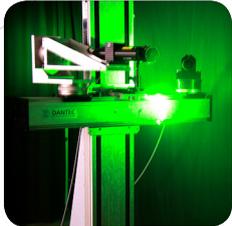




INNOVATIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

Forschungsbericht 2017



Forschung
Entwicklung
Technologietransfer
Versuchstechnik

Herausgeber: Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH

Stand: März 2018

INHALT



Vorwort	5
Kryotechnik und Tieftemperaturphysik	9
Kälte- und Wärmepumpentechnik	31
Luft- und Klimatechnik	51
Angewandte Werkstofftechnik	77
Angewandte Energietechnik	93
Veranstaltungen	102
Verbände und Organisationen	111
Vorträge	112
Veröffentlichungen / Publikationen	116
Ausgewählte Fachberichte	118

VORWORT



Das Jahr 2017 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 27. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges, privatwirtschaftliches Forschungs- und Technologieunternehmen. Mit einem interdisziplinären Team von 144 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von ca. 13,9 Mio. € ist das ILK eines der größten privaten Forschungseinrichtungen.

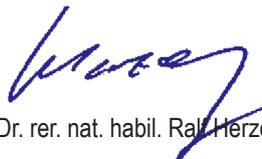
Das ILK stellte sich im breiten Spektrum der Technologiebereiche Tieftemperaturtechnik, Kältetechnik, Wärme- und Stoffübertragung, Klimatechnik, Luftreinhaltung, physikalisch-chemische Analytik, Werkstoffe sowie angewandter Energietechnik den grundlegenden Themenstellungen der heutigen Zeit, wie Energie,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

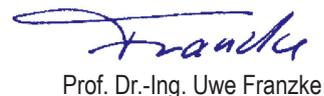
Im Jahr 2017 wurden 77 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben am ILK bearbeitet und eine Vielzahl von freifinanzierten Aufträgen für die Industrie durchgeführt.

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 2017 beinhaltet ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung sowie ausgewählte Beispiele von wissenschaftlich-technischen Dienstleistungen des ILK.

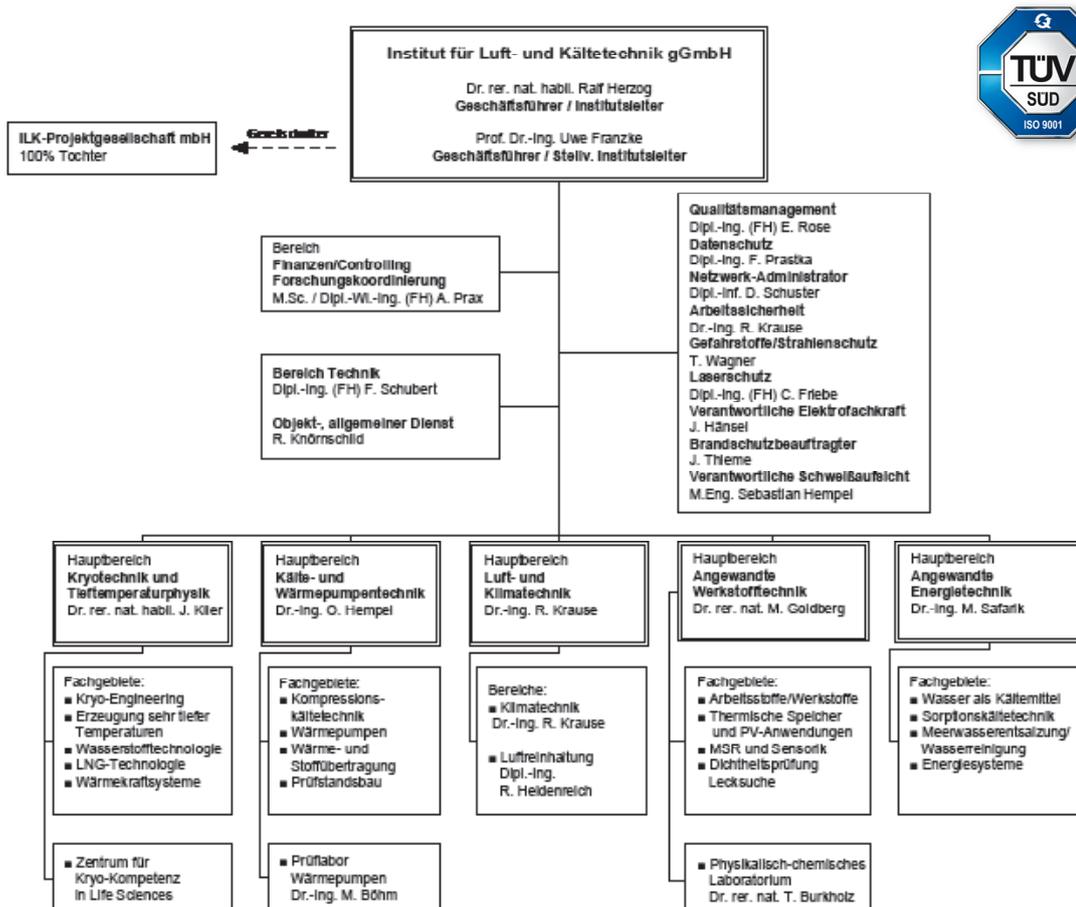
Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Partnern in Wirtschaft, Forschung und im öffentlichen Bereich für die gute Zusammenarbeit im Geschäftsjahr 2017 und bei den ILK-Mitarbeitern für die aktive Mitarbeit und das persönliche Engagement.


Dr. rer. nat. habil. Ralf Herzog


Prof. Dr.-Ing. Uwe Franke

DAS INSTITUT

Organisation



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas	10
Innovativer Hochleistungskryokühler: ölfreies und wartungsarmes System	12
Kunststoff-Kryostate für extreme Anforderungen	14
Expansionsventil für kleine Masseströme	16
Supra-Stromschiene	17
Wachstumskern OWS-MV	18
Kosteneffizientes, transport- und lagerfähiges 3D-Zellkultursystem	20
Innovative Gefriertrocknungsanlage mit MBIT-Verfahren	22
Untersuchungen an zellbasierten Sphäroiden - Ist Kryobanking möglich?	24
Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2017	26
FuE-Dienstleistungen im Bereich tiefer Temperaturen 2017	28

Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas

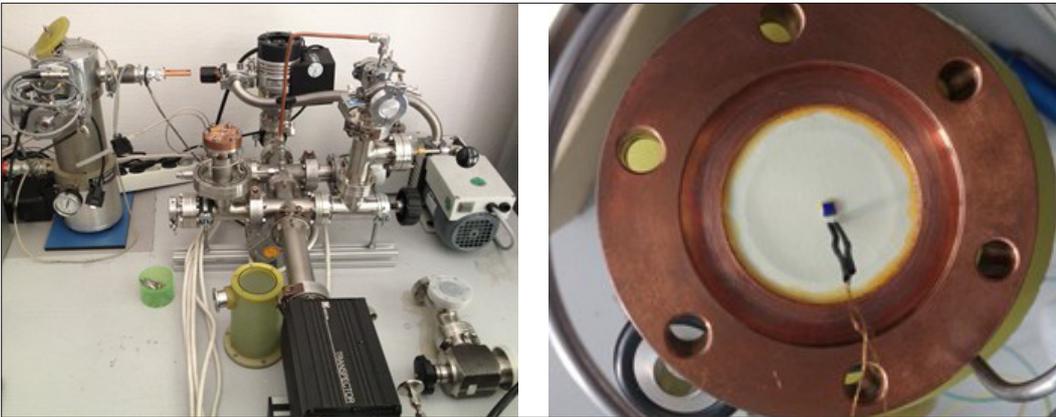


Abbildung 1: Versuchsstand zum Test von Membranproben (links). Kühlvorrichtung mit Matrimid-Membranprobe und Temperatursensor (rechts)

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 der Luft (nur ca. 0,0005 %) wird Helium primär aus Erdgas gewonnen. Allerdings ist in den letzten Jahren weltweit eine Heliumknappheit aufgetreten, welche sich teilweise in Lieferengpässen und einem starken Preisanstieg geäußert hat. Vor diesem Hintergrund wurden innerhalb des hier beschriebenen FuE-Projektes am ILK Dresden neue Ansätze bzw. innovative Prozesse zur Heliumabscheidung aus Erdgas untersucht. Insbesondere wurden Prozesse betrachtet, die sich dazu eignen, hochreines Helium auch aus Erdgas mit sehr geringen Heliumkonzentrationen effizient gewinnen zu lassen.

Ein Schwerpunkt dieses Vorlaufforschungsvorhabens 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 Abscheidungsprozesses gesteigert werden kann. Um ein geeignetes Membranmaterial auszuwählen, wurden Versuche durchgeführt, um verschiedene Materialien zu testen. Untersucht wurden hierbei die Temperaturabhängigkeit der Permeationsraten von Methan und Helium und die Materialeigenschaften des Membranmaterials bei tiefen Temperaturen, bis hinab zu 77 K. Ein Versuchs-

stand 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 erstes Membranmaterial wurde Matrimid (ein thermoplastisches Polyimid) untersucht. Die Membranprobe bestand aus einem Matrimidfilm, welcher auf einem Polyester-Stützflies aufgetragen war. Dieses Material besitzt eine relativ hohe Selektivität zwischen Helium und Methan bei Raumtemperatur. Die Tieftemperaturbeständigkeit dieses Materials wurde durch mehrfaches thermisches Zyklieren zwischen Raumtemperatur und 77 K untersucht. Die Untersuchung unter einem optischen Mikroskop zeigte keine Anzeichen von Materialschädigung. Für weitere Versuche wurde 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 ist es möglich, verschiedene Membranmaterialien zu untersuchen bzw. Wärmetauscher in das Modul zu integrieren. Generell wurden die Experimente zur Permeabilität von Membranmodulen für Helium und Methan bei Drücken zwischen 1 bar und 16 bar und Temperaturen zwischen 240 K und 293 K durchgeführt. Die Ergebnisse für Helium sind in Abbildung 2 gezeigt.

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 wurden im Rahmen dieses Projektes durch den Einsatz von Wirbelrohren optimiert. Dies stellt den zweiten Forschungsschwerpunkt des Projektes dar. Die Wirbelrohrtechnologie soll eingesetzt werden, um LN₂ auf bis zu 70 K zu unterkühlen. Die Experimente hierzu wurden mit Helium als Prozessgas bei einem Eingangsdruck von 17 bar und einer Eingangstemperatur von 78 K durchgeführt. Darüber hinaus sollen Wirbelrohre zur Kühlung des Roherd-gases eingesetzt werden. Hierzu wurden Experimente mit den Prozessparametern 40 bar Eingangsdruck und 273 - 293 K Eingangstemperatur durchgeführt. Auf diese Weise konnte das Roherd-gas

auf eine Ausgangstemperatur von 233 - 243 K abgekühlt werden, bei einem Druckabfall von ca. 30 bar.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden eine Basis für zukünftige FuE-Projekte bilden. Dazu soll 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 kann dann für entsprechende Industriepartner zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin ist beabsichtigt, die Wirbelrohrtechnologie auch zur Effizienzsteigerung von Tieftemperaturanlagen einzusetzen. Die gewonnenen Erkenntnisse konnten auch für die Weiterentwicklung einer Heliumreinigungsanlage zur Wiederverwertung von verunreinigtem Helium erfolgreich am ILK Dresden genutzt werden.

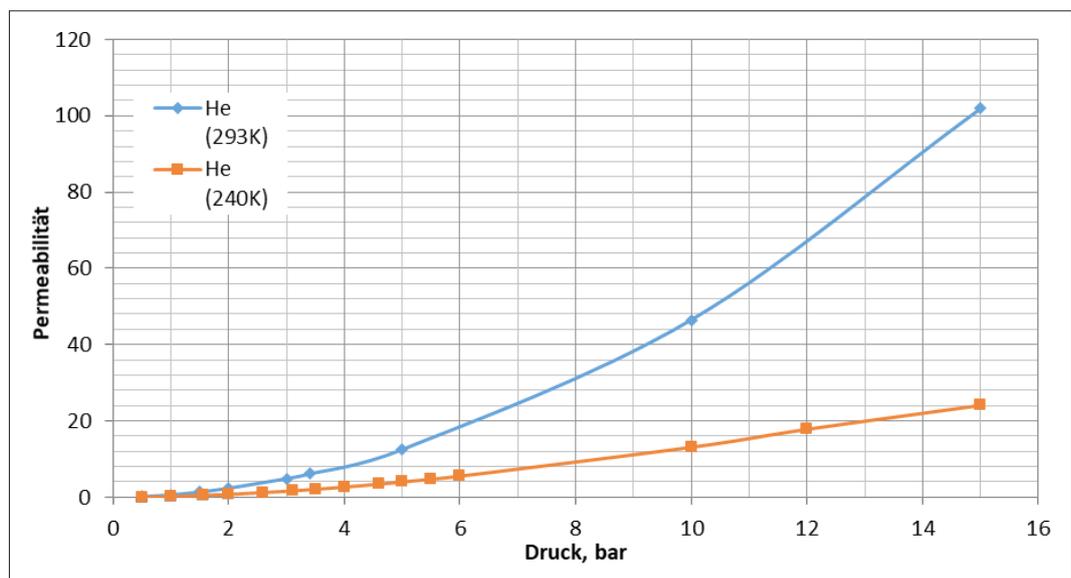


Abbildung 2: Permeabilität für Helium in Abhängigkeit vom Druck bei 240 K und 293 K.

Innovativer Hochleistungskryokühler: ölfreies und wartungsarmes System

Die Entwicklung des innovativen Hochleistungskryokühlers als ölfreies und wartungsarmes System ist die konsequente Fortsetzung der Kryokühlerentwicklung am ILK Dresden. Nachdem sich das Kaltteil der Kryokühler bewährt hat, liegt der Entwicklungsschwerpunkt nun auf einem möglichst wartungsfreien System, was darüber hinaus kostengünstig hergestellt werden kann. Dieser Hochleistungskryokühler soll bei einer Temperatur zwischen 65 und 80 K (-208 und -193°C) eine Kälteleistung zwischen 650 und 1000 W zur Verfügung stellen. In der geplanten Anwendung ist vornehmlich die Kühlung von Anwendungen mit Hochtemperatursupraleitern (HTSL) geplant. Hier sind besonders die Kühlung von supraleitenden Kabeln, resistiven und induktiven Fehlerstrombegrenzern sowie die Kühlung von HTSL-Motoren und -Generatoren zu nennen.

Bei allen genannten Anwendungen ist die Frage, wie die Kälte zwischen 65 und 80 K zur Aufrechterhaltung der Supraleitfähigkeit bereitgestellt werden soll, unbefriedigend gelöst - der Hochleistungskryokühler soll zur Lösung dienen. Denn vielfach werden diese Anwendungen mit flüssigem Stickstoff gekühlt, was eine entsprechende Infrastruktur erfordert. Auch Gifford-Mc-Mahon-Kühler kommen zum Einsatz, jedoch haben diese kurze Wartungsintervalle.

Die technologische Entwicklung, die in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner durchgeführt wird, gliedert sich in zwei Hauptaufgaben:

- Entwicklung eines Druckwellenerzeugers,
- Entwicklung des dazugehörigen Pulse-Tube-Kühlers durch das ILK Dresden,

die in ihrer Verbindung den Hochleistungskryokühler ergeben und daher nicht unabhängig voneinander entwickelt werden können. Die Entwicklungen basieren im Wesentlichen auf den langjährigen Erfahrungen der beteiligten Projektpartner. Auf diese Weise soll eine hohe Produktreife erreicht werden.

