großen Kälteanlagen keine Kapillaren, sondern Expansionsventile. Diese erlauben eine Überhitzungsregelung des Verdampfers. Damit wird es möglich, eine ausreichende Reserve an Kältemitteln in den Kreislauf einzufüllen. Diese Menge gleicht den Kältemittelbedarf des Kreislaufes in abweichenden Betriebszuständen aus und führt zu höheren Leistungszahlen. Theoretisch sind dadurch Energieeinsparungen von 10 bis 15 % möglich. Das Projekt sollte dafür den experimentellen Nachweis erbringen, dass auch bei kleinen Kältekreisläufen der Einsatz von Expansionsventilen vorteilhaft ist.

Für diesen Nachweis erfolgten Energieverbrauchsmessungen mit dem Original-Wäschetrockner im Vergleich zu einem funktionell angepassten Kältekreislauf der

Wärmepumpe. Dabei wurde die Drosselkapillare durch ein Expansionsventil ersetzt und die Kältemittelfüllmenge angepasst. Die Dimensionierung der Bauteile basierte dabei auf einer quasistatischen Simulation des gesamten Trocknungsvorganges der Wäsche.

Die Untersuchungen ergaben eine Reduzierung des Energieverbrauches von etwa 5 %. Diese wird insbesondere im ersten Drittel des Trocknungsvorganges erreicht.

Aufgrund der Messergebnisse sind weitere Lösungsansätze für eine Anpassung des Kältekreislaufes entstanden. Diese Möglichkeiten wurden einem namhaften Hersteller von Wäschetrocknern vorgestellt. Derzeit wird über eine Anpassungsentwicklung der gefundenen Lösungen an aktuelle Seriengeräte verhandelt.

Die Umsetzung der Projektergebnisse ist auch für weitere Anwendungen denkbar. Kältekreisläufe mit Drosselkapillare sind derzeit noch in Kühlschränken, kleinen Klimageräten und Bauwerkstrocknern üblich.



Abbildung 1: Temperatur-Anlagefühler und Drucksensoren am WP-WT

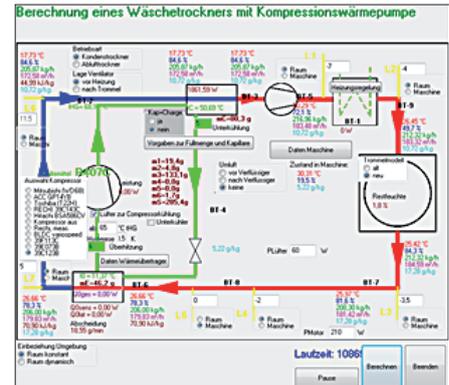


Abbildung 2: Oberfläche Simulationsprogramm WP-WT

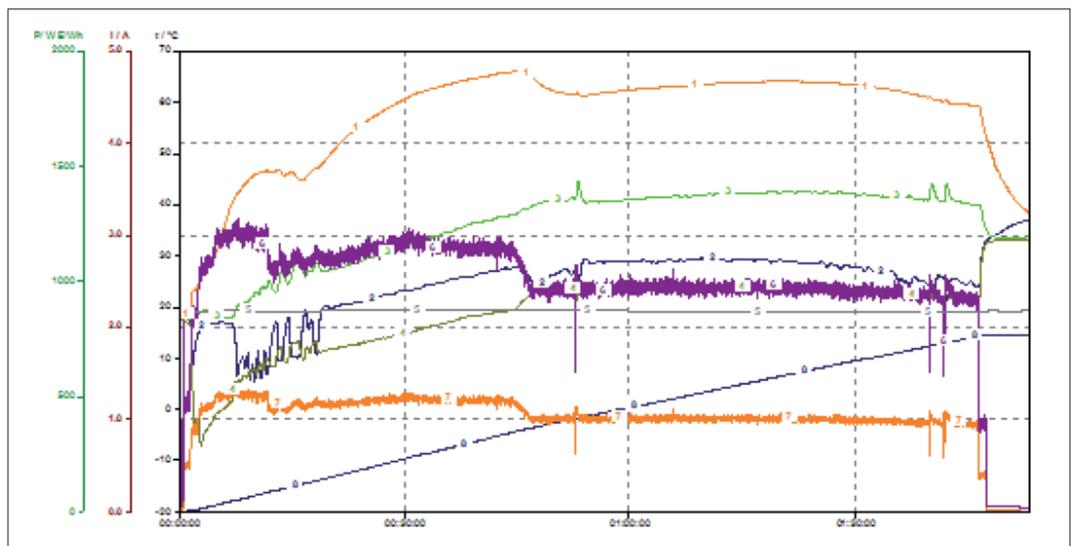


Abbildung 3: Energieverbrauchsmessung bei Teilbelastung

Luftbeaufschlagte Ammoniakverdampfer

Luftbeaufschlagte Ammoniakverdampfer werden heutzutage meistens im überfluteten Betrieb gefahren. Die Nachteile dieser Technik sind größere Füllmengen, aufwendigere Technik und problematische Ölrückführung.

Im kleinen bis mittleren Leistungsbereich sind Trockenexpansionsverdampfer bei FKW/HFKW-Kältemitteln Stand der Technik. Bei Ammoniak gibt es immer wieder Probleme bei Auslegung und Betrieb von Verdampfern mit Trockenexpansion, aus welchem Grund diese Bauform momentan kaum eingesetzt wird. Diese Technik wird derzeit weltweit nicht sicher beherrscht.

Ziel dieses Kooperationsprojektes mit einem Wärmeübertragerhersteller ist die Überwindung der bisherigen Hemmnisse für die Trockenexpansionstechnik. Daraus sollen neue Produkte für den Industriepartner entstehen.

Aufgrund der Vorausberechnungen entstand eine Neukonstruktion von Versuchswärmeübertragern. Diese zeichnen sich durch eine veränderte Rohrgeometrie und den Einsatz von Turbulatoren in den Rohren aus. Diese sollen für eine gute Benetzung in den Rohren mit Kältemittel sorgen. Dadurch wird ein wesentlicher Nachteil der bisherigen Edelstahlwärmeübertrager beseitigt. Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl kam es in der Vergangenheit zu einem schlechten Wärmeübergang von den Rohren zu den Lamellen im oberen Rohrsegment, das nur vom Kältemitteldampf benetzt war.

Für die Herstellung der Wärmeübertrager wurden auch neue Schweißkonstruktionen und -technologien erprobt.

Für die geplanten Versuche zu Wärmeübergang und Druckverlust der Neukonstruktionen wird gegenwärtig ein Ammoni-

akprüfstand beim Industriepartner errichtet. Aufgrund von sicherheitstechnischen Bedenken durch den TÜV musste die Konzeption noch einmal verändert werden und der Aufbau verzögerte sich, so dass das Projekt verlängert wurde. Die Messungen werden nach der Inbetriebnahme des Prüfstandes gemeinsam mit dem Industriepartner durchgeführt. Im Anschluss sollen auf der Grundlage dieser Messergebnisse die Auslegungsalgorithmen für die Wärmeübertrager durch das ILK validiert und weiterentwickelt werden.

Es ist bekannt, dass auch bei anderen Firmen an der Lösung des Problems der Trockenexpansionsverdampfung von Ammoniak geforscht wird. Für unseren Industriepartner sind die Ergebnisse des Projektes deshalb auch wesentlich für die Erhaltung seiner Wettbewerbsfähigkeit.

MiTIBo-Tec – KÜHL

Das Projekt „KÜHL – Autarke und bivalente Hochdruck-Kühlschmierstoffversorgung“ wird innerhalb des ZIM-Kooperationsnetzwerkes MiTiBo-Tec durch die 3 Projektpartner ERMAFA, HypNeu und ILK bearbeitet. Die Zielstellung des Forschungskooperationsprojektes ist die Entwicklung eines autarken und hybriden Hochdruck-Kühlschmierstoffsystems für den Einsatz in Werkzeugmaschinen für die Tieflochbohrbearbeitung kleiner Durchmesser (Mikrotiefbohren). Der dabei fokussierte Durchmesserbereich für die Mikrotiefbohrbearbeitung soll zwischen 0,5 mm und 3 mm liegen. Dabei soll das Verhältnis Bohrtiefe zu Bohrdurchmesser bis zu 100 betragen. Das Hochdruck-Kühlschmierstoffsystem soll als unabhängige, nachträglich integrierbare Lösung für vorhandene Fertigungssysteme sowie als integrierte Komplettlösung in neu entwickelten Werkzeugmaschinen konzipiert werden. Es soll ein regelbarer Arbeitsdruck von bis zu 250 bar bei einem ebenfalls regelbaren Kühlmittelfluss von bis zu ca. 15 l/min für Volumenstromverfahren erreicht werden.

Einsatzgebiete für das Mikro-Tieflochbohrverfahren sind z.B. der Automobilbau (Kraftstoffkanäle in Einspritzsystemen und Ventilen), die Fluidtechnik oder die Medizintechnik (Knochennägel).

Bei den Einlippenbohrern für das Tieflochbohren befindet sich der Kühlkanal im inneren des Bohrers. Die Berechnungen des Druckabfalls über alle 5 Abschnitte des Kühlschmierstoffkreislaufes haben gezeigt, dass der größte Teil des Druckes in diesem Kühlkanal abgebaut wird. Um den notwendigen Durchfluss an Schmierstoff sicherzustellen, werden sehr hohe Drücke benötigt, insbesondere bei den kleinsten Bohrerdurchmessern.

Für die Untersuchung des Durchflusses in Abhängigkeit vom Bohrerdurchmesser und dem Druck wurde eine Versuchseinrichtung aufgebaut und Messungen durchgeführt. Das erfolgte durch die Projektpartner gemeinsam. Mit den Ergebnissen wurde ein Berechnungsmodell validiert, das in Zukunft für die Vorausberechnung der Strömungsverhältnisse genutzt werden kann. Die Versuche führten zu wesentlichen Erkenntnissen für den Aufbau eines ersten Prototypes des Hochdrucksystems. Gleichzeitig wurde beim Partner ERMAFA ein Prüfstand für Bohrversuche entwickelt. Das KSS-Hochdrucksystem versorgt diesen Prüfstand mit Schmierstoff.

Derzeit werden Bohrversuche mit unterschiedlichen Werkstoffen, Durchmessern, Drehzahlen und Vorschüben durchgeführt. Das KSS-Hochdrucksystem wird während dieser Bohrversuche auf Eignung getestet und weiter modifiziert.

Das ILK begleitet die Versuche messtechnisch und wissenschaftlich. Dabei wurden auch erste Messungen zur Tröpfchenverteilung in dem entstehenden Ölnebel vorgenommen, um später ein entsprechendes Abscheidesystem zu konzipieren.

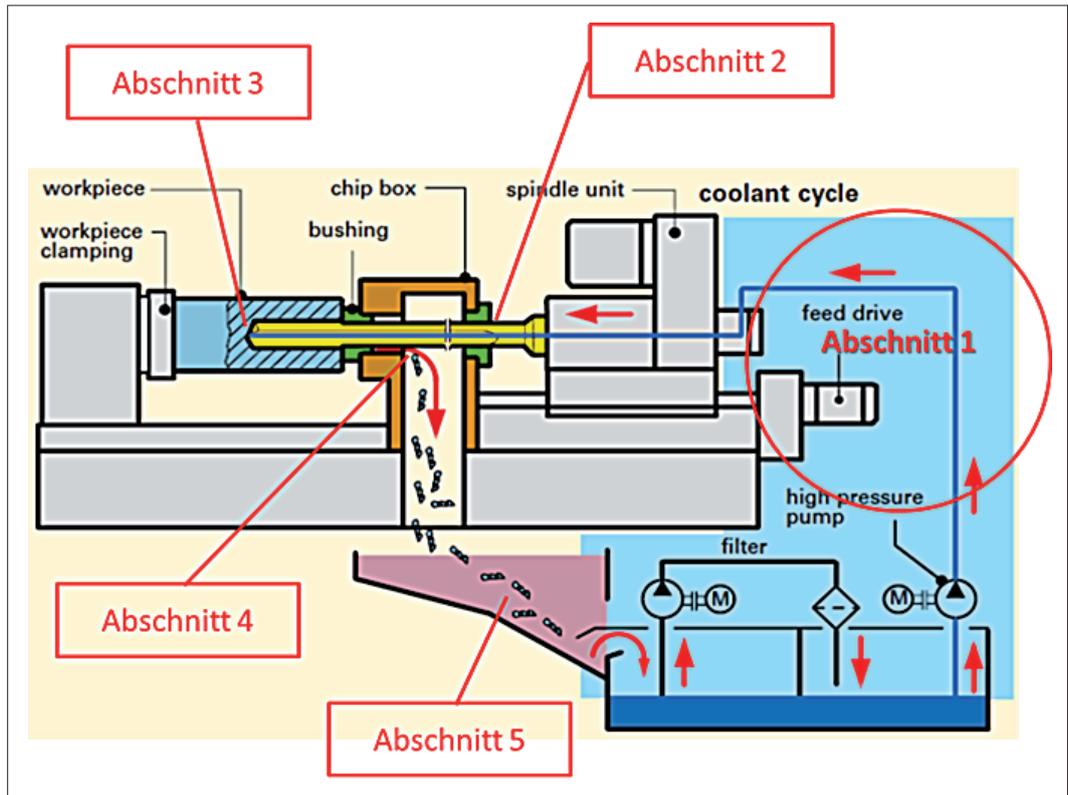


Abbildung 1: Modell Kühlschmierstoffkreislauf

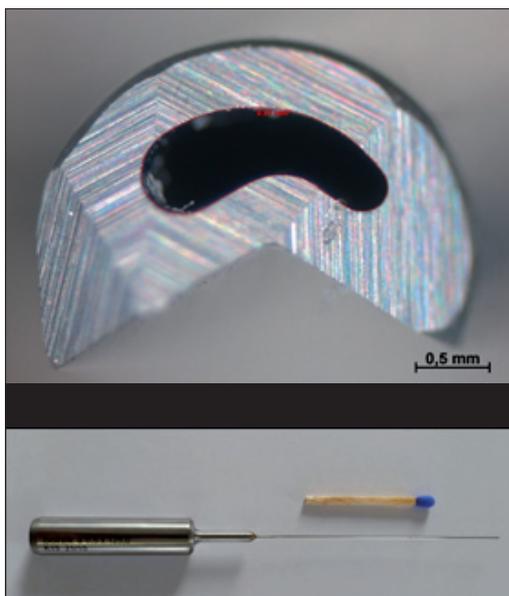


Abbildung 2: Tieflochbohrer



Abbildung 3: Hochdruck-K Kühlschmierstoffversorgung

FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2015



Abbildung 1: Kältemittel Propan

Bei größeren Gewerbekühlmöbeln, wie beispielsweise Flaschenkühlern, besteht noch ein großes Potential für energetische Verbesserungen. Gewerbekühlmöbel haben in der Regel Wärmeübertrager mit erzwungener Konvektion durch Lüfter. Die Leistungen sind gegenüber von Haushaltskältegeräten deutlich höher und können somit bei beschränkter Wärmeübertragerfläche nicht mehr durch freie Konvektion übertragen werden.

Neben den Lüftern bieten auch die Kältemittelverdichter selbst noch ein Potential durch die Drehzahlregelung. Gemeinsam mit dem Kunden wurde untersucht, wie stark der Energieverbrauch eines Flaschenkühlers reduziert werden kann, wenn eine intelligente Drehzahlregelung für Verdichter und Lüfter die EIN/AUS-Regelung ersetzt. Für die Konzipierung der Vergleichsmessungen und die Entwicklung einer Regelstrategie konnten die Ergebnisse aus dem „A-80 %“-Forschungsprojekt direkt genutzt werden. In diesem Projekt wurden für Haushaltskühlschränke verschiedene Lösungen untersucht, den Energieverbrauch gegenüber der Klasse A um weitere 80 % zu reduzieren. Zu diesem „Werkzeugkasten“ der Effizienzsteigerung zählt auch die Drehzahlregelung.

In Zukunft werden verstärkt brennbare Kältemittel zum Einsatz kommen. Das ist eine direkte Folge der neuen europäischen F-Gase-Verordnung zum Klimaschutz. Es war

somit keine Überraschung, dass von einem Hersteller spezieller Klimageräte das Ziel besteht, die Kältekreisläufe auf Propan umzustellen. Propan hat als Kältemittel sehr gute thermodynamische Eigenschaften. Einziger Nachteil ist die starke Brennbarkeit und damit verbunden das Risiko einer Explosion. Das ILK hat für den Kunden in einer Machbarkeitsstudie untersucht, welche Möglichkeiten zur Gestaltung des Klimagerätes bestehen und welche Methoden zur Reduzierung der Restrisiken anwendbar sind. Dabei konnte das ILK auf die eigenen Erfahrungen im Umgang mit brennbaren Kältemitteln zurückgreifen. Diese wurden insbesondere in Forschungsprojekten der Haushaltskältetechnik und dem Projekt „PROKK – Propan als Kältemittel in Kältekreisläufen“ gewonnen.

Auch in diesem Jahr wurden wieder Schadensfälle aus der Praxis zur Begutachtung an das ILK herangetragen. So wurde ein Privatgutachten zu einer Eisarena erstellt. In dieser Eishalle bestehen Probleme mit der Eistemperatur und der Klimatisierung. Daraus ergab sich für das Gutachten die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit der Hauptbereiche Luft- und Klimatechnik. Die Ursachen konnten weitgehend geklärt werden. Es sind aber noch zusätzliche Messungen erforderlich, die vom Auftraggeber veranlasst wurden. Erst nach Vorliegen der Ergebnisse wird über Änderungen der Anlagen entschieden.



Abbildung 2: Flaschenkühler



Abbildung 3: Kältemaschine Eisarena

Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen



Abbildung 1: NH₃-Modul für Wärmeübertrager-Prüfstand

Nachdem in den vergangenen Jahren für einen Wärmeübertragerprüfstand unterschiedliche Module für A1-Kältemittel entwickelt wurden, sollte im letzten Geschäftsjahr eine Erweiterung für das Kältemittel Ammoniak erfolgen. Dafür wurde das Engineering wieder vom ILK übernommen. Die Fertigung des Moduls erfolgte durch den Wärmeübertragerhersteller selbst. Eine besondere Schwierigkeit stellten die verschie-

denen Betriebsarten und die Ölrückführung dar. Diese waren durch das ILK in die Prüfstandssoftware zu integrieren. Nach einer erfolgreichen Inbetriebnahme im neuen Geschäftsjahr sind mit dem Hersteller gemeinsame Messungen an neuentwickelten Wärmeübertragern für Ammoniak geplant. Diese sind Teil des gemeinsamen ZIM-Förderprojektes mit dem Hersteller.



Abbildung 2: Prüfstand Brauchwasser-Wärmepumpe

Wärmepumpen werden in den nächsten Jahren eine zunehmende Bedeutung als Heizung für Niedertemperaturwärme gewinnen. Eine Nische stellen derzeit noch die reinen Brauchwasserwärmepumpen dar. Es ist aber zu beobachten, dass die Hersteller ihr Angebot auch für diesen Sektor erweitern.

Nachdem die Normung der Leistungsprüfung von Brauchwasserwärmepumpen vorläufig abgeschlossen ist, besteht ein zunehmendes Interesse an Prüfungen. Dabei sind insbesondere die Entnahmezuklen von Warmwasser für die Regelung des Prüfstandes eine Herausforderung. Das ILK hat für ein akkreditiertes Prüflabor die Entwicklung und den Bau der Wasserkreisläufe mit geeigneten Stellorganen und die Elektroanlage übernommen. Die Steuersoftware wurde vom Kunden an einen Drittanbieter vergeben. Bei der Entwicklung des Prüfstandes konnte auf umfangreiche Erfahrungen aus verschiedenen Forschungsprojekten zu Wärmepumpen zurückgegriffen werden.

Im Bereich der Kälteanlagen ist das Kältemittel Kohlendioxid weiter im Fokus. Die Hersteller der Kältemittelverdichter erweitern ihr Produktportfolio ständig zu größeren Leistungen. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, neue Prüfkapazitäten in höheren Leistungsbereichen aufzubauen.



Abbildung 3: Verdichterleistungs-Prüfstand

Eine weitere neue Herausforderung für das ILK war die Entwicklung eines Prüfstandes für zweistufige Verdichter nach dem Prinzip der Gasschleife. Für diese Messungen wurde ebenfalls vor kurzer Zeit die Norm EN 13771-2 überarbeitet.

Derzeit ist es nicht möglich, diesen Prüfstandstyp vollständig zu automatisieren. Das zeigte sich auch bei der Erprobung des Kundenprüfstandes. Gasschleifen haben einen geringeren Aufwand für den Kältekreislauf, einen sehr geringen Platzbedarf und eine stark reduzierte Kältemittelfüllmenge. Deshalb wurden die Schwierigkeiten aufgegriffen und ein Förderprojekt beantragt. Dieses wurde inzwischen bewilligt und hat das Ziel, eine vollständige Automatisierung der Gasschleifen zu erreichen. Mit diesem neuen Produkt soll das Geschäftsfeld Prüfstandsbau wesentlich gestärkt werden.

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Kondensation unter fraktaler Turbulenz	50
Membranbasierte Raumklimatisierung – dezentrale Flüssigsorption	52
Fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit Wärmerohr	54
Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte	56
Wettertaugliche und vernetzbare 3d-Strömungssensoren	58
Verbundbauteil mit schaltbaren Wärmetransporteigenschaften	60
Entwicklung eines Pufferspeichers in der Außenluftansaugung	62
TU Dresden, Neubau Institutgebäude, Fachrichtung Physik	64
Leistungsprüfung – Filternder Abscheider	66
Modularer Kombinationsprüfstand für Oberflächenfilter zur Untersuchung von Effekten der Staub- und Gasabscheidung, sowie von Verschleißeffekten	68
ZIM-Projekt 633011 „Prozessentstaubung G-Schlauch“	70
Flugstaubfilter mit metallischem Filtergewebe für Biomasseheizungsanlagen	72
Personenschleuse	74
Projekt „Integrierter Elektroabscheider“ – IntEA	76
Ingenieurdienstleistungen für die Industrie	78

Kondensation unter fraktaler Turbulenz

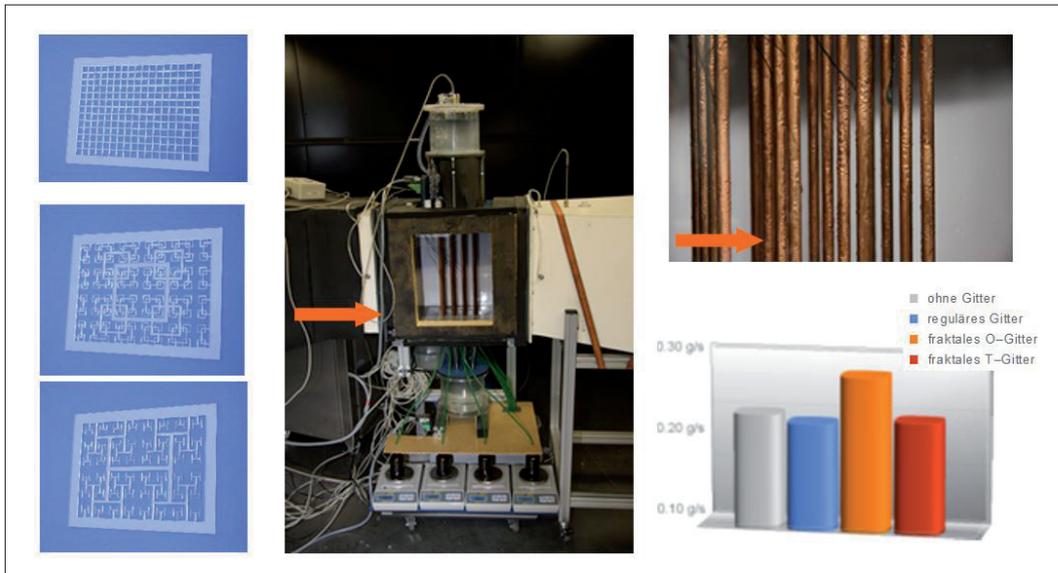


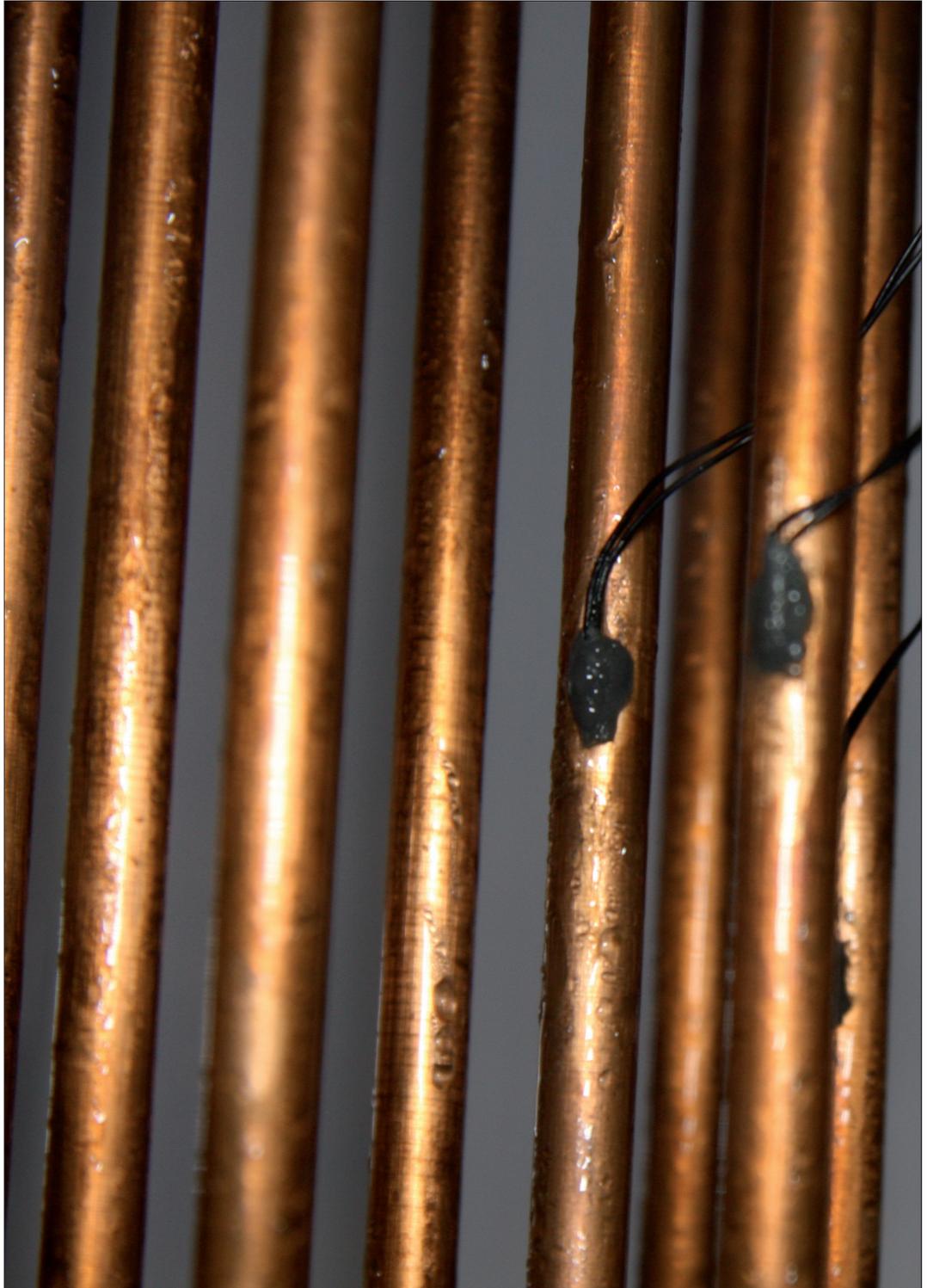
Abbildung 1: Turbulenzerzeuger von oben nach unten, reguläres sowie fraktales O- und fraktales T-Gitter (links), Versuchsstand mit Rohrbündel, bestehend aus 16 Rohren (Mitte) sowie Kondensation am Rohrbündel (rechts oben) und Kondensatraten mit unterschiedlichen Gittern (rechts unten). Strömungsrichtung jeweils durch orangefarbenen Pfeil angezeigt.

Inhalt des Projektes ist es, den Einfluss fraktaler Turbulenz auf das Kondensationsverhalten an Rohren und Platten zu untersuchen. Fraktale Turbulenz ist ein international aktuelles Forschungsgebiet der Turbulenztheorie. Im Gegensatz zu regulärer wird fraktale Turbulenz mittels ungleichförmig, fraktal geteilten Gittern erzeugt (Abb. 1 links). In einem fraktalen Gitter ist jedes Teilstück damit ein kleineres Replikat des gesamten Gitters.

Es wurden zwei fraktale Gitter ausgelegt und zusammen mit einem regulären Gitter sowie dem Zustand ohne Turbulenzerzeuger in einem thermischen Windkanal (Klimakammer) untersucht. Erste Auswertungen der experimentell bestimmten Kondensatraten zeigen eine deutliche Steigerung dieser durch das fraktale O-Gitter im Vergleich zum regulären Gitter. Dies ist besonders bemerkenswert, da die Druckverlustbeiwerte aller Gitter nahezu gleich sind und damit keine Steigerung der Pumpleistung beim

Einsatz von O-Gittern zu erwarten ist. Für fraktale Gitter ergeben sich aus dem aktuellen Stand der Untersuchungen folgende Anwendungen:

- Steigerung der Abscheiderate von kondensierbaren Dämpfen
- Einsatz in hoch effektiven Klimaanlage zur Entfeuchtung
- Verbesserte Entfeuchtung von Prozessluft (z. B. Papierindustrie)
- bei gleichbleibender Größe des Abscheiders



Membranbasierte Raumklimatisierung – dezentrale Flüssigsorption

Die Entwicklung eines Klimatisierungssystems auf Basis eines indirekten, gekühlten flüssigen Sorptionsprozesses wurde erfolgreich beendet. Durch jeweilige Konzeptionsstudien und darauf aufgebaute theoretische und messtechnische Analysen sollten mehrere Einzelentwicklungen wie Systemkomponenten, Regelung, Hydraulik, Sorptionsmittelhandling und Gesamtauslegung zu einer komplexen Anlagenentwicklung zusammengefasst werden. Die abschließenden Arbeitsschwerpunkte behandelten u.a. Fragestellungen zur

- Integration des Flüssigsorptionsprozesses in ein vorzugsweise dezentrales RLT-Gerät mit allen Luftbehandlungsfunktionen (HKBE) einschl. Sorptionsmittelregeneration
- Funktionsweise eines Pilot- RLT-Gerätes mit indirekter Flüssigsorption im Hinblick auf Hydraulik- und Regelungskonzeptionen und Solehandling (theoretische und messtechnische Untersuchungen)
- Energieversorgungsstrukturen zur Sicherstellung der Funktionalität des Gesamtsystems

Zur Integration der Flüssigsorption in ein dezentrales RLT-Gerät werden die sonst üblichen Komponenten Luftherhitzer, Luftkühler und Befeuchter durch einen Membran-, Wärme- und Stoffübertrager (MWÜ) ersetzt. Der MWÜ kann sensible und latente Luftbehandlungsfunktionen koppeln. Wasserseitig genügt in der Regel der Anschluss des MWÜ an ein 2-Leiter-Netz (kombiniertes KW/WW Netz). Geräte mit integrierter Sorptionsmittel-Regenerationseinheit erfordern den Anschluss an ein 4-Leiter-Netz (KW- und WW- Netz getrennt).

Basierend auf Messergebnissen und unter Berücksichtigung variabler Luftzustandsänderungen im Jahresgang wurden konkrete Designvorgaben für Anordnung und Ansteuerung benötigter Bauelemente des

Solekreislaufes abgeleitet. Dazu gehört die Dimensionierung der Komponenten, ein Regelungsregime für Regel-, Umschalt- und Belüftungsventile sowie die Anordnung und Durchströmung der Membranelemente. Die Auslegung der Membranfläche erfolgt dabei primär für die maximal zu erwartende Entfeuchtungsleistung, berücksichtigt jedoch auch das Temperaturniveau und maximal zu erwartende sensible Lasten.

Für die Regeneration wässriger LiCl-Lösung (ab Temperaturen $> 42^{\circ}\text{C}$) ist übliche Abwärme nutzbar. Je höher das verfügbare Temperaturniveau, umso kleiner ist die für die Regeneration benötigte Membranfläche. Hohe Regenerationstemperaturen, bereitgestellt bspw. durch Vakuum-Röhrenkollektoren (bis 100°C) ermöglichen kleine Membranflächen und zudem eine Kondensationswärmenutzung im Zusammenhang mit der Wärmerückgewinnung. Bei ausschließlicher Nutzung regenerativer (Wärme-)Energiequellen zur Soleaufbereitung liegt der Energieeinspareffekt der Trocknung (Absorption) inkl. Hilfsenergie bei bis zu 47%. Um den Hilfsenergiebedarf (Transport Regenerationsluft und Wärmeträgermedium) gering zu halten, sind zentrale Regenerationseinheiten zu bevorzugen. Ausnahme bilden die ebenfalls im Projekt entwickelten fassadenintegrierbaren (dezentralen) und von Sorptionsmittel durchströmbaren Solarthermieabsorber mit Regenerationsfunktion über integrierte Membran.

Innovative Vorteile des neuen Klimatisierungssystems gegenüber dem Stand der Technik sind:

- Hygienevorteil wegen kondensatfreier Luftentfeuchtung durch hermetische Trennung beteiligter Fluide
- Korrosionsschutz und aerosolfreie Stoffübertragung durch Stofftrennung zwischen Fluiden

- Kopplung zweier Luftbehandlungsprozesse (sensibel und latent) in einer Komponente
- Kühlen und Entfeuchten mit Hochtemperaturkälte (16...18 °C); Heizen und Befeuchten (auch Sorptionsmittelregeneration) mit Niedertemperaturwärme (45...55 °C)
- Energieeffizienz: Nutzung regenerativer Energien als Energieträger für die Luftentfeuchtung

Das potentielle Anwendungsgebiet dezentraler Flüssigsorptionsprozesse über Membranen geht weit über die Klimatechnik hinaus. Wärme- und Stofftransportvorgänge über Membranen zum Zwecke der Luftbe- oder Luftentfeuchtung sind auch für Trocknungs- oder Befeuchtungsanwendungen in der Prozesslufttechnik, wie bspw. im Bereich weißer Ware interessant.

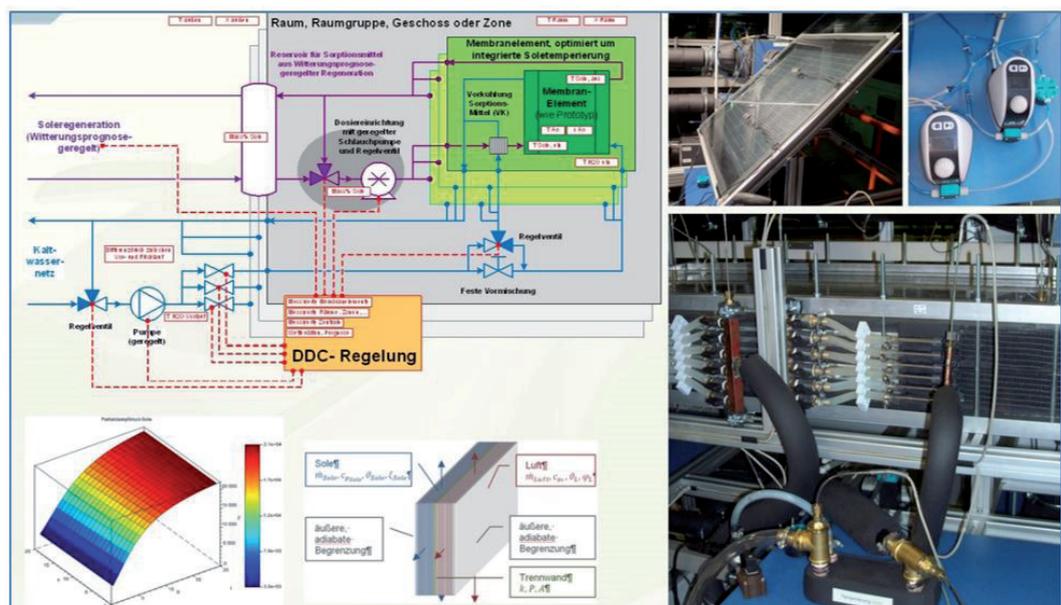


Abbildung 1: Einzel-Entwicklungsaufgaben im Gesamtprojekt: Anlagenkonzeption und Regelungsstrategien für Temperatur und Feuchte (l. u.), Berechnungstool für Flüssigsorptionsprozess (l. u.), Soledurchströmter Solarthermie-Absorber mit Membran zur Sole-Regeneration, Sole-Vordosierung (r.o.) und Sole-Vortemperierung (r. u.)

Fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit Wärmerohr

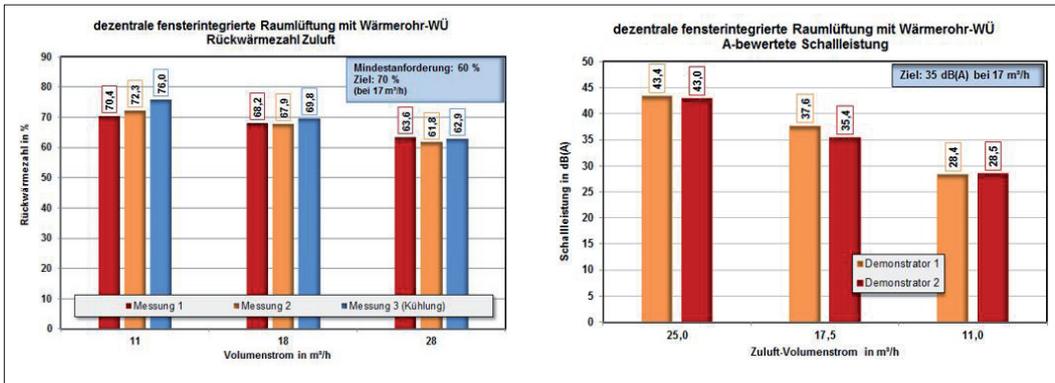


Abbildung 1: erreichte wärmetechnische und akustische Leistungsparameter

Es ist ein dezentrales fensterintegriertes Raumlüftungssystem mit einem neuen Wärmerohr-Wärmeübertrager entwickelt worden. Dieses System kann als Bestandteil des Fensterrahmens oder zwischen Fensterrahmen und Mauer über die Längsseite installiert werden. Es können maximal 30 m³/h Zuluft gefördert werden. Der Nennvolumenstrom ist mit 25 m³/h definiert.

Ein wesentlicher Entwicklungsschwerpunkt war der neuartige Wärmerohr-Wärmeübertrager. Im Ergebnis steht ein mit marktverfügbaren Flachwärmerohren kompakt aufgebauter (48 mm Bauhöhe) Hochleistungs-Wärmeübertrager, der die wärmetechnischen Mindestanforderungen gemäß EnEV 2014 erfüllt. Im Fußbereich des Wärmeübertragers kann anfallendes Kondensat gesammelt und zielgerichtet nach außen geführt werden.

Das komplette Luftführungssystem ist akustisch optimiert. Mittels marktverfügbarer sehr leiser Radialventilatoren und passiver Schallschutzmaßnahmen (Schalldämmkanäle) erreicht das Gerät in der mittleren Leistungsstufe (ca. 17 m³/h) den geforderten Schalleistungswert von 35 dB(A).

Gegenüber dem Stand der Technik ist auch neu, dass dieser Funktionsaufbau für den Sommerbetrieb genutzt werden kann. Das Gerät muss dafür nur um 180° über die

Querachse gedreht werden. Es ist ein Entwicklungsstand erreicht worden, der für eine Weiterentwicklung in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner zu einem Seriensystem sehr gut geeignet ist.

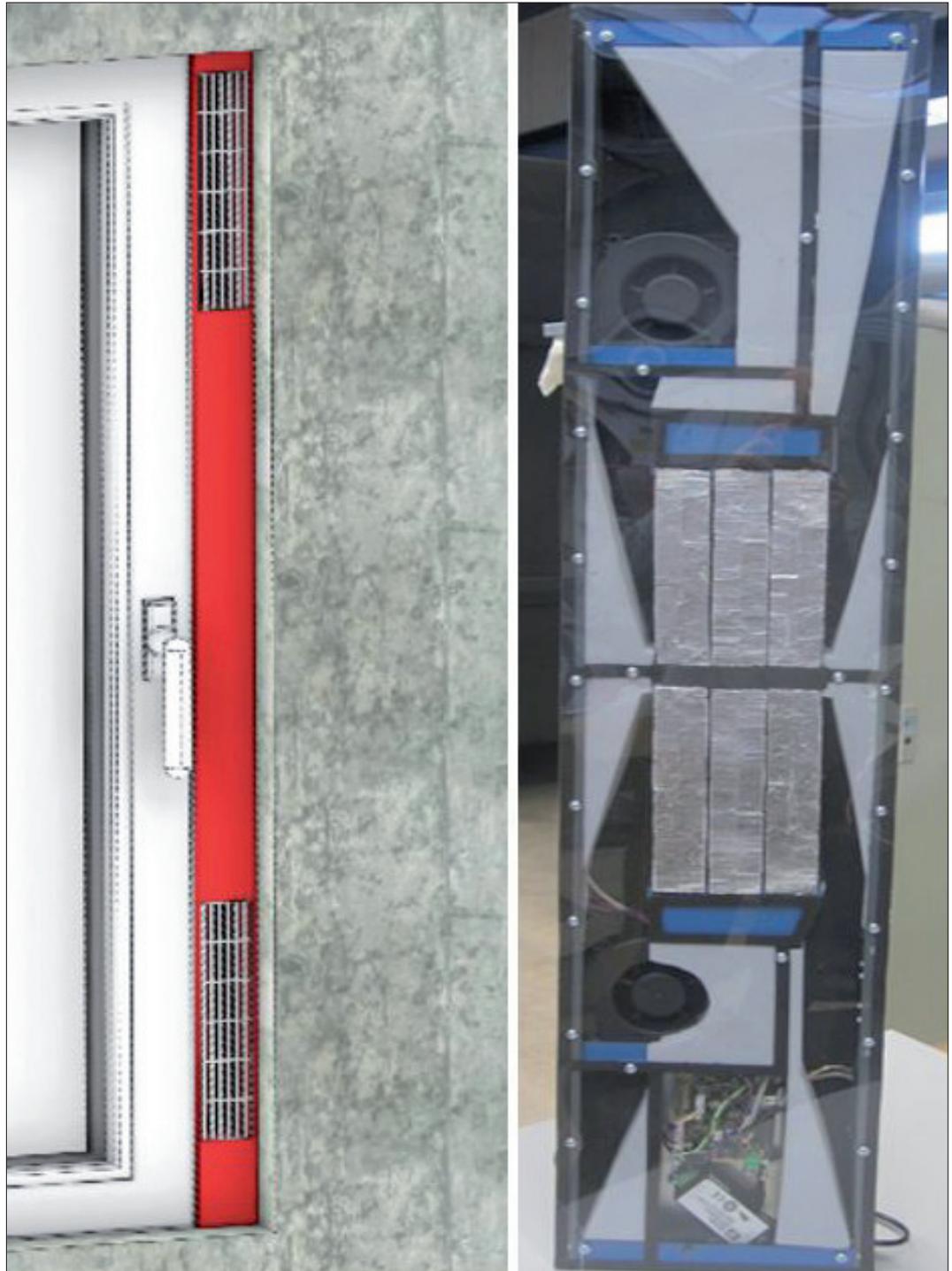


Abbildung 2: entwickeltes Fensterlüftungssystem mit Wärmerohr-Wärmübertrager und Einbaulage mit Fenster

Axial-Kompaktlüfter mit hoher Leistungsdichte

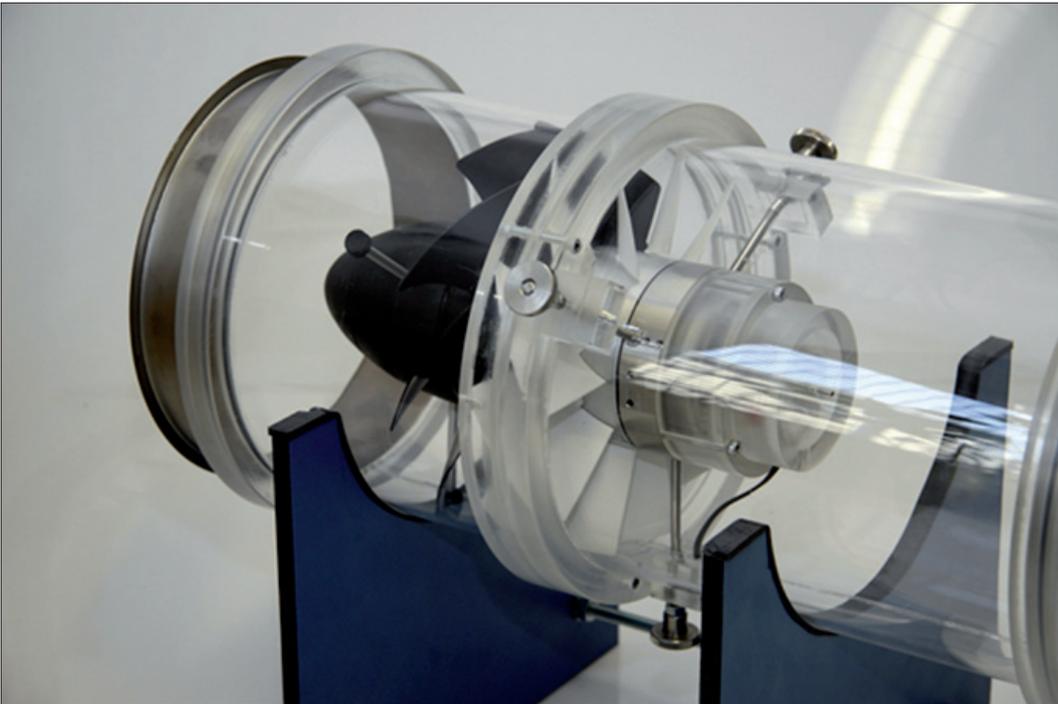


Abbildung 1: konstruierter gegenläufiger Axialventilator, erstes Laufrad schwarz, zweites Laufrad weiß, Darstellung ohne Leistungsübertragungseinheit

Es wurde ein gegenläufiger, axialer Kompaktventilator entwickelt. Dieser zeichnet sich gegenüber dem Stand der Technik durch den Einsatz von nur einem Motor aus und verzichtet auf den Einsatz von Getrieben oder anderen mechanischen Bauteilen für das Erreichen eines gegenläufigen Betriebs. Kennzeichnend für diesen Ventilator ist die kontaktlose Leistungsübertragung in das rotierende System, die für diesen Einsatz entwickelt wurde.

Die Messungen am Ventilatorprüfstand, im Hallraum und die strömungstechnischen Untersuchungen zeigten, dass dieses Konzept erfolgreich umgesetzt werden kann. Der Ventilator wurde mit Einsatz moderner strömungsmechanischer Berechnungsverfahren und Auslegealgorithmen entworfen. Die Eigenschaften Wirkungsgrad, Leistungszahl und Druckzahl erreichen oder übertreffen die Erwartungen. Die akusti-

schen Untersuchungen im Hallraum und mit einer akustischen Kamera sind der Anlass für weitere Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Ventilatorakustik.

Eingesetzt werden kann der Ventilator auf folgenden Gebieten:

- Ersatz von Axialventilatoren, bei denen die Leistung im zur Verfügung stehenden Bauraum nicht ausreicht
- Einsatz bei hohen Anforderungen an eine drallfreie Abströmung aus dem Laufrad, z.B. vor Wärmeübertragern, Filtern oder Befeuchtern
- Einsatz bei Anwendungen, die eine axiale Luftförderung erzwingen und bei denen wenig Platz vorhanden ist

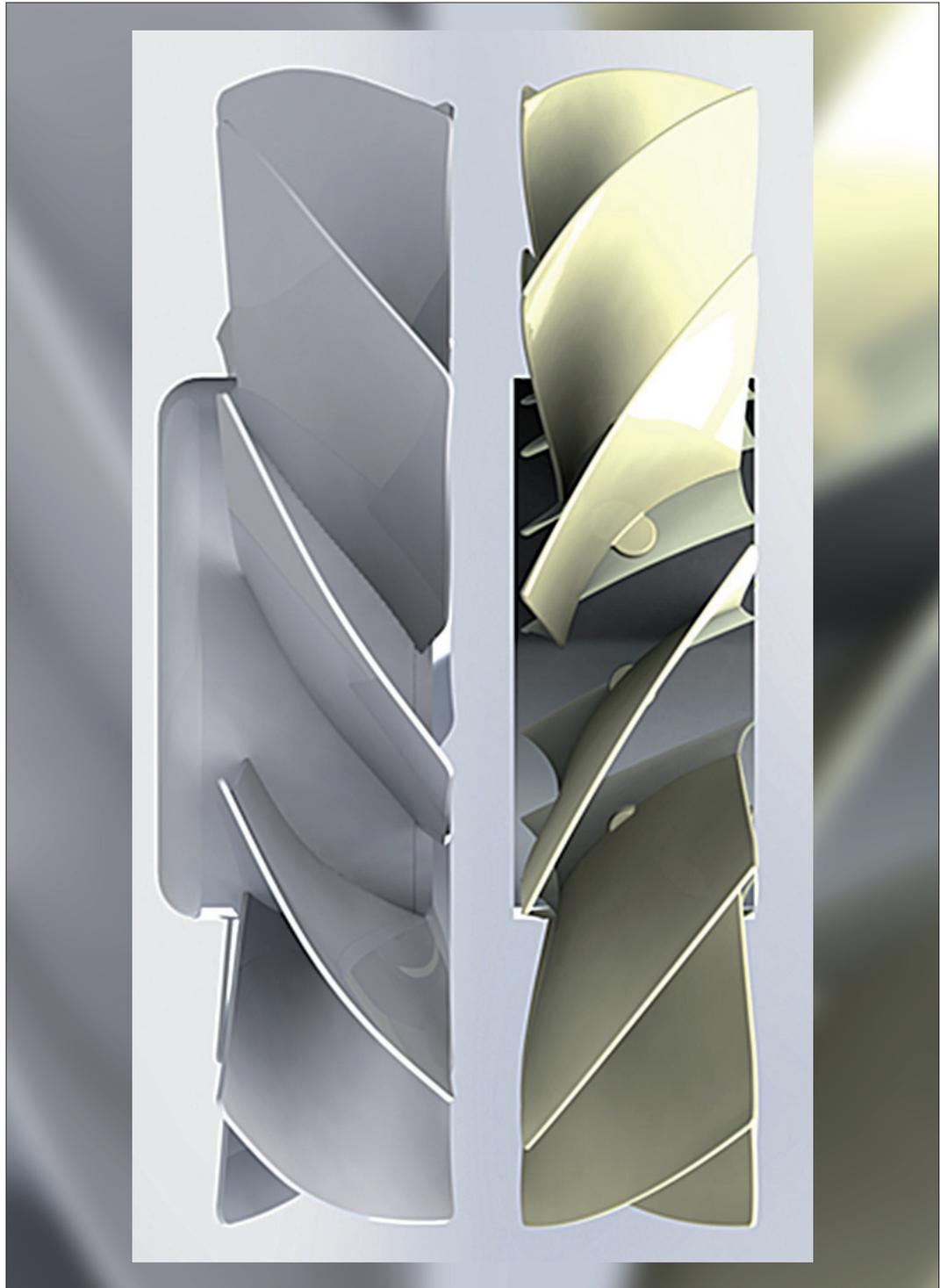


Abbildung 2: ausgelegte, gegenläufig rotierende Laufräder und deren Drehsinn

Wettertaugliche und vernetzbare 3d-Strömungssensoren



Aufgabe des Forschungsvorhabens war die Weiterentwicklung des 3d-Strömungssensors für einen breiten Einsatzbereich. Die folgenden Punkte standen besonders im Fokus der Entwicklungsarbeiten:

- Vernetzbarkeit der Sensoren zur simultanen Messung an verschiedenen Raumpunkten
- Nutzung der Standard Schnittstelle Ethernet für die Steuerung/ Datenübertragung
- Wetterfeste Ausführung
- Automatische Nullpunktkalibrierung
- Lageerkennung des Sensorkopfes

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens steht ein robustes und einfach zu handhabendes Messsystem zur Verfügung, welches neben dem Einsatz bei FuE-Aufgaben auch tauglich für Industrieanwendungen ist.

Der Messbereich liegt zwischen 0,05 bis 10 m/s. Die Positionierung des Sensors im Raum kann unabhängig von der Strömungsrichtung erfolgen. Fehlmessungen

bei Rückströmung am Sensorkopf werden zuverlässig vermieden.

Bestimmt wird der Strömungsvektor mit Betrag und Richtung mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung von 10 ms. Durch die Möglichkeit der Vernetzung mehrerer Sensoren können instationäre Strömungsfelder bestimmt werden. Die Sensoren können wahlweise in einem eigenen separaten Netzwerk oder auch in einem Firmennetzwerk betrieben werden.

Die automatische Nullpunktkalibrierung macht es möglich, Langzeitmessungen nahezu unbegrenzt durchführen zu können. Der limitierende Faktor wird nur noch durch die Speicherkapazität des am Netzwerk angeschlossenen Rechners bestimmt.

Die besonderen Eigenschaften der neuen 3d-Strömungssensoren lassen den Einsatz auf vielfältigen Gebieten zu. Besonders hervorzuheben sind z.B. Klimatechnik, Arbeits- und Gesundheitsschutz, Lagerwirtschaft, Meteorologie und Strömungsmaschinen.



Abbildung 1: 3d-Strömungssensor Komplettsystem

Verbundbauteil mit schaltbaren Wärmetransporteigenschaften

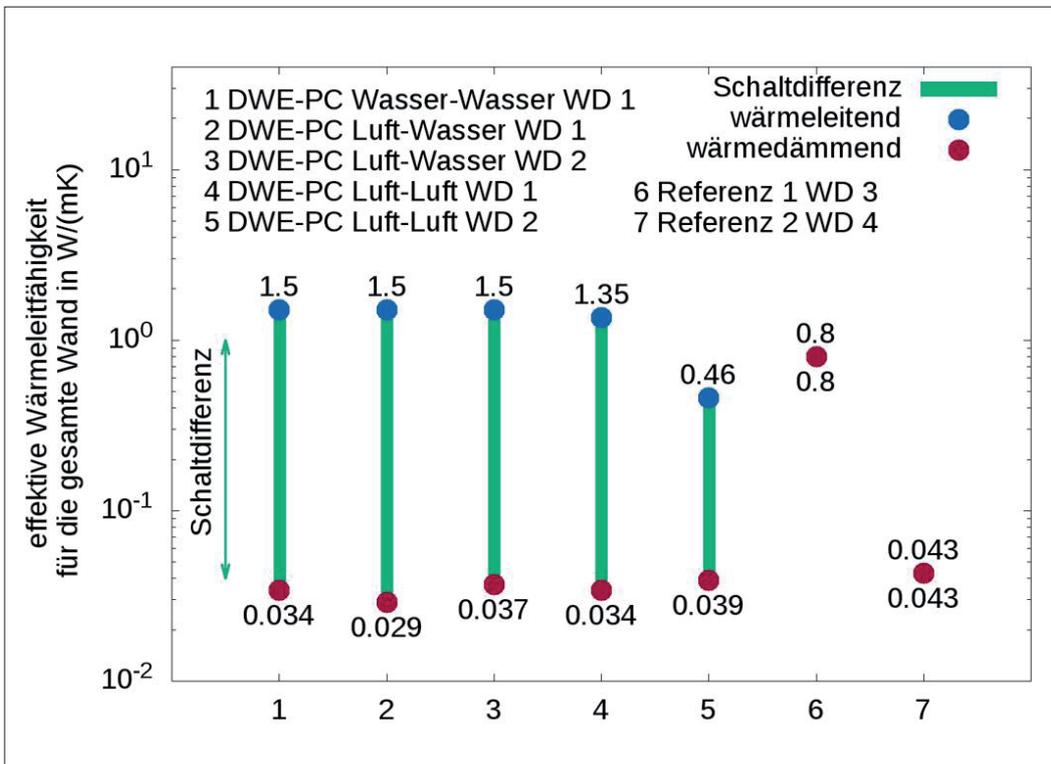


Abbildung 1: Effektive Wärmeleitfähigkeit für das durchströmte Wandelement für den Wärmedämm- und den Wärmeleitbetrieb in unterschiedlichen Konfigurationen, zum Vergleich die Eigenschaften von Referenzprodukten

Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines Bauteiles, dessen Wärmetransporteigenschaften nach Bedarf angepasst werden können. Insbesondere bei Prozessen mit wechselnden thermischen Bedingungen führt die Verwendung eines solchen Bauteiles zu energetischen Verbesserungen in der Prozesskette (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten, Speichern...).

Die schaltbaren Eigenschaften sind die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität. Erreicht wird diese Eigenschaft durch eine Veränderung des Fluides im Verbundbauteil und/oder des Massenstromes. Die Abbildung 1 zeigt die erreichte Schaltdifferenz entwickelter Modelle zwischen „wärmedämmend“ und „wärmeleitend“ in Relation zu Materialien im Stand der Technik (Referenzen).

Die Anwendungsgebiete sind:

- Einsatz an Gebäudehüllen zur thermischen Aktivierung der Bausubstanz als Tagesgangspeicher
- Transport und Lagerung von Kühlgut
- Gehäuse für Wärmeprozess-technik
- Umsetzung schnell wechselnder Temperaturprofile in der Prozesstechnik

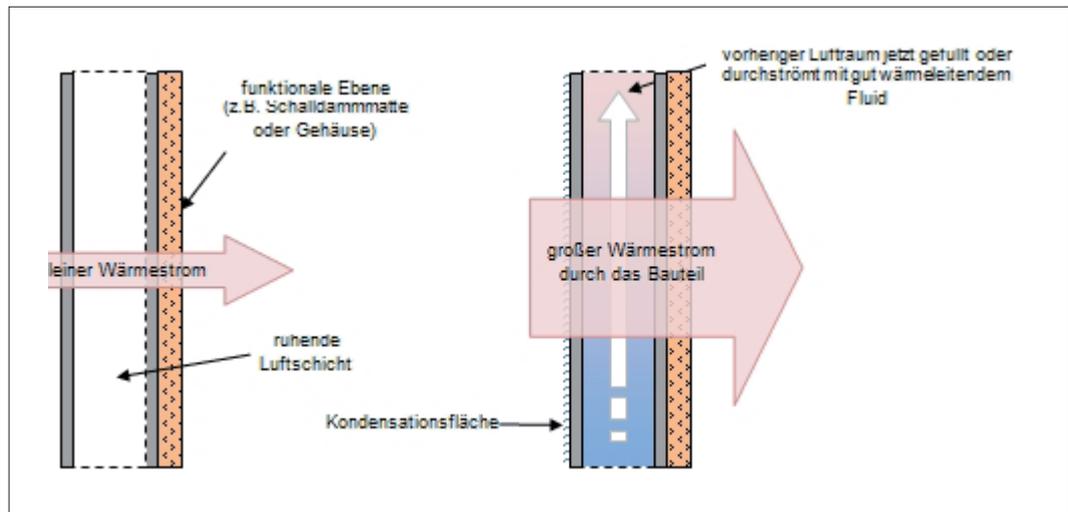


Abbildung 2: Zustand wärmedämmend/wärmeleitend

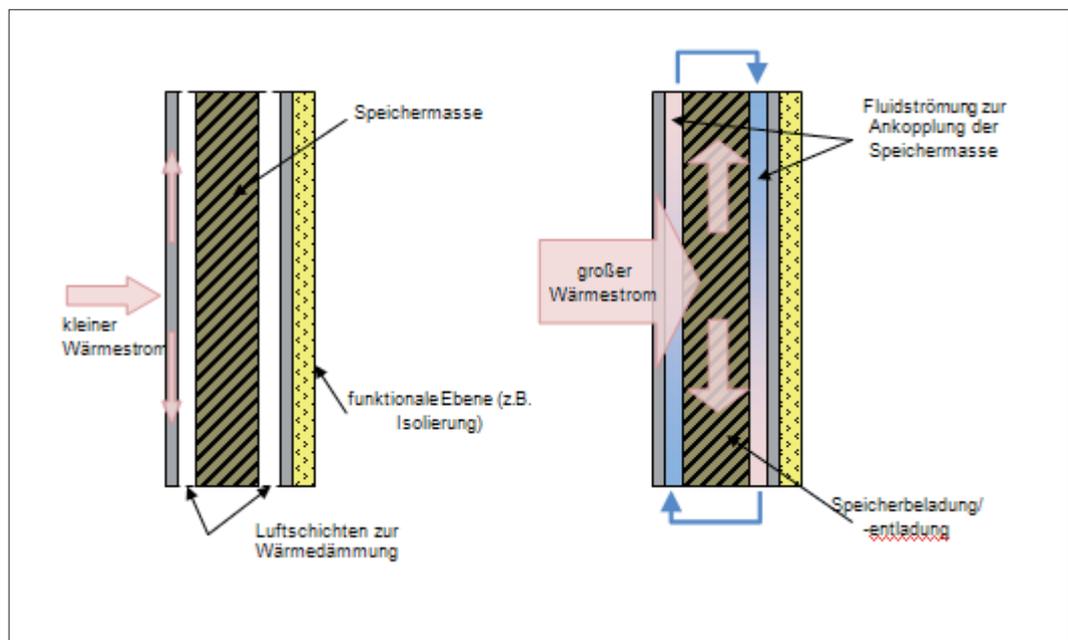


Abbildung 3: Zustand Wärmekapazität klein/groß

Entwicklung eines Pufferspeichers in der Außenluftansaugung

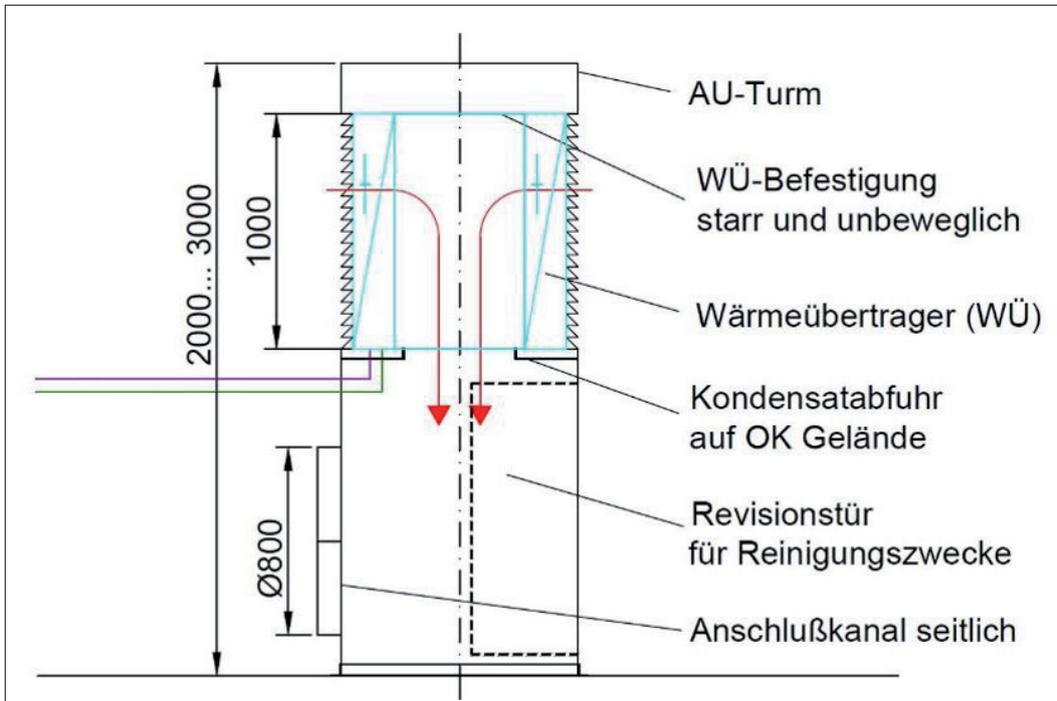


Abbildung 1: Luft-Sole-Wärmeübertrager zur Außenluftvorwärmung und -kühlung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer geothermischen Außenluftvorwärmung, die in der Lage ist, dem Erdreich im Bedarfsfall Wärme zu entziehen und bei einem Überangebot zuzuführen. Dazu wird ein spezieller Luft-Sole-Wärmeübertrager direkt in den Außenluftturm integriert (Bild 1) und mit einem Erdreichkollektor verbunden, mit dem durch die thermische Ankopplung des Erdreiches eine Pufferspeichernutzung ermöglicht wird. Um eine möglichst effiziente Betriebsweise sicherzustellen, wird die Anlagenregelung durch eine Witterungsprognose erweitert, die optimierte Schaltzeiten für Be- und Entladung ermittelt.