Abbildung 1 zeigt die Aufgabenteilung im Gesamtvorhaben. Der Industriepartner entwickelt den Druckwellenerzeuger, der vorzugsweise aus zwei miteinander gekoppelten Kolbenkompressoren mit jeweils gegenläufigen Kolben besteht, so dass zwischen den beiden Kolben jeweils ein Hubversatz von 180° existiert. Zwischen der Kompressions- und Expansionseinheit ist der Hubversatz frei wählbar. Das Optimum für den Kaltgasprozess liegt zwischen 80° und 130°. Der Druckwellenerzeuger soll hermetisch ohne bewegte Dichtungen aufgebaut

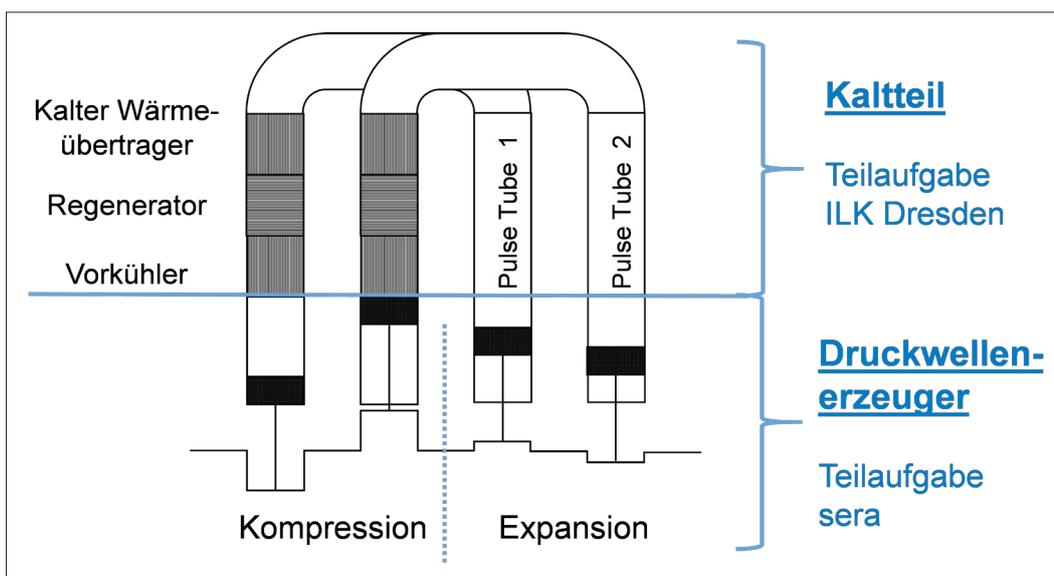


Abbildung 1: Verteilung der Entwicklungsaufgaben im FuE-Projekt

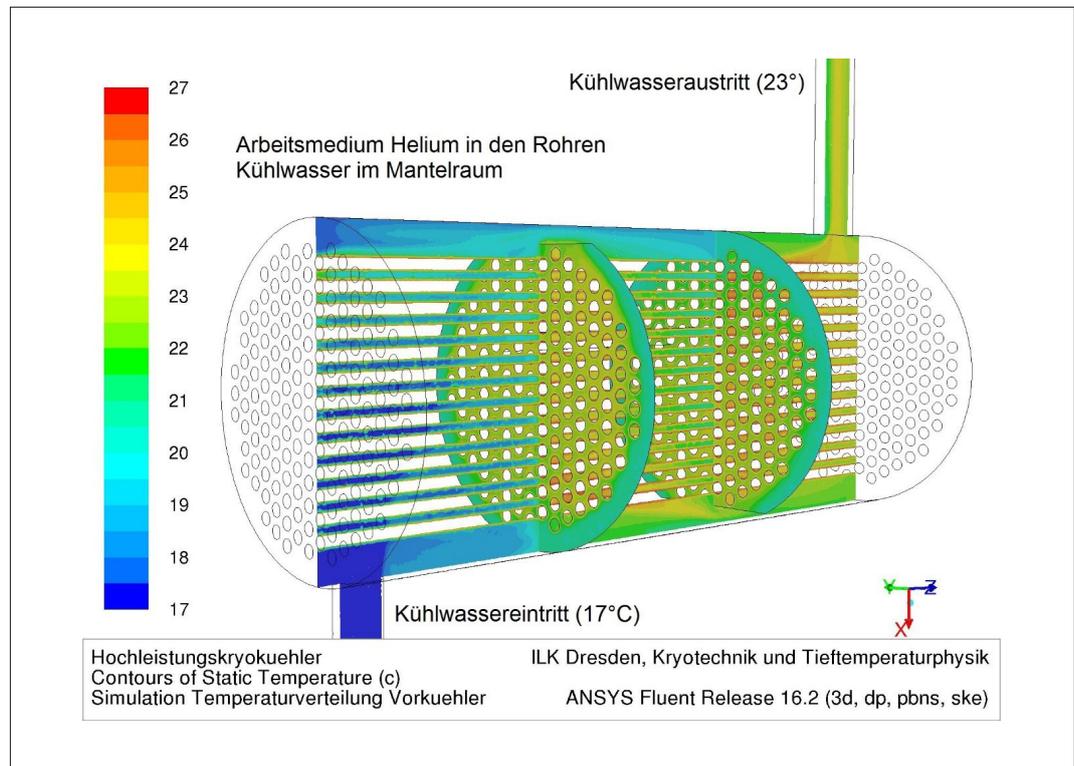


Abbildung 2: Numerische Simulation des Vorkühlers

werden. Das ILK Dresden entwickelt das dazu passende Kaltteil, welches aus einer fluidischen Reihenschaltung von Vorkühler, Regenerator, kalter Wärmeübertrager und Pulse Tube besteht. Im Gegensatz zu herkömmlichen Pulse-Tube-Kühlern, bei denen das warme Ende des Pulse-Tube geschlossen ist, erfolgt die Volumenänderung am Kaltteil beidseitig.

Innerhalb der Teilaufgabe des ILK Dresden liegt der Schwerpunkt bei der Wärmeübertragerentwicklung. Hier ist insbesondere die kostengünstige Fertigung eine der Herausforderungen, da sehr kleine Kanäle (Durchmesser etwa 1 mm) bei „absoluter“ Dichtheit realisiert werden müssen. Nach vorherigen Versuchen mit Schlitzwärmeübertragern wird nun ein Miniaturrohrbündelwärmeübertrager mit zwei Umlenkblechen ausgeführt. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Strömungssimulation für den Vorkühler. Über diesen Wärmeübertrager muss die gesamte Antriebsleistung zuzüglich der im kalten Wärmeübertrager aufgenommenen Kälteleistung über das Kühlwasser an die Umgebung abgegeben werden, er hat damit die höchste Wärmeleistung im Gesamtsystem.

Der Hochleistungskryokühler ist derzeit im Aufbau. Umfangreiche Testergebnisse werden im Sommer 2018 vorliegen.

Kunststoff-Kryostate für extreme Anforderungen

Ziel des FuE-Projektes war es, für die Realisierung von Kunststoff-Kryostaten für extreme Anforderungen, wie hohe Temperaturen und Stabilität, neue Materialien und Herstellungsverfahren von Faserverbunden auf der Basis von Epoxidharzen bzgl. deren Eignung für den Kryostatenbau zu evaluieren bzw. zu entwickeln, sowie Verbindungstechnologien zwischen diesen zwecks Erhalt neuartiger Materialkombinationen zu erarbeiten. Ein wichtiger Meilenstein war die Umsetzung eines sehr leichten und trotzdem stabilen, lageunabhängigen Kryostaten aus einer Kombination von GFK und CFK (Isocarbon 3164), siehe Abbildung 1.

Einen weiteren Schwerpunkt im Vorhaben stellten Anwendungen bei erhöhten Außentemperaturen dar. In den Vorjahren gab es bereits erfolgreiche Entwicklungen von großen Kryostaten, welche bei moderaten Umgebungstemperaturen eingesetzt werden. Aktuelle wissenschaftliche Projekte zu induktiven Strombegrenzern zeigen jedoch, dass an der Primärspule Temperaturen von 150 °C auftreten. Da supraleitende induktive Strombegrenzer nur mit nichtmetallischen Kryostaten arbeiten, wurde im Rahmen des vorliegenden FuE-Projektes dieses Problem näher betrachtet und eine Lösung zur Umsetzung eines speziellen Kryostaten erarbeitet, der aus einer Epoxidmatrix mit einer Glasübergangstemperatur T_g von ca. 170 °C besteht. Die Ergebnisse konnten auf einen Kryostaten zur Kühlung von HTSL (Hochtemperatursupraleiter) für eine spezielle Anwendung für einen Strombegrenzer angewendet werden. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Entwicklung, einen Kryostaten für hohe Außentemperaturen bei gleichzeitiger guter Isolation und erhöhter Druckbeständigkeit des Kaltraumes.

Aus bereits abgeschlossenen und laufenden Entwicklungsaufträgen zu Kryostaten kann abgeleitet werden, dass eine wirtschaftliche Verwertung der Vorhabensergebnisse über den geplanten Umfang hinaus erfolgen kann. Für die aktuelle Entwicklung des Kryostaten für die genannte Strombegrenzer-Anwendung konnte wesentliches Know-how aus dem Projekt transferiert werden. Ein vergleichbarer, erheblicher Nutzen ist für weitere Spezialkryostate zu erwarten.

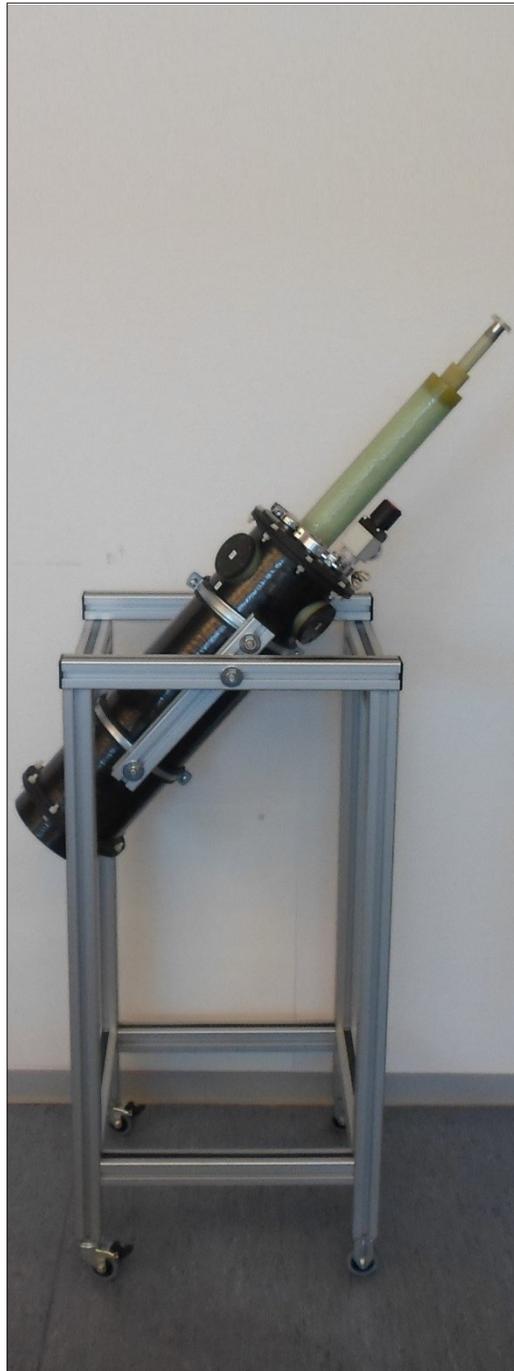


Abbildung 1: Kryostat aus einer Kombination von GFK / CFK



Abbildung 2: Kryostat zur Kühlung von HTSL-Spulen

Expansionsventil für kleine Masseströme

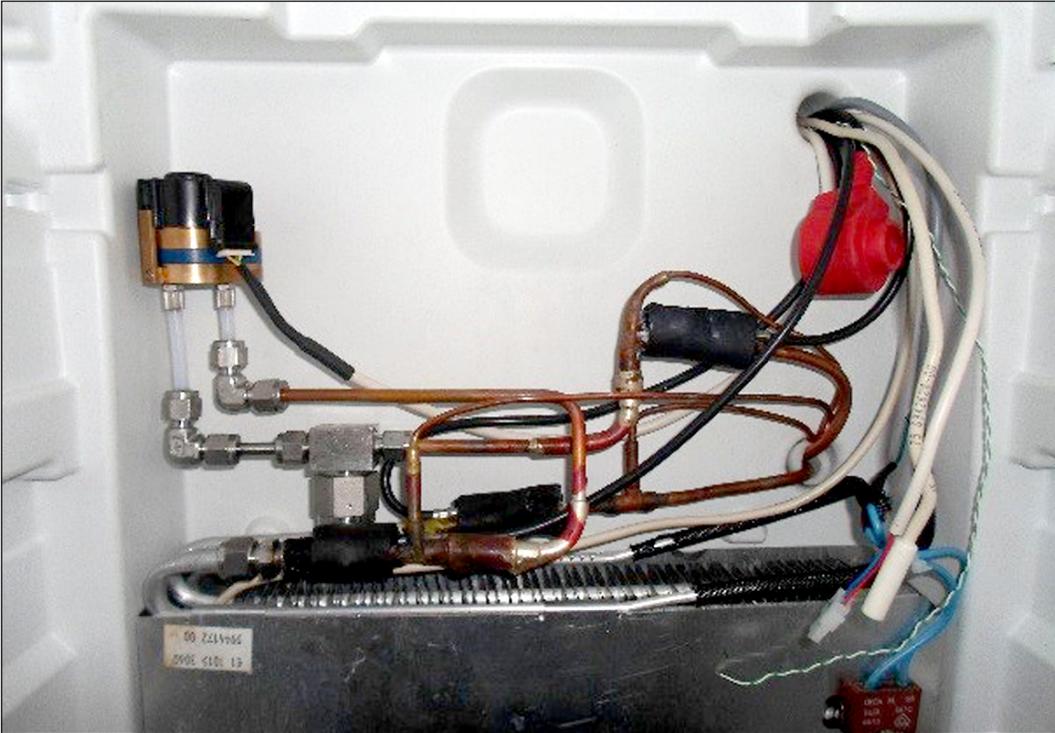


Abbildung 1: Eingebautes Expansionsventil in einem Mustergerät vom Industriepartner am ILK Dresden

Ziel des FuE-Vorhabens, welches gemeinsam mit einem weiteren Forschungsinstitut und einem Industriepartner durchgeführt wird, ist die Entwicklung eines schaltbaren Expansionsventils im Kälteleistungsbe-
reich unter 200 W. Während der Bearbeitungszeit wurden bereits unterschiedliche Funktionsvarianten und Testsysteme aufgebaut. Am ILK Dresden wurden die verschiedenen Systeme mit entwickelt, untersucht und bewertet.

Der dazu am ILK Dresden aufgebaute Ventilversuchsstand wird zur Charakterisierung der Ventileigenschaften genutzt und dient der Überprüfung der Funktionalität der einzelnen Expansionsventile. Da die Drosselwirkung in den entwickelten Ventilen über mehrere kleine Mikrokanäle (parallel geschaltet) erfolgt, hat sich im Laufe des Projekts herausgestellt, dass die vorherrschende Verschmutzung des Kältesystems für die Funktionalität des Expansionsventils von zentraler Bedeutung ist. Durch die Tests am Ventilversuchsstand konnte die grundlegende Funktionalität der Expansionsventile nachgewiesen werden.

Die Expansionsventiltests erfolgen sowohl in speziellen Versuchsständen der Projektpartner als auch in Mustergeräten des Industriepartners, was eine realitätsnahe Entwicklung ermöglicht. In Abbildung 1 sieht man ein eingebautes Expansionsventil in einem Mustergerät am ILK Dresden.

Auf Basis der Erfahrungen aus den Messungen wurde das Expansionsventil hinsichtlich der Kanalanzahl und -geometrie in enger Zusammenarbeit mit den Partnern optimiert. Zudem wurde dem Ventil eine integrierte Filterfunktion hinzugefügt, die zudem durch Verändern der Schrittmotorposition ein Rückspülen des Filters ermöglicht. Zu diesen neuen Entwicklungen wurden mittlerweile zwei deutsche und ein weltweites Patent angemeldet.