Es wurde eine Versuchsanlage (Bild 2) mit einem Luftvolumenstrom von 5.000 m³/h errichtet. Für den Luft-Sole-Wärmeübertrager wurden Temperaturübertragungsgrade von 70 % bei einem Druckverlust von 80 Pa messtechnisch nachgewiesen. Die geplan-

te Heizleistung von ca. 20 kW konnte mit der Versuchsanlage nicht nachgewiesen werden, da der Erdreichkollektor aufgrund verschiedener Randbedingungen nicht ausreichend groß dimensioniert werden konnte. Die Funktionsfähigkeit der Entwicklung wurde erfolgreich nachgewiesen.

Die Vermarktung der Entwicklung erfolgt vordergründig im Bereich der Anwendungsgebiete:

- Außenluftkonditionierung (nur Außenluftturm)
- Wärmerückgewinnung (Außen- und Fortluftturm)
- (Abluft-)Wärmepumpen (nur Fortluftturm)

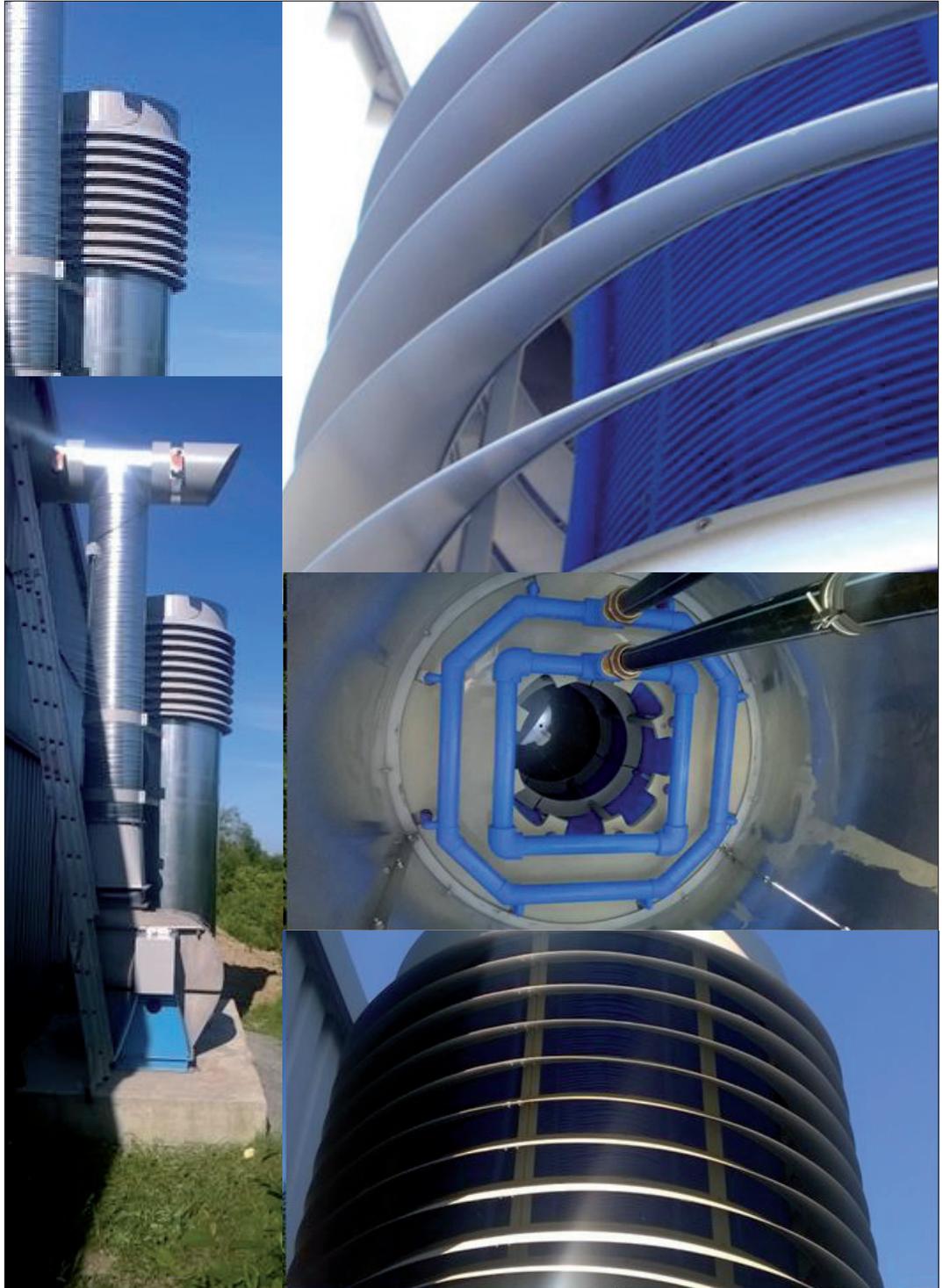


Abbildung 2: Versuchsanlage

TU Dresden, Neubau Institutsgebäude, Fachrichtung Physik



Abbildung 1: Gebäudeansicht - Haupteingang

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

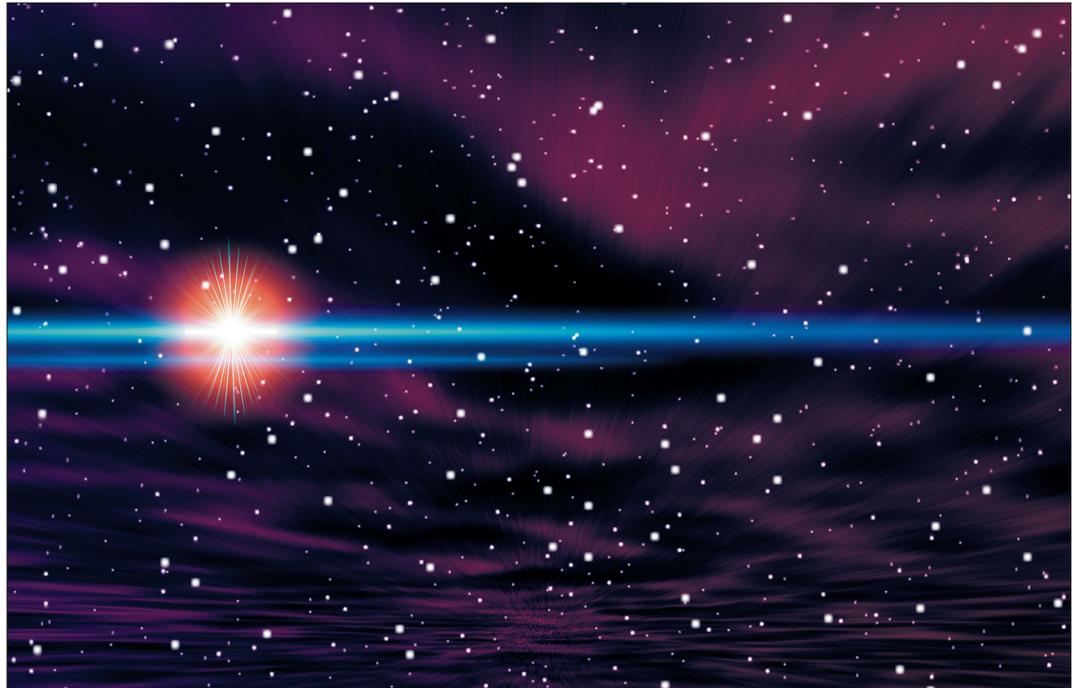
Besonders hoher Wert wird dabei den zentralen und dezentralen RLT-Anlagen für die Reinräume sowie physikalischtechnische Labore/Versuchsräume und Klimazellen auf ca. 3.200 m² Nutzfläche beigemessen.

Die damit erforderlichen Außenluftsysteme müssen zur Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen, der Arbeitsplatzgrenzwerte und der Raumluftzustände unter den verschiedensten Versuchsbedingungen bei-

tragen. Die ganzjährig notwendige Aufbereitung des hohen Außenluftanteils muss deshalb energieeffizient und wirtschaftlich angemessen erfolgen.

Dazu soll ein vom ILK zu entwickelndes Verfahren zur Vorwärmung bzw. Vorkühlung der Außenluft unter Nutzung der erneuerbaren Energie des Erdreiches durch neuartige Wärmerohrtechnologie beitragen.

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



die Konvektion auf der Luftseite z. B. durch veränderte Lamellenformen zu erhöhen. Die Wärmerohre werden in die Außenluft-Sammelansaugbauwerke der RLT-Anlage integriert und tragen ohne zusätzliche Primärenergie zum Wärmetransport vom Erdreich zur Außenluft bei.

Dafür werden die umfassenden Erkenntnisse aus den öffentlich geförderten Projektforschungen mit den experimentellen Untersuchungen und theoretischen Simulationmöglichkeiten genutzt.

In Verbindung mit dem öffentlich geförderten FuE-Projekt - Hochleistungswärmerohr zur Außenluftaufbereitung - durch Euro-Norm GmbH als Projektträger des BMWi

werden neuartige Lösungsansätze für die Durchführung der Maßnahme abgeleitet und ermittelt.

Die zunächst wissenschaftlich theoretisch entwickelten Annahmen dienen der Maßnahme hinsichtlich der praktischen generellen Anwendbarkeit. Außerdem tragen sie zur Charakterisierung des Energieeffizienz- und Innovationsgrades der möglichen Lösungen für die technische Gebäudeausrüstung bei.

Die Übertragung dieser Erkenntnisse in einen praktischen Fall erfolgte in einem ersten Planungsschritt (Entwurfsplanung). Weitere Planungsphasen werden folgen bzw. sind in Vorbereitung.

Leistungsprüfung – Filternder Abscheider

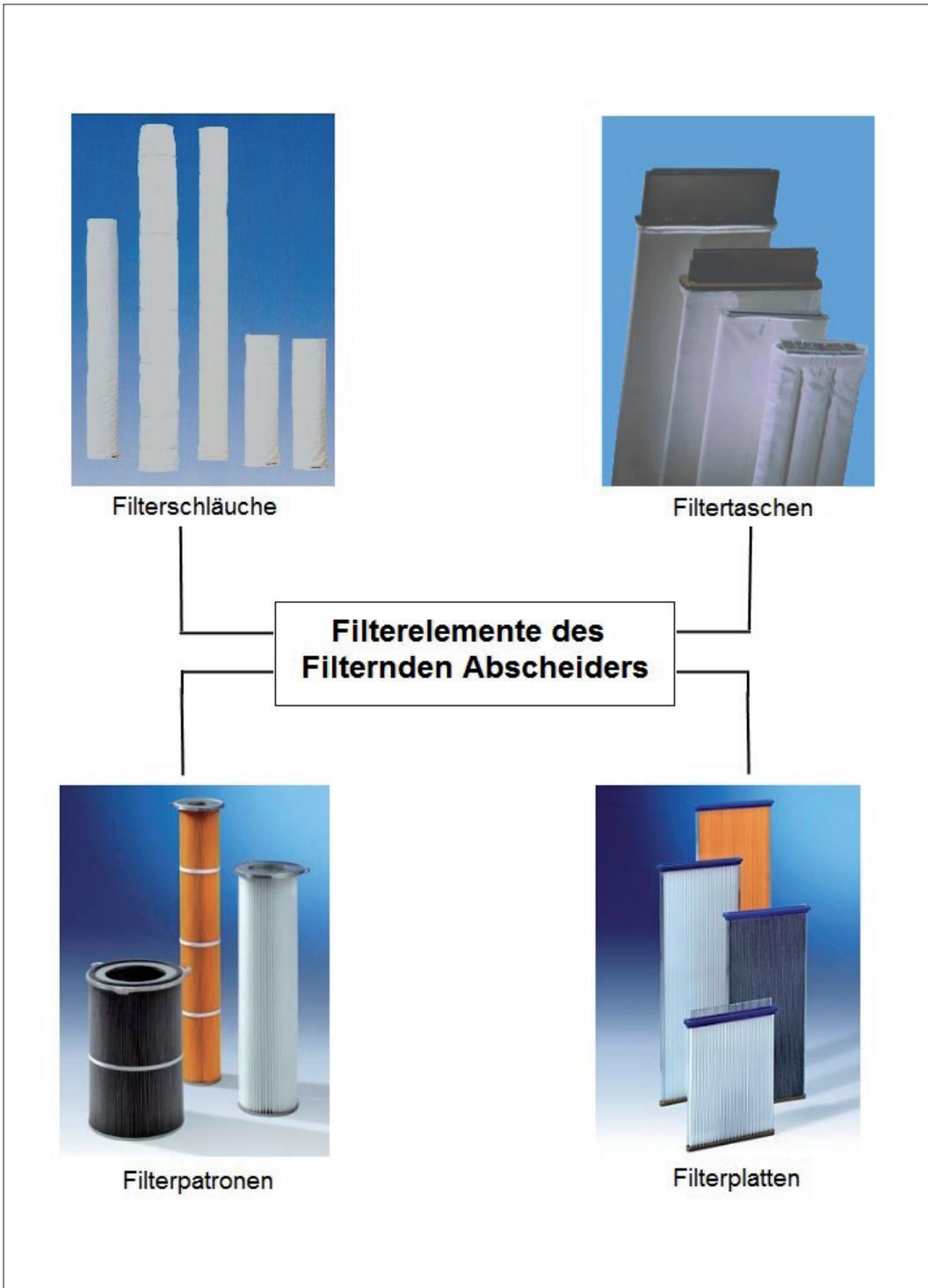


Abbildung 1: die 4 Haupttypen der Filterelemente

Zielstellung

Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines Prüfverfahrens zur Charakterisierung, Klassifizierung und zum Leistungsvergleich für die Filterelemente des Filternden Abscheiders. Die Aufgabe des Vorhabens besteht in der Schaffung der filter- und gerätetechnischen Grundlagen für eine derartige Leistungsprüfung. Die Prüfung soll den gesamten Arbeitsprozess mit Filtration und Regenerierung erfassen.

Die Prüfergebnisse dienen den Anwendern als Arbeitsmittel für einen sicheren und effizienten Einsatz der Filterelemente und damit auch der gesamten Entstaubungsanlage in der Praxis. Das Problem der Entwicklung einer Leistungsprüfung für die Filterelemente besteht in der Diskrepanz zwischen einer Vielzahl von Bautypen, Baugrößen und filtertechnischen Belastungen auf der einen Seite und einem einheitlichen, praxisrelevanten Prüfvorgang mit vergleichbaren Prüfergebnissen auf der anderen Seite.

Das Ergebnis einer geräte- und filtertechnischen Analyse der 4 Hauptbauformen Filterschlauch, Filtertasche, Filterpatrone und Filterplatte führte zur Ableitung eines einheitlichen Prüfprozesses, mit konstanten strömungs- und staubtechnischen Prüfvorgaben für die Reynoldszahl und die Staubflächenbelastung.

Ergebnisse

Die entwickelte Leistungsprüfung unterteilt sich dann in eine Technikanalyse zur Festlegung der Prüfparameter und in die eigentliche Leistungsprüfung – einen Bestäubungsvorgang mit Druckluftregenerierung zur Bestimmung des Druck-, Abscheide- und Energieverhaltens.

Der Prüfprozess für die Filterelemente des Filternden Abscheiders weist folgende Prüfschritte auf:

- Gerätetechnische Analyse und Klassifizierung der Gerätetechnik
- Verfahrenstechnische Analyse und Klassifizierung der strömungs- und staubtechnischen Belastung
- Festlegung Prüfbedingungen
- Leistungsprüfung Filterelement
- Darstellung der Prüfergebnisse in einem Prüfprotokoll

Nach erfolgtem Umbau und messtechnischer Aufrüstung eines Filterelementprüfstandes erfolgen gegenwärtig erste Messungen zum neuen Prüfverfahren an langen Filterschläuchen am Prüfstand.

Mit der Entwicklung und Erprobung eines Prüfverfahrens für die Filterelemente des Filternden Abscheiders werden die Grundlagen und eine Empfehlung für die Ausarbeitung einer technischen Normvorschrift geliefert. Mit einer technischen Normvorschrift sind dann eine Qualitätsprüfung, ein Qualitätsnachweis und auch eine Qualitätssicherung für den Filternden Abscheider in filtertechnischer und energetischer Hinsicht gegeben.

Modularer Kombinationsprüfstand für Oberflächenfilter zur Untersuchung von Effekten der Staub- und Gasabscheidung, sowie von Verschleißeffekten



Abbildung 1 und Abbildung 2: Prüfstand für die Untersuchung abreinigbaren Filtermedien bei Einsatz von Filterhilfsmitteln und/oder Adsorptionsmitteln (Gasreinigung)

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde in Kooperation mit der Topas GmbH ein Prüfstand konzipiert, im ILK aufgebaut und validiert, welcher es ermöglicht, abreinigbare Filtermedien bezüglich ihrer Luftreinigungswirkung, ihrer Standzeit und des Energieverbrauches zu untersuchen. Das Neuartige an diesem Prüfstand sind die Möglichkeiten, auch Untersuchungen mit dem Einsatz von sogenannten Filterhilfsmitteln (Precoats) durchzuführen, sowie Untersuchungen mit Adsorptionsmitteln zu absolvieren, welche in die Prüfluft eingetragen werden (Flugstromverfahren). Für diese Aufgaben wurde der Prüfstand (Bild 1) mit der entsprechenden Gas- und Staubdosier-technik und einer Steuerungssoftware (Bild 2) aufgebaut, welcher auch Langzeitversuche an Filtermedien gewährleistet.

Dieser Prüfstand wurde durch Filterprüf-

gen mit und ohne Einsatz von Filterhilfsmitteln in seiner Funktionalität erfolgreich validiert und ist einsatzfähig. Es konnte an verschiedenen realen Filtermedien nachgewiesen werden, inwiefern sich der Energieverbrauch durch den Einsatz von Precoats die Intervallzeiten für die Filterabreinigung verlängern. Bild 3 zeigt ein solches Ergebnis für ein Standard-Nadelvlies.

Die Zyklendauer für eine notwendige Abreinigung der Filter konnte hier durch den Einsatz eines Precoats um 8 % erhöht werden. Eine zukünftige Filteranlage würde somit 8 % der Energiekosten (Druckluftherzeugung) sparen. Diesem Wert müssen natürlich die Anschaffungskosten für das Precoat gegenüber gestellt werden. Durch entsprechende weitere Versuche können mit dem neuen Prüfstand die ökonomisch günstigsten Filtertypen, Precoats und Einstellparameter

definiert werden, um Filtergroßanlagen entsprechend auszurüsten und einzustellen. Zudem kann mittels einer eigens am ILK entwickelten „schnellen Druckmesstechnik“ der Druckimpuls bei einer Abreinigung aufgezeichnet werden. In der Auswertung mit dem Abreinigungsergebnis und der Abscheideleistung können Rückschlüsse auf die optimale Druckstoßausbildung gewonnen werden. Da die schnelle Druckmesstechnik auch mobil einsatzfähig ist, können solche Untersuchungen auch an industriellen Filteranlagen durchgeführt werden und damit Erkenntnisse aus den Laborergebnissen auf Realanlagen durch deren Parametrisierung übertragen werden. Durch die Möglichkeit, am Prüfstand Adsorptionsmittel und Prüfgase in die Prüfluft einzutragen sowie die Gaskonzentration und Randparameter rohgasseitig und reingasseitig zu messen, kann das Zusammen-

spiel von Filtermedien und Adsorptionsmittel bezüglich ihrer Funktionalität geprüft werden.

Der Prüfstand versetzt das ILK in die Lage, dem Herstellern von Filtermedien, Filteranlagen und Adsorptionsmitteln Aussagen zu liefern, inwiefern ihr Produkt sich für eine Luftreinigungsaufgabe eignet, welches Precoat mit welchen Randbedingungen ökonomisch sinnvoll einzusetzen sind, beziehungsweise welches Adsorptionsmittel im Zusammenspiel mit einem Filtermedium eine gute Gasreinigungsleistung bringt. Das Institut erweitert somit sein Spektrum an Möglichkeiten zur Bewältigung zukünftiger Forschungsaufgaben und Dienstleistungen im Bereich der Filtertechnologie. Die neuen Prüfverfahren und erste Prüfergebnisse werden zur Filtrationsmesse „Filttec“ in Köln am 11. bis 13.10. 2016 vorgestellt.

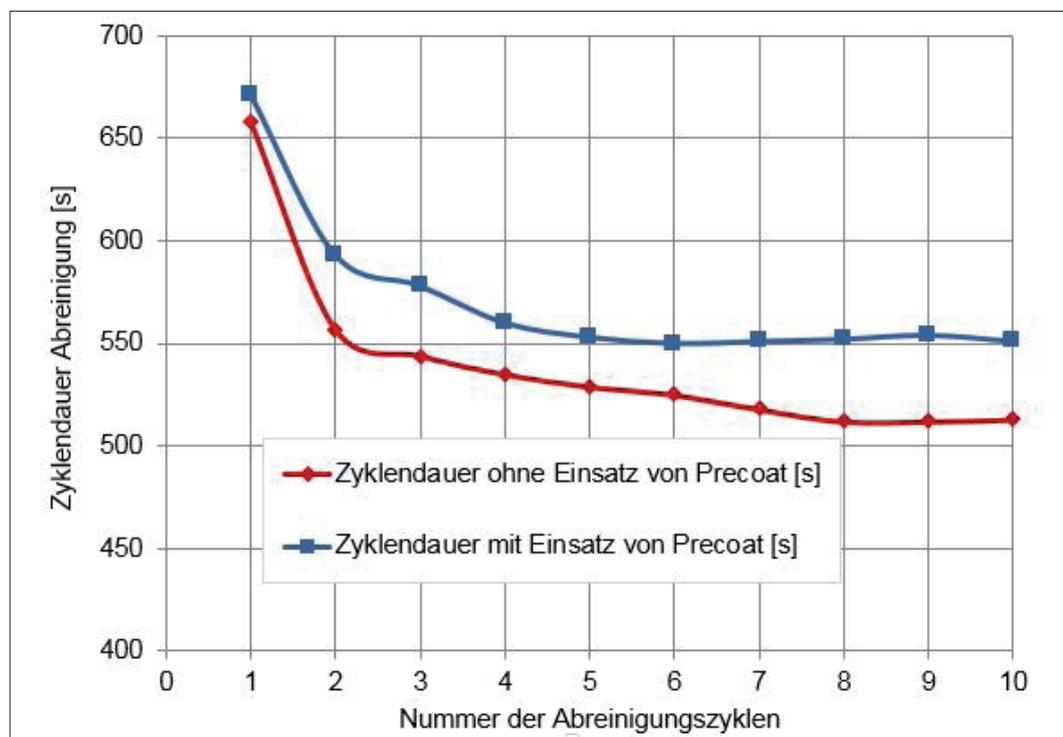


Abbildung 3: Darstellung der Zyklendauer für die Abreinigung eines Filtermaterials mit und ohne Einsatz eines Precoats

ZIM-Projekt 633011 „Prozessentstaubung G-Schlauch“

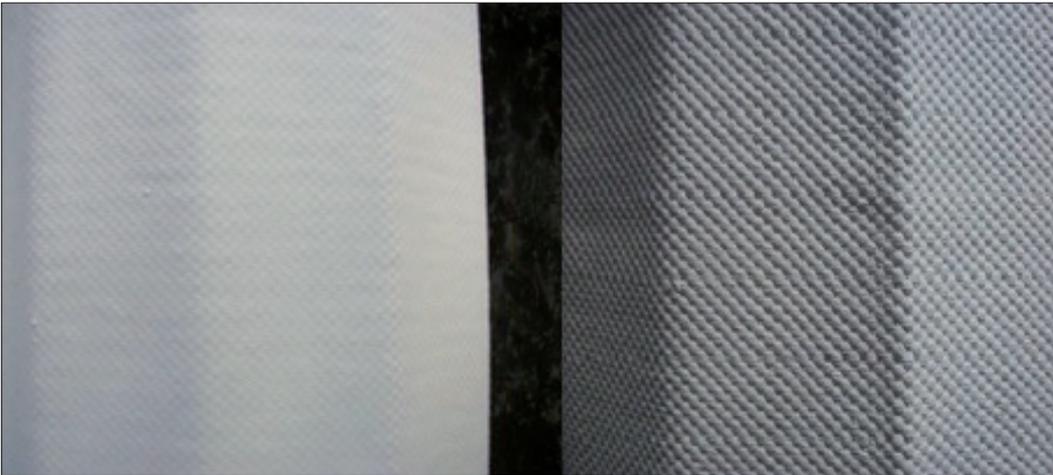


Abbildung 1: Filterschlauch Polyestergerewebe vor und nach einer Regenerierung

Bei der Entstaubung von Prozessabluft kommen derzeit meist Filterschläuche aus Nadelfilzen als Filtermaterial zum Einsatz. Nadelfilze bestehen aus zwei Vlieslagen und einem dazwischenliegendem Stützgewebe. Bei der Herstellung der Filze bleiben tausende von kleinen Nadellöchern im Filz, so dass diese nur durch aufwändige Sonderbehandlung, bis hin zum Kaschieren von Folienmembranen, den Ansprüchen für die Feinstaubabscheidung genügen.

In der Regel werden für die eingesetzten Nadelfilze Abreinigungsdrücke zwischen 4 bis 6 bar benötigt, um den Staubkuchen abzureinigen. Die begrenzte mechanische Beanspruchbarkeit von Nadelflies unterliegt hierdurch einer kritischen Degeneration mit Folge von Rissen oder Lochentstehung. Der PTFE-Einsatz bei thermisch und chemisch höherer Belastung ist teuer und problematisch bei der Entsorgung. Durch den innovativen Einsatz von Bauschgarnen ist es gelungen, rundgewebte Filterschläuche mit vliesnahe Abscheideverhalten kostengünstig herzustellen, die zur Feinstaubabscheidung geeignet sind und mit 2 bar Abreinigungsdruck effizient regeneriert werden können, was sich auch positiv auf den Energieverbrauch und die Standzeit auswirkt.

In Technikumsuntersuchungen wurden 6 Gewebeslauchvarianten in unterschiedlicher web- und materialtechnischer Ausführung auf das Druck- und Abscheideverhalten untersucht. Zwei Varianten erzielten ein sehr gutes Druck- und Abscheideverhalten bei den Untersuchungen mit dem feinen Prüfstaub Kalkstaub OMYA CARB 2-AL mit einer mittleren Partikelgröße von 3 µm. Mit der Wahl geeigneter Filterelemente, der Auslegung eines abgestimmten Regenerierungssystems und der Einstellung eines optimalen Betriebspunktes können an Filteranlagen hohe Energie- und Kosteneinsparungen realisiert werden.

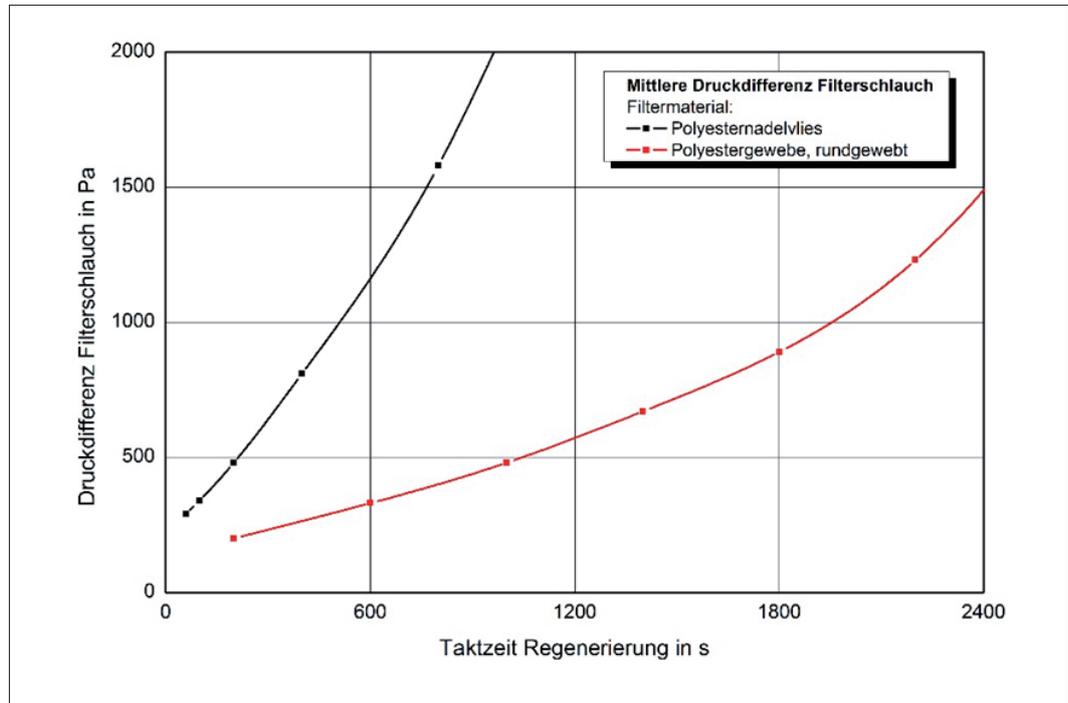


Abbildung 2: Druckdifferenz Filterschlauch in Abhängigkeit der Taktzeit der Regenerierungsimpulse

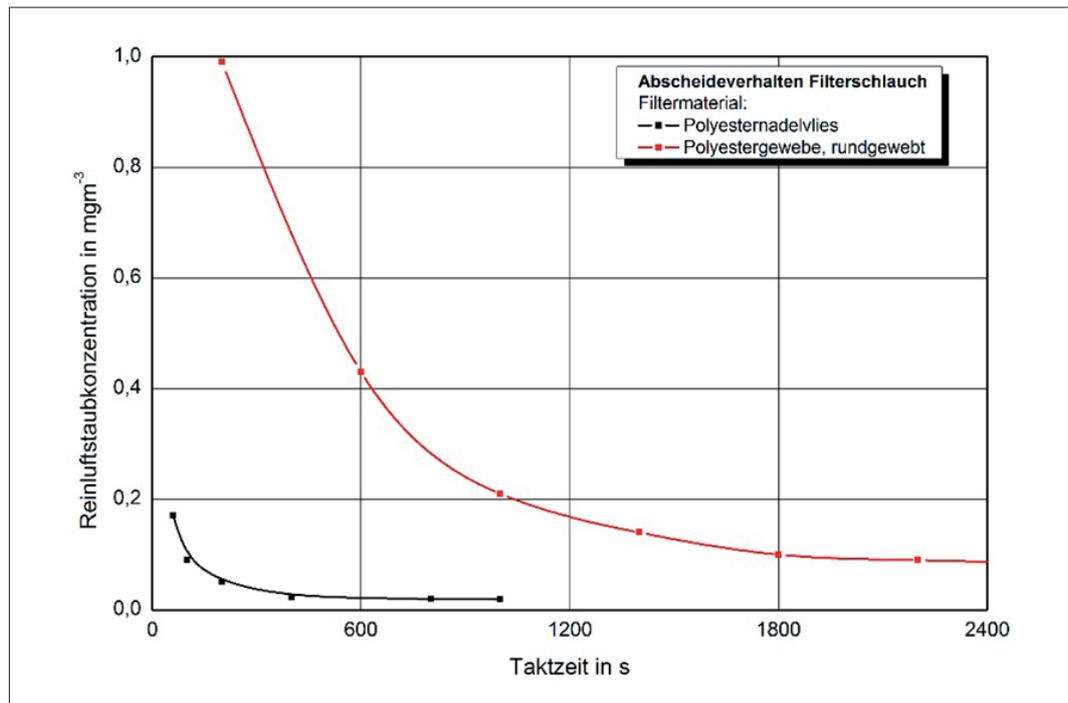


Abbildung 3: Abscheideverhalten Filterschlauch

Flugstaubfilter mit metallischem Filtergewebe für Biomasseheizungsanlagen

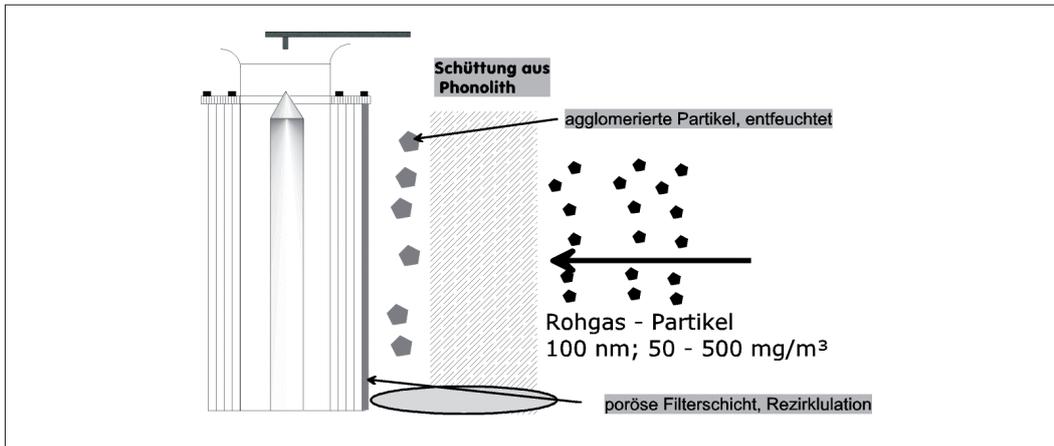


Abbildung 1: Prinzipskizze der technologischen Entwicklung

Zielstellung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer Abscheideeinrichtung für Feinstäube, die bei der Verbrennung von Biomasse entstehen. Zentrales Element ist dabei ein patronenförmiges Filterelement aus Metall-Gewebe. Dadurch sind eine absolute Brandsicherheit sowie die Reinigbarkeit gegeben. Schwerpunkt der Entwicklung ist die Minimierung des Herstellungs- und Verkaufspreises durch geeignete Materialauswahl und Konfektionierung. Der zugehörige Abscheider ist so auf den Einsatz von Metall-Filterpatronen zu konzipieren, dass Taupunkt-Unterschreitungen im Teillast- und Anfahrbetrieb weitgehend ausgeschlossen werden können. Dabei sind das Filterelement mit dünnen, widerstandsfähigen Heizdrähten und der Abscheider mit einer Wärme-Speichermasse auszurüsten. Ausgehend von einem Test von Metallgeweben, welche sich in Bezug auf Maschenweite, Webart und Bindung unterscheiden, wird eine Auswahl getroffen für die Herstellung von Filterpatronen. Die Tests werden mit einem Labor-Versuchsstand mit realem Rauchgas der Biomasseverbrennung durchgeführt. In Übereinstimmung mit den Parametern für die Filterelemente wird der Abscheider, die Abreinigung der Filterelemente sowie die Unterdruckerzeugung

dimensioniert. Nach einer Testphase unter Technikumsbedingungen wird eine Langzeiterprobung unter realen Praxisbedingungen an einer 500 kW-Feuerungsanlage durchgeführt. Am Ende des Projektes stehen eine neue Filterpatrone aus Metallgewebe für die Nachrüstung bestehender Abscheider sowie eine Komplett-Anlage für die Rauchgasreinigung an Biomassefeuerungen für die Einführung in den Markt zur Verfügung.

Das von der AiF Berlin geförderte Kooperationsprojekt wird gemeinsam mit der Fa. Entstaubungsgeräte Pulsnitz GmbH und der Fa. R+B Filter GmbH bearbeitet.

Entwicklungsschritte

Im Wesentlichen war bereits bei Vorhabensbeginn klar, dass Metallgewebe für ein gutes Filtrationsergebnis bei der Biomasseverbrennung sorgen. Allerdings ist für den Marktzugang neben der Funktion auch der Preis entscheidend.



Abbildung 2: Entwicklungsprozess

Daher wurde die Entwicklung mehrstufig unterteilt, beginnend mit der Materialauswahl.

Ergebnisse

Für die Materialtests wurde zunächst ein Rondenversuchsstand an die Versuchsanlage „Modell-Verbrennungsanlage“ angeschlossen. Dabei können mit geringen Brennstoffmengen unterschiedliche Rauchgase erzeugt werden. Zunächst wurden Messungen mit Holzpellets als Referenzmessung durchgeführt. Die Messdaten der Versuche wurden in einer Datenbank erfasst und weiterverarbeitet. Im Rahmen der Auswertung erfolgte auch eine intensive Diskussion mit dem Projektpartner. Die erhaltenen Messdaten wurden in Relation zu den Modellrechnungen gesetzt. Ausgehend davon wurde eine Konzeption für die Laborversuchsanlage entwickelt, an welcher dann auch Messungen und Tests zum Abscheide- und Druckverlustverhalten durchgeführt wurden. Es zeigte sich, dass auch die Schüttschicht am Filter-Eintritt

eine relativ hohe Abscheideleistung aufweist (vgl. Abb. 3/4). Dabei ist der Druckverlust moderat und sorgt für eine Strömungstechnische Trennung zwischen Abscheider und Kessel. Damit ist die Beeinflussung der Rauchgasmenge durch die Regenerierung der Filterelemente nicht mehr so groß wie bei herkömmlichen Staubfiltern in der Branche.

Es wurden Versuche mit dem Brennstoff Holzpellets und Grassilage durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Filterelemente mit metallischem Filtermaterial zum einen ein sehr gutes Abscheideverhalten aufweisen und sich auch sehr gut durch Druckluft-Impulse abreinigen lassen. Die Ergebnisse bilden wiederum die Grundlage für den Praxistest, welcher an einer Kessel-Anlage mit einem Leistungsbereich von 500 kW_{th} durchgeführt werden soll.

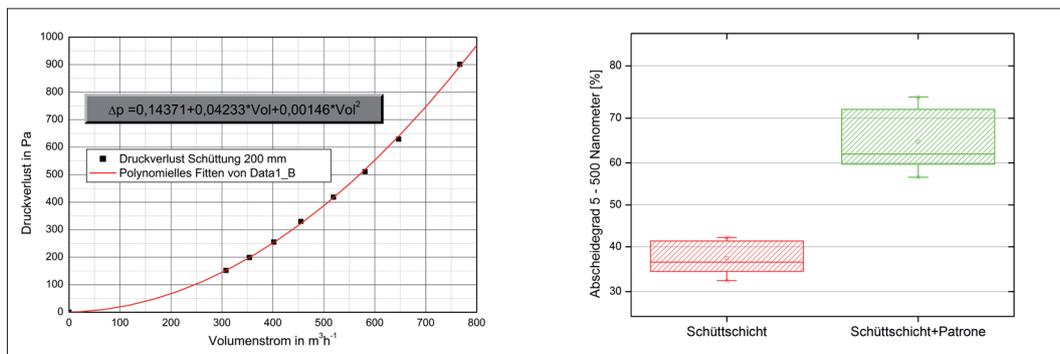


Abbildung 3: Druckverlust und Abscheidegrad der Schüttschicht

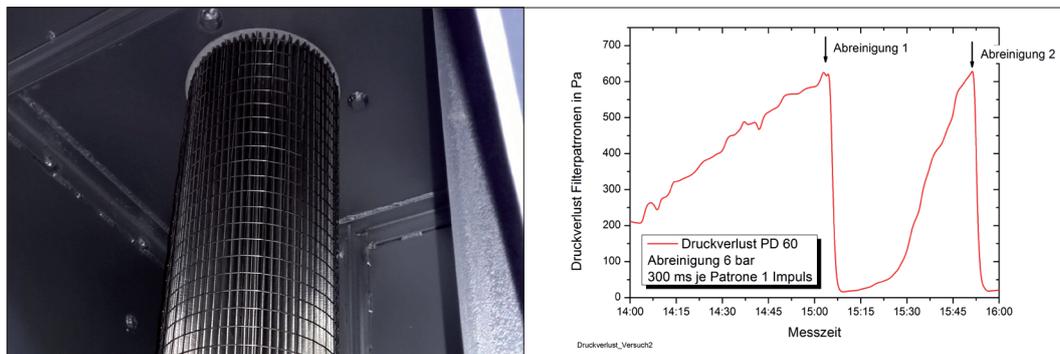


Abbildung 4: Abreinigungsverhalten der Filterpatrone

Personenschleuse

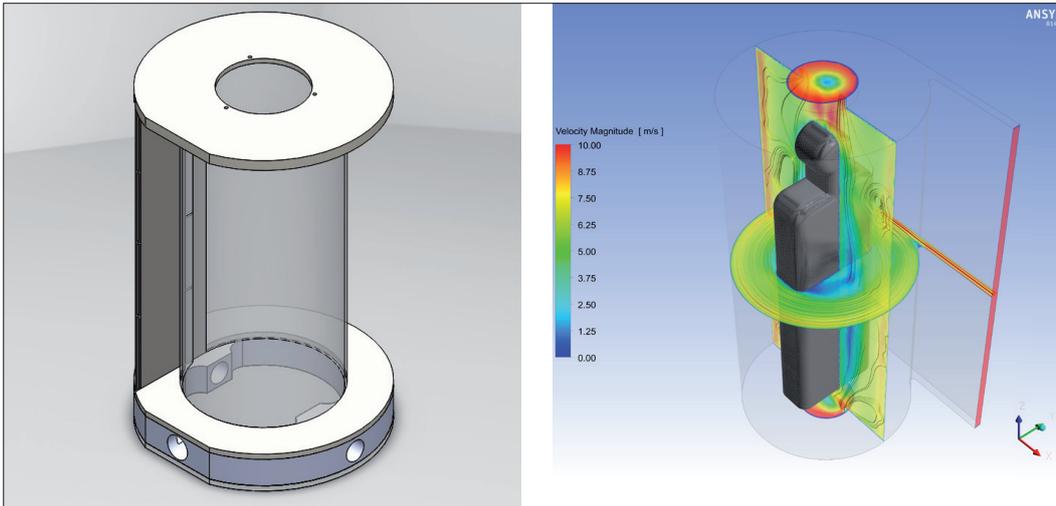


Abbildung 1: Simulation der Strömung in einer Reinraumschleuse mit Absaugung oberhalb und unterhalb der Person (links), Modell zur laseroptischen Messung des Strömungsverhaltens in der Personenschleuse (rechts)

Zielstellung

Innerhalb des Forschungsvorhabens wird ein Schliessensystem entwickelt, mit welchem sehr gute Reinigungsleistungen in kurzer Zeit bei geringstem Platzbedarf realisiert werden können.

Gegenüber dem Stand der Technik entsteht eine zylindrische Personenschleuse mit kreisförmig angeordneten Seitenwänden und Zutrittsstüren. Durch die Vermeidung von Kabinenecken entfallen Toträume und der Rauminhalt der Schleuse wird auf auf $1,75 \text{ m}^3$ reduziert, wodurch eine deutlich erhöhte Luftwechselrate erreicht wird. Parallel wird das Reinigungsergebnis permanent überwacht. Zusätzlich erfolgt eine Positionserkennung der Hände und Füße, um eine für den Reinigungsprozess optimale Körperhaltung zu gewährleisten.

Mit den Projektpartnern SAB Stahl- und Anlagenbau GmbH und Covac Elektro und Automation GmbH wurden unterschiedliche Strömungskonzepte diskutiert und drei Varianten ausgewählt, welche an Prototypen im Original- und Modellmaßstab untersucht werden.

Vor der Konstruktion des Prototypen wurde die Strömung innerhalb der Schleuse unter Verwendung von ANSYS FLUENT simuliert (Abb. 1, links). Am dargestellten Beispiel mit einer Eintrittsgeschwindigkeit der Luft von 10 m/s wird deutlich, dass an der Person Strömungsgeschwindigkeiten von 1 bis 3 m/s angreifen. Die Stromlinien weisen zu den Absaugungen oben bzw. unten. Demnach ist zu erwarten, dass an der Person freigesetzte Partikel abführt werden. Die Eintrittsgeschwindigkeit der Luft ist höher zu wählen, um an der Person Geschwindigkeiten von etwa 4 m/s zu erreichen.

Am Modell der Schleuse (Absaugung oben, tangentialer Einlauf) wurden laseroptische Messungen durchgeführt (Abb. 2). Bei der gezeigten Konfiguration der Schleuse nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zur Mitte hin deutlich zu und liegt mit etwa 30 m/s erheblich über den Geschwindigkeiten, welche als erträglich empfunden werden.

Zur Bestimmung der optimalen Konfiguration der Schleuse in Hinsicht auf die Positionierung des Tauchrohres (Absaugung oberhalb

der Person) und der Ausführung der Absaugung unterhalb der Person sind weitere Messungen vorgesehen.

Parallel waren preiswerte Detektoren zur Überwachung des Reinigungsergebnisses auszuwählen, ihre Leistungsfähigkeit zu überprüfen sowie die Schaltung für die Auswertelektronik zu entwickeln.

In mehreren Versuchsreihen wurden die Detektoren bei unterschiedlicher Verstärkung verschiedenen Aerosolen unterschiedlicher Konzentration und Partikelgröße ausgesetzt. Am geeignetsten für die Messaufgabe zeigt sich der PPD60 (Fa. Shinyei). Mit einem erhöhten Aufwand bei der Signalverarbeitung eignet sich auch der deutlich preiswertere GP2Y1010 (Fa. Sharp) für die

Überwachung des Reinigungsergebnisses. Basierend auf den Untersuchungen der Detektoren wurde der Analogteil der Auswertelektronik ausgelegt und die Fertigung beauftragt. Das Modul erlaubt den Anschluss des PPD60, des GP2Y1010 sowie jeweils eines Sensors für die Temperatur, die Feuchte, die Strömungsgeschwindigkeit und den Differenzdruck. Über Digitalausgänge werden der Reinigungszustand (sauber/schmutzig) sowie eine Fehlermeldung (Volumenstrom zu niedrig) ausgegeben.

Zeitgleich zu den Untersuchungen am ILK wurde beim Projektpartner SAB ein Prototyp konstruiert, dessen Fertigung in Kürze beginnen wird.

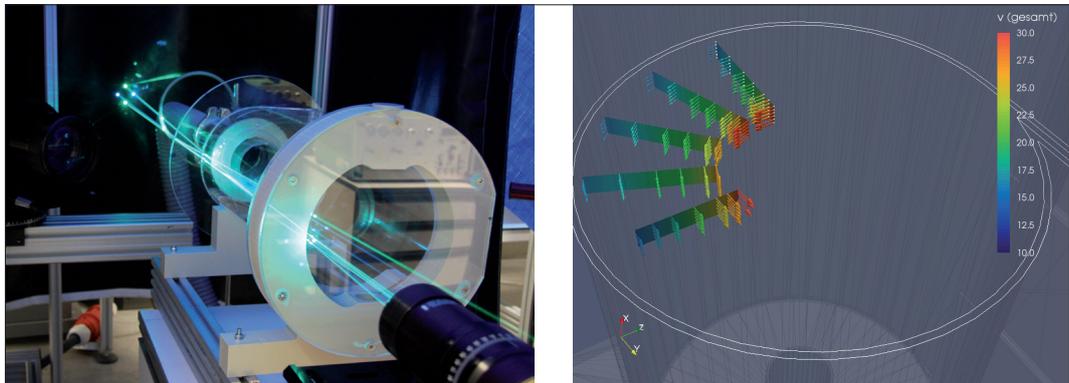


Abbildung 2: Laseroptische Messung der Strömungsgeschwindigkeit in der Schleuse (links), Darstellung der Messergebnisse (rechts)

Projekt „Integrierter Elektroabscheider“ – IntEA

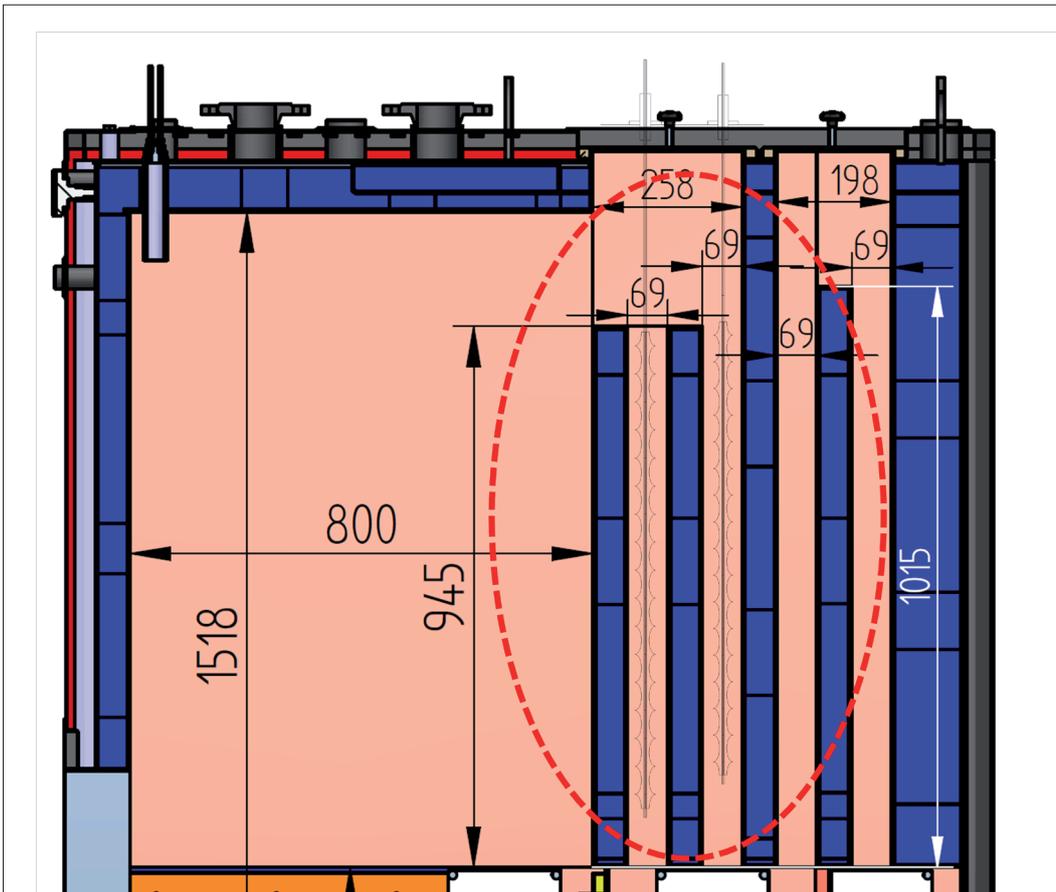


Abbildung 1: Konstruktionsentwurf Elektrodeneinführung im Wärmeübertrager

Das Vorhaben und die Innovation

Das derzeit in Bearbeitung befindliche FuE-Projekt IntEA ist ein weiterer Entwicklungsbaustein des ILK Dresden auf dem Sektor der Emissionsminderungstechnik für Kleinfeuerungsanlagen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Abscheiders neuer Bauart, um vor allem für Neuanlagen den Einsatz von Holzbrennstoffen mit höheren Staubemissionen wie (Wald-) Holzhackschnitzel, KUP oder andere Biobrennstoffen weiterhin zu ermöglichen und so wichtige Energieressourcen zu sichern.

Dabei ist die grundlegende Idee und gleich-

zeitige Innovation, die Integration eines Elektroabscheiders direkt im Heizkesselwärmeübertrager umzusetzen. Unter verfahrenstechnisch – konstruktiver Mitnutzung von Teilen des Heizkessels können damit die bislang hohen Investitionskosten eines solchen Gerätes wesentlich gesenkt werden.

Bisherige Ergebnisse

Die praktische Umsetzung der Entwicklungsarbeit wird an einer 150 kW Rostfeuerung der Fa. Ala Talkkari im Biomasse-Versuchsstand des ILK Dresden realisiert. Es erfolgte zunächst die Konzeption der günstigsten Anordnung der Elektroden im Wärmeübertrager (vgl. Bild 1). Wie bei vielen

Heizkesseln üblich, konnte für die Einbringung der Elektroden ein Revisionsdeckel des Wärmeübertragers genutzt werden. Die Elektroden wurden konstruiert, gefertigt und dabei speziell auf die Parameter des Wärmeübertragers abgestimmt, so dass ein günstiges Strom-Spannungs-Verhältnis erreicht wird.

Das Labormuster ist mit 2 Hochspannungs-Sprühelektroden ausgerüstet. Diese sind mittig in einem Zug des Wärmeübertragers eingebracht. Eine Sprühelektrode weist dabei wiederum 2 Sprühspitzenreihen mit Spitzen mit einem Abstand von 20 mm auf. Die Niederschlagselektrode stellen die angrenzenden 2 Blechwände des Wärmeübertragers dar.

Nach Ausrüstung des Versuchsstands mit einer Hochspannungserzeugung wurden

Versuche zum elektrostatischen Verhalten sowie zur Abscheidewirkung des Labormusters durchgeführt. Dazu wurde ein mit Prüfaerosol beladener Teilstrom des Rohgases über den integrierten Elektroabscheider geleitet. Wie das Bild 2 zeigt, wurden bereits für Hochspannungen von ca. 9 kV mittlere Abscheidegrade von ca. 45 % erreicht (für den gesamten Rohgasstrom entspräche dies 90 % Abscheidegrad).

Derzeit erfolgt die Fertigung weiterer Baugruppen und die Vorbereitung zur Erprobung im realen Heizkesselbetrieb. Mit der Umsetzung des Projektansatzes dringt das ILK dabei in den verfahrenstechnischen Grenzbereich der elektrostatischen Abscheidung vor.

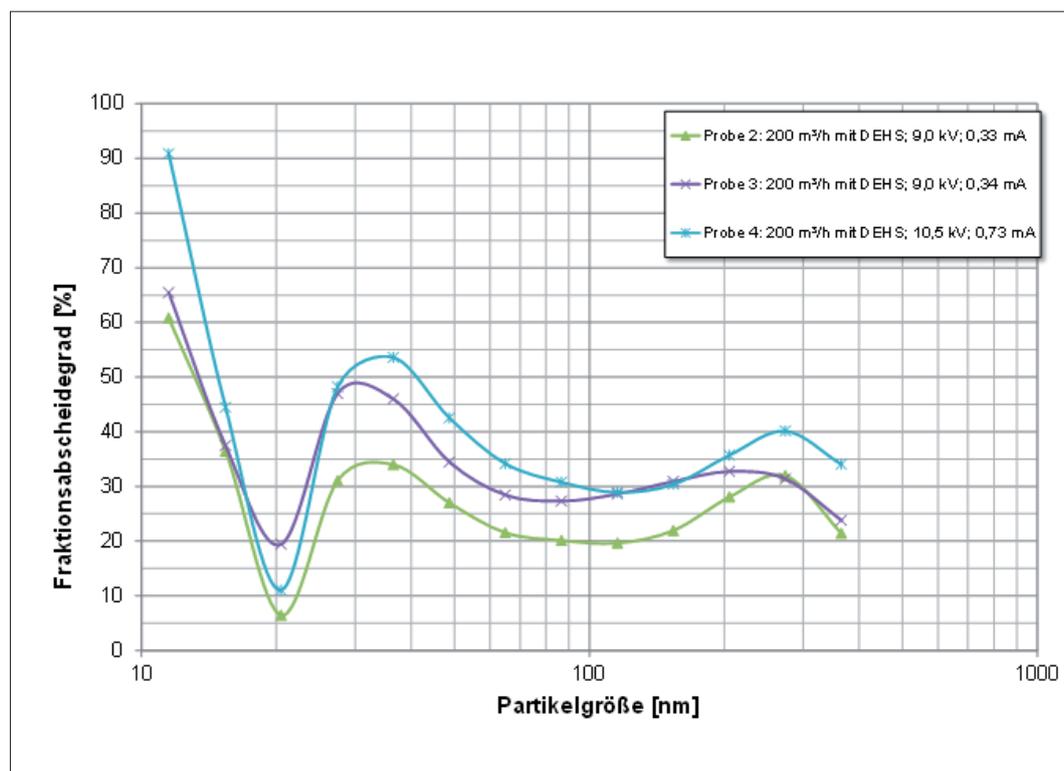


Abbildung 2: Fraktionsabscheidegrade Labormuster mit DEHS – Prüfaerosol

Ingenieurdienstleistungen für die Industrie

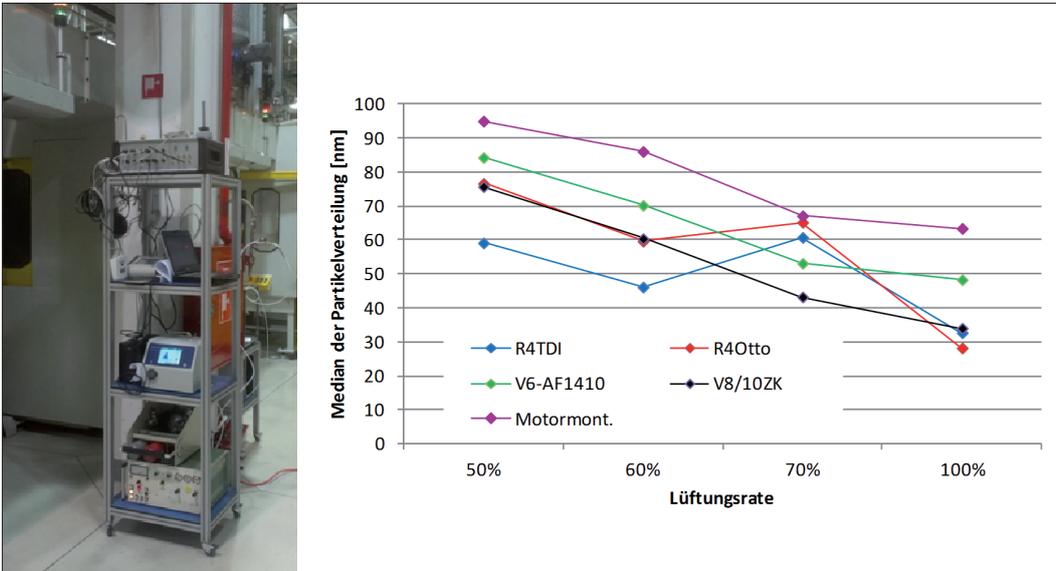


Abbildung 1: Messtechnik für die Partikelanalyse und Auswertung der mittleren Partikelgröße

Untersuchungen zur Luftqualität in einer Fertigungshalle für Motorkomponenten

Ein Maß für die Luftqualität ist der Gehalt an Kühlschmierstoffen (KSS) in der Luft von großen Fertigungshallen im Bereich Automotive. Ein großes Problem ist, dass die KSS durch schnelllaufende Werkzeuge vernebelt werden und Aerosole bilden. Hierbei entstehen auf verschiedene Arten Dämpfe, Rauche und Aerosole. Mechanisch, durch Zerstäubung bei schnell rotierenden Teilen bzw. thermisch durch Cracken und Rückkondensation von verdampften Kühlerschmierstoffen an heißen Oberflächen. Die Größe der gebildeten Tröpfchen ist bei mechanisch erzeugten Aerosolen im Allgemeinen deutlich größer als bei denen, die durch thermische Prozesse entstehen.

In einer Produktionshalle der Fa. AUDI am Standort Győr wurden Messungen zur Luftqualität in Abhängigkeit der Lüftungsrate durchgeführt. Mit einer Verringerung der Lüftungsrate bei Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten lassen sich die Lüftungsanlagen energieeffizienter betreiben.

Über die Variation der Lüftungsrate lässt sich ein Ansteigen der Ölkonzentration bei einer Verringerung der Lüftungsrate zeigen. Weiterhin lässt sich ein Aufagglomerieren kleiner Partikel zu größeren Partikeln verdeutlichen. Die Tröpfchen-Aerosolphase beträgt jedoch nur ca. 1/100 der Gesamtfracht an der Ölkonzentration. Der überwiegende Teil der Gesamtfracht an Öl ist der Dampfphase zuzuordnen. Die effektive Messtechnik konnte so einen entscheidenden Beitrag zur Absenkung der Lüftungsrate und damit für einen energieeffizienten Betrieb der RLT-Anlagen leisten.

Untersuchungen zur Abscheidecharakteristik für Laseraerosol

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Fa. Domino Laser GmbH erfolgte die partikeltechnische Bewertung von Abscheider-Einbauten für die Abscheidung feinsten Aerosole.

Das Abscheideverhalten wurde durch die Untersuchung des Fraktionsabscheidegrads bestimmt. Dabei wurden vor und hinter dem Filterelement die Partikelspektren und die Partikelkonzentration ge-

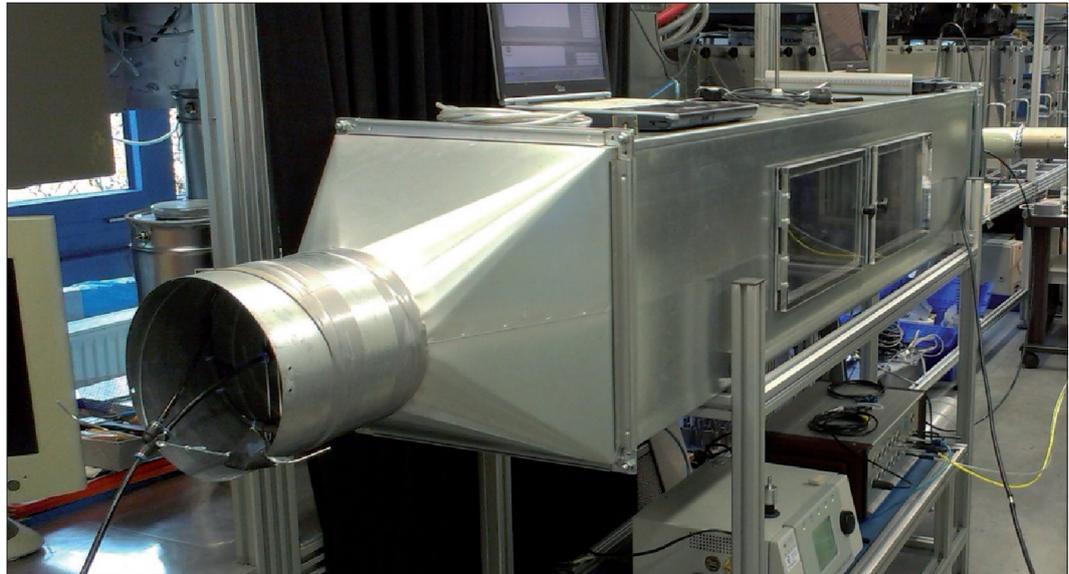


Abbildung 2: Prüfaufbau für Laseraerosolfilter

messen und der Fraktionsabscheidegrad berechnet. Der Fraktionsabscheidegrad bezeichnet die Wirkung für eine bestimmte Partikelfraktion (Größenklasse) und wird in % angegeben. Mit der Kenngröße des Fraktionsabscheidegrades kann eine Aussage über die Abscheidecharakteristik des Filters getroffen werden. Der gemessene Fraktionsabscheidegrad ist abhängig von der Art des Aerosols.

Der Prüfvorgang unterteilt sich in die Bestimmung des Druckverhaltens im Neuzustand, die Bestimmung des Fraktionsabscheidegrads und die Bestimmung der Staubspeicherkapazität.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, welche Filtermaterialien und Einbauten zielführend bei der Abscheidung feinsten Aerosole eingesetzt werden können.