Supra-Stromschiene

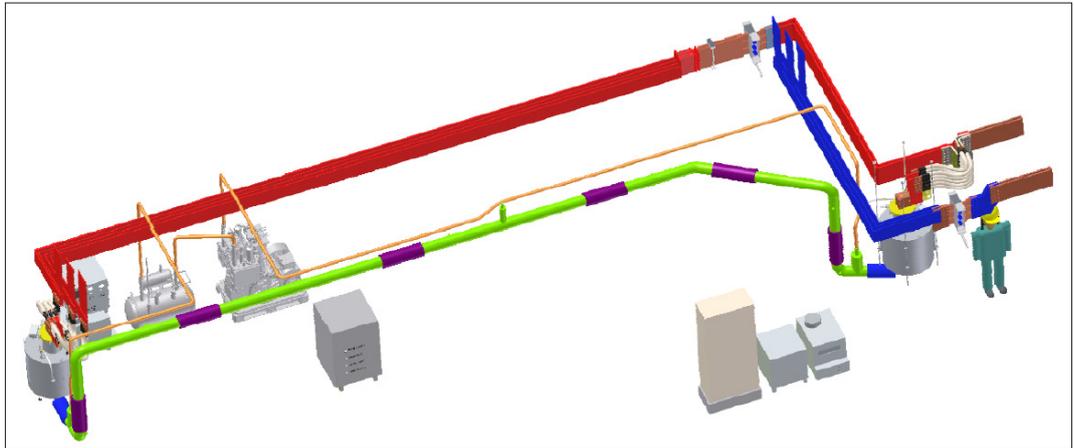


Abbildung 1: Layout der Stromschiene inkl. Aggregate, der supraleitende Teil ist grün dargestellt, Quelle: Vision Electric Superconductors

Ziel des FuE-Projektes ist die Entwicklung einer Gleichstrom-Trasse (DC-Trasse) auf der Basis von Supraleitern. Im Rahmen des Projektes wurde eine 20 m lange Demonstratorstrecke für einen Nennstrom von 20 kA aufgebaut. Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, dass ein Teil der Strecke mit supraleitendem Material, der andere Teil mit normalleitenden Kupfer- und Aluminiumschienen realisiert wird. Dieser Ansatz gewährleistet einen uneingeschränkten Betrieb der Stromversorgung, auch wenn der supraleitende Pfad abgeschaltet werden sollte. Hochtemperatur-Supraleiter ermöglichen bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff eine verlustlose Gleichstromübertragung, da unterhalb der kritischen Stromdichte der Supraleiter seinen Gleichstromwiderstand verliert. Wegen des Wegfalls der in Wechselstromanwendungen unvermeidlichen AC-Verluste kann die Supraleitung besonders in DC-Anwendungen ihr Potential als Effizienztechnologie zur Energie- und Ressourcenschonung voll ausspielen. Ein entsprechender Demonstrator, mit geschlossenem Kühlkreislauf, wurde bei der Firma BASF in Ludwigshafen an einer Chlorelektrolyse installiert, siehe Abbildung 1. Bei den einzelnen Komponenten, die für den Gesamtaufbau benötigt wurden, konnte eine Modularität der einzelnen Baugruppen umgesetzt werden.

Folgende Komponenten waren Schwerpunkt der Entwicklung am ILK Dresden:

- Kryokühler
- Kryoflüssigkeitspumpe

- Reservoir – als Interface, kryogene Versorgungsleitungen
- Sensorik, Steuerung

Seit Ende 2017 laufen intensive Untersuchungen bei BASF, gemeinsam mit unseren Projektpartnern, um die Performance im Gesamtverbund zu testen und die Kälteleistung des Kryokühlers weiter zu optimieren.

Aus den bereits erhaltenen Ergebnissen des FuE-Projektes kann abgeleitet werden, dass eine wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse des Vorhabens nach Projektabschluss erfolgen kann. Ein vergleichbarer, erheblicher Nutzen ist für weitere Spezialanwendungen zu erwarten.



Abbildung 2: Kryokühler und Reservoir mit Versorgungsleitungen

Wachstums kern OWS-MV

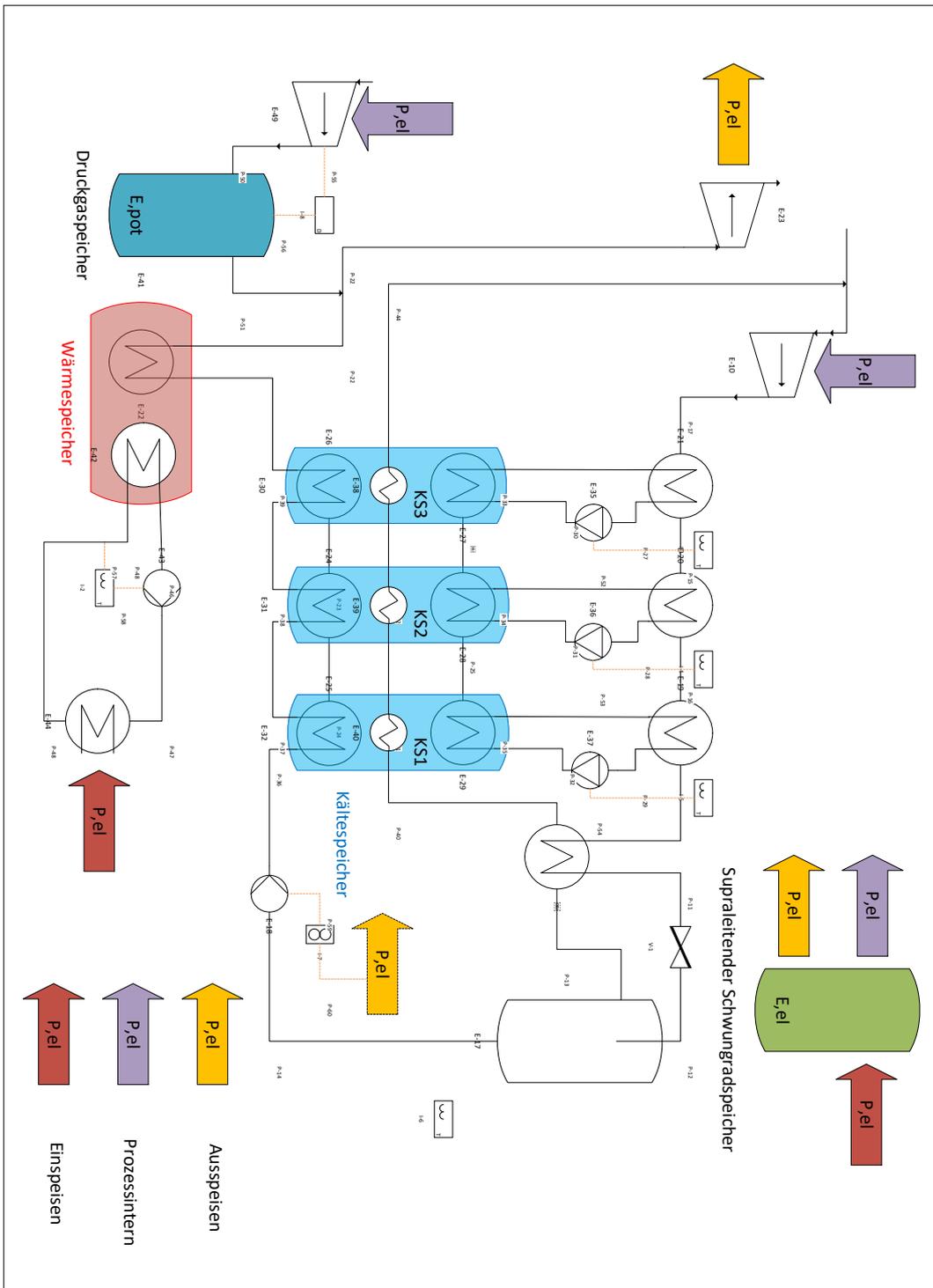


Abbildung 1: Konzept des Gesamtsystems für den Flüssigluftenergiespeicher (FLES)

Ziel des Wachstumskerns OWS-MV – „Offshore Wind Solution – Mecklenburg Vorpommern“ ist es, die Einsatzgebiete und Nutzungspotentiale von Offshore-Windenergieanlagen auszuweiten und deren Wirtschaftlichkeit zu steigern. Dazu gibt es innerhalb des Wachstumskerns fünf Verbundprojekte (VP) zu wesentlichen Forschungsschwerpunkten. Das ILK Dresden beschäftigt sich dabei innerhalb von VP 5 mit der Umsetzung eines effizienten Energiespeichersystems mittels der Verflüssigung von Luft.

Auf Basis thermodynamischer Voruntersuchungen wurde am ILK Dresden ermittelt, dass wesentliche Vorteile bzw. ergänzende Effekte gegenüber anderen Energiespeichersystemen wie Pumpspeicherkraftwerken, Druckspeicherkraftwerken (CAES), Batterien o. a. bestehen.

Im bisherigen Projektverlauf wurden die notwendigen Anlagenkomponenten zur Umsetzung eines effizienteren Gesamtkonzeptes (siehe Abbildung 1) erarbeitet und deren Basisparameter festgelegt. Als wichtigste Systemkomponente zur Anpassung und Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades sind drei Kältespeicher vorgesehen.

Für die Kältespeicher wurden Simulationsmodelle erarbeitet und getestet. Zusätzlich ist zur Überprüfung der Funktionsweise der Kältespeicher ein Testfeld am ILK Dresden aufgebaut worden. Bisher konnte auf diesem Testfeld ein Vorversuch durchgeführt werden (siehe Abbildung 2).

Die Ergebnisse zum Beladevorgang ergaben einen guten Ansatz, um den Speicher und den Versuchstand für das Funktionsmuster umzubauen. Das Kältespeicher-Funktionsmuster wird in Absprache mit dem ILK Dresden durch die Firma RST geplant und gebaut und soll anschließend auf dem ILK-Testfeld untersucht werden.

Im Rahmen des Sondermeilensteins im Projekt OWS-MV konnte unter Nutzung von interner Kälte- und Wärmespeicherung ein FLES-Gesamtwirkungsgrad von $\geq 50\%$ nachgewiesen werden. Mit dem Erreichen dieses Zielkriteriums innerhalb des Wachstumskerns OWS-MV trägt das ILK Dresden dazu bei, dass ein wesentlicher Schritt zur industriellen Umsetzung eines solchen Energiespeichers gegangen werden kann.

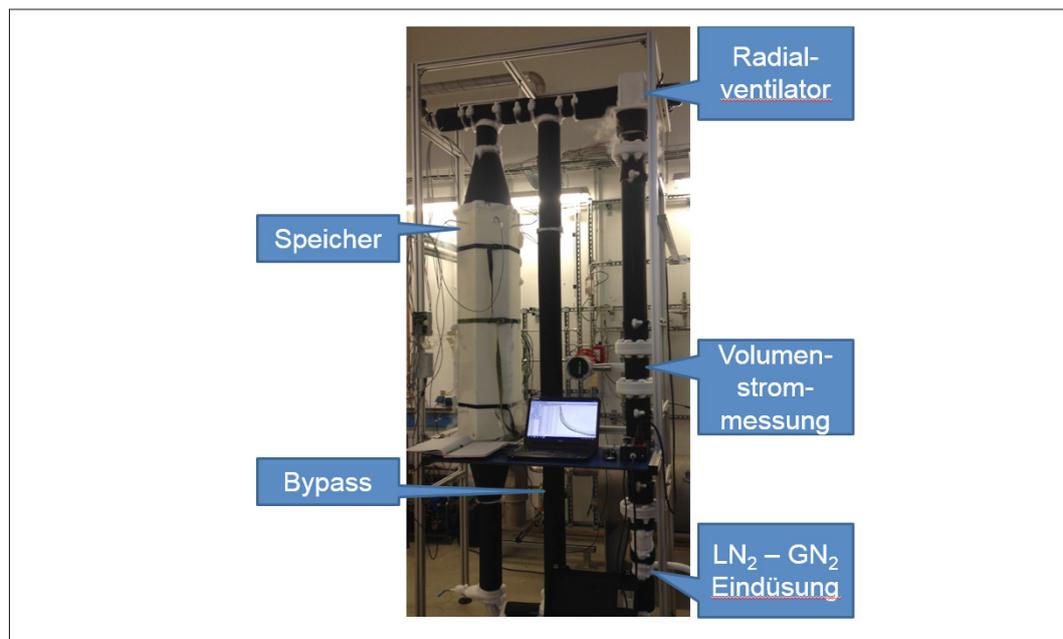


Abbildung 2: Versuchsstand Kältespeicher-Vorversuch

Kosteneffizientes, transport- und lagerfähiges 3D-Zellkultursystem

Im Rahmen des FuE-Projektes „Kosteneffizientes, transport- und lagerfähiges 3D-Zellkultursystem“ konnte erstmals ein Gewebemodell entwickelt werden, welches mit gewebetypischer Komplexität kryogen konservierbar und nach dem Tauen ohne Pflegemaßnahmen weiter kultivierbar ist. Dieses In-vitro-Testsystem für Zytotoxizitätsuntersuchungen auf Grundlage humaner Schleimhautzellen ist bei -85°C nahezu unbegrenzt transport- und lagerfähig und ermöglicht damit die Durchführung realitätsnaher Zytotoxizitätsuntersuchungen an 3-dimensionalen (3D) Gewebestrukturen. Mit Hilfe solcher Tests kann das Gefährdungspotential von Lösungen und Extrakten nach den Anforderungen von EN ISO 10993-5 unter Laborbedingungen untersucht werden, um Tieropferungen zu umgehen. Weitere Vorteile des am Kryokompetenzzentrum für Lebenswissenschaften entwickelten Assays sind die schnelle und automatisierte Herstellbarkeit ohne eine mehrwöchige Kultivierungsphase und die einfache Anwendung (Ready-to-use-Strategie).

Gemäß dem Ansatz einer einfachen und kosteneffizienten Herstellung erfolgt der Aufbau des Assays aus vorgefertigten Komponenten. Als Trägersystem kommt eine Multiwell-Zellkulturplatte zum Einsatz, die eine automatisierte Testdurchführung und photometrische Auswertung in automatischen Titerplattenlesegeräten erlaubt. Das entwickelte Assay im 96-Well-Mikrotiterplattenformat enthält 60 humane Gewebemodelle, die innerhalb weniger Stunden zellkulturfrei gefertigt werden. Die 3D-Gewebematrix besteht aus einem Zellträgergel auf Basis natürlicher Mucopolysaccharide und sedimentationsstabil eingebrachter humaner Schleimhautzellen und einer 3D-Kollagenmatrix als stabilisierende Gerüststruktur. Ein großer Teil der benötigten Gefrierschutzadditive und alle in der Gewebekonsolidierungs- und Testphase benötigten Nährstoffe, Wachstumsfaktoren und Puffersubstanzen sind im Zellträgergel enthalten. Die Kryokonservierung erfolgt nach der sterilen Assemblierung beider Gewebekomponenten in der Wellplatte. Nach dem Auftauen (siehe Abbildung 1) wird die steril verschlossene Testplatte für mehrere Tage bei 37°C inkubiert, damit Matrix, Gel und Zellen eine Gewebestruktur bilden. Auf Pflegemaßnahmen

wie Medientausch oder pH-Stabilisierung kann verzichtet werden. Die Multiwellplatte mit den kryokonservierten Schleimhautmodellen kann in einem Wasserbad aufgetaut werden. Anschließend wird eine mehrtägige Reaktivierungsphase benötigt, um durch die Ausbildung von Matrix- und Interzellularkontakten ein funktionales Gewebeäquivalent zu bilden. Für die Zytotoxizitätsprüfung werden die Prüflösungen auf die Gewebeäquivalente aufgegeben und das Reagenz nach einer dreistündigen Einwirkzeit hinzugefügt. Anschließend wird die Testplatte für drei Stunden inkubiert und zur fluoreszenzphotometrischen Auswertung in ein Plattenlesegerät überführt. Der Arbeitsablauf ist automatisierbar und erfordert keine Sterilität. Das entwickelte Kryokonservierungskonzept verzichtet auf den Einsatz toxischer oder wachstumshemmender Standard-Kryoprotektiva, wie DMSO (Dimethylsulfoxid). Diese konnten vollständig durch natürliche, gewebetypische Zuckerstoffe substituiert werden und erzielten eine reproduzierbare Zellüberlebensrate von 98 % für die Kryokonservierung. Durch den Zusatz einer weiteren nicht toxischen Komponente kann die Zellüberlebensrate auf 100 % gesteigert werden und übersteigt damit den Stand der Wissenschaft für die Kryokonservierung einfacher Zellsuspensionen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Wärmeüberträger-Einheit für die Kryokonservierung von biologischem Material in Multiwell- oder Mikrotiterplatten mit Hilfe LN_2 -betriebener Kammereinfriergeräte entwickelt und optimiert. Dieses sogenannte Multiwell-RACK nutzt das Prinzip der Kontaktkühlung und ermöglicht einen definierten Temperaturausgleich. Abbildung 2 zeigt die Leistungsfähigkeit anhand der Probertemperaturen in einer 96-Well-Mikrotiterplatte während der Kryokonservierung. Im Vergleich mit einem stickstofffreien Konduktionsfreezer erreicht das Multiwell-RACK eine 6-fach geringere Streuung der Probertemperaturen und ermöglicht eine reproduzierbare Kryokonservierung im Wellplattenformat. Die zweite Aufgabe des Multiwell-RACKs besteht in der Synchronisation des Gefrierbeginns. Durch das gezielte Einbringen der zur Eisbildung benötigten Nukleationsenergie in Form von Vibrationen kann der Gefriervorgang in

allen Kavitäten der Multiwell-Platte gleichzeitig ausgelöst werden. Dies ermöglicht eine optimale Steuerung des Gefrierprozesses mit identischen Probenkühlraten auf allen Positionen der Multiwellplatte.

Die Projektziele wurden mit der Entwicklung eines voll funktionsfähigen, robusten und fehlersicheren kryokonservierbaren 3D-Gewebetestsystems im vollen Umfang erreicht und mit der Entwicklung einer effizienten Hardware für die Kryokonservierung von Multiwell- und Mikrotiterplatten deutlich übertroffen. Mit verschiedenen Firmen finden Gespräche zur Überführung der Projektergebnisse in

marktfähige Produkte statt oder werden vorbereitet. So soll das etablierte Verfahren in ein kryokonservierbares Colon Cancer Model überführt werden. Das etablierte Verfahren zur Fertigung 3-dimensionaler, offenporiger Kollagenstrukturen soll die Basis für eine Entwicklung antibiotischer Wundeinlagen im Auftrag eines führenden Medizinprodukteherstellers sein. Darüber hinaus wird geprüft, ob das entwickelte Multiwell-RACK aufgrund der äußerst vielversprechenden Testergebnisse eine wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeit über Produktverkäufe und Dienstleistungen im Bereich der Kryoprotokollentwicklung bietet.

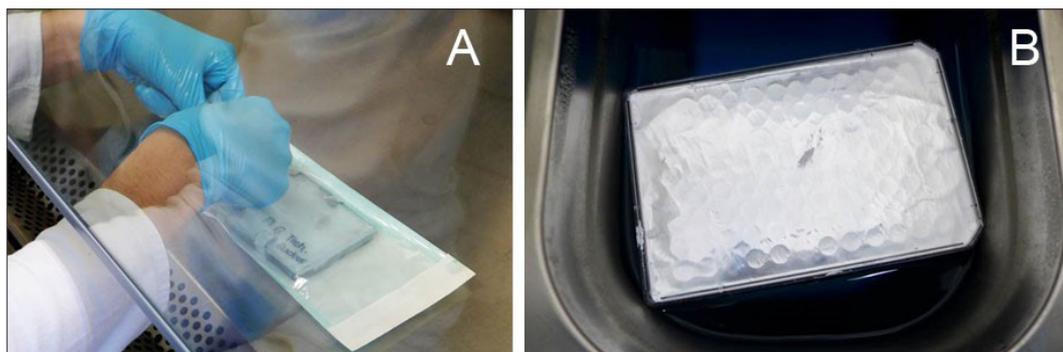


Abbildung 1: Bild A: Steriles Verpacken der kryokonservierten Assayplatte für die Lagerung bei 85 °C und den Transport auf Trockeneis, Bild B: Auftauen der Assayplatte in einem Badthermostaten bei 37 °C; die Aufsicht zeigt die mediendichte Aluminiumverpackung unter dem durchsichtigen Kunststoffdeckel der Wellplatte

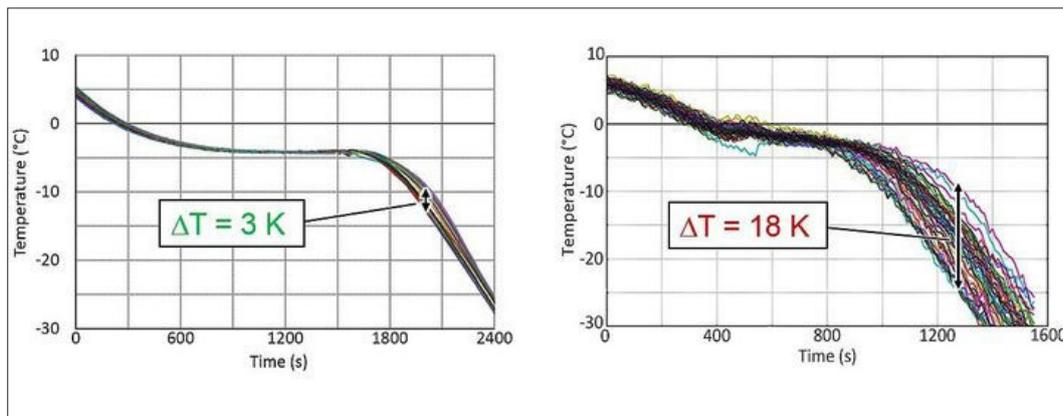


Abbildung 2: Proben temperaturen in der 96-Well-Mikrotiterplatte während der Kryokonservierung: Streuung der Proben temperaturen mit dem Multiwell-RACK in einem handelsüblichen Konvektionseinfriergerät (links) und einem modernen computergesteuerten Konduktionseinfriergerät mit Seedingtechnologie

Innovative Gefriertrocknungsanlage mit MBIT-Verfahren

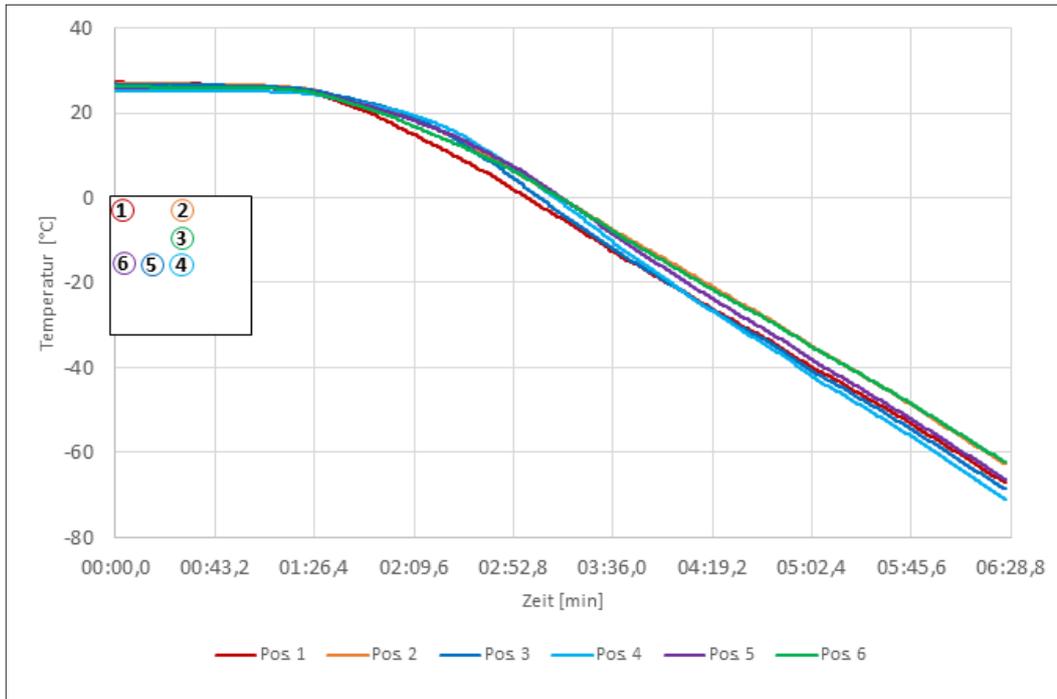


Abbildung 1: Darstellung der gemessenen Temperaturen bei der Abkühlung der Stellfläche in Abhängigkeit der Messposition bei senkrechter Anströmung

Die Gefriertrocknung ist eine etablierte Methode zur Entfernung von Wasser aus mechanisch fragilen Produkten, die meist in zwei Schritten durchgeführt wird. Dabei wird das zu trocknende Gut zunächst eingefroren und das Eis bei niedrigem Druck durch die Zuführung von Wärmeenergie sublimiert. Die innere Struktur wird durch die Sublimationstrocknung nicht bzw. kaum verändert.

Das am ILK entwickelte und patentierte MBIT-Verfahren (Model Based Ice Templating) nutzt dieses Prinzip zur Erzeugung von hochporösen, dreidimensionalen Biopolymeren mit definierten Porenstrukturen aus wässrigen Kollagensuspensionen. Dabei können neben dem Porengrößenbereich zwischen 50 µm und 500 µm die Porenform (tubulär gerichtete Poren oder polygonale Poren), die Lage einer Sperrschicht zur Abgrenzung des oberen und unteren Strukturbereiches und die Porosität gezielt eingestellt werden. Durch die softwaregestützte Auswahl von Suspensions- und Verfahrensparametern wird im Einfrierschritt das Eiswachstum gezielt gesteuert. Das ausgefrierende Wasser führt zu einer

Konzentration der festen Suspensionsbestandteile zwischen den entstehenden Eiskristallen, die spätere Porenstruktur entsteht. Im Trocknungsschritt wird das Eis als Wasserdampf abgeführt, die im Einfrierprozess gebildete Struktur bleibt erhalten.

Im FuE-Projekt „Innovative Gefriertrocknungsanlage mit MBIT“ wird ein Funktionsmuster aufgebaut, welches die beiden Prozessschritte Strukturierung und Strukturhaltung in einem Gerät vereint und eine technische Komplettlösung für das MBIT-Verfahren zur Verfügung stellt. Mit der Anlage ist neben der Erzeugung struktureller Eigenschaften von Kollagenschwämmen auch die produktschonende Trocknung von technischen Enzymen oder Blutplasma möglich. Des Weiteren ist mit der Anlage eine dehydrothermale Vernetzung der Kollagenkonstrukte realisierbar. Unter vermindertem Druck wird den Konstrukten Wärme zugeführt, die zu einer kovalenten Quervernetzung zwischen den Polypeptidketten der Kollagenfibrillen führen und ohne die Verwendung zytotoxischer Reagenzien eine Verbes-

serung mechanischer Eigenschaften und eine Erhöhung der Degradationsstabilität zur Folge haben.

Im Projektverlauf wurden potentiell geeignete Düsen für die Zerstäubung von flüssigem Stickstoff mit dem Ziel einer gleichmäßigen Kühlung der Proben, unabhängig von deren Position auf dem Probenkorb, charakterisiert. Entscheidende Parameter waren neben der erreichbaren Kühlleistung auch die Ausprägung und die Aufrechterhaltung eines gleichmäßigen Sprühbildes bei gepulster Zuführung von flüssigem Stickstoff. Durch Vollkegeldüsen bzw. einen Air-Multiplier konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden, insbesondere die homogene Verteilung des Kaltgases war nicht möglich. Im Gegensatz dazu zeigten sich Zweistoffdüsen als geeignet. Diese werden mit trockenem Stickstoffgas als Trägermedium zur Aufrechterhaltung des gleichmäßigen Sprühbildes und der gepulsten, durch ein Magnetventil gesteuerten Zuführung von flüssigem Stickstoff als Kühlmedium versorgt. Abbildung 1 zeigt den Temperaturverlauf für die Temperaturmessung an sechs Positionen bei senkrechter Anströmung.

Ein wesentliches Merkmal der innovativen Gefrier-trocknungsanlage ist die Kombination von Einfrierung und Trocknung in einem Arbeitsgang. Um unterschiedliche Abkühlraten auf Probenober- und Unterseite während des strukturerzeugenden Schrittes zu ermöglichen, sind eine mittige Platzierung der Probe und eine beidseitige Kälteapplikation durch die Düsen notwendig. Die Trocknung erfordert einen verminderten Kammerdruck und die Zuführung der Sublimationsenergie in Form von Wärme an die Probe. Das realisierte Konzept basiert auf einem beweglichen Probenkorb, der in der Höhe verstellbar ist und auf die Stellfläche abgesenkt werden kann. Die Nuten in der Stellfläche nehmen die Streben des Probenkorbs auf, so dass das Trocknungsgut direkten Kontakt zur Stellfläche hat.

Im weiteren Projektverlauf werden Messungen zur Performance des Funktionsmusters im Realbetrieb durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse können in die Bearbeitung weiterer Projekte mit Bezug zu Vakuum-Tiefemperaturanwendungen einfließen.

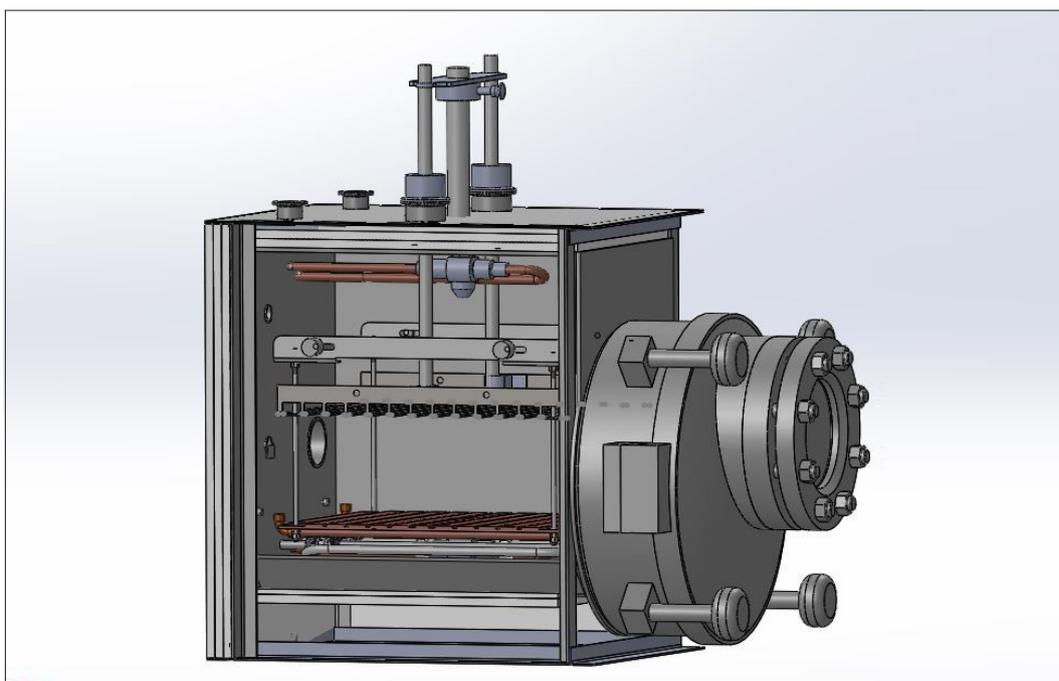


Abbildung 2: Darstellung der Vakuumbekanntmachung mit allen notwendigen Einbauten für die Realisierung von Einfrieren und Gefrier-trocknen in einem Prozessschritt

Untersuchungen an zellbasierten Sphäroiden – Ist Kryobanking möglich?

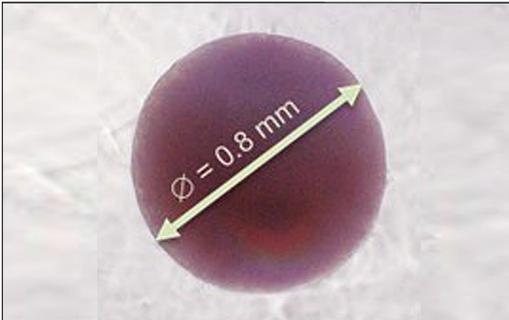


Abbildung 1: Sphäroid aus 100.000 Zellen nach ca. 5 Tagen Kultur

Demografischer Wandel und Veränderungen im Lebensstil der Menschen haben zur Folge, dass eine Reihe von Erkrankungen zunehmend als Volkskrankheiten wahrgenommen werden. Dazu zählen Diabetes, Leber- und muskuloskeletale Erkrankungen. Bei letztgenannten ist insbesondere der Verschleiß großer Körpergelenke (Hüfte, Knie, Schulter) zu nennen. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass einhergehend mit der hohen Lebenserwartung Krebserkrankungen häufiger auftreten. Die gezielte Förderstrategie der Bundesregierung (BMBF) in den vergangenen beiden Jahrzehnten eigens für die Bereiche Biologie/Biotechnologie, Pharmazie, Medizin und Gesundheit hat zu einem enormen Erkenntnisgewinn letztlich auch mit Blick auf die Erhaltung der Lebensqualität der Menschen bis ins hohe Alter geführt. Neben dem Erkenntnisgewinn zur Entstehung der Erkrankungen und den daraus abgeleiteten Therapieoptionen haben die BMBF-Förderprogramme in den Bereichen „Tissue Engineering“ und „Zellbasierte, regenerative Medizin / Therapien“ die Voraussetzungen geschaffen, Forschungen zur individualisierten Medizin und deren Anwendung weiter voranzutreiben. So wurden in den vergangenen Jahren u. a. Gewebemodelle entwickelt, die möglichst genau die Hauptfunktionen des Zielorgans bzw. Gewebes darstellen können, um beispielsweise Medikamententests durchführen zu können. Dabei sind zwei Hauptrichtungen zu erkennen. Mittels Tissue Engineering werden zum einen flächige Gewebe für Chemikalien- und Verträglichkeitstests als Assays angeboten. Zum anderen stellt man Sphäroide oft aus patienteneignen Zellen her, die z. B. zur gezielten Entwicklung personalisierter Medikamente, vor allem bei Krebserkrankungen,

Verwendung finden. Beide Richtungen sind sehr kosten- und zeitintensiv und es steht die Frage nach einer Option auf ein Backup.