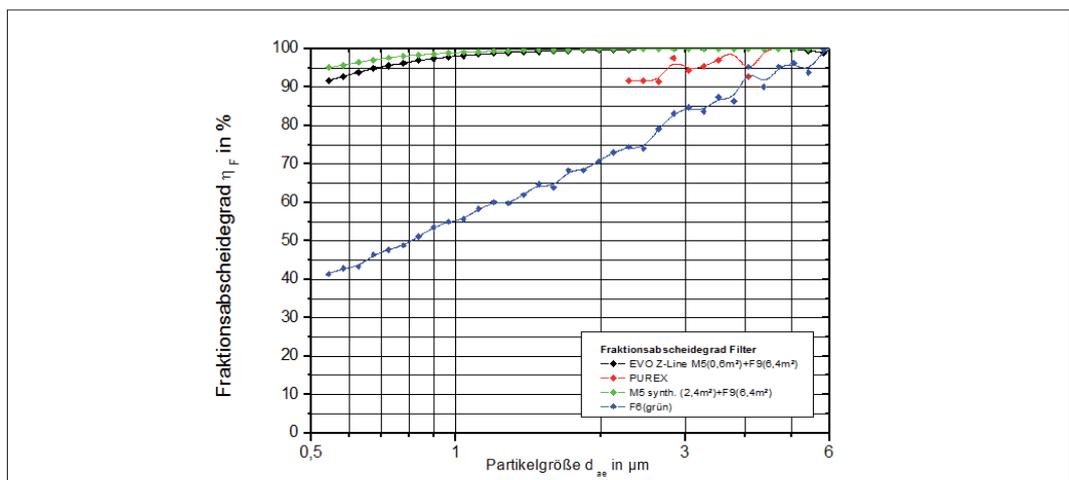


Abbildung 3: Untersuchungsergebnisse für Laseraerosolfilter

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



SMS - Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik	82
Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW	84
EnBeka - Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen	86
Integrales Hüllenprüfverfahren zur automatisierten Dichtheitsprüfung von Kleinkältesystemen	88
Analysenlabor HB4 Angewandte Werkstofftechnik 2015	90

SMS – Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik

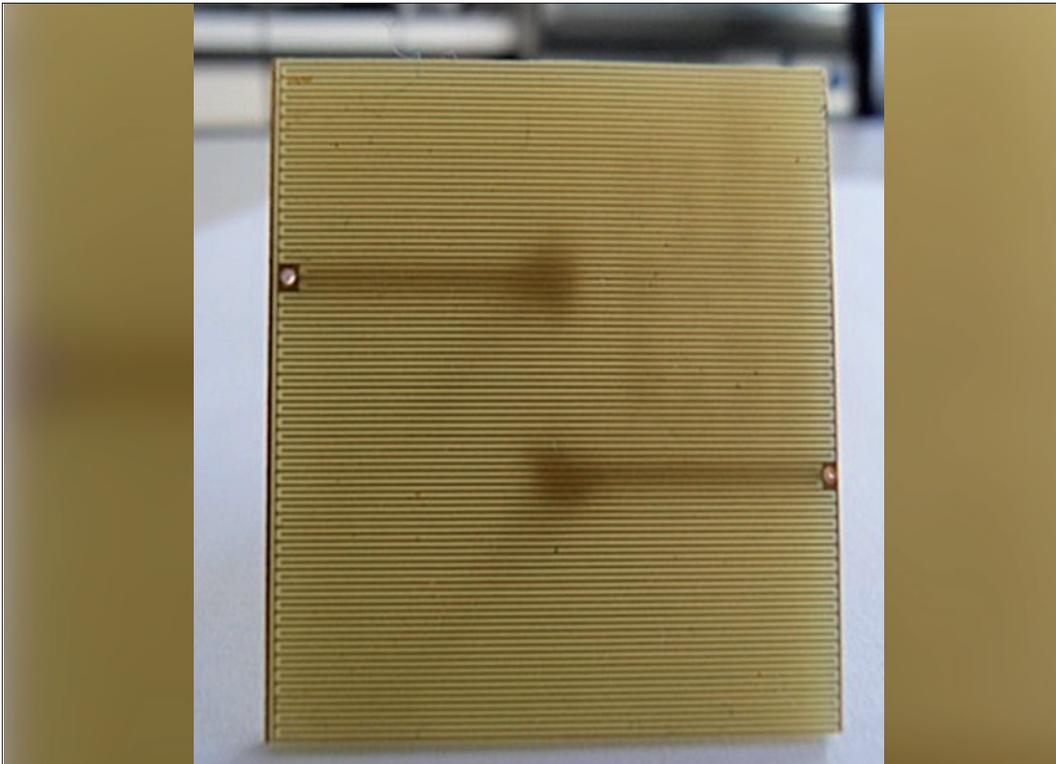


Abbildung 1: Sensorelement mit einer Clay-Hydrogelbeschichtung

Die lückenlose Überwachung der Ölqualität in Kälteanlagen im laufenden Betrieb gestaltet sich als sehr schwierig. Nicht nur der hochkomplexe Aufbau von modernen Kälteanlagen, auch die darin vorherrschenden Bedingungen verhindern den Einsatz etablierter Analysensysteme.

Ziel des hier vorgestellten Projektes ist es daher, neue sensitive Materialien auf der Basis von Hydrogelen und metallorganischen Netzwerken (MOF) auf ihre Eignung als Sensorelemente in Kältekreisläufen zu untersuchen und damit eine Möglichkeit zu schaffen, eine praktikable Qualitätskontrolle der Kälteanlage zu generieren. Hierbei werden Eigenschaftsänderungen dieser Materialien genutzt, um verschiedene Stoffe im Kältekreislauf detektierbar zu machen. Darunter zählen insbesondere die Analyse des Wassergehaltes im Kältemittel, der Beladungszustand des Filter-

trockners, die verschiedenen nicht-kondensierbaren Gase (Stickstoff, Wasserstoff), die Detektion von Blasen und der festen Fremdstoffe (Partikel) sowie die Ölzustandsdiagnostik. Dabei sollen die Hydrogele vor allem als Sensorelement für die Wasserdetektion sowie den Beladungszustand des Filtertrockners eingesetzt werden. Die metallorganischen Netzwerke dienen eher für die Analytik der nicht-kondensierbaren Gase.

Außerdem sollen die Messprinzipien für die Detektion der Eigenschaftsänderungen dieser Materialien evaluiert werden. Mit Hilfe der Cyclovoltammetrie (oder zyklische Voltammetrie; Zyklovoltammetrie) werden die Antioxidantien und Abbauprodukte des Kältemaschinenöles untersucht, um Rückschlüsse auf den Ölzustand zu ziehen. Die gewonnenen Ergebnisse bilden hierbei die Grundlage für eine spätere Sensorentwicklung.

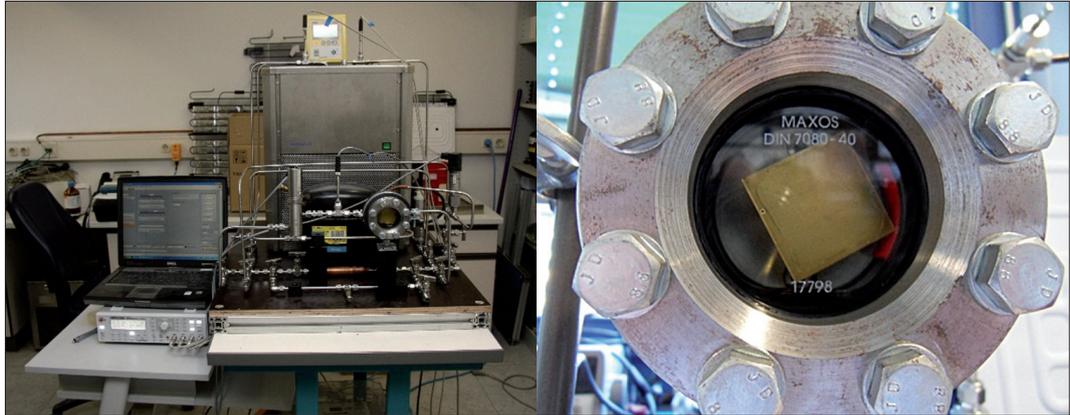


Abbildung 2: Kältekreislauf mit Durchsichtzelle für Sensorelemente

An der TU Dresden wurden Clay-Hydrogele auf vorbereitete Substratmaterialien mit einer leitfähigen Kammstruktur polymerisiert. Dabei wurde der Anteil der Claypartikel im Hydrogel variiert, um deren Auswirkungen auf niedrige absolute Feuchten zu optimieren. Die so hergestellten Sensorelemente sind in Abbildung 1 dargestellt.

Für die Untersuchung der hergestellten Sensorelemente im Kältekreislauf wurde ein neuer Kältekreislauf aufgebaut, mit dem weitere spezifische Parameter (relative Feuchte des Kältemittels, Drücke in der Anlage, gezielte Einstellung, ob sich das Sensorelement in der Gasphase oder in der mit Kältemittel überfluteten Phase befindet) ermittelt werden können. Die Abbildung 2 zeigt den Kältekreislauf mit eingebauter Durchsichtzelle zur optischen Kontrolle der Lage des Sensorelements in der Gasphase oder in der mit Kältemittel überfluteten Phase.

Durch den neuen Kältekreislauf konnte das mitgeschleppte Öl im Kältemittel visualisiert und die Auswirkungen auf die Kapazitätsmessung bestimmt werden.

Die Integration der sehr empfindlichen metallorganischen Netzwerken und Hydrogele gestaltete sich als sehr schwierig. Eine komplette Neuplanung der Anlage wurde vonnöten, da zur Aktivierung der MOF's die Anlage vollständig evakuiert und zusätzlich das Sensorelement beheizt werden musste.

Der essentielle Bereich der Öl-Sensorik konnte erfolgreich auf ein weiterführendes EuroNorm-MF Projekt („Zustandsbestimmung von Ölen mittels Voltammetrie (Oil-CV)“, MF140209) überführt werden.

Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW

Die Speicherung von Energie ist nicht nur für die effiziente Energienutzung bedeutsam, sondern eine Schlüsselfrage für die Hinwendung zu erneuerbaren Energien. Für den Einsatz in Latentwärmespeichern werden Phasenwechselmaterialien (PCM) üblicherweise gekapselt, um Form und stoffliche Integrität der Speicherkörper im geschmolzenen Zustand zu erhalten. Kapselungen bedeuten aber neben technischen/thermischen Nachteilen einen sehr hohen Aufwand/Preis für Material und Technologie. Zielstellung des Vorhabens war die Nutzung der einzigartigen Eigenschaften von ultrahochmolekularem Polyethylen (PE-UHMW). Dieses Material hat dank seiner hohen Molmasse (106 bis 107 g/mol) und besonderer Eigenschaften im geschmolzenen Zustand eine so extrem hohe Viskosität, dass es sich rheologisch wie ein Festkörper verhält. Formstabil schmelzendes PE-UHMW kann daher als ungekapseltes PCM im Direktkontakt mit geeigneten Wärmeträgerfluiden (WTF) eingesetzt werden.

Basierend auf Grundlagen- und Applikationsuntersuchungen zu den Eigenschaften und der Anwendbarkeit von PE-UHMW als ungekapseltes, formstabil schmelzendes PCM für Latentwärmespeicher mit Einsatztemperaturen um 130 °C erfolgte die Auswahl von optimalen PE-UHMW-Sorten und Anwendungsbedingungen bzw. Einsatzszenarien. Zu berücksichtigen waren insbesondere das Oxidationsverhalten des PE-UHMW, die Kompatibilität mit einem geeigneten WTF (spezielles Thermoöl oder Wasser), die Formstabilität in der Schmelze sowie das komplexe Ausdehnungsverhalten des PCM mit anisotropen Memory-Effekten und einer relativen Dehnung von 5,5 % zwischen 25 °C und 145 °C. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Funktionsmuster eines Latentwärmespeichers auf der Basis von PE-UHMW konzipiert, konstruiert, aufgebaut und betrieben. Das Funktionieren des ungekapselten PCM wur-

de nachgewiesen und erfolgreich bestätigt. Das Latentspeicher-Demonstrationssystem des ILK zeichnet sich durch folgende Eckdaten und Parameter aus:

- Der Muster-Speicher entspricht einem drucklosen, offenen System mit Silikon-Thermoöl als WTF. Für Versuche wurde als Wärmequelle ein elektrischer Heizer (Durchlauferhitzer) eingesetzt, als Wärmenenke diente ein Kaltwassernetz.
- Das PCM wurde in Form von senkrechten parallelen Platten verwendet (Dicke 20 mm, Höhe 892 mm, Breite 203 – 879 mm, Plattenabstand 5 mm), insgesamt wurden im Speicher 379 kg PE-UHMW (Molmasse $7,7 \cdot 10^6$ g/mol, Schmelzenthalpie 159 kJ/kg) eingesetzt. Die Konstruktion des Speicherbehälters und die flexible Halterung der Speicherplatten ermöglichten eine Lösung der Ausdehnungsprobleme.
- Die Arbeitstemperaturen des Speichers liegen im Bereich um 130 °C, die Schmelz- bzw. Erstarrungstemperaturen des PE-UHMW betragen ca. 133 bzw. 127 °C, typische Belade- und Entladezyklen erfolgten zwischen 115 und 139 °C.
- Die Gesamtkapazität des Speichers im Arbeits-Temperaturbereich von 115 bis 139 °C beträgt 27 kWh und entspricht dem projektierten Wert; davon entfallen 76 % auf das PCM und 58 % stellen den Latentanteil dar.
- Die Speicherleistung ist zeit- und betriebsregimeabhängig; es wurden in Zeitintervallen von einer bis wenigen Stunden Leistungswerte zwischen 3,5 kW und 27 kW erzielt. Limitierungen der Dynamik ergaben sich seitens der eingesetzten Wärmequelle, durch technisch ungünstige inhomogene Nichtgleichgewichtszustände bei schnellen Prozessen und durch den langsamen Wärmetransport in den großen Platten.
- Die Einzelergebnisse waren reproduzierbar und zuverlässig. Das PE-UHMW

zeigte eine gute Zyklenfestigkeit und ausreichende Formstabilität, das PCM befand sich insgesamt 523 h im geschmolzenen Zustand. Im Verlauf von 16 Zyklen (735 h bei Temperaturen oberhalb von 115 °C) wurden umfangreiche positive Betriebserfahrungen für künftige Serienanwendungen von Wärmespeichern gewonnen.

Anwendungsmöglichkeiten dieser Art der thermischen Speicherung sind Prozesse um 130 °C mit mittleren Zykluszeiten von wenigen Stunden, z. B. im Zusammenhang mit der Abwärmenutzung bei zyklischen industriellen Prozessen, einer zeitlich gleichmäßigen Nutzung regenerativer Energien oder der Glättung des Spitzenlastverhaltens der Wärmeversorgung. Vorteile dieser Art der Wärmespeicherung bestehen neben Einsparungen von Primärenergie in den hohen Speicherdichten und dem Wegfall der Druckbehältertechnik. Die mit Abschluss des Projektes Mitte 2015 entwickelte Lösung ist insbesondere auch als Nachrüstung existierender Wasser- oder Ölspeicher geeignet.



Abbildung 1: Latentwärmespeicheranlage auf der Basis von PE-UHMW als ungekapseltem, formstabilem PCM im Technikum des ILK Dresden

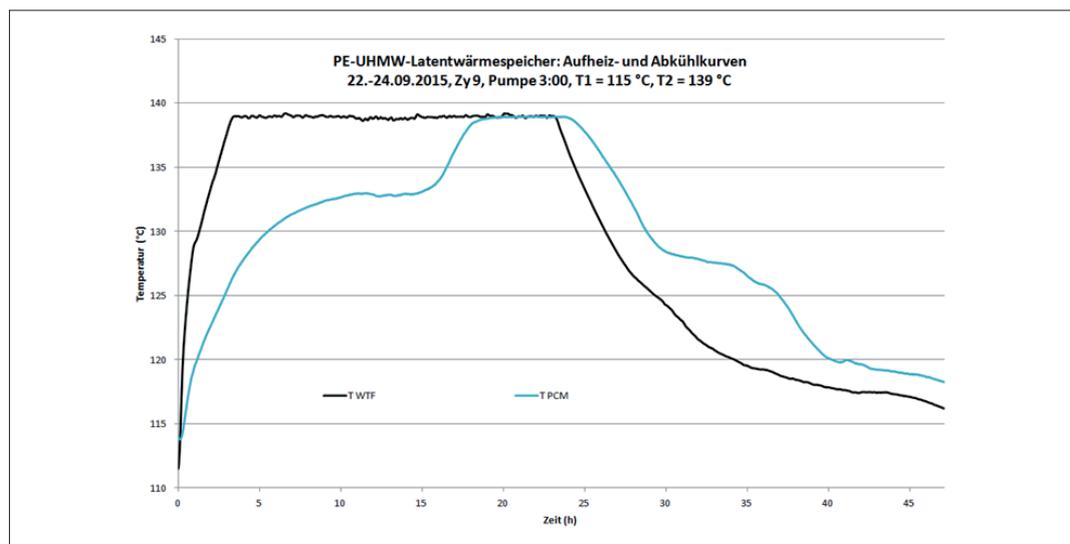


Abbildung 2: Prozesstemperatur-Charakteristiken (Aufheiz- und Abkühlkurven) des Latentwärmespeichers (PCM: hellblau, Öltemperatur: schwarz); Phasenwechsel-Plateaus bei $T_m = 133$ °C und $T_c = 127$ °C

EnBeka – Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen

Kälteanlagen haben einen nicht unerheblichen Anteil am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Trotzdem gibt es bis heute keine eindeutigen und systematischen Untersuchungen zur Bewertung des Energieverbrauchs oder der Diagnose des Anlagenzustandes. Auch fehlt es an Konzepten zum standardisierten Monitoring und darauf aufbauender Beobachtungsregime, die eine einheitliche Bewertung verschiedener Anlagentypen wie Industriekälte, Klimakälte, Gewerbekälte, Kühlhäuser unterschiedlicher Hersteller erlauben. Diese Lücken sollen im Rahmen des FuE-Vorhabens geschlossen werden.

Ziel des Vorhabens ist es daher, systematische Methoden und praktikable Verfahren zur Überwachung und Diagnose für Kälteanlagen zu entwickeln. Hierbei soll mit Hilfe neuartiger Methoden auf Basis unscharfer Regeln (Fuzzy Logik) eine wissensbasierte, anlagentypunabhängige Klassifizierung und Bewertung des Anlagenzustandes erreicht werden. Im Rahmen der Auswertung von Daten aus bereits vorliegenden Anlagen sollen unscharfe Bewertungsregeln definiert und verifiziert werden. Anhand einer ausgewählten Referenzanlage und einiger Vergleichsanlagen von Supermarktkälteanlagen sollen praxisrelevante Daten die entwickelten Algorithmen schärfen und Informationen zum Anlagenzustand sowie Verschleißerscheinungen liefern.

Als Ergebnis der Entwicklung soll ein Monitoring-Verfahren für eine Vielzahl von typischen Anlagen abgeleitet werden, welches Aufschluss über Veränderungen in der Kälteanlage oder der angeschlossenen Peripherie anhand anlagenspezifischer Merkmale gibt. Gleichzeitig soll es mit dem Monitoringsystem möglich sein, eine mittel- und langfristige betriebswirtschaftliche Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen abzuleiten.

Im Rahmen des Projektes EnBeKa werden

gewerbliche Kälteanlagen, speziell im Bereich der Supermarktanlagen, anhand verfügbarer Prozesswerte nach verschiedenen Gesichtspunkten analysiert und auf Optimierungspotenziale bewertet. Die Daten von bis zu 1000 Messstellen je Anlage werden erfasst, archiviert und für die weitere Bearbeitung aufbereitet. Die Analyse der Daten ist der Grundstein für die Entwicklung geeigneter Werkzeuge, um Aussagen über

- die Effizienz einer Kälteanlage im täglichen Betrieb,
- die Möglichkeit einer Betriebsoptimierung für einige Anlagenparameter und
- den Zustand einer Anlage anhand der auflaufenden Prozessdaten zu gewinnen.

Zur Bearbeitung dieser Aufgaben wurden in den zurückliegenden Projektabschnitten geeignete Werkzeuge in Form eines prototypischen Diagnosesystems erschaffen, um die enormen Datenmengen von bis zu tausend Prozessgrößen in eine geeignete Datenbankarchitektur zu überführen und diese anschließend zu analysieren. Zur Systematisierung der Prozessgrößen und Zuordnung zu Kühlstellen oder Anlagenteilen wurde eine Adjazenzmatrix entwickelt, die das Kernstück des prototypischen Diagnosesystems bildet. In ihr ist die thermodynamische Strukturinformation des jeweiligen Supermarktes hinterlegt. Anhand dieser Matrix lassen sich Berechnungsvorschriften für verschiedenste Gruppen von Prozessdaten hinterlegen und „on demand“ ausführen. Diese Berechnungen können durch den Anwender frei definiert werden, wodurch das prototypische Diagnosesystem stets an neue Auswertekriterien angepasst werden kann. Durch die Möglichkeit zur Zuordnung von Prozessgrößen zu den zugehörigen Anlagenteilen oder Kühlstellen konnten flexible Visualisierungsalgorithmen entwickelt werden, die eine abstrahierte Marktstruktur abbilden und bei Bedarf dem Nutzer die aufbereiteten Prozessdaten der Kühlstelle zur Verfügung stellen.

Das prototypische Diagnosesystem ist herstellerübergreifend einsetzbar und ermöglicht dem Servicetechniker eine „gut“- bzw. „schlecht“-Information über den aktuellen Zustand einer Kühlstelle oder eines Anlagenteils zu erhalten, ohne eine aufwändige Analyse von Anlagendaten vornehmen zu müssen.

Im Rahmen des Projektfortschrittes wurden Algorithmen entwickelt, die eine flexible Datenanalyse von historischen Daten mit aktuellen Daten ermöglicht. So lassen sich saisonale Unterschiede, betriebswirtschaftlich relevante Abrechnungszeiträume oder ganze Jahresscheiben miteinander vergleichen. Neben der Möglichkeit des visuellen Vergleiches der Daten wurden statistische Kenngrößen genutzt, um einen Anlagendrift mathematisch zu beschreiben. Durch die Auswertung dieser Kenngrößen ist es möglich, dem Bediener die Verschlechterung von Betriebsparametern in Form einer „Ampel“ zu visualisieren. Bewegt sich eine Kühlstelle oder ein anderer Anlagenteil aus seinem üblichen Bereich, so wird dies über die Ampel alarmierend signalisiert.

Durch die Verknüpfung mehrerer Kenngrößen miteinander kann auf komplexere Anlagenprobleme geschlossen werden. Grundlage hierfür sind Hypothesen als Beschreibung eines Fehlers, die durch Diagnose von Anlagenstörungen aufgestellt wurden. Zur mathematischen Beschreibung dieser Hypothese werden linguistische Terme aus dem Bereich der Fuzzy-Logik verwendet, die eine Verknüpfung der ermittelten Ergebnisse der Prozessdaten mit logischen Operationen ermöglicht.

Die Diagnose der Prozessdaten der verschiedenen Testmärkte der letzten 3 Jahre konnte Aufschlüsse über typische Anlagenstörungen liefern. Diese wurden analysiert und geeignete Werkzeuge zur mathematischen Beschreibung und der Auswertung

entwickelt. Zur Bestimmung der Anbahnung einer Störung sind eine Trendüberwachung einzelner Prozessgrößen und deren Betrachtung im Kontext notwendig. Das Alarmaufkommen an den Kühlstellen Normalkühlung NK1 bis NK7 lässt sich beispielhaft anhand der Häufigkeit von Alarmen an den Kühlstellen wegen Überschreitung der Warengrenztemperatur darstellen (Abbildung 1).

Mit dem Wissen, dass es im August am betreffenden Markt zu einer größeren Störung kam, die eine Reinigung der Außeneinheit der Rückkühlung und eine Anlagennachbefüllung mit Kältemittel zur Folge hatte, lässt sich die Alarmhäufigkeit als einer der Indikatoren für einen drohenden Anlagenausfall interpretieren. Eine Überwachung dieser Kenngrößen über alle Kühlstellen NK1-NK7 hinweg in Form einer Trendüberwachung kann diese Störung frühzeitig ankündigen.

Im verbleibenden Projektzeitraum wird das prototypische Diagnosesystem finalisiert und bezüglich der Erkennung von Anlagenstörungen weiter geschärft, so dass weitere „typische“ Fehler an Kälteanlagen zuverlässig erkannt werden können.

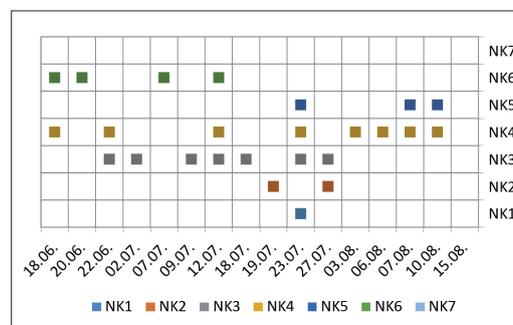


Abbildung 1: Auftreten von Alarmen an den Kühlstellen NK1 bis NK7 in Abhängigkeit von der Zeit; NK3 und NK4 als entfernteste Kühlstellen im Besonderen auffällig

Integrales Hüllenprüfverfahren zur automatisierten Dichtheitsprüfung von Kleinkältesystemen

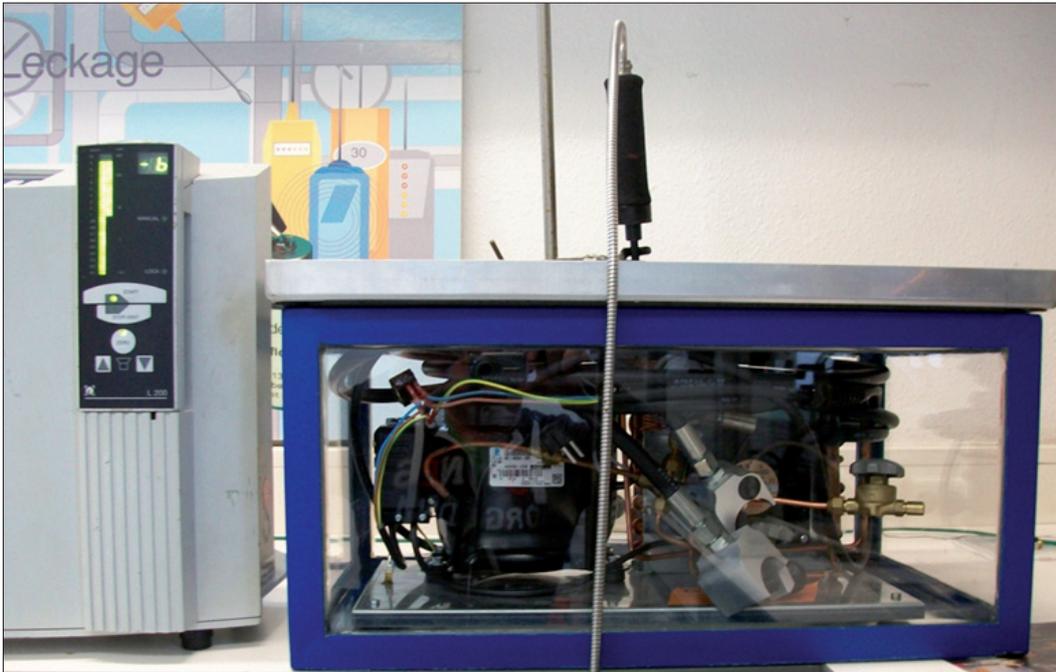


Abbildung 1: Prüfling Einfriersystem, Aufbau Hüllenprüfung (Labormaßstab)

Im Rahmen des Projekts soll ein marktfähiges Prüfgerät entwickelt werden, mit dem die Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen und deren Komponenten mittels Hüllenprüfverfahren durchgeführt wird. Ziel ist es, bei gleicher Prüfschärfe die Prüfzeit im Vergleich zur manuellen Schnüffellecksuche zu verkürzen, den subjektiven Einfluss weitestgehend auszuschließen und den Prüfablauf weitestgehend zu automatisieren.

Im Jahr 2014 wurden zunächst u. a. mögliche Prüfvarianten erarbeitet. Im Berichtszeitraum 2015 wurden diese bewertet und die Vorzugsvariante im Labormaßstab aufgebaut. An diesem Aufbau wurden dann umfangreiche Versuche erfolgreich durchgeführt.

Das Hüllverfahren ist ein integrales Verfahren. Hierbei wird die Gesamtleckagerate des eingehüllten Areals ermittelt. Daher entspricht die mit der Prüfanlage nachzuweisende Leckagerate der zulässigen Le-

ckagerate einer Verbindungsstelle bzw. der zulässigen Gesamtleckagerate der Anwendung. Somit besteht die Aufgabe der Detektion kleiner Leckageraten, die im Bereich von 0,5 g/a bis 5 g/a Kältemittel liegen. Ein wesentlicher Parameter für den Einsatz einer solchen automatisierten Dichtheitsprüfung ist die dazu erforderliche Prüfzeit.

Die Akkumulationszeit (Zeit zum Aufkonzentrieren des Prüfgases in der Hülle) zur Erkennung der festgelegten Leckageraten ist dabei primär von den Faktoren Hüllvolumen, Prüfgas und Nachweisgrenze des Detektors abhängig. Weiterhin haben die Faktoren Prüfdruck, Dichtheit der Hülle und das Hüllmaterial selbst Einfluss auf die Akkumulationszeit. Im Berichtszeitraum wurden diese Faktoren detailliert einzeln und in Kombination untersucht.

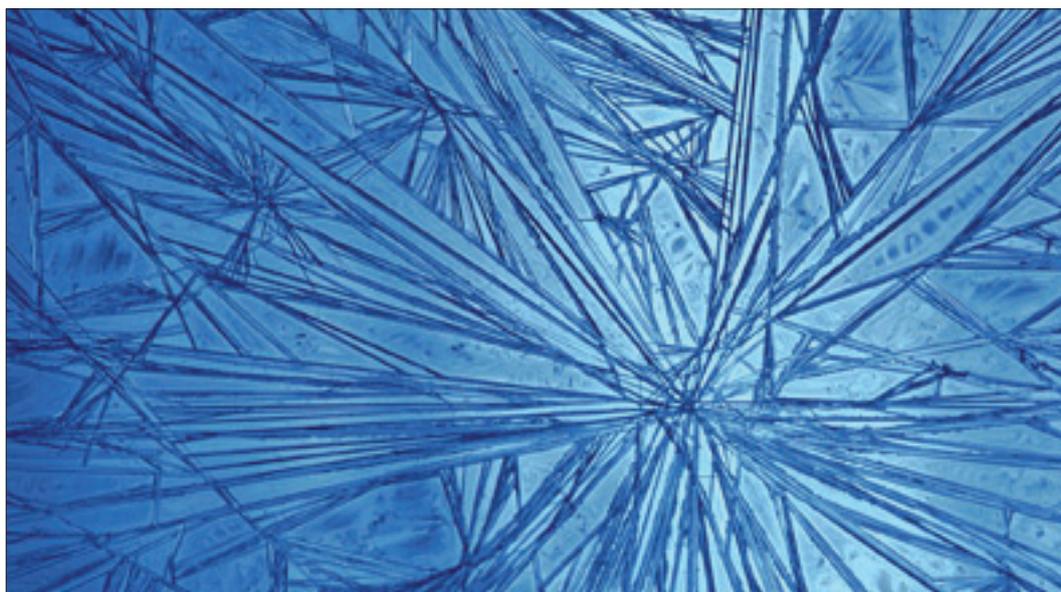
Das sich daraus ergebende, optimale Konzept wurde im Labormaßstab aufgebaut und an drei konkreten Beispielen kompakter

Kältesysteme praktisch erprobt und optimiert. Diese wurden durch den Projektpartner zur Verfügung gestellt.

Bei den Prüflingen handelt es sich um ein spezielles mobiles Einfriersystem mit zwei Verdampfern und flexiblen Kunststoffleitungen (vgl. Abb. 1), um ein kompaktes Kleinkältesystem für medizinische Anwendungen und im Weiteren um eine Wärmepumpe zur Prozesslufttrocknung für gewerbliche Anwendung. Diese Anwendungen stellen jeweils separate prüftechnologische Herausforderungen dar. So kann das mobile Einfriersystem nicht mit Helium bzw. Formiergas geprüft werden, da hierbei Prüfgas durch die Kunststoffleitungen entweicht. Bei dem Kleinkältesystem für medizinische Anwendungen sind Isolierstoffe verbaut, auf die kältemittelbasierten Detektoren oft querempfindlich reagieren. Die Wärmepumpe verfügt baulich über ein (relativ großes) Hüllvolumen von ca. 500 l. Bei diesem Gerät ist eine anwendergerechte Akkumulationszeit nur unter Verwendung von Helium als Prüfgas realisierbar.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden Lösungen erarbeitet und praktisch validiert, die den genannten Herausforderungen gerecht werden.

Basierend auf dem Laboraufbau soll nun ein vermarktungsfähiges Prüfgerät entwickelt werden. Das Prüfgerät besteht aus den Hauptkomponenten Prüfhülle, Detektor und Auswerteeinheit. Bei der Auswerteeinheit handelt es sich um eine für die konkrete Anwendung zu entwickelnde Kombination aus Messwerterfassung, Bedientableau und Ergebnisanzeige. In diesem Tool sind die Basisdaten (Hüllvolumen Prüfdruck, zulässige Leckagerate etc.) durch den Werker einzugeben. Während der Prüfung werden dann Parameter (u. a. Detektorsignal, Akkumulationsdauer, Prüflingerkennung) erfasst und gespeichert. In der Auswerteeinheit wird aus diesen Daten die tatsächliche Leckagerate ermittelt und dem Werker bauteilbezogen als Gut- / Schlechtteil (Pass/Fail) angezeigt.