Im Rahmen vorangegangener Forschungsvorhaben wurden Kryokonservierungsprotokolle für Tissue Engineering Konstrukte unterschiedlicher Art entwickelt. Das aktuelle FuE-Vorhaben soll die Frage klären, ob für zellbasierte Sphäroide als Spezialform von 3D-Zell- bzw. Gewebekulturen Kryobanking möglich ist. Dafür sind drei wesentliche Aspekte zu bearbeiten:

1. Gewinnung grundlegender Erkenntnisse zum Verhalten von sphäroidischen Modellsystemen unter Einwirkung von tiefen Temperaturen und damit von Informationen zur Eisbildung sowie zu möglichen Schädigungsmechanismen während des Einfrierens der Modellsysteme und eines realen spezifischen Sphäroid-Systems.
2. Durchführung von Grundlagenuntersuchungen zur Bestimmung des Penetrationsvermögens verschiedener und unterschiedlich wirkender Kryoprotektiva, auch in Abhängigkeit von Konzentration und Molarität, als Basis für die Entwicklung von Kryoprotokollen bzw. Modifikation der einzelnen Komponenten desselben.
3. Experimentelle Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für eine sicherere und GMP-gerechte tiefkalte Haltbarmachung von realen spezifischen Sphäroidsystemen als unabdingbare Voraussetzung für die Ableitung weiterführender Arbeiten und Erschließung möglicher Kooperationen.

Im ersten Projektjahr, 2017, ist es gelungen, Know-how zur Kultivierung von sphäroidischen Modellsystemen zu erarbeiten und reproduzierbar Sphäroide für die weiteren Untersuchungen herzustellen. Dies war u. a. nach umfangreichen Versuchen zur Optimierung der Zellzahl möglich. Über mehrere Tage stabile und gut sichtbare Sphäroide lassen sich mit 50.000 bis 100.000 Zellen erzeugen (Abbildung 1).

Um die Qualität der Sphäroide als Ganzes sowie die Vitalität deren Zellen beurteilen zu können, mussten verschiedene Nachweiseverfahren an die Aufgabenstellung adaptiert werden. Als eine sehr schnell ver-

fügbare und auch praktikable Methode hat sich die histologische Aufarbeitung mittels Kryoschnellschnitt erwiesen. Die Sphäroide lassen sich problemlos einbetten und schneiden. Nach Anwendung der DAPI-Kernfärbung an den Schnitten und mit UV-Fluoreszenz-Anregung sind die Zellen in den Sphäroiden sehr gut erkennbar (Abbildung 2).

Außerdem ist es gelungen, eine Reihe von ein- und mehrkomponentigen, nicht toxischen Kryoprotektiva zu identifizieren. Damit sind gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche weitere Bearbeitung des Vorhabens gegeben.

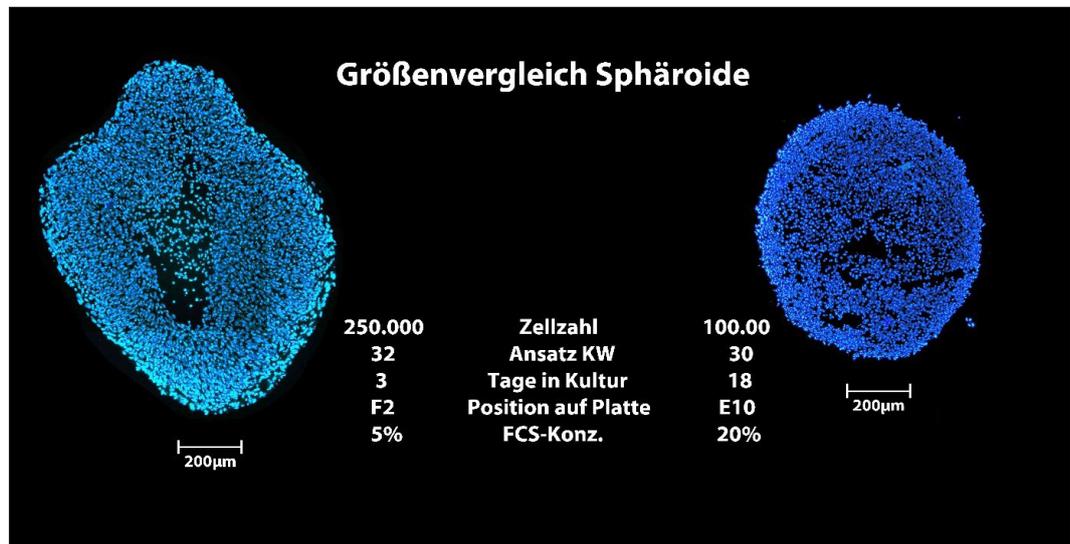


Abbildung 2: Histologischer Schnitt von Sphäroiden, mit DAPI gefärbte Zellkerne

Entwicklung kryotechnischer Anlagen 2017

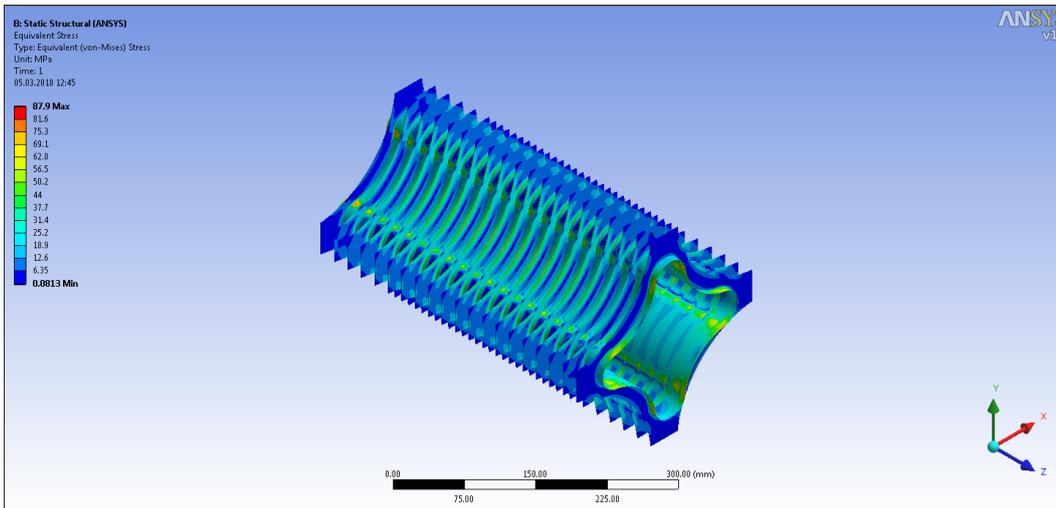


Abbildung 1: FEM Ergebnis der neu entwickelten Vakuumkammer zur Integration der Kühlröhrchen.

Eine weiterführende Aufgabe zu den Aktivitäten des ILK Dresden für ein Forschungsinstitut stellt die Entwicklung des Control Dewars dar, welche vom ILK Dresden im Unterauftrag des Herstellers für den Multi-Purpose-Detektor durchgeführt wird. Das Control Dewar ist die Schnittstelle zwischen der Heliumversorgung und dem Teilchendetektor. Ein erster Konstruktionsentwurf zeigt Abbildung 2 links.

Einen wesentlichen Teil des kryotechnischen Anlagenbaus 2017 stellten konzeptionelle Arbeiten dar. Vertragsgegenstand waren sowohl FuE-Aufgaben für Großforschungszentren, welche auch die Entwicklungen der Vorjahre weiterführen, als auch FuE-Aufträge für KMUs.

Ein Beispiel für die Anwendung einer erfolgreich bearbeiteten Thematik in einem benachbarten Bereich stellt eine Studie zum Einsatz von Kryosorption zur Verbesserung des Vakuums in einer Großforschungseinrichtung im Bereich Teilchenphysik dar. Dabei sollte untersucht werden, ob es mit Kryosorption an Kaltflächen möglich ist, spezielle Restgase durch Physisorption zu binden, die durch Ereignisse freigesetzt werden, wenn der Teilchenstrahl im SIS 18 mit der mit NEG (Non Evaporable Getters) beschichteten Wand der Vakuumkammer kollidiert. Im Rahmen dieses FuE-Auftrags geht es zunächst um die prinzipielle Machbarkeit, die konstruktive Gestaltung von Elementen, welche durch Sorptionsprozesse bei tiefen Temperaturen auch sehr geringe Mengen von Restgasen (u. a. Argon) pumpen können und die konstruktive Gestaltung der Kaltflächen und Vakuumkammer. Bei der Anordnung dieser Kühlelemente sind vielfältige Rand-

bedingungen zu beachten, so darf beispielsweise das vorhandene Magnetfeld der installierten Quadrupolmagnete (QM) nicht wesentlich beeinflusst werden, weshalb eine neue Geometrie der Vakuumkammern entworfen wurde, die zudem beim Ausheizen mechanisch stabil bleibt. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der FEM-Berechnung zu Stabilität und Festigkeit. Durch die Studie konnte gezeigt werden, dass durch die Integration von Kaltflächen in die geraden Vakuumkammern der QM (als symmetrische Anordnung von Kühlröhrchen ausgeführt) eine signifikante Verbesserung des Vakuums erreicht werden kann.

Eine der größten Herausforderungen besteht in der sehr großen zu kühlenden Masse des Magneten, der je nach Temperatur, beim Einkühlvorgang mit spezifischen Massenströmen durchströmt werden muss. Zur Minimierung der sehr langen Abkühlzeit von mehreren Wochen sind vielfältige Randbedingungen zu beachten und im Konzept zu realisieren, insbesondere auch durch entsprechende Ventile.

Innerhalb eines FuE-Auftrages für ein KMU wurde eine spezielle Kryoflüssigkeitspumpe entwickelt, siehe Abbildung 2 rechts. Diese soll in einem Flüssigstick-

stoff-Kreislauf eingesetzt werden. Dazu war eine besonders kompakte Bauform erforderlich, die auch Potential für weitere Anwendungen besitzt. Die Kryo-

flüssigkeitspumpe einschließlich einer angepassten elektronischen Steuerung wurde erfolgreich getestet.

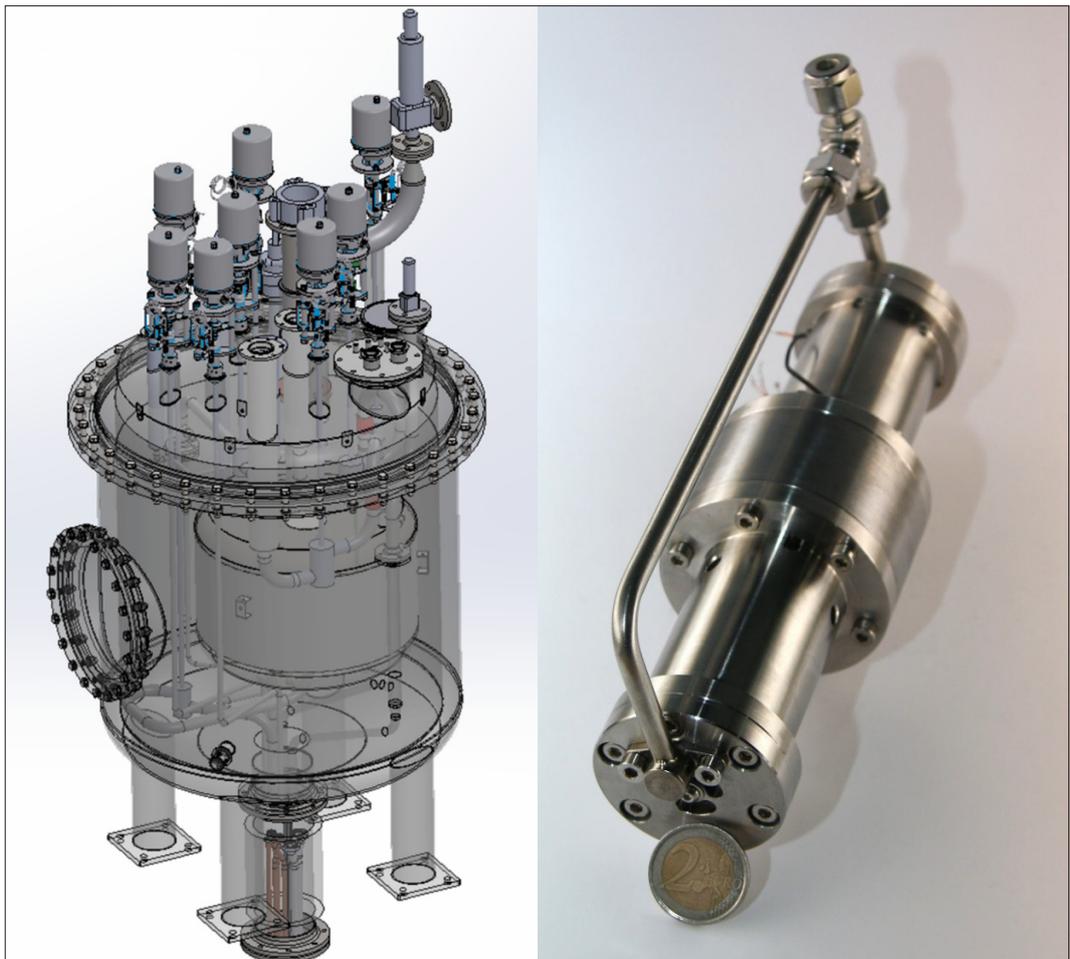


Abbildung 2: Links: Konstruktionsentwurf des Control Dewars in einer halbtransparenten Ansicht; Rechts: Miniaturisierte Pumpe für flüssigen Stickstoff, die Münze im Vordergrund dient zum Größenvergleich.

FuE-Dienstleistungen im Bereich tiefer Temperaturen 2017

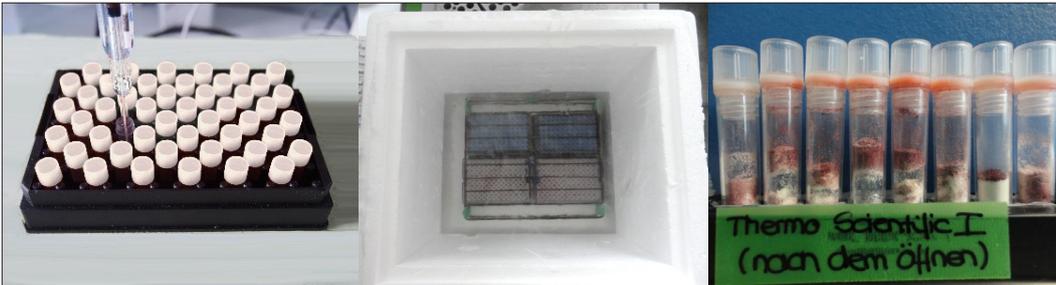


Abbildung 1: Messung des pH-Wertes zur Ermittlung der Menge an eingedrunenem CO_2 (links); Setup bei der Prüfung auf das Eindringen von flüssigem Stickstoff (mittig); Prüfergebnis der Dichtheit gegen Flüssigstickstoff, Verwirbelung der Farbschichten und Anheben des Röhreninhaltes durch eingedrunenen und expandierenden Stickstoff (rechts).