Analysenlabor HB4 Angewandte Werkstofftechnik 2015



Abbildung 1: ICP-OES-System iCAP 7600 von Thermo Scientific mit Autosampler

Der Hauptbereich 4 „Angewandte Werkstofftechnik“ verfügt über ein physikalisch-chemisches Laboratorium, welches sich schwerpunktmäßig mit den Stoffeigenschaften der Arbeitsstoffe der Kältetechnik (Kältemittel, Kühlsohlen, Absorptionslösungen, Kältemaschinenöle etc.), deren Mischungen und den verwendeten Werkstoffen im Kältemaschinenbau beschäftigt. Neben der Analyse der grundlegenden physikalischen (z. B. Dichte, Viskosität, Dampfdruck, Wärmeleitfähigkeit) und chemischen (z. B. pH-Wert, Säure-/Basengehalt, Reinheit) Eigenschaften der Fluide werden im Labor auch neue Untersuchungsmethoden (z. B. thermische und elektrische Eigenschaften unter hohen Temperaturen und Drücken, Permeation von Kältemitteln und Gasen durch Werkstoffe) entwickelt und optimiert.

Neue Werkstoffe für den Kälteanlagenbau werden auf ihre Materialverträglichkeit mit den Arbeitsstoffen geprüft und anschlie-

send umfassend analysiert. Die Prüfung auf Beständigkeit findet hierbei in der Mehrzahl unter erhöhten Temperaturen und Drucklagen in Autoklavensystemen statt. Über angepasste Seal Tube Tests werden die thermische und chemische Stabilität der eingesetzten Kältemittel-Öl-Gemische zusammen mit anlagentypischen Metallproben (Stahl, Aluminium und Kupfer) bei Temperaturen bis zu 250 °C untersucht. Nach der Auslagerung der Werkstoffe in den Autoklaven unter z. B. Kältemittel-Öl-Atmosphäre werden sowohl die Änderungen der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe als auch potenzielle Veränderungen des Öls und des Kältemittels analysiert, im Fall der neuartigen HFO-Kältemittel auch auf die Bildung der bedenklichen Stoffe Fluorwasserstoff (HF) und Trifluoressigsäure (TFA). Zu den wichtigsten eingesetzten Methoden gehören hierbei die Analyse auf Reinheit und Zusammensetzung, der Wasser-, Säure- und/oder Basengehalt (Neutralisationszahl) so-

wie spezielle Chromatographie- und Spektroskopiemethoden, wie GC, HPLC, UV-Vis, IC, IR, und ICP-OES. Die für Dichtung- und Schlauchmaterialien wichtigen Permeationseigenschaften lassen sich in speziell dafür angefertigten Messzellen bestimmen.

Alle Analysenmethoden werden ständig verifiziert und entsprechend den Anforderungen und Kundenwünschen angepasst und weiterentwickelt. Die hohe Qualität des Labors und der Analyseergebnisse wird durch die Teilnahme an öffentlichen Ringversuchen regelmäßig überprüft und sichergestellt.

Dafür steht auch die ständige Erneuerung der technischen Hilfsmittel. So wurde Mitte 2015 ein neues optisches Emissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry, ICP-OES) von Thermo Scientific (iCAP 7600) gekauft, um weiterhin eine qualitative hochwertige und sensitive Elementbestimmung sowohl in wässriger als auch in öliger Phase gewährleisten zu können. Gerade für die Zusammensetzung

von Ölen in Bezug auf neue Additivierungen ist es wichtig, den Elementgehalt genauestens analysieren zu können.

Zu den Neuanschaffungen 2015 gehören auch eine Präzisionswaage (Cubis® Analysenwaage) von Sartorius und ein Tieftemperatur-Autoklav der Firma C3 Prozess- und Analystechnik GmbH nebst Tiefkühlthermostat der Firma medingLab Labor- und Kältetechnik. Die Analysenwaage ermöglicht es, kleinste Probengewichte noch sehr genau auswiegen zu können und damit den Wäagefehler deutlich zu reduzieren. Der Durchsicht-Tieftemperatur-Autoklav (bis -90°C und max. 100 bar) wurde eigens für das ILK gefertigt. Dieser Messplatz ermöglicht es u. a., die Zusammenhänge beim Auflösen und Ausgasen von Kohlendioxid (CO_2) aus verschiedenen Arbeitsfluiden (z. B. Perfluoroketone, Hydrofluorether) unter Tieftemperaturbedingungen zu untersuchen. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Bestimmung von flüssig-flüssig- und flüssig-fest-Phasengleichgewichten von CO_2 -haltigen Systemen bei tiefen Temperaturen und teils stark erhöhten Drücken.



Abbildung 2: Tieftemperatur-Autoklav von C3 Prozess- und Analystechnik GmbH (links); Trockeneispellets (CO_2 , Durchmesser 3 mm) mit Anhaftungen von Wassereiskristallen aus Luftfeuchte (rechts)

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Verfahrensoptimierter Direktverdampfer zur Vakuumeiserzeugung (DIVA)	94
Hocheffiziente Mehreffekt-Wärmeübertrager für die Destillation	96
Außenluft geführte Kompressions-Absorptions-Kaskadenkälteanlage mit neuen Plattenwärmeübertragern und gleitendem Mitteldruck zur energie- effizienten Tiefkälteerzeugung	98
Effiziente Rückkühlung für die solarthermisch angetriebene Kälteerzeugung (So-laRück)	100
Entwicklung und Erprobung einer direkt luftgekühlten Sorptionskälteanlage zur solaren Klimatisierung (LuSoKa)	102

Verfahrensoptimierter Direktverdampfer

zur Vakuumeiserzeugung (DIVA)

Das ILK Dresden hat in zurückliegenden F/E-Projekten die Technologie zur Flüssigeiserzeugung durch Direktverdampfung grundlegend soweit entwickelt, dass zwei Anlagen kleiner Leistung errichtet werden konnten. Die erste Anlage dieser Art entstand im Rahmen des INNO-WATT-Projekts IW080116 und befindet sich im ILK Technikum. Sie dient dort den laufenden F/E-Arbeiten und war u.a. Basis dieses F/E-Projekts. Eine weitere Anlage wurde auf Basis des Technologiestands INNO-WATT-Projekt IW080116 außerhalb des ILK beim Anwender, der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ), errichtet. Diese Anlage ist in das Hochschulkältenetz eingebunden und erfüllt dort Aufgaben eines thermischen Kältespeichers im Sinne der Minderung von Lastspitzen.

Beide Anlagen verfügen über eine relativ geringe Eiserzeugerleistung von 50 kW und einer Speicherkapazität von 350 kWh. Für die Technologieentwicklung waren diese Leistungsparameter sinnvoll und hinreichend. Jedoch stellen die eingangs beschriebenen Anwendungsfelder höhere Forderungen im Bezug auf Eiserzeugerleistung und Kältespeicherkapazität.

Die Zielstellung dieses Projekts lag in der Entwicklung eines verfahrensoptimierten Direktverdampfers zur Flüssigeiserzeugung, da es sich gezeigt hat, dass dort die größten Herausforderungen im Hinblick auf Funktion, Effizienz und Betriebssicherheit liegen.

Im kleineren Leistungsbereich zwischen 50 und 100 kW Kälteleistung, auf welchen dieses Vorhaben zielte, fehlen praktikable Lösungen, welche einen sicheren und hoch wirksamen Betrieb von Direktverdampfersystemen zur Eiserzeugung möglich machen. Die größte Herausforderung und damit Zielstellung dieses Vorhabens bestand darin, das Verfahren der Eiserzeugung durch Direktverdampfung so zu gestalten, das folgende Ansprüche erfüllt sind:

- Direktverdampfung des Kältemittels Wasser bei minimaler Unterkühlung

- Dauerbetriebssicherheit des Verdampfers durch Verhinderung nicht zulässiger Eisanhaltungen und Eiswachstum an Wänden, Bauteilen und der Wasseroberfläche
- Unterbindung der Agglomeration von Eispartikeln
- Aufrechterhaltung eines homogenen Mischungszustands von Eis und Wasser
- sicherer Abtransport des Wasser-Eis-Gemischs zum Verbraucher oder Speicher
- Möglichst kompakte Gestaltung des Verdampfers (Außenabmessungen) bei Sicherstellung der geforderten Verdampferleistung

Der zur Umsetzung der Projekthinhalte aufgestellte Arbeitsplan sah Grundlagenuntersuchungen an einer Modellversuchseinrichtung (Abbildung 1) vor. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden entsprechend des Arbeitsplans auf ein erstes Funktionsmuster (Abbildung 2 und 3) übertragen und durch experimentelle Untersuchungen verifiziert.

Zusammenfassend kann berichtet werden, dass die eingangs formulierte Zielstellung in allen Punkten mit gutem Erfolg erreicht wurde. Die im Verdampferapparat erreichte minimale Unterkühlung liegt bei 1 Kelvin. Der Direktverdampfungsprozess konnte reproduzierbar bis zu einer Eiskonzentration von 40 m%, über mehrere Stunden sicher aufrecht erhalten werden. Dabei konnte die Agglomeration von Eispartikeln auf ein den Prozess nicht beeinflussendes Minimum reduziert werden. Durch den Einsatz eines speziell für diese Anwendung gestalteten Rührwerks wurde es möglich, das Wasser-Eis-Gemisch in einem homogenen Mischungszustand zu halten sowie für einen sicheren Abtransport zum Verbraucher zu sorgen. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere aus den experimentellen Untersuchungen am ersten Funktionsmuster, wurden Gestaltungsrichtlinien für den Entwurf eines Vorserienmodells abgeleitet und für dieses umgesetzt.

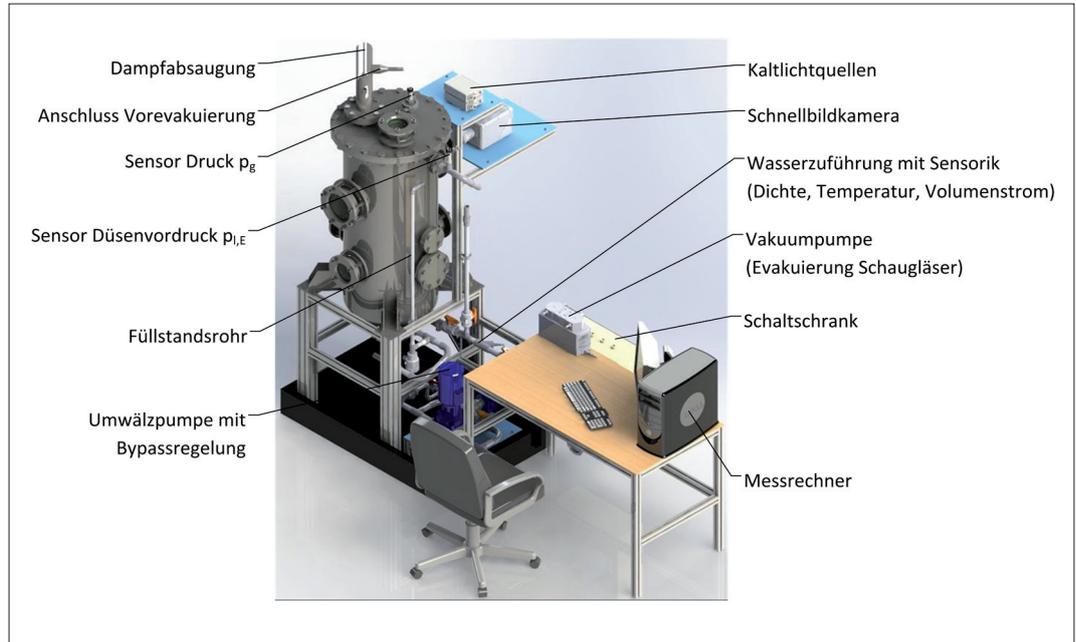


Abbildung 1: Aufbau der Modellversuchseinrichtung

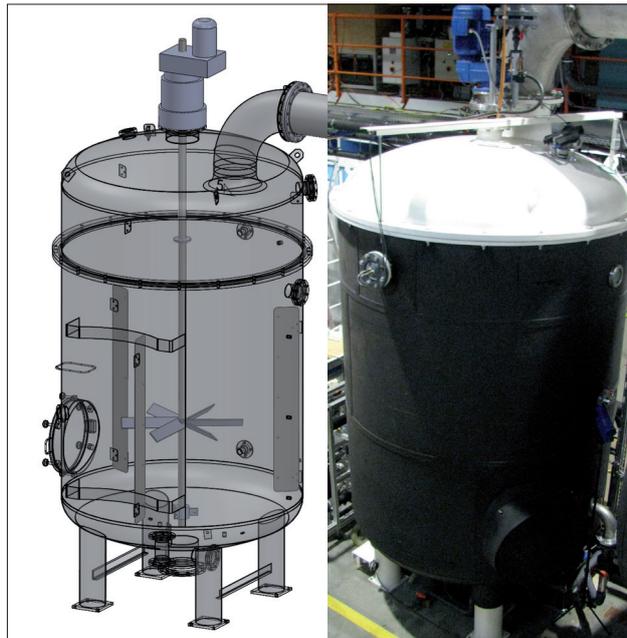


Abbildung 2: Funktionsmuster



Abbildung 2: Innenansicht Funktionsmuster I

Hocheffiziente Mehreffekt-Wärmeübertrager für die Destillation



Abbildung 1: 8-Effekt-MED-Anlage (Destillatproduktion 6 m³/d)

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

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

Der Bedarf an kleineren dezentralen Anlagen ist in vielen Ländern der Erde weiterhin sehr hoch. Potentielle Anwender sind vor allem Einrichtungen in dünn besiedelten Regionen wie z. B. Krankenhäuser und Schulen sowie touristische Anlagen. Durch die Nutzung preiswerter (Ab-)Wärme zur Entsalzung können die Kosten für die Wasseraufbereitung gesenkt und gleichzeitig die

Energieeffizienz gesteigert werden.

Im abgelaufenen Forschungs-Projekt wurde eine wärmegetriebene Mehreffektdestillationsanlage (MED) mit einem Mehreffekt-Startverdampfer (MESV), einem Quattro-Effekt (QE) und einem Mehreffekt-Endkondensator (MEEK) aufgebaut und erfolgreich getestet.

Durch die Integration von bis zu 4 Wärmeübertragern in einer Einheit wurde eine sehr kompakte und kostenreduzierte Lösung gefunden. Nach intensiven Untersuchungen zur Inertgasabsaugung konnten die optimalen Absaugorte identifiziert werden. Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt war der experimentelle Vergleich von zentraler und dezentraler Rohwasserzufuhr. Durch eine dezentrale Rohwasserzufuhr wird die Destillatproduktion pro eingesetzter Heizleistung im Vergleich zur zentralen Rohwasserzufuhr erhöht.



Außenluft geführte Kompressions-Absorptions-Kaskadenkälteanlage mit neuen Plattenwärmeübertragern und gleitendem Mitteldruck zur energieeffizienten Tiefkälteerzeugung

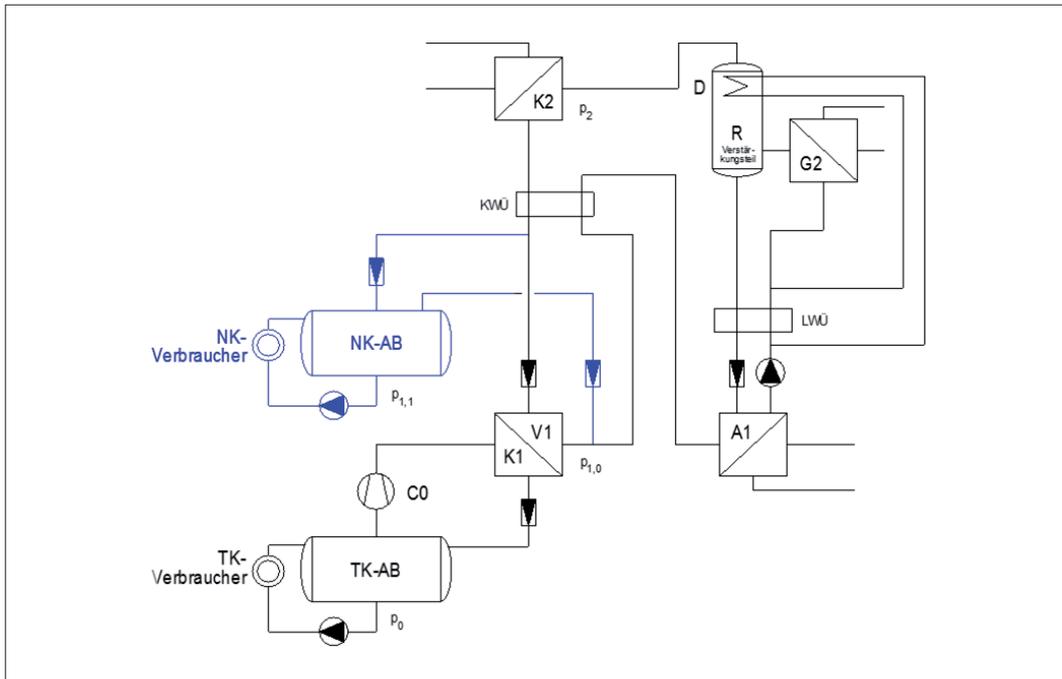


Abbildung 1: Grundschemata einer Kompressions-Absorptions-Kaskadenkälteanlage mit gleitendem Mitteldruck unterhalb des Verdampfungsdrucks der Normalkälteverbraucher

Gegenstand des Projektes „Gleikas“ (Gleitende Außenluft geführte Kaskadenkälteanlage) ist die Entwicklung und Untersuchung einer zweistufigen Kaskadenkälteanlage (Abb. 1), die:

1. mit natürlichem Kältemittel betrieben wird,
2. einen Kompressions- und einen Absorptionskältekreislauf koppelt,
3. folglich niedertemperierte Abwärme zur Kälteerzeugung tieferer Temperaturen nutzt,
4. mit neu entwickelten, gelöteten, Ammoniaktauglichen Plattenwärmeübertragern im Hochdruckteil ausgerüstet ist und
5. zudem in der Lage ist, einen von der Außenlufttemperatur abhängigen gleitenden Mitteldruck zur Verbesserung der Energieeffizienz zu realisieren.

Der thermische Antrieb der Absorptionsstufe kann Prozessabwärme bei industriellen Anwendungen oder Abwärme aus der Kraft-

Wärme-Kopplung sein. Mit niedertemperierter Abwärme soll Tief- und Normalkälte erzeugt werden. Der Strombedarf zur TK-Erzeugung soll um rd. 50 % reduziert werden.

Mit dem Ergebnis des Entwicklungsprojektes sollen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten für Absorptionskälteanlagen eröffnen, die die Einsatzmöglichkeiten für die mit Abwärme beheizten Absorptionskälteanlagen deutlich erhöhen.

Die zu untersuchende Kaskadenkälteanlage mit gleitendem Mitteldruck ist mit einem subkritischen einstufigen CO_2 -Kompressionskältekreislauf für den Niederdruckteil und mit einem einstufigen $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ -Absorptionskältekreislauf für den Hochdruckteil ausgerüstet.

Für den Temperaturhub zwischen Verdampfung und Rückkühlung der Absorptionsstufe ist eine gewisse Heizmedientemperatur er-

forderlich. Soll ein höherer Temperaturhub in der Absorptionsstufe realisiert werden, wodurch die Kompressionsstufe nur noch einen kleineren Temperaturhub zu bewältigen hätte, müsste die Absorptionsstufe mit einer höheren Temperatur beheizt werden. Dies ist in der Regel bei Verwendung von Prozessabwärme oder Abwärme aus einem BHKW nicht möglich. Das Heiztemperaturniveau ist konstant. Der Temperaturhub der Kompressionsstufe kann jedoch verkleinert werden, wenn die kälteren Rückkühlbedingungen der Übergangssaison bzw. im Winter genutzt

werden (siehe Abb. 2). Der Temperaturhub der Absorptionsstufe bleibt bei gleicher Heiztemperatur konstant, der Hub der Kompressionsstufe verkleinert sich, wodurch erheblich weniger Elektroenergie zur Kälteerzeugung benötigt wird. Durch die Verwendung der Kompressionskälteerzeugung nur als ND-Stufe einer Kaskadenanlage könnte der Elektroenergie- und folglich der Primärenergiebedarf um rd. 40 bis 60 % gegenüber der ausschließlichen Kompressionskälteerzeugung reduziert werden (siehe Abb. 3).

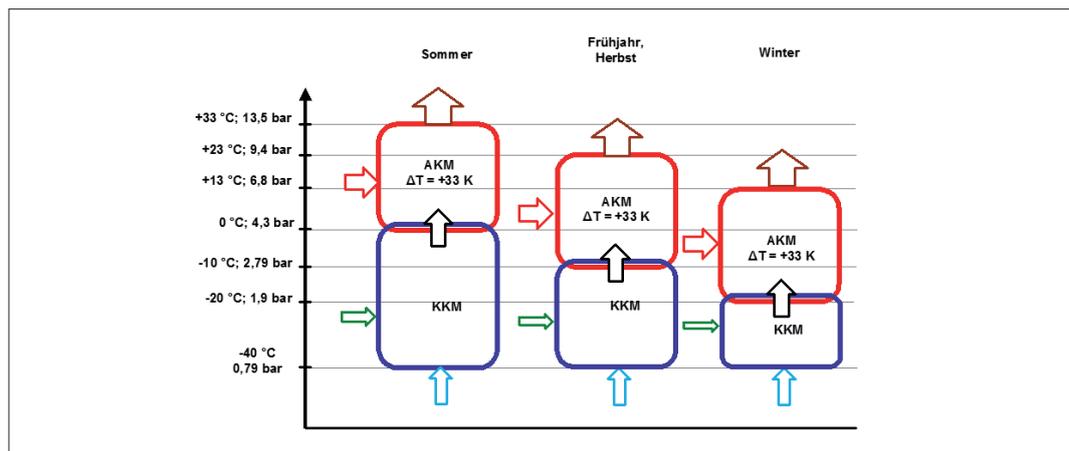


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Temperaturhubs in einer Kaskadenkälteanlage mit gleitendem Mitteldruck

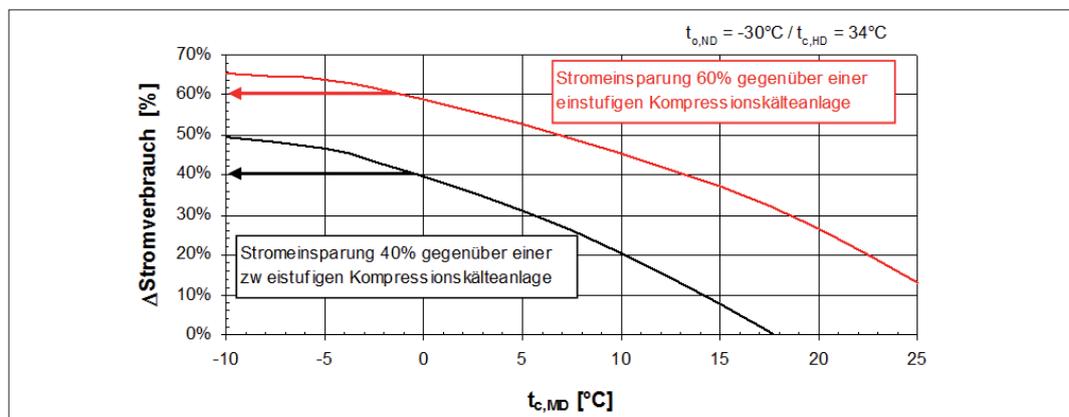


Abbildung 3: Einsparung an Elektroenergie bei Einsatz einer Ammoniak – Wasser – Absorptionskälteanlage zur Erzeugung von -30°C Verdampfungstemperatur gegenüber einer ein- bzw. zweistufigen R-407C-Kompressionskälteanlage

Effiziente Rückkühlung für die solarthermisch angetriebene Kälteerzeugung (So-laRück)

Abbildung 1: Eingabemaske zur adiabaten Luftvorkühlung im Auslegungsalgorithmus für lamellierter Wärmeübertrager

Rückkühlung spielt bei Prozessen der Kälteerzeugung – sei es mit thermischem oder elektrischem Antrieb – eine essentielle Rolle. In beiden Fällen muss eine erhebliche Menge an Wärme mit möglichst geringer Übertemperatur an die Umgebung abgegeben werden. Für thermisch angetriebene Verfahren ist der Einfluss der Rückkühleneinheit jedoch aus mehreren Gründen noch wesentlich entscheidender als für elektrisch angetriebene Verfahren.

Die Wärmemenge, die an die Umgebung abzuführen ist, ist bei thermisch angetriebenen Verfahren aus thermodynamischen Gründen (letztlich auf Grund des niedrigeren Exergiegehalts der Antriebsenergie) größer. Thermisch angetriebene Verfahren reagieren zudem sensibler auf höhere Rückkühltemperaturen.

Erfahrungen mit installierten Anlagen der solaren Kühlung und auch anderen Systemvarianten, in denen thermisch angetriebe-

ne Kältemaschinen zum Einsatz kommen, haben gezeigt, dass im Bereich der Rückkühlung viele Fehler gemacht werden und oftmals ein inadäquat hoher Verbrauch an elektrischer Energie festzustellen ist. Gründe sind in falscher Planung und Dimensionierung sowie nicht vorhandener oder ungünstiger Teillastregelung ebenso zu sehen, wie in einer nicht ausreichenden Effizienz der marktverfügbaren Techniken an sich.

Ansatz des Verbundprojektes SolaRück ist es, alle oben genannten Themen systematisch zu adressieren und damit zur Entwicklung von optimierten Rückkühlverfahren beizutragen – und somit letztlich der solaren Kühlung wie auch anderen Anwendungen der thermisch angetriebenen Kühlung zu einer größeren Verbreitung zu verhelfen und zu einer nachhaltigen Marktentwicklung beizutragen. Ein Schwerpunkt im Jahr 2015 war die Integration eines Berechnungsmodells

für die adiabate Luftvorkühlung in den Auslegungsalgorithmus für lamellierte Luft/Wasser-Wärmeübertrager, siehe Abbildung 1.

In dem gemeinschaftlich mit den Industriepartnern EAW und Thermofin bearbeiteten Teilprojekt zur Entwicklung eines Rückkühlers mit adiabater Vorkühlung wurde das zweite Versuchsmuster gefertigt, siehe Abbildung 2. Es basiert auf einem „V-Kühler“. Die Befeuchtungselemente können über einen Drehmechanismus so positioniert werden, dass im Trockenbetrieb der zusätz-

liche luftseitige Druckverlust vermieden und damit der Strombedarf gesenkt wird. Der Rückkühler mit einer Leistung von 120 kW wurde im Rahmen der Felderprobung in eine KWKK-Anlage parallel zum bestehenden Verdunstungskühler integriert.

Im November 2015 wurde im Vorfeld der DKV-Tagung ein öffentlicher Abschlussworkshop des Verbundprojektes „SolaRück“ im ILK durchgeführt. Die Präsentationen sind auf der Projekthomepage: www.solarueck.de abrufbar.



Abbildung 2: Versuchsmuster eines trockenen Rückkühlers mit adiabater Luftvorkühlung

Entwicklung und Erprobung einer direkt luftgekühlten Sorptionskälteanlage zur solaren Klimatisierung (LuSoKa)

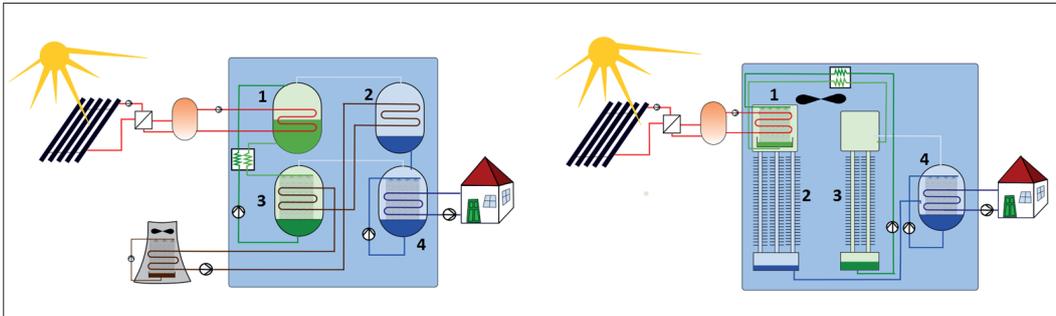


Abbildung 1: Vergleich der Systemkonzepte solarer Kühlung mit wasser- und luftgekühlter Absorptionskältemaschine

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

Ziele des Vorhabens waren die Entwicklung und die praxisnahe Erprobung einer direkt luftgekühlten Wasser/Lithiumbromid-Absorptionskältemaschine zur solarthermisch angetriebenen Klimakälteerzeugung im kleinen Leistungsbereich (ca. 8 kW Kälteleistung). Die luftgekühlte Sorptionskälteanlage ist für Außenaufstellung konzipiert und frostsicher. Ein externer Rückkühler entfällt, so dass die Komplexität solarthermischer Heiz- und Kühlsysteme wesentlich vereinfacht und auf die Verwendung von Verdunstungsrückkühlern verzichtet werden kann. Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der Systemkonzepte.

Es wurde ein Funktionsmuster konzipiert und gebaut. Nach der Vermessung auf dem Prüfstand erfolgte die Integration in ein System zur Klimatisierung von Büroräumen am

Sitz der Fa. EAW in Westenfeld, Thüringen, siehe Abbildung 2. Dort wurde es in der Kühleiszeit 2015 unter realen Betriebsbedingungen betrieben, wobei Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) sowie aus Flachkollektoren zum Antrieb genutzt wurden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Verlauf der charakteristischen Temperaturen und Leistungen an einem Sommertag.

Mit der Felderprobung wurden wichtige Erkenntnisse zum Verhalten der Anlage sowie zum Einfluss der externen Bedingungen gewonnen. Das Betriebskonzept wurde unter Nutzung dieser Erkenntnisse optimiert. Insgesamt konnte mit dem Feldtest der erfolgreiche Nachweis der Funktionalität und Leistungsfähigkeit dieser Technologie geführt werden.