Am Hauptbereich für Kryotechnik und Tieftemperaturphysik wurden für 2017, wie schon in den Jahren davor, wieder zahlreiche FuE-Dienstleistungen unterschiedlicher Art durchgeführt. Die folgenden Darstellungen zeigen Beispiele und Ergebnisse aus dem Bereich Biolabor (Cryo Competence Center) und Kryolabor, speziell für Parameteruntersuchungen.

Das Cryo Competence Center in Life Sciences entwickelte Methoden zur Prüfung der Dichtheit von Lagergefäßen (Kryoröhrchen) für die kryogene Lagerung von Biomaterial in Biobanken bei Temperaturen unter $-130\text{ }^\circ\text{C}$. Biobanken haben die Aufgabe, Biomaterial (in erster Linie Blut, Zellsuspensionen, Gewebe und anderes körpereigenes oder pflanzliches Material) für eine Dauer von bis zu mehreren Jahrzehnten zu lagern. Für die Probenlagerung ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Qualität der Proben bei Einlagerung über die gesamte Lagerdauer aufrechterhalten bleibt. Neben der Probengewinnung und -aufbereitung, dem Einfrier- und dem Auftauprozess ist auch die Integrität des Lagergefäßes enorm wichtig. Dies bedeutet, dass einerseits keine Probe aus dem Röhrchen in die Umgebung entweichen kann. Zudem ist eine Probenkontamination durch eindringende Stoffe unbedingt zu vermeiden. Das Cryo Competence Center in Life Sciences hat aus diesem Grund Prüfmethode entwickelt, um die Dichtheit der Probenpackmittel unter realistischen Bedingungen zu überprüfen. Im Rahmen der FuE-Dienstleistungen wurden die Kryoröhrchen von mehreren Herstellern geprüft.

Bei der Prüfung auf das Eindringen von flüssigem Stickstoff werden die Prüflinge für 24 Stunden direkt

in flüssigem Stickstoff gelagert. Durch sensorisch-visuelle Auswertung kann die Dichtheit quantifiziert werden (vgl. Abbildung 1, mittiges und rechtes Foto). Die CO_2 -Dichtheitsprüfung dient der Simulation des Transportes von gefrorenen Proben auf Trockeneis. Nach 24-stündiger Lagerung kann durch die Verwendung eines speziellen Prüfpuffers durch eine einfache und schnelle pH-Wert-Messung und eine geeignete Kalibrierung der Gehalt von aufgenommenem CO_2 bestimmt werden (vgl. Abbildung 1, links). Der dritte Test beruht auf den Vorgaben der IATA (International Air Transport Association – Internationale Luftverkehrs-Vereinigung) und prüft die Transportsicherheit der Kryoröhrchen. Entsprechend der Regularien dürfen bei ca. 1 bar Unterdruck und im Temperaturbereich zwischen $-40\text{ }^\circ\text{C}$ und $+55\text{ }^\circ\text{C}$ keine Probenverluste auftreten. Durch Differenzwägung wird der Masseverlust jedes einzelnen Röhrchens quantitativ bestimmt.

Die Auswertung der Prüfergebnisse ergab, dass kein Röhrchen alle Tests besteht und in mindestens einem Temperaturbereich Undichtigkeiten aufweist. Speziell beim Test auf die Dichtheit gegen flüssigen Stickstoff kam es vereinzelt zu Berstereignissen, die unter realen Bedingungen in der Biobank nicht nur einen unwiederbringlichen Verlust der Probe, sondern auch eine Gefährdung des Personals zur Folge haben könnten. Durch die umfangreiche Auswertung konnte zwischen generellen, konstruktiv bedingten und in der Qualitätssicherung begründeten Ursachen der Undichtheit unterschieden werden. Die durchgeführten Untersuchungen leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lager- und Transportsicherheit der Kryoröhrchen und damit letztendlich zur Sicherung

der Probenqualität auch nach langjähriger Lagerung in der Biobank.

Im Fachbereich Kryolabor stellten 2017 Messungen der Wärmeleitfähigkeit einen Schwerpunkt dar. Dabei wurden verschiedenartige Materialien für mehrere Auftraggeber untersucht, typischerweise im Bereich zwischen etwa 20 K und 300 K. Wesentliche Unterschiede bei derartigen Messungen bestehen einerseits in der verfügbaren Probengeometrie und andererseits im Wert der Wärmeleitfähigkeit, welche sich zwischen guten Wärmeleitern und Isolationsma-

terialien um mehrere Größenordnungen unterscheidet. Dementsprechend muss der Versuchsaufbau angepasst werden. Mögliche prinzipielle Anordnungen sind Platten- oder Stabmethode, zur letztgenannten siehe Abbildung 2. Die kryogene Umgebung und damit die Wärmesenke werden typischerweise mittels eines Kryokühlers erzeugt, während der Wärmestrom durch einen elektrischen Heizer generiert wird. Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit werden die quasistationären Zustände vor und nach dem Aufprägen der Heizleistung ausgewertet.

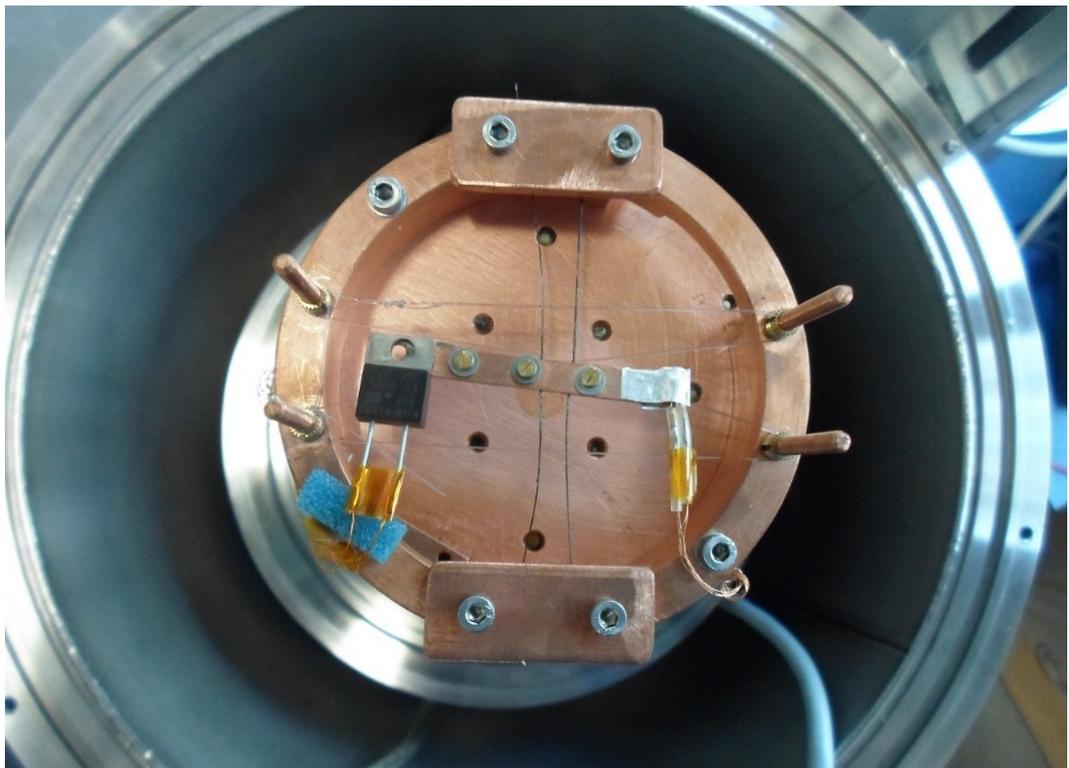


Abbildung 2: Ausführungsbeispiel für den Messaufbau zur Messung der Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit einem dünnen, gut wärmeleitenden Probenmaterial nach der modifizierten Stabmethode

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Funktionale Geometriestrukturen – Konstruktionsprinzipien für die additiv-generative Fertigung (FunGeoS)	32
Kältemittelverteilung für Mini-Channel-Verdampfer (KMV für MCHE)	34
Verfahren für Verdichterschutz	36
EKA-Kompressionskälteanlage mit E-jektor	38
Gemisch-Joule-Thomson-Verfahren zur Erzeugung von Tieftemperaturen im Bereich von -70 °C bis -150 °C	40
Tieftemperaturkühlung durch die Sublimation von Trockeneis	42
Reduzierung der Expansionsverluste von Kälteanlagen	44
FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2017	46
Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen	48

Funktionale Geometriestrukturen – Konstruktionsprinzipien für die additiv-generative Fertigung (FunGeoS)

Das Projekt FunGeoS (Funktionale Geometriestrukturen - Konstruktionsprinzipien für die additiv-generative Fertigung) ist ein Technologie-Teilprojekt des Konsortiums AGENT3D. Dieses Konsortium besteht inzwischen aus mehr als 100 Firmen und Forschungseinrichtungen. Es beschäftigt sich innerhalb des Förderprogramms „zwanzig20“ mit der additiv-generativen Fertigung von Produkten. Dabei werden insbesondere die Forschungs- und Fertigungskapazitäten in Ostdeutschland gebündelt und mit der Großindustrie vernetzt.

Das ILK Dresden arbeitet in diesem Teilprojekt sehr eng mit Partnern zusammen, die über Erfahrung mit unterschiedlichen 3D-Fertigungsverfahren für Metallteile verfügen. Ziel des ILK-Projektes ist die Demonstration des ersten funktionsfähigen Mikrowärmeübertragers aus Metall, der mit einem 3D-Verfahren hergestellt wird. Diese Verfahren erlauben insbesondere die Herstellung von sehr komplizierten geometrischen Strukturen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht erzeugt werden können. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten für das Design von Wärmeübertragern. Die Erhöhung der Kompaktheit der Wärmeübertrager und die Reduzierung des Materialeinsatzes können den Faktor 50 gegenüber dem Stand der Technik betragen. Die Anwendung von Mikrowärmeübertragern ist auch für die Kältetechnik interessant. Durch die hohe Kompaktheit kann beispielsweise die Kältemittelfüllmenge einer Anlage reduziert werden. Die sehr hohen Wär-

medurchgangskoeffizienten der Mikrostrukturen führen zu einer weiteren Erhöhung der Energieeffizienz von Kälteanlagen.

Durch das Projekt sollen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern einige wesentliche technische Probleme gelöst werden. Grundvoraussetzung für die Herstellung von Wärmeübertragern ist die 3D-Fertigung von gasdichten, metallischen Wänden für die Fluidführung. Dies gelingt derzeit nicht mit jedem Verfahren und ist insbesondere abhängig von der Wanddicke und den Parametern des Lasersinterverfahrens.

In einem zweiten Schritt ist die Verbindung der wärmeübertragenden 3D-Struktur mit den Rohrleitungen der Anlage zu lösen. Dafür werden Löt- und Schweißverbindungen getestet.

Im ILK erfolgt die Qualitätsprüfung (Druck und Dichtheit) der Vormuster und Demonstratoren. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass es grundsätzlich möglich sein wird, alle Dichtheitsprobleme zu lösen. Die Druckfestigkeit bis zu 160 bar ist aufgrund der Mikrostrukturen dagegen kein Problem.

Im weiteren Verlauf des Projektes werden die Mikrowärmeübertrager hinsichtlich Druckverlust, Leistung und Wärmeübergang experimentell untersucht.



Abbildung 1: Schweißprobe 3D-Struktur-Rohr



Abbildung 2: Dichtheitsprüfung einer 3D-gefertigten Wand

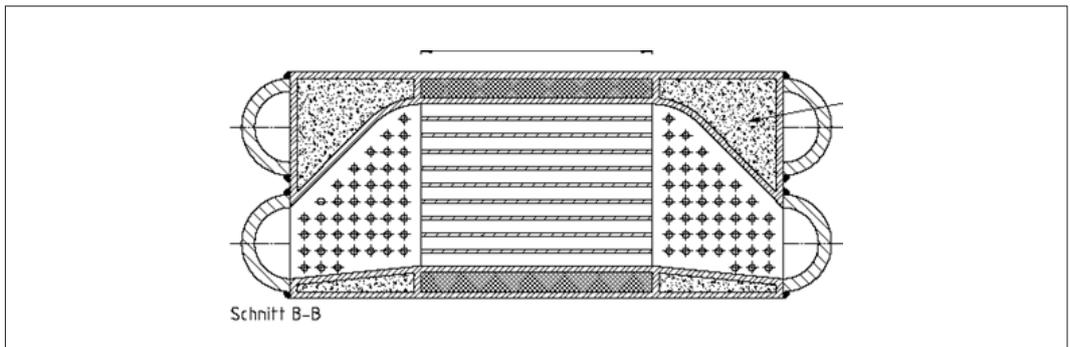


Abbildung 3: ILK-Konstruktion Mikrowärmeübertrager



Abbildung 4: Dichtheitsprüfung eines kompletten Mikrowärmeübertragers

Kältemittelverteilung für Mini-Channel-Verdampfer (KMV für MCHE)

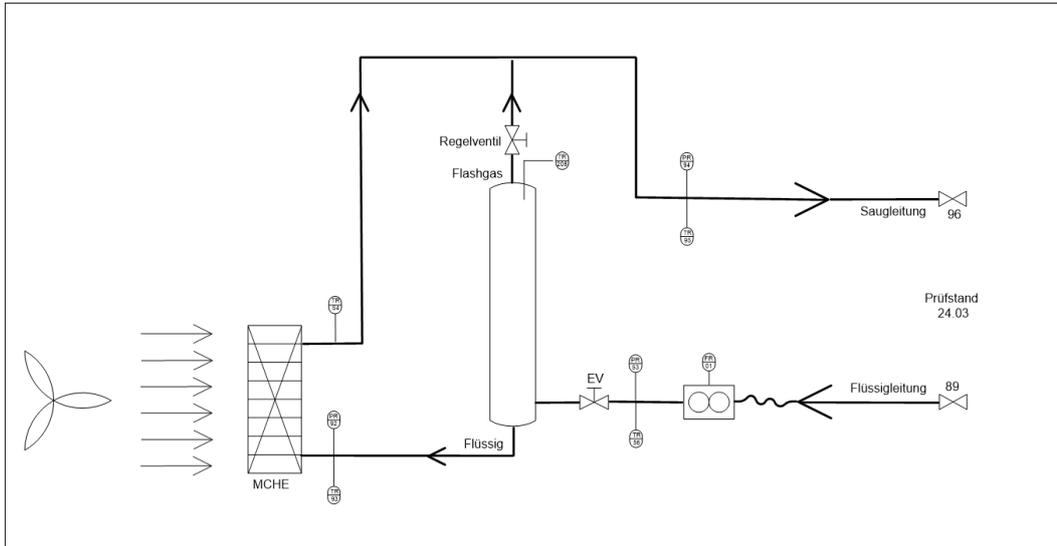


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit Flashgasabscheidung

Ausgehend von dem Ziel, die Treibhausgasemissionen weltweit zu begrenzen, wurden auf UN-Klimakonferenzen unterschiedliche Szenarien diskutiert und Zielstellungen verbindlich festgelegt. In diesem Kontext ist die EU-Verordnung 517/2014, besser bekannt als neue F-Gase Verordnung, für Mitgliedstaaten der EU seit 2015 verbindlich. Das Ziel besteht in der Verringerung der durch HFKW verursachten Treibhausgasemissionen um 79 % bis 2030. Damit wird eine Verknappung der in den Verkehr gebrachten HFKW zwangsläufig eintreten, wodurch die Beschaffungskosten für HFKW-Kältemittel deutlich zunehmen werden.

Das Projekt soll einen Beitrag dazu leisten, die Füllmenge von Kälteanlagen weiter zu reduzieren. Im Bereich der luftbeaufschlagten Verflüssiger sind Mikro-Channel-Wärmeübertrager mit verringerter Füllmenge bereits Stand der Technik. Bei Verdampfern gibt es nach wie vor das Problem, das Kältemittel gleichmäßig zu verteilen.

Die Verteileinrichtung ist die Grundvoraussetzung für den Einsatz von Mini-Channel-Wärmeübertrager als Verdampfer in Kälteanlagen. Deshalb ist ein Verteiler für zweiphasige Kältemittel zu entwickeln und zu testen, der das entspannte Kältemittel gleichmäßig auf alle Kanäle und Segmente des Verdampfers verteilt.

Die ersten Untersuchungen zur Wirkung des Verteilers wurden mit einem Wasser-Luft-Gemisch durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Einbaulage des Wärmeübertragers und die Schwerkraft, wie erwartet, wesentliche Einflussfaktoren sind. Die Erkenntnisse sind aber nur bis zu einem bestimmten Grad auf einen Verdampfer übertragbar, da beim Kältemittelverdampfer der Dampfanteil entlang des Strömungsweges ständig zunimmt. Deshalb wurden die weiteren Versuche mit Kältemittel durchgeführt. Dafür wurde ein vorhandener Wärmeübertragerprüfstand entsprechend modifiziert.

Als Wärmeübertrager wurde ein handelsüblicher Mini-Channel-Verflüssiger verwendet. Dieser wurde in horizontaler und in vertikaler Lage getestet. Dadurch ergibt sich eine unterschiedliche Verteilung von Flüssigkeit und Dampf in den Strömungskanälen infolge der Schwerkraft. Die Beurteilung der Kältemittelverteilung auf die Strömungskanäle erfolgte über Thermografieaufnahmen. Bei einer gleichmäßigen Temperatur über die Wärmeübertragerfläche kann man auch von einer gleichmäßigen Kältemittelverteilung ausgehen.

Bei den Versuchen war erkennbar, dass mit einer besseren Kältemittelverteilung durch den neuen Verteiler auch eine Leistungssteigerung bis zu 12 % möglich ist. Bei einer horizontalen Einbaulage zeigten sich allerdings Schwierigkeiten bei der Überhitzungsregelung.

Das ist grundsätzlich logisch, da die Kältemittelflüssigkeit am Verdampferaustritt bei Schwankungen des Verdampfungsendpunktes nicht wieder in den Verdampfer zurückläuft.

Der verwendete Verflüssiger ist nicht optimal als Verdampfer geeignet. Das betrifft insbesondere die interne Verschaltung der Strömungskanäle. Diese

werden gegenwärtig verändert. Danach werden weitere Untersuchungen am Wärmeübertragerprüfstand durchgeführt.

Diese Modifikationen führten zu einer Verlängerung des Projektes um einige Monate, so dass noch keine abschließende Bewertung der Verteileinrichtung möglich ist.



Abbildung 2: Versuch mit horizontaler Einbaulage

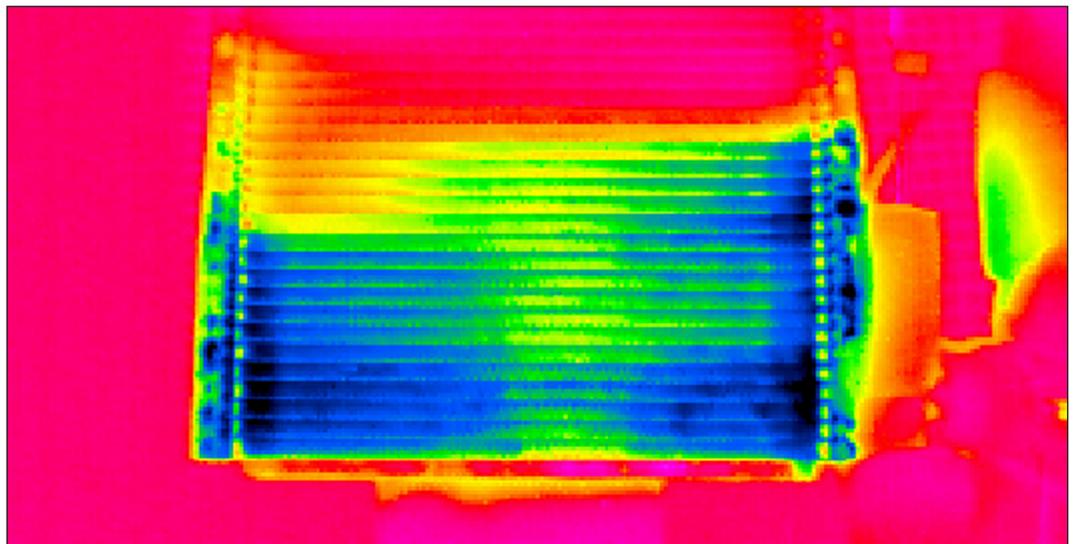


Abbildung 3: Temperaturverteilung – horizontal

Verfahren für Verdichterschutz

In der Praxis treten immer wieder Verdichterschäden auf. Teilweise sind die Verdichter im Inneren mechanisch total zerstört. Dabei zeigt sich eine auffällige Häufung bei Anwendungen der Transportkälte, wie beispielsweise in Bahnklimaanlagen. Besonders kritisch sind die sogenannten Serienschäden, da man in diesem Fall von einer systematischen Ursache ausgeht. Das führt zu höheren Schadenssummen und längeren Zeiten für die Produkthaftung bei den Herstellern der Kälteanlagen. Aus diesem Grund wird seit langer Zeit nach Schutzmaßnahmen für die Kältemittelverdichter gesucht. Die bisher gefundenen Lösungen sind aber für die meisten Anwendungen zu teuer, so dass sie nicht eingesetzt werden. Oftmals ist der Austausch des Verdichters preiswerter.

Als Ursache für die Verdichterschäden wird vermutet, dass im Stillstand des Verdichters Kältemittel im Verdichter über die Saug- und Druckleitung einkondensiert. Beim Start des Verdichters bricht die Schmierung des Triebwerkes zusammen oder der Verdichter saugt flüssiges Kältemittel an. Das führt in beiden Fällen zu erheblichen mechanischen Schäden. Die Ansammlung von flüssigem Kältemittel im Verdichter wird dadurch begünstigt, dass in der Transportkälte zeitweise die Stromversorgung unterbrochen ist. In dieser Zeit ist die Ölumpfheizung unwirksam.

Ein Beispiel für eine teure Lösung ist ein spezielles Ventil, das beim Ausschalten des Verdichters auto-

matisch die Saug- und die Druckleitung absperrt. Das Forschungsprojekt hat das Ziel, eine neue, preiswerte Lösung für den Verdichterschutz zu finden. Um einen neuen Ansatz für die Lösung zu finden, soll in einem ersten Schritt der Vorgang der Kältemittelverlagerung in den Verdichter näher untersucht werden. Dafür wurde gemessen, welche Kältemittelmengen in welcher Zeit über die Saug- oder Druckleitung in den Verdichter gelangt. Dabei sind zwei Vorgänge zu berücksichtigen, die Partialdruckunterschiede durch den Ölsumpf im Verdichter und die Temperaturunterschiede zwischen dem Verdichter und anderen Bauteilen der Kälteanlage. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Bauart des Verdichters. So besitzen Scrollverdichter in der Druckleitung ein Rückschlagventil. Dagegen haben Hubkolbenverdichter auf der Saug- und Druckseite jeweils ein Lamellenventil. Ebenso wurde experimentell untersucht, ob es möglich ist, das einkondensierte Kältemittel wieder mit einer Heizung auszutreiben.

In der Literatur wurden zu diesem Vorgang keine Hinweise gefunden. Offensichtlich wurde dieser grundlegende Vorgang noch nicht gezielt untersucht. Auf der Grundlage der Messungen wurde ein Berechnungsmodell für den gesamten Vorgang erstellt. Dieses Modell erlaubt die Abschätzung der verlagerten Kältemittelmengen in Abhängigkeit der Zeit. Damit lässt sich abschätzen, ob für eine Praxisanwendung ein Verdichterproblem zu erwarten ist oder nicht.

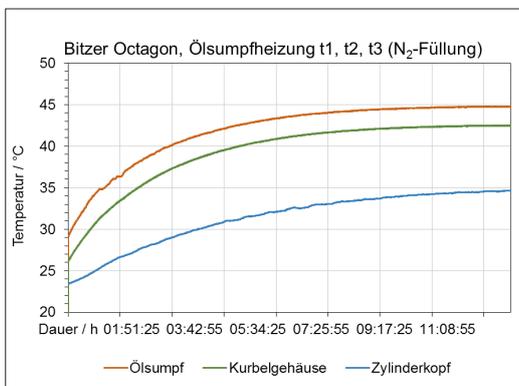


Abbildung 1: Temperaturverhalten bei Aufwärmen des Ölumpfes

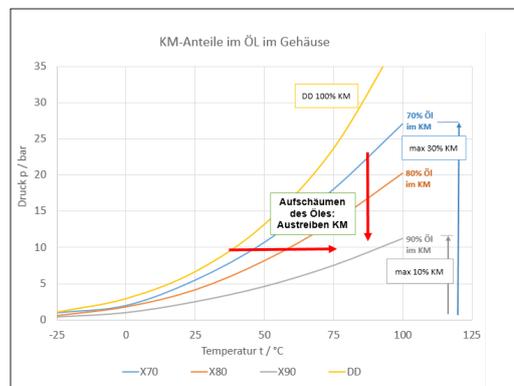


Abbildung 2: Zustände im Ölsumpf

Aufgrund der bisher gefundenen Ergebnisse ist bereits klar, eine kritische Kältemittelverlagerung erfolgt bereits nach wenigen Stunden. Sie ist auch nicht auf die Fälle beschränkt, in denen der Verdichter im Freien aufgestellt ist und somit die kälteste Stelle der Anlage darstellt.

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen mögliche Schutzverfahren auf ihre Wirksamkeit experimentell getestet werden.



Abbildung 3: Versuchsaufbau für Überstromversuche

EKA-Kompressionskälteanlage mit Ejektor

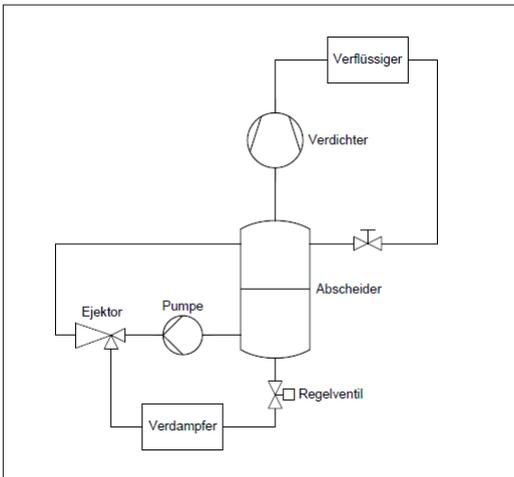


Abbildung 1: Ejektor mit Kältemittelpumpe

Eine Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz ist der Einsatz eines Ejektors statt eines Expansionsventils. Der Ejektor nutzt die Strömungsenergie bei der Druckabsenkung zur Vorverdichtung des Kältemitteldampfes, der aus dem Verdampfer abgesaugt wird. Auf diese Art und Weise wird der Drosselverlust verringert und die zurückgewonnene technische Arbeit wird sofort sinnvoll für eine teilweise Druckerhöhung genutzt. Die Ejektoren wurden bereits in den ersten kommerziellen Kälteanlagen erprobt. Dabei wurde eine Leistungszahlsteigerung von etwa 15 % nachgewiesen. Leider zeigte sich auch ein wesentlicher Nachteil des Ejektors. Die Möglichkeit zu einer Teillastregelung ist stark eingeschränkt. Bei der Regelung des Massenstromes des Treibdampfes über ein Ventil sinkt der Wirkungsgrad des Ejektors sehr stark.

Aufgrund der Klimaschutzpolitik der EU hat sich das Kältemittel Kohlendioxid bei Kälteanlagen im Supermarktbereich als ernsthafte Alternative in der Praxis etabliert. Die Energieeffizienz dieser Anlagen ist aber bei hohen Umgebungstemperaturen, also in Südeuropa, noch nicht konkurrenzfähig.

Ein wesentlicher Verlust entsteht bei der Drosselung des Kohlendioxids in einem Expansionsventil. Dieser Verlust ist bei den transkritischen Anlagen besonders groß, da die Druckdifferenz zwischen der Hochdruck- und Saugseite viel höher ist als bei F-Gase-Anlagen.

Ziel dieses Vorhabens ist es deshalb, den Einsatz eines Ejektors und dessen Regelbarkeit in neuen Anlagenschaltungen zu untersuchen. Eine neue Idee ist die „Aufladung“ des Ejektors mit einer Kältemittelpumpe. Über diese Pumpe kann der Druck der Flüssigkeit vor dem Ejektor erhöht bzw. geregelt werden. Das kann einerseits zur Verbesserung des Wirkungsgrades und andererseits für die Teillastregelung genutzt werden.

Im Projekt ist eine Strahlpumpe als Flüssigkeitsstrahl-Gaskompressor (Ejektor) zu entwickeln, zu konstruieren

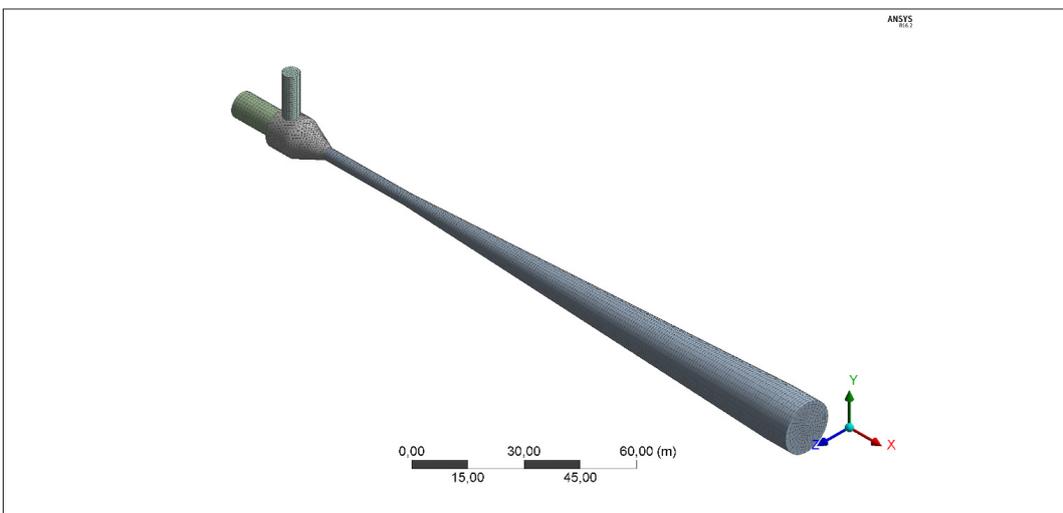


Abbildung 2: Dreidimensionale Geometrie für CFD (ANSYS)

und als Versuchsmuster anzufertigen und zu erproben. Für die Auslegung und Konstruktion des Ejektors wurde untersucht, ob die Simulation der Strömungsvorgänge im Ejektor mit CFD möglich ist. Es zeigte sich jedoch, dass die Simulation einer Zweiphasenströmung aus Gas und Flüssigkeit bei wachsendem Gasanteil derzeit nicht beherrscht wird. Entsprechende Ergebnisse aus der Literatur sind deshalb eben-

falls nicht auf die Praxis übertragbar. Die Berechnung erfolgt deshalb in der Regel als Strahlpumpe für eine Flüssigkeit oder als Dampfstrahlverdichter, d.h. für reine Gasströmungen.

Aufgrund dieser Berechnungsschwierigkeiten hat die experimentelle Untersuchung eine besondere Bedeutung.



Abbildung 3: Prüfstand für Ejektor-Versuche

Gemisch-Joule-Thomson-Verfahren zur Erzeugung von Tieftemperaturen im Bereich von -70 °C bis -150 °C

Für die Erzeugung von tiefen Temperaturen in der Pharmaindustrie, der Chemie oder für Umweltsimulationskammern werden zurzeit nahezu ausschließlich zwei- oder dreistufige Kaskaden gebaut. In jeder Stufe der Kaskade kann ein anderes Kältemittel verwendet werden. In der Regel sind das die synthetischen Stoffe R23 und R14. Beide Kältemittel besitzen sehr hohe GWP-Werte, d.h. es handelt sich um starke Treibhausgase. Aus diesem Grund werden technische Alternativen gesucht. Eine Möglichkeit ist die Nutzung der Eigenschaften von zeotropen Kältemittelgemischen.

Im Projekt soll ein Gemisch-Joule-Thomson-Verfahren zur Erzeugung von Tieftemperaturen im Bereich von -70 °C bis -150 °C entwickelt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in erster Linie darin, dass eine einstufige Verdichtung ausreichend ist. Als Arbeitsstoffe sollen dabei Kältemittelgemische aus natürlichen umweltfreundlichen Kohlenwasserstoffen verwendet werden, ggf. auch CO_2 oder andere natürlichen Stoffe.