Abbildung 2: Funktionsmuster der direkt luftgekühlten Wasser/LiBr-Absorptionskältemaschine während der Felderprobung

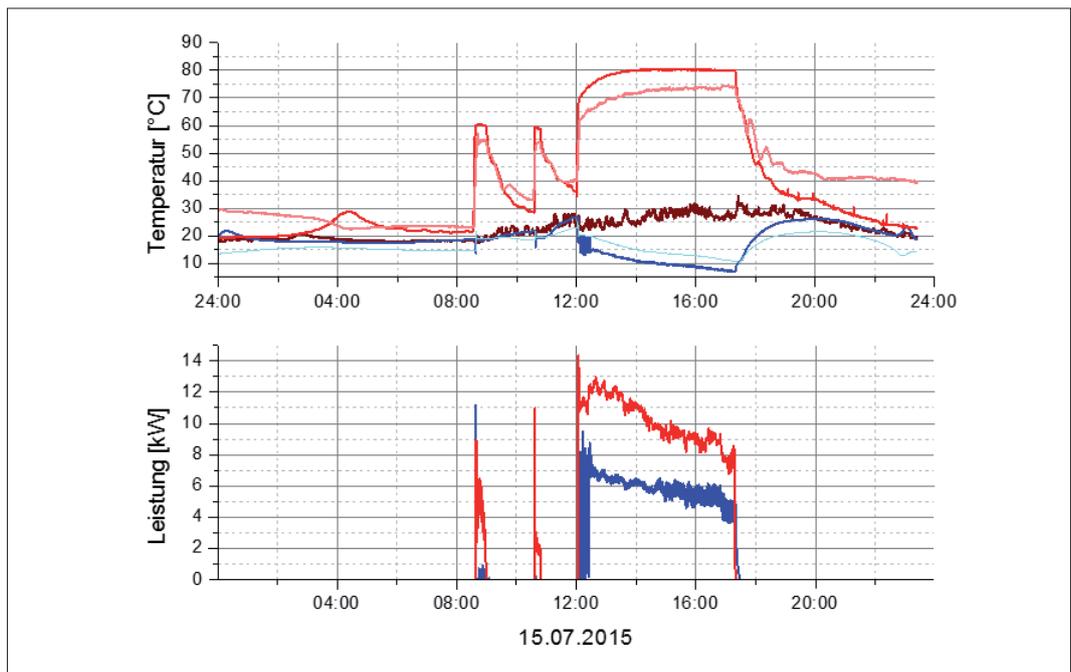


Abbildung 3: Beispielhafter Tagesgang von Temperaturen und Leistungen im Feldtest

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

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

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

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

Tabelle 1: Auszugsweise Darstellung der Module der Normenreihe EN 16798

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

Die Richtlinie gliedert sich derzeit in folgende Blätter:

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Vortragsveranstaltungen DKV, Bezirksverein Sachsen

- | | |
|------------|--|
| 19.01.2015 | Dr. Feja (ILK) „Messung elektrischer Eigenschaften von Kältemitteln und Kältemittel-Öl-Gemischen – eine Herausforderung“ |
| 23.02.2015 | St. Golle (TU Dresden) „Pneumatisch angetriebene Kaldampfanlagen für die Flugzeugklimatisierung“ |
| 23.03.2015 | Dr. Urbaneck (TU Chemnitz) „Große Kaltwasserspeicher“ |
| 21.04.2015 | F. Flor (Solvay Fluor) „F-Gase-VO und Entwicklungstrends bei Kältemittel“ |
| 11.05.2015 | Dr. Schneider (ILK) „Tiefemperaturtechnik für Supraleiter-Anwendungen“ |
| 08.06.2015 | B. Schrempf (KISC Murnau) „Sichere Anlagen mit brennbaren Kältemittel“ |
| 26.10.2015 | Dr. Mosemann (GEA Refrigeration Germany) Bewertung der |

Energieeffizienz eines Betriebszustandes gemäß VDMA 24247-2
„Effizienztool“ zur Bewertung der Energieeffizienz einer Saison /
SEE(I)R

18.11.2015 ILK-Besichtigung im Rahmen der DKV-Jahresveranstaltung

14.12.2015 Dr. Hantsch (ILK) „Fallstudie zum Einsatz von PCM in der
Gebäudetechnik“

Messebeteiligung

10. - 14.03.2015 ISH – Messe Frankfurt

24.06.2015 ENERGY SAXONY SUMMIT Dresden, Hygienemuseum

Kolloquien / Seminare / Veranstaltungen

22.04.2015 7. Dresdner Kolloquium der Kältetechnik „Energieeffiziente
Lösungen für die Kältetechnik zur Reduzierung der F-Gase“

11.06.2015 22. Innovationstag Mittelstand des BMWi, Berlin

10.- 11.06.2015 13. Überwachungsaudit DIN EN ISO 9001:2008,
TÜV Management Süd

01.07.2015 Auszeichnung mit dem Innovationspreis Mitteldeutschland
„Vakuum-Eisspeicher-Technologie“

03.07.2015 2. Akademischer Wandertag des ILK

22.09.2015 10. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung
„Luftreinhaltung – eine komplexe Herausforderung“

06.10.2015 InnoSIG – Auftaktveranstaltung der Sächsischen Industrie-
forschungsgemeinschaft e.V. im Haus der Presse

18.11.2015 Abschlussworkshop „Verbundprojekt SolaRück“, Dresden

18. - 20.11.2015 DKV-Tagung, Dresden

11.12.2015 ILK - Jahresabschlussveranstaltung

Kick-off-Meetings

15. - 16.01.2015 Vorstellung (neu) bewilligter ILK-Forschungsvorhaben

ISH - Weltleitmesse

Erlebniswelt Bad, Gebäude-, Energie-, Klimatechnik

Erneuerbare Energien

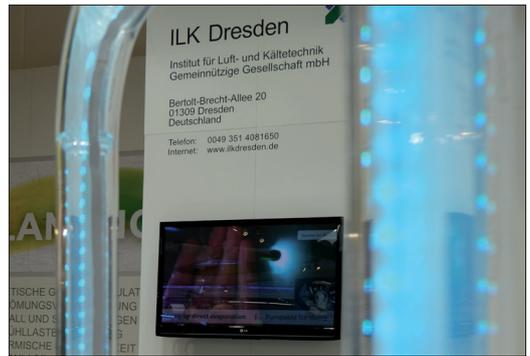
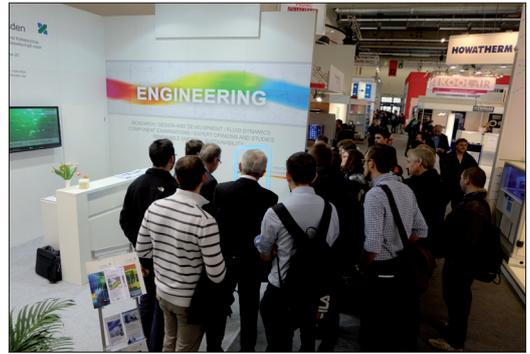


Vom 14. bis 18. März 2015 fand in Frankfurt die ISH statt. Das ILK wurde durch den Hauptbereich Luft- und Klimatechnik sowie angewandte Energietechnik vertreten.

Die ISH ist die Plattform für einen breiten Informationsaustausch mit der Branche. Der Bereich ISH Water war geprägt von nachhaltigen Sanitärlosungen für individuelle Nutzerbedürfnisse im Zuge des demografischen Wandels sowie innovativem Wassermanagement und Trinkwasserhygiene. Auf der Energy-Seite stand Energieeffizienz als zweite Säule der

Energiewende im Vordergrund. In modernen Heizungs-, Klima-, Kälte- und Lüftungstechnologien stecken enorme Einsparpotentiale für den Energieverbrauch, denen eine wichtige Rolle bei der Erreichung der Klimaziele zufällt.

Das ILK konnte seine Kompetenz auf vielen Ingenieurgebieten präsentieren. Bestehende Kontakte konnten dabei weiter vertieft und neue Ansprechpartner von der Leistungsfähigkeit des ILK überzeugt werden. Insbesondere die Präsentation des Flüssigeises sorgte für zahlreiches Besucherinteresse.



7. Dresdener Kolloquium: Energieeffiziente Lösungen für die Kältetechnik zur Reduzierung der F-Gase



Am 22.04.2015 fand das 7. Dresdner Kolloquium der Kältetechnik, organisiert durch das Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK) und unterstützt durch das BMWi/Projektträger Jülich (PTJ) im Dorint Hotel Dresden statt. Die mit 80 Teilnehmern gut besuchte Veranstaltung stand ganz im Zeichen der Umsetzung der neuen „F-Gase-Verordnung“. Einige Vorträge beleuchteten unterschiedliche Strategien und Forschungsergebnisse zum Ausstieg aus der Verwendung von F-Gasen oder zur ihrer Reduzierung. Die Beiträge zeigten aber auch auf, dass für einige Anwendungen noch keine Alternativen mit vergleichbarer Energieeffizienz zur Verfügung stehen.

Als Einführung gab der ILK-Institutsleiter Dr. Ralf Herzog den Teilnehmern des Kolloquiums einen aktuellen Überblick über die Forschung des ILK Dresden. Er stellte dar, dass sich die Entwicklungsaufgaben direkt aus den Zielen des Klimaschutzes ergeben. Dafür erläuterte er die historische Entwicklung der Kältemittel-emissionen auf der Basis des IPCC-Reports. Dr. Hans-Christoph Wirth vom BMWi stellte die Schwerpunkte aus dem „6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung“ dar. Darunter findet sich auch die Bereitstellung von Wärme und Kälte. Das übergeordnete Ziel der Energiewende ist ein sinkender Energieverbrauch bei weiterhin steigender

Wirtschaftsleistung. Durch die Zusammenlegung der Energieforschung unter dem Dach des BMWi wird angestrebt, die Forschung von übergreifenden Themenstellungen zu ermöglichen. So können Projekte, die erneuerbare Energien mit konventionellen Techniken vernetzen, gefördert werden.

Unterschiedlichen Strategien zur Reduzierung der F-Gase wurden von Dr. Olaf Hempel vom ILK Dresden dargestellt. Diese reichen vom Kältemittlersatz über alternative Kälteerzeugungsverfahren bis zur Füllmengenreduzierung, Reduzierung der Leckagen und der Verringerung des Kältebedarfs. Dabei wurde auch deutlich, dass alle Möglichkeiten genutzt werden müssen, um die hohen Ziele der F-Gase-Verordnung zu erreichen.

Eine dieser Strategien führte Dr. Karsten Schwennesen aus Sicht der Firma Mexichem näher aus. Er zeigte, welche Ersatzkältemittel mit geringem Treibhauspotential bereits verfügbar sind bzw. sich noch in der Entwicklung befinden. Die Kältemittelhersteller konzentrieren sich dabei auf die häufigsten Kälteanwendungen, d.h. aber auch, dass zurzeit noch nicht für jede Anwendung Ersatz bereitsteht. Für jedes neue Kältemittel ist ein entsprechendes Kältemaschinenöl erforderlich. Daran erinnerte Christian Puhl von Fuchs. Die erfreuliche Botschaft war, dass die Probleme

lösbar sind. Auch wenn in einigen Fällen die Mischungslücken größer und die thermische Stabilität etwas geringer sind, stehen für die meisten Kältemittel bereits Öle zur Verfügung. Die Erfahrungen mit 200 Absorptionskälteanlagen wurden von Herrn Hebenstreit von der EAW dargestellt. Dieses alternative Kälteerzeugungsverfahren hat seine Vorteile insbesondere in der Kombination mit BHKW. Dadurch steht die Antriebswärme für die Kältemaschine praktisch kostenlos bereit, so dass sich wirtschaftlich konkurrenzfähige Lösungen ergeben.

Die folgenden beiden Vorträge zeigten Beispiele, dass die Kälteerzeugung auch in einem Krankenhaus ganz ohne F-Gase möglich ist. Rene Paatzsch vom ILK stellte ein Projekt mit einer CO₂-Wärmepumpe zur Trinkwassererzeugung vor. Gleichzeitig wird die Kälteleistung genutzt. Dadurch wurde der Fernwärmebedarf deutlich reduziert und eine alte Absorptionskältemaschine ersetzt.

Eine ähnliche Anwendung zeigte Dr. Jürgen Brückner von Johnson Controls mit dem Kältemittel Ammoniak. Die Wärmepumpe nutzt als Wärmequelle die Grubenwässer eines alten Silberbergwerks. Sie ist mit einem BHKW kombiniert, das die elektrische Antriebsleistung bereitstellt. Die Abwärme des BHKW wird ebenfalls genutzt.

Thomas Schnerr vom ILK Dresden erläuterte die gesetzlichen Vorschriften für die Dichtheit und den entsprechenden Nachweis an Kälteanlagen. Er stellte die verschiedenen Verfahren mit ihren Nachweisgrenzen dar und erläuterte die Besonderheiten bei den natürlichen und brennbaren Kältemitteln. Die Reduzierung der Leckagen kann ebenfalls einen bedeutenden Beitrag zur Reduzierung des Verbrauchs von F-Gasen leisten.

Für die Dichtheit der Kälteanlagen sind funktionstüchtige Dichtelemente notwendig. Dafür werden Elastomere benötigt, die gegen Öl-Kältemittel-Gemische beständig sind, wie Frau Dr. Margrit Junk vom ILK erläuterte. Vielen der Teilnehmer war nicht bewusst, wie stark die Beständigkeit von geringen Ände-

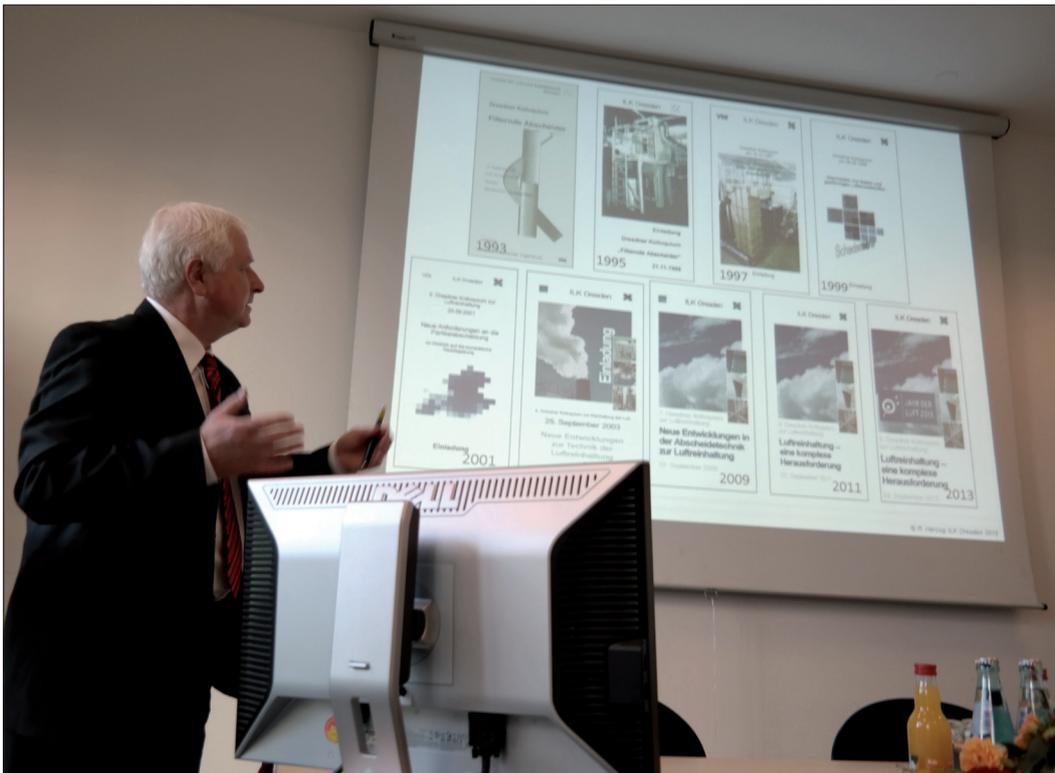
rungen im System abhängt. Bereits ein Wechsel des Werkstofflieferanten kann ohne eine neue Eignungsprüfung zu einem Schaden führen.

Im letzten Vortrag wurden die Teilnehmer durch Frau Britta Rehheiser von Daikin über neue Entwicklungen bei der Normung informiert. Im Mittelpunkt des Vortrages stand die neue Kältemittelklasse 2L in der internationalen Norm ISO 5149. Eine Umsetzung dieser Regel in die neue DIN EN 378 wird aber erst 2016 erwartet. Bis zu diesem Zeitpunkt wird weiterhin Unsicherheit bei der Anwendung der 2L-Kältemittel herrschen.

Das Dresdner Kolloquium der Kältetechnik 2015 hat eine Reihe guter Beispiele aufgezeigt, welche Strategien Hersteller und Betreiber von Kälteanlagen wählen können, um die Herausforderungen der neuen F-Gase-Verordnung erfolgreich zu meistern.



10. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung 2015 in Dresden



Das 10. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung fand am 22.09.2015 im Businesspark in Dresden statt. Im Fokus dieser Fachtagung standen die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. Veranstaltet wurde die Tagung vom Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden und dem VDI Bezirksverein Dresden. Die Leitung erfolgte durch Herrn Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich, Leiter des Bereiches Luftreinhaltung am ILK Dresden.

Begrüßt wurden die Gäste durch Herrn Dr. Herzog, Geschäftsführer des ILK Dresden, und dem Vorstandsmitglied des VDI Bezirksverein Dresden Herrn Prof. Rößner, die in ihren Grußworten die Bedeutung der Luftreinhaltung im Kontext des Klimawandels hervorhoben und in die komplexe Thematik einführten.

Im ersten Vortrag stellte Herr Dr. Böttger

vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie die heutige Schadstoffsituation im Land Sachsen dar. Beispiele zeigten eindrucksvoll, welchen Einfluss die Maßnahmen in den letzten 25 Jahren auf unsere heutige Luftqualität haben. Hier konnten für viele Schadstoffe Schadstoffreduzierungen von über 95% aufgezeigt werden.

Herr Dr. Jakschik von der ULT AG berichtete über die Schadstofffassung bei kritischen Prozessen. Es konnte belegt werden, dass nur bei einer optimalen Schadstofffassung die eingesetzten Filterlösungen das Schadstoffpotential effizient abbauen und die bestmögliche Luftqualität erreicht wird.

Herr Dipl.-Ing Schneider, Gebr. Röders AG, informierte über Filtermaterialien zur Feinstaubabscheidung. Membranbeschichtete Filtermaterialien auf der Basis von Nadeln bieten höchste Abscheideleistungen

bei kompaktem Aufbau und ermöglichen einen energieeffizienten Betrieb durch eine optimale Abreinigungscharakteristik.

Herr Dr. Emmrich stellte in seinem Beitrag die Entwicklung eines hybriden Filterzyklons vor. Der vom Steinbeis Innovationszentrum entwickelte und erfolgreich getestete hybride Filterzyklon kombiniert Zyklon und Patronenfilter und kann mit Hilfe eines CFD-Berechnungsmodells auf eine Vielzahl von Anwendungen angepasst werden.

In einer Poster-Session des ILK Dresden wurden durch Herrn Dipl.-Ing. Birnbaum und Herrn Dipl.-Ing. Heidenreich laufende Projekte des Bereiches Luftreinhaltung vorgestellt. Thema waren die Nutzung von Biomasse zur Energieerzeugung und die dabei erforderliche Abscheidung staubför-



miger Schadstoffe sowie die Entwicklung eines praxisnahen Prüfverfahrens für Filternde Abscheider.

Herrn Dipl.-Wirt. Ing. Spanner, beratender Ingenieur der Fa. OSW Eschbach GmbH, berichtete über die Potentiale zur Kostensenkung beim Einsatz von Filterschläuchen. Energie- und Kosteneinsparungen ergeben sich durch die Wahl geeigneter Filterelemente, einer abgestimmten Regenerierung sowie eines optimalen Arbeitspunktes für Energiebedarf und Abscheideleistung.

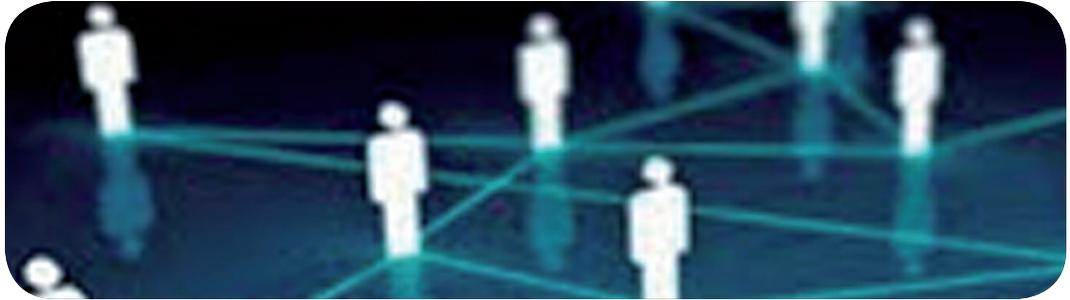
Herr Neubert, Fa. Electronic Design Chemnitz GmbH, stellte ein intelligentes System zur Filterüberwachung vor. Auf Basis von Druck und Temperatur erfolgt eine Zustandsüberwachung mit in den Filter integrierten Sensoren, die mit Funktechnologie Daten an eine Leitzentrale übermitteln können.

Herr Dipl.-Ing. Holfeld vom ILK Dresden gab einen Einblick über Filterprüfungen und Anforderungen an Filter für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge. Er zeigte, welche Anstrengungen erforderlich sind, um eine normkonforme Prüfung auch bei höchsten Luftfeuchten realisieren zu können.

Über ein neuartiges Konzept zur automatisierten Validierung von Aerosolgeneratoren informierte Herr Dipl.-Phys. Müller von der Fa. Topas GmbH. Auf Grundlage der Anforderungen bestehender Normen wurde eine Möglichkeit vorgestellt, die Leistungskenngrößen der Generatoren zu erfassen und auf Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit zu überprüfen.

Das 11. Kolloquium wird am 26.09.2017 stattfinden. Als Ansprechpartner zu den Beiträgen steht Herr Dr. Steffen Blei, ILK Dresden gern zur Verfügung.

VERBÄNDE UND ORGANISATIONEN



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

Verband Innovativer Unternehmen

International Institute of Refrigeration

Forschungsrat Kältetechnik e. V.

Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Verband Beratende Ingenieure

Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e. V.

Bundesverband Wärmepumpe e. V.

European Heat Pump Association

European Solar Thermal Technology Plattform

Deutsche Gesellschaft f. zerstörungsfreie Prüfung e. V.

Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e. V.

Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e. V.

Deutsches ITER Industrie Forum e. V.

Historische Kälte- und Klimatechnik e. V.

ZVKKW Zentralverband Kälte Klima Wärmepumpen e. V.

Green Chiller Association for Sorption Cooling e. V.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Gesellschaft für Aerosolforschung e. V.

Gesellschaft für Thermische Analyse e. V.

Sächsische Industrieforschungsgemeinschaft e. V.

Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e. V.



Heidingsfelder, J.; Kretschmer, R.; Reinsch, H.
[Hyaluronan a Cryoprotectant for 3-Dimensional Human Fibroblast Cultures](#)
52nd Cryo2015, Ostrava, 26.-29.07.2015,
Clarion Congress Hotel Ostrava

Heidingsfelder, J.; Mahler, N.; Reinsch, H.
[Novel Freeze-Drying Tool for the Development of Tailor-Made 3-D Biomaterials](#)
52nd Cryo2015, Ostrava, 26.-29.07.2015,
Clarion Congress Hotel Ostrava

Spörl, G.; Gust, N.; Rackow, S.; Schmidt, D.
[Medical Device for Cold Application in Surgery](#)
52nd Cryo2015, Ostrava, 26.-29.07.2015,
Clarion Congress Hotel Ostrava

Reinsch, H.; Heidingsfelder, J.; Kretschmer, R.
[Kryogene Prozessierung von Kollagen-Scaffolds](#)
DKV-Tagung 2015, 18.-20.01.2015, Maritim
Hotel Dresden

Kade, A.; Herzog, R.; Klier, J.; Klupsch, M.;
Schneider, M.; Spoerl, G.
[New Designs in special Cryo Systems and Mobile Cryocoolers](#)
24th ICR 2015, August 16-22, 2015, Yoko-
hama, Japan

Kade A.; Klier, J.; Klupsch, M.; Schneider,
M.; Spörl, G.
[Entwicklungen individueller Kryosysteme für Supraleiter](#)
8. Braunschweiger Supraleiterseminar
16.-17. Juni 2015, Braunschweig

Klupsch, M.; Schmidt, D.; Tippmann, S.
[Erdgas-Speichersystem mit hoher Energiedichte](#)
DKV-Tagung 2015, Dresden,
18.-20.01.2015, Dresden

Kade, A.; Schneider, M.; Schmidt, D.
[Tiefemperaturtechnik für Supraleiter-Anwendungen](#)
DKV-Vortrag, 11.05.2015, ILK Dresden

Klier, J.
[Hohe Reichweiten durch neue Speicher in Erdgasfahrzeugen](#)
Innovationsforum der Sächsischen Industrie-
forschungsgemeinschaft – 1. InnoSIG,
06.10.2015, Dresden

Hempel, O.
[Strategien zur Reduzierung von F-Gasen](#)
Dresdner Kolloquium der Kältetechnik
„Energieeffiziente Lösungen für die Kälte-
technik zur Reduzierung der F-Gase“,
22.04.2015, Dresden

Paatzsch, R.
[Kälte-Wärme-Kopplung mittels Hochtemperaturwärmepumpe mit natürlichen Kältemittel CO₂ in einem Krankenhaus](#)
Dresdner Kolloquium der Kältetechnik
„Energieeffiziente Lösungen für die Kälte-
technik zur Reduzierung der F-Gase“,
22.04.2015, Dresden

Müller, M.
[Messungen an Wärmeübertragern mit Low GWP-Kältemitteln](#)
DKV-Tagung, 18. bis 20.11.2015, Dresden

Röllig, P.
[Freie Kühlung mit Pumpenzirkulation des Kältemittels CO₂](#)
DKV-Tagung, 18. bis 20.11.2015, Dresden

Röllig, P.
[Kältetechnik](#)
Vorlesungsreihe an der Berufsakademie
Sachsen – Staatliche Studienakademie
Riesa, April bis Dezember 2015, Riesa

Paatzsch, R.
[Kälte-Wärme-Kopplung mittels Hochtemperaturwärmepumpe mit natürlichen Kältemittel CO₂ in einem Krankenhaus](#)
Energie Symposium „Nutzung regenerativer
Energiequellen und Wasserstofftechnik“,
Fachhochschule Stralsund
06.11.2015, Stralsund

Hempel, O.

[Aktuelle Trends der Kältetechnik – Forschung und Entwicklung](#)

Sächsischer Geothermietag,
25.11.2015, Dresden

Franzke, U.

[Klimatechnik](#)

Vorlesungsreihe an der HTW Dresden,
Oktober 2015 – Februar 2016 (Herbstsemester), Dresden

Franzke, U.

[Werthaltigkeit und qualifizierte Betriebsführung](#)

Expertenforum der Ingenieurkammer Sachsen zum Thema „Intelligente Gebäude“ im Rahmen der Messe enertec | terratec,
28.01.2015, Leipzig

Franzke, U.

[Dicke Luft im Niedrigenergiehaus](#)

Parlamentarischer Abend TGA
Repräsentanz, 26.02.2015, Berlin

Franzke, U.

[Entwicklung der Gebäudetechnik unter dem Aspekt der Energieeffizienz und des Umweltschutzes](#)

26. Erfurter Kolloquium (Förderverein Gebäude- und Energietechnik an der FH Erfurt e.V.) 17.04.2015, Erfurt

Franzke, U.

[Aktive Anlagentechnik für passive Gebäude und intelligente Nutzung](#)

Expertenforum der Ingenieurkammer Sachsen anlässlich der Passivhaustagung 2015,
18.04.2015, Leipzig

Franzke, U.

[Nachhaltigkeit beim Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage](#)

Sächsisch-tschechischer Workshop „Energieeinsparung in der Stadtentwicklung“
(Deutsch-Tschechische Handelskammer)
07.10.2015, Prag

Franzke, U.

[Inspektionen an RLT-Anlagen](#)

Frühjahrssitzung des AMEV,
23.04.2015, Aachen

Franzke, U.

[Auslegung von RLT-Anlagen](#)

Schulung DGUV zum VDI-geprüften Fachingenieur RLQ, 23.-25.11.2015, Dresden

Rosenbaum, H.

[Hygrisch aktiver Luftherhitzer – hygienische und energieeffiziente Luftbefeuchtung über Membranen](#)

Deutsche Kälte- und Klima Tagung,
18.-20.11.2015, 19.11.2015, Dresden

Hantsch, A.

[Fallstudie zum Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik](#)

zusammen mit H. Rosenbaum, K. Hackenschmidt, Deutsche Kälte- und Klimatagung,
18.-20. 11 2015, Dresden

Hantsch, A.

[Fallstudie zum Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik](#)

zusammen mit H. Rosenbaum, K. Hackenschmidt, Sitzung des Sächsischen Bezirksvereines des DKVs, 04.12.2015, Dresden

Hantsch, A.

[Klimatechnik](#)

Übungen zur Berechnung der Kühllast sowie der Jahressimulation nach VDI 6007, VDI 6020 und VDI 2078,
Wintersemester 2015

- Mai, R.
[Energetische Inspektion von Klimaanlage
im Geltungsbereich der EnEV](#)
Vortrag Leipziger Messe „enertec 2015“
SAENA-FORUM, 28.01.2015; Vortrag Leipziger
Messe „efa 2015“ SAENA-FORUM,
30.10.2015
-
- Mai, R.
[Einfluss der Betriebsqualität auf den
Energieverbrauch von Lüftungsanlagen,
Energetische Inspektion gemäß §12 EnEV,
Vorstellung der DIN SPEC 15240 unter den
Bedingungen des Klinikbetriebes](#)
Seminarvortrag „KLIK-Schulung - Klima-
manager für Kliniken“, BUND Sachsen,
05.03.2015
-
- Mai, R.
[Energetische Inspektion von Klimaanlage
nach EnEV §12](#)
BTGA-Seminarveranstaltung, Hamburg,
26.03.2015; München, 23.04.2015; Köln,
28.10.2015; Berlin, 26.11.2015
-
- Mai, R.
[Neuerungen im Bereich der Lüftung, Klima-
tisierung und Kälteerzeugung](#)
Vortrag Regionalfachtagung Mitteldeutsch-
land „Innovative Technik im Krankenhaus“,
FKT e.V. Mitteldeutschland, 06.05.2015
-
- Mai, R.
[Die DIN EN 16798 wirft ihre Schatten vor-
aus – neue europäische Auslegungs- und
Berechnungsnormen für Klimaanlage](#)
19.11.2015; In Zusammenarbeit mit
Hantsch, A., Deutsche Kälte- und Klimata-
gung, 18.-20. 11. 2015, Dresden
-
- Döge, S.; Friebe, C.; Hantsch, A.; Krause, R.
[Verwendung durchströmter Bauteile zur
aktiven Schaltung der effektiven Wärmeleit-
fähigkeit](#)
19.11.2015, Deutsche Kälte- und Klimata-
gung, 18.-20.11. 2015, Dresden
-
- Buschmann, M.H.; Colla, L., Fedele, L.;
Buschmann, M.H.
[Nanofluids suppress secondary flow in
laminar pipe flow, 2nd International Confe-
rence on Heat Transfer and Fluid Flow,](#)
July 20-21, 2015, Barcelona, Spain
-
- Buschmann, M.H.; Franzke, U.
[Gold nanofluid prevents geyser effect in
thermosyphon,](#)
Turbulence, Heat and Mass Transfer 8,
Sarajevo, Bosnia-Herzegovina,
2015, Sarajevo
-
- Heinrich, M.; Friebe C.; Bothe F.; Schwarze, R.
[Experimental and numerical investigation of
a gearless one-motor contra-rotating fan](#)
Zusammen mit, FAN 2015,
15.-17.04.2015, Lyon (France)
-
- Buder, R.; Friebe C.; Hantsch A.; Kesslau D.
[Geschwindigkeiten und Temperaturen im
vertikalen beheizten Spalt](#)
23. Fachtagung „Lasermethoden und
Strömungsmesstechnik“, 8.-10. September
2015, Dresden
-
- Friebe, C.; Kesslau, D.
[Praktikum Laseroptische Messtechnik
für die Studenten der angewandte Mechanik
der TU Dresden, 01.06.2015, Dresden](#)
-
- Blei, S.
[Investigations of laser aerosols during
different types of laser processing](#)
European Aerosol Conference 2015,
06.-11.09.2015, Mailand
-
- Birnbaum, T.
[Thermische Verwertung von KUP –
Kleinf Feuerungsanlagen in Verbindung mit
ORC – Technik](#)
Sächsischer Bioenergietag,
16.09.2015, Obercarsdorf
-

- Birnbaum, T.
 Postersession; Neue Wege der Biomasse-
 Nutzung durch ORC im kleinen Leistungs-
 bereich
 10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
 22.09.2015, Dresden
-
- Hohlfeld, St.
 Filterprüfungen und Anforderungen an
 Filter für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge
 10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
 22.09.2015, Dresden
-
- Heidenreich, R.
 Postersession: Leistungsprüfung für
 filternde Abscheider
 10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
 22.09.2015, Dresden
-
- Birnbaum, T.
 Staubabscheider für Strohheizanlagen
 Mitteldeutscher Bioenergetag,
 05.11.2015, Jena
-
- Feja, S.
 Messung der elektrischen Eigenschaften
 von Kältemittel-Öl-Gemischen – eine neue
 Herausforderung, Vortragsveranstaltung
 des DKV-Bezirksverein Sachsen,
 19.01.2015, Dresden
-
- Feja, S.; Buschmann, M.H.
 Messung der Wärmeleitfähigkeit von
 modernen Fluiden der Kältetechnik – Her-
 ausforderung gemeistert mit Zylinderspalt-
 apparatur, GEFTA AKT Sitzung,
 9. bis 10.03. 2015, Aachen
-
- Feja, S.; Hanzelmann, C.
 Experimental Studies of Thermodynamic
 Properties of R744-Oil-Mixtures
 up to 140 °C and 150 bar,
 6th IIR Conference Ammonia and CO₂
 Refrigeration Technologies, 16. bis 18. April
 2015, Ohrid
-
- Germanus, J.; Günther, S.; Goldberg, M.
 Carbon Dioxide as a Refrigerant for Small
 Cooling Devices,
 6th IIR Conference: Ammonia and CO₂
 Refrigeration Technologies,
 16. bis 18. April 2015, Ohrid
-
- Germanus, J.; Günther, S.
 Kohlendioxid als Kältemittel für
 Laborkühlgeräte,
 Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015,
 18. bis 20. November 2015, Dresden
-
- Junk, M.
 Beständigkeit von Elastomeren gegenüber
 Öl-Kältemittel-Gemischen,
 7. Dresdner Kolloquium der Kältetechnik
 2015: Energieeffiziente Lösungen für die
 Kältetechnik zur Reduzierung der F-Gase,
 22.04.2015, Dresden
-
- Müller, R.; Waschull, J.; Römer, S.
 Heat Storage Material for Elevated
 Temperatures,
 energy Saxony, Summit – Energietechnik
 zum Anfassen, 24. Juni 2015, Dresden
-
- Schnerr, Th.
 Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen – Ver-
 fahren und Nachweisgrenzen,
 7. Dresdner Kolloquium der Kältetechnik
 2015: Energieeffiziente Lösungen für die
 Kältetechnik zur Reduzierung der F-Gase,
 22.04.2015, Dresden
-
- Schnerr, Th.
 Verfahren zur Dichtheitsprüfung von Käl-
 teanlagen mit fluorierten und natürlichen
 Kältemitteln,
 12. KK-Fachtagung, 08.10.2015, Darmstadt
-
- Schnerr, Th.; Seidel, R.; Goldberg, M.
 Prüfung von CO₂-Anlagen – Druckfestigkeit
 und Lecksuche,
 Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015,
 18. bis 20. November 2015, Dresden
-

Schöne, V.; Krahl, F.; U. Steiner
Untersuchungen an umweltfreundlichen
Korrosionsinhibitoren für Absorptionskälte-
anlagen auf Basis von Lithiumbromid und
Wasser,
DKV Deutsche Kälte-Klima Tagung, 18. bis
20.11.2015, Dresden

Waschull, J.; Büttner, D.; Stolze, A.; Bailly,
F.; Athanasiou, A.
Utilization of Phase Stabilized PCM-Com-
pounds in Home Appliances,
The 13th International Conference on Ener-
gy Storage, Greenstock 2015, Beijing,
19. bis 21. Mai 2015, China

Waschull, J.; Müller, R.; Henschler, W.;
Künanz, R.
Kältespeicherung in Haushaltskühlgeräten,
Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015,
18. bis 20. November 2015, Dresden

Heinrich, C.
Experimentelle Untersuchungen zum Ad-
ditivverhalten bei der Flüssigeiserzeugung,
DKV Tagung Dresden 2015

M. Safarik, S. Kirsten, M. Richter, L. Richter,
C. Tillmann, C. Kemmerzehl
Entwicklung und Erprobung einer luftge-
kühlten Wasser/LiBr Absorptionskältema-
schine
DKV Tagung 20.11.15

Heinrich, C.; Honke, M.; Steffan, Ch.; ,
Safarik, M.; Stöckmann, L.
Experimentelle Untersuchungen zum Addi-
tivverhalten bei der Flüssigeiserzeugung
DKV Tagung Dresden 2015

Richter, M.; Richter, L. ; Safarik, M.
Experimental experiences with an enhan-
ced directly air-cooled water/LiBr absorp-
tion chiller,
Otti 6th Conference Solar Air Conditioning,
Rom 24. Sept. 2015

Heinrich,C.; Honke, M.; Steffan Ch.; Putze,
Th.; Safarik, M.
Closing the gap between sunshine and
cooling demand using vacuum ice slurry
energy storage,
Chinese Solar Cooling Conference Shang-
hai; 2015

Safarik, M.
R718 turbo chillers and vacuum ice gene-
ration – two applications of a new gene-
ration of high speed, high capacity R718
centrifugal compressors,
The 24th IIR International Congress of Ref-
rigeration, Jokohama, Japan 2015

Safarik, M.
KWKK und Vakuum-Flüssigeis – Funktion,
Potentiale und aktuelle Entwicklungen von
zwei Effizienz-Technologien,
PowerBuilding & DataCenterConvention,
Wien, 23.9.2015

Safarik, M.
Vor- und Nachteile von Vakuum-Eis-Slurry-
Fernkälte Workshop Frankfurt, 10.02.2015

Safarik, M.
Effizientes Heizen und Kühlen mit Flüssigeis,
Mittelständischer Unternehmertag, Energy
Saxony, 2015

Safarik, M.
Ice slurry – smart cooling for smart cities -
Clever kühlen mit Flüssigeis
4th WORKSHOP »LITHIUM-SULFUR BAT-
TERIES, 11. November 2015

Honke, M.
ILK Vakuum-Flüssigeis-Technologie, Effi-
zientes Kühlung und Kältespeicherung mit
Vakuum-Flüssigeis;
IHK Unternehmerstammtisch,
08.10.2015, Dresden

Safarik, M.; Honke, M.
Vakuum-Flüssigeis-Technologie für effizientes Kühlen, Speichern und Heizen;
IQ Innovationspreis Mitteldeutschland 2015
(2.Platz)

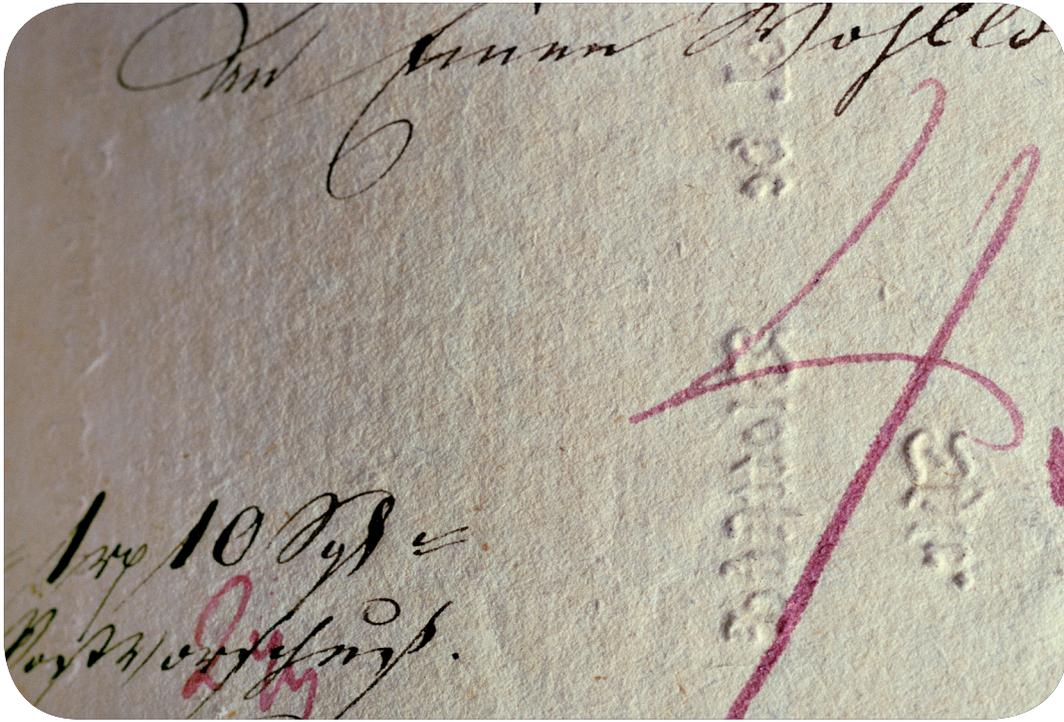
Honke; M.; Safarik, M.
Flüssigeiserzeugung durch Direktverdampfung / Kältespeicherung und andere Anwendungen;
4. Anwenderforum Thermische Energiespeicher am 2. und 3. Juli 2015
in Neumarkt, Otti

Honke; M.; Safarik, M.
Flüssigeis-Erzeugung durch Direktverdampfung / Kältespeicherung, Kühlung und weitere Anwendungen für Vakumeis;
ENERGY SAXONY SUMMIT - 24.06.2015
im Deutschen Hygiene-Museum Dresden

Honke, M.
Vakuum-Flüssigeis-Technologie / Erzeugung und Anwendung von Flüssigeis zum effizienten Kühlen, Speichern und Heizen;
2. Symposium Energiespeicher 19.03.2015
in Bautzen

Honke, M.; Steffan, C.,
Teilnahme mit Exponat und Posterwand am Innovationsforum der Sächsischen Industrieforschungsgemeinschaft e.V.
am 06.10.2015 in Dresden





Kade, A.; Herzog, R.; Klier, J.; Klupsch, M.; Schneider, M.; Spoerl, G.
[New Designs in special Cryo Systems and Mobile Cryocoolers](#)
24th ICR 2015

Heidingsfelder, J.; Reinsch, H.
[Modelling of Product Loss and Freezing Process in Protein Freezing \(Poster\)](#)
52nd Cryo2015, Ostrava, 26. bis 29.07.2015, Clarion Congress Hotel Ostrava

Spörl, G.; Klingner, E.; Quinger, J.; Wittenburg, G.
[Freeze/Thaw Device for Cryopreservation of Tissue Constructs \(Poster\)](#)
52nd Cryo2015, Ostrava, 26. bis 29.07.2015, Clarion Congress Hotel Ostrava

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

Hantsch, A., Reis, T.; Groß, U.
[Moment method boundary conditions for multiphase lattice Boltzmann simulations](#)
Journal of Computational Multiphase Flow, 7, S. 1-14

Hartmann, F.; Behrend, R.; Hantsch, A.; Grab, T.; Groß, U.
[Numerical Investigation of the performance of a partially-wetted geothermal thermosyphon at various power demand schemes](#)
Geothermics, 55, S. 99-107

Heinrich, C.; Witting, S.; Albring, P.; Richter, L.; Safarik, S.; Böhm, U.; Hantsch, A.
[Sustainable Cooling supply for building air conditioning and industry in Germany](#)
Umweltbundesamt, 2015

Hantsch, A.; Friebe, C.
[An experimental and numerical study on laminar buoyancy-induced flow in a symmetrically-heated vertical slit of finite width](#)
eingereicht im International Journal of Thermal Sciences

Mai, R.
[Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 78. Auflage, Recknagel, Sprenger, Albers Überarbeitung Abschnitt 3.3.3.2 \(Dezentrale Geräte\), Abschnitt 3.3.3.3 \(Luftheizgeräte\)](#)

Buschmann, M.H.
[Heat Pipes and Thermosyphons Operated with Nanofluids](#)
in Heat Transfer Enhancement with Nanofluids, eds. V. Bianco, O. Manca, S. Nardini, K. Vafai CRC Press, 2015, 481 pages

Colla, L.; Fedele, L.; Buschmann, M.H.
[Laminar mixed convection of TiO₂-water nanofluid in horizontal uniformly heated pipe flow](#)
Int. Thermal Sci. 97 (2015) 26-40,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.06.013>

Kanzia, C.; Gritzki, R.; Felsmann, C.; Stubbe, D.
[Auswirkungen der Sensorpositionen in einem Raum auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf und die thermische Behaglichkeit](#)
GI | Gebäudetechnik / Innenraumklima | 06/2015 | S. 368 – 381

Heinrich, M.; Friebe, C.; Schwarze, R.
[Experimental and numerical investigation of a gearless one-motor contra-rotating fan](#)
eingereicht im Journal of Power and Energy

Kluth, S. (1); Schulze, C. (1); Hübelt, J. (1);
Ruhnau, M. (1); Richardt, S. (1); Krause, R.
(2); Peusch, A. (2); Fabris, C. (3)
[Ermittlung der Geräuschemission und
Möglichkeiten zur Lärminderung bei Luft-
Wasser-Wärmepumpen](#),
(1) Gesellschaft für Akustikforschung Dres-
den mbH, 01307 Dresden, E-Mail: christi-
an.schulze@akustikforschung.de
(2) ILK Dresden gGmbH, 01309 Dresden,
E-Mail: ralph.krause@ilkdresden.de
(3) Umweltbundesamt, 06844 Dessau-
Roßlau, E-Mail: christian.fabris@uba.de

Blei, S.
[Investigations of laser aerosols during diffe-
rent types of laser processing](#),
European Aerosol Conference 2015,
Mailand, 06.-11.09.2015

Birnbaum, T.
[Thermische Verwertung von KUP –
Kleinf Feuerungsanlagen in Verbindung
mit ORC – Technik](#),
Sächsischer Bioenergietag, Obercarsdorf,
16.09.2015

Birnbaum, T.
[Neue Wege der Biomasse-Nutzung durch
ORC im kleinen Leistungsbereich
\(Postersession\)](#),
10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
Dresden, 22.09.2015

Holfeld, S.
[Filterprüfungen und Anforderungen an
Filter für landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge](#),
10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
Dresden, 22.09.2015

Heidenreich, R.
[Leistungsprüfung für filternde Abscheider
\(Postersession\)](#),
10. Kolloquium zur Luftreinhaltung,
Dresden, 22.09.2015

Birnbaum, T.
[Staubabscheider für Strohheizanlagen](#),
Mitteldeutscher Bioenergietag,
Jena, 05.11.2015

Feja, S.; Hanzelmann, C.
[Experimental studies of thermodynamic
properties of R744-oil-mixtures up to
140 °C and 150 bar](#),
International Journal of Refrigeration, Vol.
60, December 2015, pp. 135-141.
DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2015.07.018.

Schnerr, T.; Seidel, R.
[Dichtheitsprüfung mit fluorierten Kältemit-
teln, Lecksuche: Das müssen Sie wissen](#),
KK 12/2015, DIE KÄLTE + KLIMATECH-
NIK, S. 26 - 29

Heidenreich, R.
[Personenzertifizierung zum VDI-geprüften
Fachingenieur RLQ \(Schulungen\)](#)
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse,
Dresden, 23.-26.11.2015





Kryotechnik und Tieftemperaturenphysik

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

5. Zwischenbericht: Untersuchungen zur magnetokalorischen Kühlung im Leistungsbereich der Kälte- und Kfz-Klimatechnik
ILK-B-1-15-277

Spörl, G.

2. Zwischenbericht: System zur Vitrifikation von Blut und Blutbestandteilen ohne Zusätze - SyViBoZ
ILK-B-1-15-279

Großmann, B.

2. Zwischenbericht: Innovativer Stickstoffkleinverflüssiger
ILK-B-1-15-281

Heidingsfelder, J.

2. Zwischenbericht: Innovatives Charakterisierungs- und Optimierungsverfahren eines Final / Intermediate Bulk Freezingprozesses
ILK-B-1-15-282

Schroeder, G.; Klupsch, M.

2. Zwischenbericht: Mobil einsetzbarer einstufiger Pulse-Tube-Kühler mit Hermetikverdichterantrieb
ILK-B-1-15-284

Kuhn, M.

2. Zwischenbericht: Entwicklung einer kryogenen Rankine-Anlage als innovative Komponente für Energiespeichersysteme
ILK-B-1-15-285

Katterwe, S.-O.

1. Zwischenbericht: Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas
ILK-B-1-15-286

Gust, N.; Kade, A.

1. Zwischenbericht: Entwicklung eines intelligenten Systems zur Vorhersage und Vermeidung sowie Detektion von Quenches in Supraleitern (iQDS)
ILK-B-1-15-287

Kuhn, M.; Zerweck-Trogisch, U.; Wischer, M.

2. Zwischenbericht zu Innovative Wärmekraftsysteme
ILK-B-1-15-308

Kälte- und Wärmepumpentechnik

Edler, C.

Befundung eines Scroll-Verdichters Sanyo C-SBS215H38L
Seriennummer: 090000217
ILK-B-2-15-1414

Edler, C.

2. Zwischenbericht: GEOHEAT - Direktverdampfer-Erdwärmesonde bis 100 m Tiefe ausgeführt als Trockenexpansionsverdampfer
ILK-B-2-15-1416

Edler, C.

2. Zwischenbericht: Funktionsbedingte Anpassungen Kältekreislauf Wäschetrockner
ILK-B-2-15-1417

Edler, C.

Ergebniszusammenfassung: Prüfprogramme zur Schadensanalyse von Verdichtern - Modul 3/2: Akustisch auffällige Verdichter aus dem Feld
ILK-B-2-15-1418

Noack, R.

3. Zwischenbericht: Hochtemperatur-Wärmepumpe für Anwendungen über 120°C
ILK-B-2-15-1419

Noack, R.; Peusch, A.

Untersuchungen an einer zweiten kompakten Luft- Wasser Wärmepumpe nach EHPA Version 1.7
ILK-B-2-15-1422

Röllig, P.

3. Zwischenbericht: Freie Kühlung durch Kältemittelzirkulation
ILK-B-2-15-1426

Röllig, P.

Berechnung eines Wärmeübertragers in einem Topf-Verflüssiger
ILK-B-2-15-1429

Müller, M.; Barthel, M.

Measurements of heatexchanger data with new refrigerants blends – Fin-Tube-HE - Module 1 and 3
Messungen mit Low-GWP-Kältemitteln an luftbeaufschlagten Rohr-Lamelle-Wärmeübertragern
ILK-B-2-15-1430

Selg, C.

Hochtemperatur-Wärmepumpe für Anwendungen über 120 °C
ILK-B-2-15-143

Hauptmann, J.

Leistungsmessung EEV, SANHUA - R410A
ILK-B-2-15-1435

Edler, C.

Prüfprogramme zur Schadensanalyse von Verdichtern - Testphase II (Modul 4)
ILK-B-2-15-1436

Illgen, A.

Abschlussbericht: Dynamisches Verhalten von Kälteanlagen (DynKA)
ILK-B-2-15-1444

Noack, R.; Peusch, A.

Level 2 Report: Untersuchungen an einer kompakten Sole(Wasser)- Wasser Wärmepumpe nach EHPA Version1.7
ILK-B-2-15-1447

Noack, R.; Peusch, A.

Baureihenbericht für Sole(Wasser)- Wasser Wärmepumpen der Baureihe x-change terra compact
ILK-B-2-15-1449

Hauptmann, J.

Testbericht: Leistungsmessung GEA Bock HGX6-1240-4
ILK-B-2-15-1450

Hauptmann, J.; Böhm, M.
Testbericht: Verflüssigungssatz Optyma
MCZC060MTA02E
ILK-B-2-15-1452

Hauptmann, J.; Böhm, M.
Testbericht: Leistungsmessung Verflüssi-
gungssatz Danfoss Optyma
MCZC060MTA02E
ILK-B-2-15-1452_b

Hempel, O.
Zwischenbericht: MiTiBo-Tec - KÜHL
ILK-B-2-15-1459

Noack, R.
4. Zwischenbericht: Hochtemperatur-Wär-
mepumpe für Anwendungen über 120°C
ILK-B-2-15-1463

Hempel, O.
Privatgutachten Eisstadion Weißwasser-
Kältetechnik
ILK-B-2-15-1483

Röllig, P.; Langner, P.
Machbarkeitsstudie - Propan als Kältemittel
in der Klimaanlage eines Caravans
ILK-B-2-15-1488

Böhm, M.; Edler, C.; Hauptmann, J.;
Stangl, R.
Abschlussbericht 2015: Mehrfach-Zwi-
scheneinspritzung an Rollkolbenverdichtern
ILK-B-2-15-1491

Bratanitsch, K.
2. Zwischenbericht: Luftbeaufschlagte Am-
moniakverdampfer mit Trockenexpansion
ILK-B-2-15-1495

Luft- und Klimatechnik

Krause, R.; Schubert, F.
 Strömungs- und Akustikprüfungen von
 Ventilatorbaureihen
 ILK-B-31-15-3968

Buschmann, M.
 Wärmerohre mit optimierten Kühlmedien
 ILK-B-31-15-3971

Buschmann, M.
 Kondensation unter fraktaler Turbulenz
 ILK-B-31-15-3972

Friebe, C.; Hackeschmidt, K.; Krause, R.;
 Stubbe, D.
 Axial-Kompaktlüfter mit hoher
 Leistungsdichte
 ILK-B-31-15-3975

Hackeschmidt, K.
 Fensterintegriertes Raumlüftungssystem
 mit Wärmerohr
 ILK-B-31-15-3976

Döge, S.
 Luftbefeuchter mit integrierter Hygienefunktion
 ILK-B-31-15-3977

Friebe, C.; Döge, S.; Hantsch, A.; Krause, R.
 Verbundbauteil mit schaltbaren Wärme-
 transporteigenschaften
 ILK-B-31-15-3978

Krause, R.; Rittsche, A.; Goldberg, M.
 Wettertaugliche und vernetzbare 3D -
 Strömungssensoren
 ILK-B-31-15-3980

Hackeschmidt, K.
 Messung der Druckverluste an
 Lochblechen
 ILK-B-31-15-3982

Hackeschmidt, K.; Hantsch, A.
 Numerische Modellierung und Berechnung
 eines Batteriemodules mit PCM-Wärme-
 übertragerstruktur
 ILK-B-31-15-3983

Friebe, C.
 Glättung von 3d-Messdaten am Beispiel
 des Wirkungsgrades eines gegenläufigen
 Axialventilators
 ILK-B-31-15-3985

Stubbe, D.; Gritzki, R. (TUD); Kandzia, C.
 (TUD); Rösler, M. (TUD)
 Einfluss der Sensorpositionierung im Raum
 auf den Energiebedarf heiz- und raumluf-
 technischer Anlagen
 ILK-B-31-15-3988

Buschmann, M.
 Entwicklung eines Messgerätes sowie ei-
 nes Verfahrens zur Bewertung von Nanoflu-
 iden als innovative Kühlmedien
 ILK-B-31-15-3991

Rosenbaum, H.; Stubbe, D.
 Bestimmung der Thermischen Behaglich-
 keit und des Zugluftrisikos nach aktuellem
 Normenstand und Bewertung der Situation
 ILK-B-31-15-3998

Döge, S.
 Zustandsüberwachung für Außenluftfilter
 ILK-B-31-15-4002

Hackeschmidt, K.
 Bestimmung der Schalleistung und der
 Strömungscharakteristik an einem Luftaus-
 lasselement
 ILK-B-31-15-4004

Ziller, F.

Küchenablufthaube mit integrierter Wärmehückgewinnung
ILK-B-31-15-4006

Hantsch, A.
Ein Ansatz zur Modellierung des schaltbaren Wandelementes „Heatplate“
ILK-B-31-15-4010

Franzke, U.; Mai, R.
Energieeffizienz von Lüftungsanlagen in Verwaltungsgebäuden
ILK-B-31-15-4014

Friebe, C.; Kempe, T.; Hantsch, A.
Auslegung eines Vortexring - Generators
ILK-B-31-15-4022

Rosenbaum, H.
Regenerationsmodul für dezentrale Trocknungsprozesse
ILK-B-31-15-4023

Waschull, J.; Friebe, C.; Rosenbaum, R.
Strömungsuntersuchungen in PCS-Wärmetauschern für Wäschetrockner mittels PIV
ILK-B-31-15-4024

Kempe, T.
Numerische Strömungssimulation für einen offenen Laborbereich
ILK-B-31-15-4028

Friebe, C.; Berger, M.
Messung der Leckage am Sorptionsrotor Anlage 600, 603.1 und 613 im MELH
ILK-B-31-15-4030

Friebe, C.; Kesslau, D.
Bestimmung des Austrittsprofils an einem Axialventilator
ILK-B-31-15-4032

Hackeschmidt, K.
Zwischenbericht: Dichtheitsmessungen in Tierställen und S2/S3-Räumen im Bauvorhaben TiHo Hannover
ILK-B-31-15-4033

Heidenreich, R.; Frenzel, W.-P., Böhme, A.; Blei, S.; Holfeld, S.; Birnbaum, T.; Berger, M.
Sekundär - Aerosole - Abschlussbericht
ILK-B-33-14-1914

Böhme, A.; Holfeld, S.; Mann, C.
Prüfung von Luftfiltereinsätzen für Motorluftfilter in Anlehnung an SASO 933 unter Berücksichtigung der DIN ISO 5011
ILK-B-33-15-1924

Böhme, A.; Holfeld, S.; Mann, C.
Prüfung von Fahrzeuginnenraumfiltern und Luftfilterpatronen in Anlehnung an SASO 933 unter Berücksichtigung der DIN ISO 5011
ILK-B-33-15-1925

Heidenreich, R.; Birnbaum, T.; Berger, M.
Untersuchung staub- und gasförmiger Emissionen der KWK Maschine Modul C der Kläranlage Kaditz
ILK-B-33-15-1927

Blei, S.; Heidenreich, R.
1. Zwischenbericht 2015: Hocheffiziente kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-Wrap-Through Technik (MWT-plus)
ILK-B-33-15-1928

Frenzel, W.-P.
Sachbericht: Leistungsprüfung für Filternde Abscheider
ILK-B-33-15-1929

Heidenreich, R.; KeBlau, D.
Emissionsermittlung an einer Anlage zur Oberflächen- Fluorierung
ILK-B-33-15-1930

Heidenreich, R.; Mann, C.; Birnbaum, T.
 Leistungsprüfungen an einem Reaktor zur
 thermischen Verwertung von Biomasse
 ILK-B-33-15-1937

Heidenreich, R.
 Untersuchungen an einem Önebelabscheider
 ILK-B-33-15-1950

Keßlau, D.
 Leistungsfähigkeit eines Laserphotometers -
 Bestimmung des Durchlassgrades entspre-
 chend DIN EN 60335-2-69 Anhang AA
 ILK-B-33-15-1953

Keßlau, D.
 Untersuchung zur Bestimmung des Durch-
 lassgrades eines Absauggerätes aus der
 Baureihe 260
 ILK-B-33-15-1956

Blei, S.; Heidenreich, R.
 2. Zwischenbericht 2015: Hocheffiziente
 kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-
 Wrap-Through Technik (MWT-plus)
 ILK-B-33-15-1969

Heidenreich, R.; Holfeld, S.
 Untersuchungen der Abscheideeffizienz
 eines Atemschutzfilters gegenüber Prüf-
 staub, Aerosol und Zyklohexan
 ILK-B-33-2015-1926

Heidenreich, R.; Berger, M.
 Untersuchungen an einer Filteranlage im
 Abgasstrang einer Ökotherm-
 Feuerungsanlage
 ILK-B-33-2015-1939

Heidenreich, R.; Holfeld S.; Mann C.
 Untersuchung einer Prototyp-Motorzuluffil-
 tereinheit nach Einsatz bei einer Testfahrt
 ILK-B-33-2015-1943

Heidenreich, R.; Berger, M.
 Untersuchung zum Druckverlustverhalten
 und der Abscheideleistung von Metall-
 gewebe der Firma R & B Filter GmbH
 gegenüber Aerosol aus der
 Biomasseverbrennung
 ILK-B-33-2015-1947

Heidenreich, R.; Berger, M.
 Untersuchung zum Druckverlustverhalten
 und der Abscheideleistung von Hycoknit®
 - Gewebe gegenüber Aerosol aus der
 Biomasseverbrennung
 ILK-B-33-2015-1948

Heidenreich, R.; Blei, S.; Keßlau, D.
 Untersuchungen zur Luftqualität in einer
 Fertigungshalle für Motorkomponenten
 ILK-B-33-2015-1951

Heidenreich, R.; Holfeld, S.
 Untersuchungen der Abscheideeffizienz
 eines Kabinenfilterelementes gegenüber
 Prüfstaub
 ILK-B-33-2015-1952

Heidenreich, R.; Holfeld, S.; Mann, C.
 Testing Compressed Air Filter for Oil Mist
 Removal Efficiencies
 ILK-B-33-2015-1955

Birnbaum, T.; Mann, C.
 Untersuchung der Luftreinheit in Räumen
 des Fraunhofer-Instituts
 ILK-B-33-2015-1957

Birnbaum, T.
 Untersuchung von Schadstoffkonzentrationen
 in Reinräumen
 ILK-B-33-2015-1958

Birnbaum, T.
 Untersuchung eines Abgas-Filters nach
 Weiterentwicklung
 ILK-B-33-2015-1962

Heidenreich, R.; Holfeld, S.; Mann, C.
Untersuchungen an Kompressoren-
Ansaugfiltern
ILK-B-33-2015-1965

Heidenreich, R.; Berger, M.
Prüfung des Abscheidegrades einer mo-
bilien Schweißrauchabscheideeinrichtung
gemäß DIN EN ISO 15012-1
ILK-B-33-2015-1967

Blei, S.; Heidenreich, R.
2. Zwischenbericht 2015: Hocheffiziente
kristalline Solarzellen auf Basis der Metal-
Wrap-Through Technik (MWT-plus)
ILK-B-33-2015-1968

Heidenreich, R.
Zwischenbericht 2015: Filtermedien für
eine energieeffiziente, umweltschonende
Filtration großer Luftmengen in industriellen
Prozessen (Trommelfilter)
ILK-B-33-2015-1971

Birnbaum, T.; Burandt, B.
Biostrom- Abschlussbericht
ILK-B-33-2015-1973

Heidenreich, R.
Untersuchungen zur Trockenabscheidung
bei der Ofenabsaugung der Fa. Heubach
ILK-B-33-2015-1976

Heidenreich, R.; Keßlau, D.
Vacuum cleaner test acc. To DIN EN
60335-2-69/AA
ILK-B-33-2015-1979

Heidenreich, R.; Holfeld, S.
Determination of separation efficiency of filter
media against NaCl nuclei's and test dust
AC Fine
ILK-B-33-2015-1983

Birnbaum, T.; Berger, M.
Lufthygiensische Begutachtung und Schad-
stoffmonitoring eines Produktionsräume
ILK-B-33-2015-1991

Heidenreich, R.; Blei, S.
Untersuchungen zur Bestimmung des
Durchlassgrades eines Abscheidegerätes
für Laseraerosole mit Bestimmung der
Aufnahmekapazität
ILK-B-33-2015-1997

Angewandte Neue Technologien

Türke, A.

Neue sensitive Materialien für Sensoren in der Kältetechnik - Zwischenbericht
ILK-B-4-15-3282

Germanus, J.

2. Zwischenbericht zum FuE-Vorhaben: Abwärmenutzung mit Low-GWP-Arbeitsfluiden durch ORC-Anlagen
ILK-B-4-15-3284

Waschull, J.; Künanz, R.

Kalorimetrie an PCM-Speicherbaugruppen für Wäschetrockner
ILK-B-4-15-3288

Schnerr, T.

Zwischenbericht: Integrales Hüllenprüfverfahren zur automatisierten Dichtheitsprüfung von Kleinkältesystemen
Report project IHK Haubenprüfverfahren ZIM 642008
ILK-B-4-15-3314

Seidel, R.

3. Zwischenbericht: Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher - MetPCM
ILK-B-4-15-3323

Waschull, J.; Künanz, R.; Friebe, C.

4. Zwischenbericht: Energiespeicher in Form von polymergebundenen PCM für Anwendungen im Kälte- und Wärmebereich bei energieeffizienten Haushaltsgeräten - PCM4all
ILK-B-4-15-3330

Rittsche, A.

Zwischenbericht: Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen (EnBeKa); Teilvorhaben: Modellierung und Diagnose
ILK-B-4-15-3336

Müller, R.

Abschlussbericht: Latentwärmespeicher mit ungekapseltem PE-UHMW: „PE-UHMW“
ILK-B-4-15-3356

Schnerr, T.

Abschlussbericht: Entwicklung einer innovativen Technologie zur Druckfestigkeitsprüfung von CO₂-Kälteanlagen
ILK-AB-4-15-3368

Angewandte Energietechnik

Burandt, B.
Bestimmung des wasserseitigen Druckverlustes des Heizers von MED-Anlagen bei unterschiedlicher Wasserführung
ILK-B-5-15-0300

Putze, T.; Honke, M.
Untersuchung mechanischer Agitatoren in einer Modelversuchseinrichtung zur Herstellung und Speicherung von Wasser-Eisgemischen durch Direktverdampfung im Grobvakuum
ILK-B-5-15-0304

Richter, M.
Water pressure drop measurements with different plate heat exchangers
ILK-B-5-15-0310

Honke, M.
Einsatzstudie Eisspeicher in der GMD
ILK-B-5-0330

Heinrich, C.
Modellentwicklung zur Nutzung der No-frost-Technologie in Geräten mit mehr als zwei Temperaturzonen
ILK-B-5-15-0333

Burandt, B.; Birnbaum, T.
Weiterführende Untersuchungen zur Leistungssteigerung an einem ORC-Kreislauf Modul 3
ILK-B-5-15-324

Heinisch, K. H.
Experimentelle Untersuchung einer Mehreffekt-Meerwasserentsalzungsanlage (MED) mit neun Effekten
ILK-B-5-15-0331

Honke, M.; Steffan, C.
Verfahrensoptimierter Direktverdampfer zur Vakuumeiserzeugung
ILK-B-5-15-0335