Das Verfahren wurde in der Vergangenheit insbesondere für noch tiefere Temperaturen (unter -200 °C) untersucht. Dabei kommen Gemische mit 4 oder 5 Komponenten zum Einsatz. Der Gemisch-Joule-Thomson-Prozess ist gegenwärtig noch ein Gegenstand der Wissenschaft und hat noch keine Anwendung in der Praxis gefunden.

Zeotrope Stoffgemische verdampfen und kondensieren bei konstantem Druck bei gleitender Temperatur. Diese Eigenschaft kann man gezielt nutzen, wenn der Temperaturgleit sehr groß ist. Das ist normalerweise der Fall für Stoffkomponenten, deren Normalsiedepunkte weit auseinander liegen. Das wesentliche Bauteil der Anlage ist der innere Wärmeübertrager. Auf einer Seite verdampft das Kältemittelgemisch und auf der anderen Seite kondensiert es jeweils mit dem Temperaturgleit. Dadurch stellt sich am kalten Ende dieses Wärmeübertragers eine Temperatur weit unter der Umgebungstemperatur ein.

Die technischen Schwierigkeiten liegen einerseits in der Auslegung des inneren Wärmeübertragers und der richtigen Zusammensetzung des Kälte-

mittelgemisches und auf der anderen Seite darin, ein Kältemaschinenöl zu finden, das bei den tiefen Temperaturen noch fließfähig ist und bei den hohen Temperaturen gute Schmierstoffeigenschaften im Verdichter aufweist.

Im Projekt wurde ein mit Hilfe von anerkannten Stoffdatenprogrammen ein Kältemittelgemisch berechnet, das für die ersten Experimente verwendet wird.

In Laborversuchen werden gegenwärtig verschiedene Kältemaschinenöle geprüft. Eine Evaluierung der Öle erfolgt mit Hilfe der Untersuchung der Mischbarkeit gegenüber den einzusetzenden Kältemittelgemischen und der Untersuchung des Viskositätsverlaufes der reinen Öle sowie der Kältemittel-Öl-Gemische in Abhängigkeit von der Temperatur zur Bewertung des Schmierverhaltens. Für diese Untersuchung wurde eine spezielle Messeinrichtung entwickelt.

Parallel wurde ein Prüfstand für die Untersuchung des Kreisprozesses entwickelt. Aus diesem Anlagenschaltbild entstand die Konstruktion des Prüfstandes. Gegenwärtig werden die kältetechnischen Komponenten beschafft und der Aufbau des Kältekreislaufes hat begonnen.

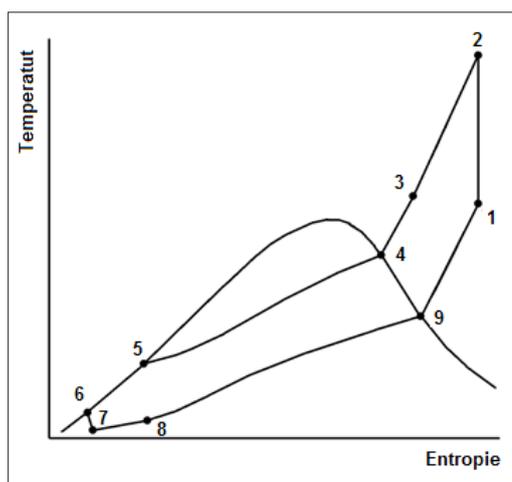


Abbildung 1: Kreisprozess des Gemisch-JT im T-S-Diagramm

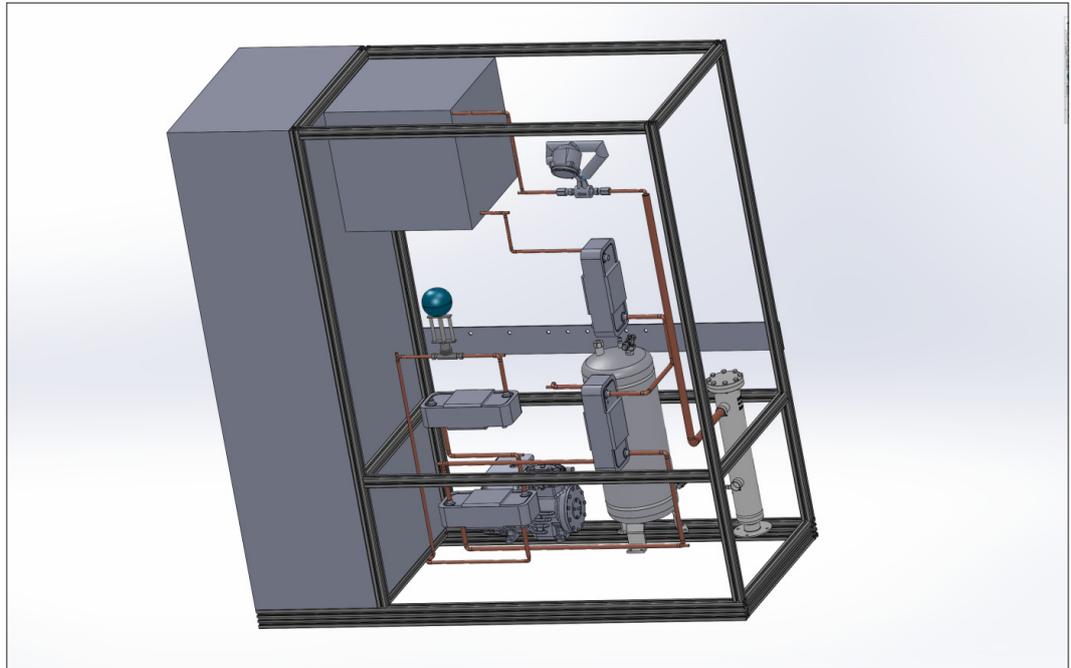


Abbildung 2: 3D-Konstruktion des Prüfstandes

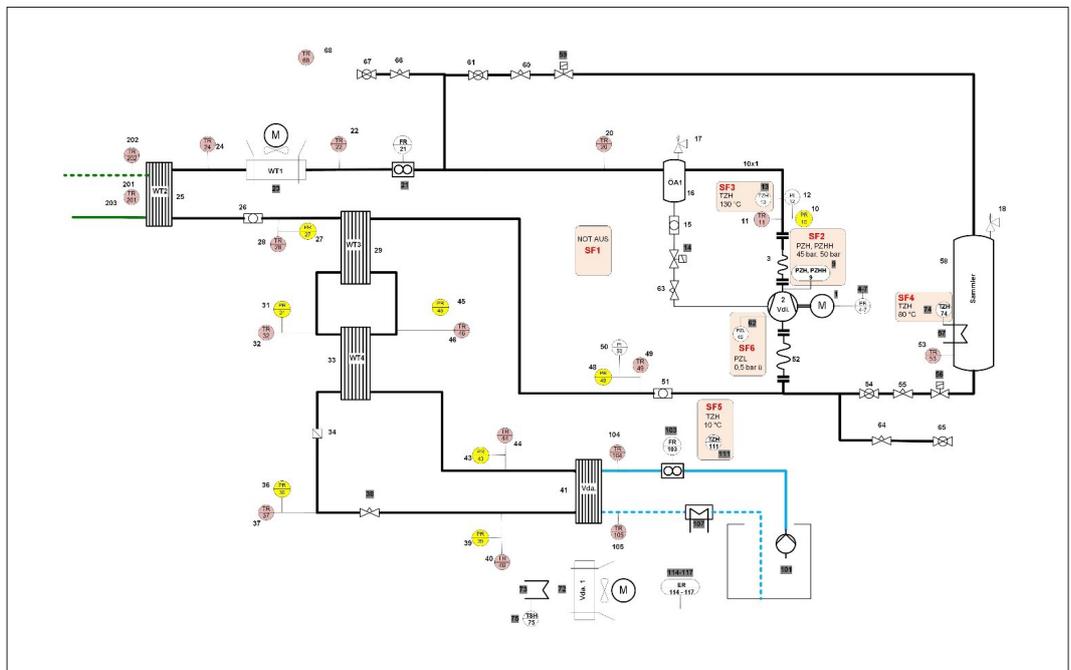


Abbildung 3: RI-Schaltbild der Versuchsanlage des Gemisch-JT

Tiefemperaturkühlung durch die Sublimation von Trockeneis

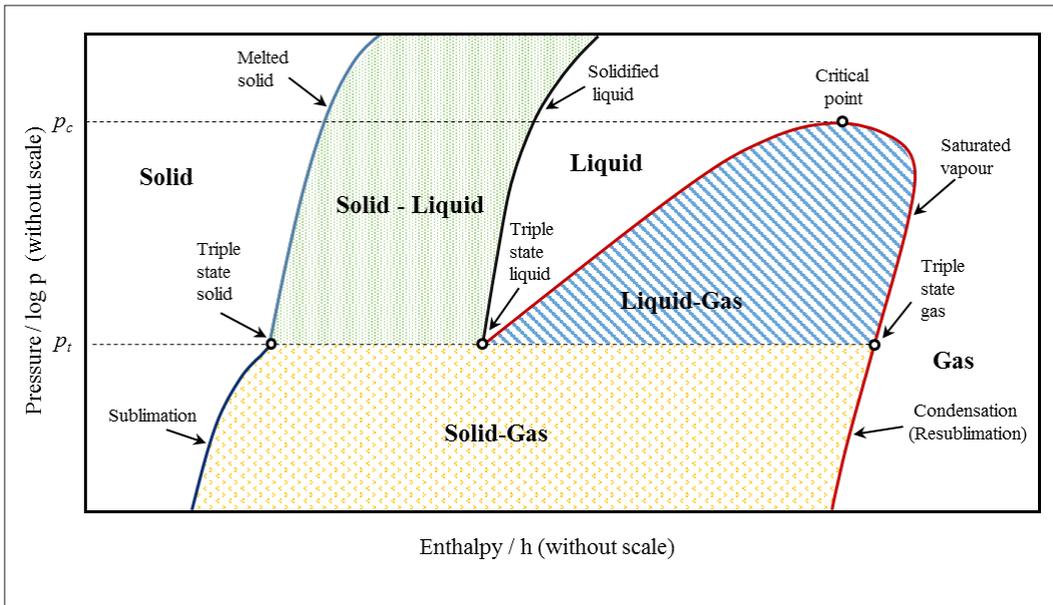


Abbildung 1: Phasendiagramm Kohlendioxid

Die Grundidee dieses Vorlaufforschungsvorhabens besteht in der Nutzung der Sublimationswärme des natürlichen Stoffes Kohlendioxid für die Tiefemperaturkühlung unterhalb des Tripelpunktes von $-56,6^\circ\text{C}$. Da unterhalb dieser Temperatur der Phasenübergang flüssig-gasförmig nicht mehr nutzbar ist, soll der Phasenübergang fest-gasförmig verwendet werden. Dafür wäre der Verdampfer der Kompressionskälteanlage durch einen Sublimator zu ersetzen.

Für die Sublimation kommen grundsätzlich 2 Möglichkeiten in Frage:

1. Trocken-Sublimation von festem Kohlendioxid direkt an einer wärmeübertragenden Fläche, d.h. es entsteht direkt gasförmiges Kohlendioxid, wie sonst bei der Verdampfung aus einer Flüssigkeit.
2. Sublimation von festem Kohlendioxid in einer Flüssigkeit. Das Kohlendioxid löst sich in dieser Flüssigkeit. Dabei entsteht sofort gasförmiges Kohlendioxid. Die Flüssigphase ist vorteilhaft für den Wärmeübergang in einem Wärmeübertrager. Durch Wärmezufuhr wird das gelöste Kohlendioxid wieder aus der Flüssigkeit ausgetrieben.

Für den Trocken-Sublimator wurde untersucht, wie sich das feste Kohlendioxid gleichmäßig auf einer Wärmeübertragerfläche verteilen lässt. Das ist die Voraussetzung für eine optimale Nutzung der wärmeübertragenden Fläche und somit für eine hohe Wärmeleistung eines Trocken-Sublimators. Es wurde gefunden, dass die Verteilung auf einer berippten Außenfläche von Rohren schwierig ist. Dagegen war die Verteilung bei der Durchströmung von parallelen Rohren überraschend gleichmäßig. Es trat auch kein Blockieren der Strömungsquerschnitte auf. Der Wärmeübergang im Rohr müsste für diese Variante näher untersucht werden, da in der Literatur keine Angaben vorhanden sind.

Beim Lösungs-Sublimator wurden verschiedene Flüssigkeiten als Lösungsmittel getestet und die notwendigen Eigenschaften im Labor gemessen. Dabei zeigten einige Kandidaten die gewünschten Eigenschaften, wie niedriger Schmelzpunkt, Lösung des Kohlendioxids bei tiefen Temperaturen und keine Brennbarkeit.

Das Kohlendioxid löst sich relativ schnell im Lösungsmittel und verrührt dabei die Flüssigkeit stark. Dieser Effekt kann für einen guten Wärmeübergang genutzt werden. Dagegen zeigte sich, dass die Flüssigkeit

aufgrund des hohen Gasanteils nicht pumpfähig ist, da sofort Kavitation auftritt.

Die Vorlaufforschung hat die grundsätzliche Machbarkeit eines mehrstufigen Kompressionskreislaufes mit Kohlendioxidsublimation bestätigt. Dafür sind aber

noch umfangreiche Untersuchungen zur Gestaltung des Kältekreislaufes notwendig. In einem nächsten Schritt ist die Entwicklung des favorisierten Lösungs-Sublimators geplant. Dieser soll vorzugsweise aus Standardbauteilen aufgebaut werden und in einem vollständigen Kältekreislauf getestet werden.

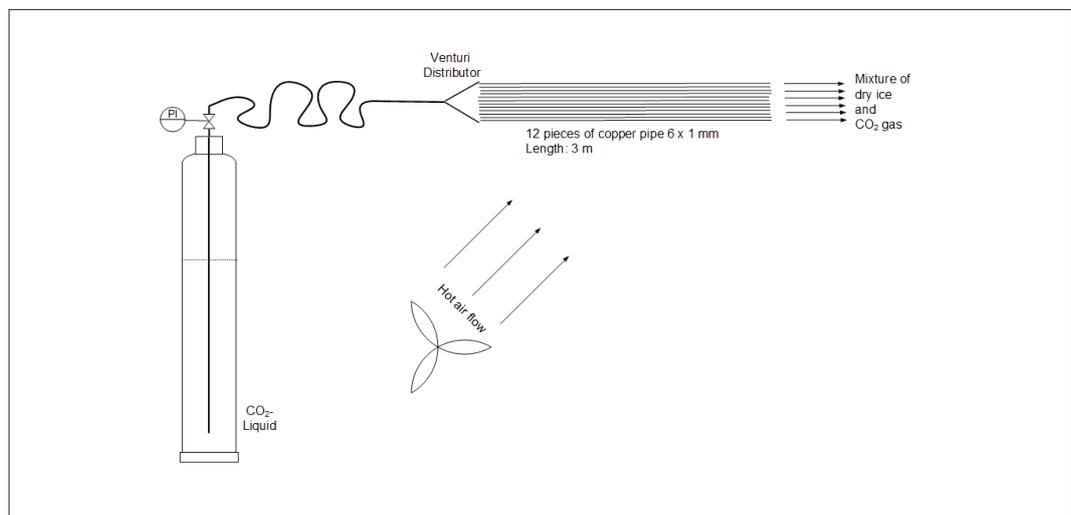


Abbildung 2: Versuch zur Verteilung von Trockeneis im Rohr



Abbildung 3: Sublimierendes Kohlendioxid im Lösungsmittel

gewonnenen technischen Arbeit. Auch zu der Nutzung der technischen Arbeit sind Untersuchungen im Projekt geplant, da es sehr unterschiedliche Ideen gibt.

In der ersten Phase des Projektes wurde ein Versuchsmuster einer Turbine strömungstechnisch ausgelegt. Im Anschluss erfolgte die Konstruktion und Festigkeits-

rechnung. Dabei zeigten sich einige Schwierigkeiten bei der Welle, den Lagern und den Dichtungen. Diese führen eventuell zu einer Anpassung der gewählten Drehzahlen und Schaufelgeometrie. Das wird sich insbesondere nach der ersten experimentellen Erprobung zeigen, die in diesem Jahr geplant ist.

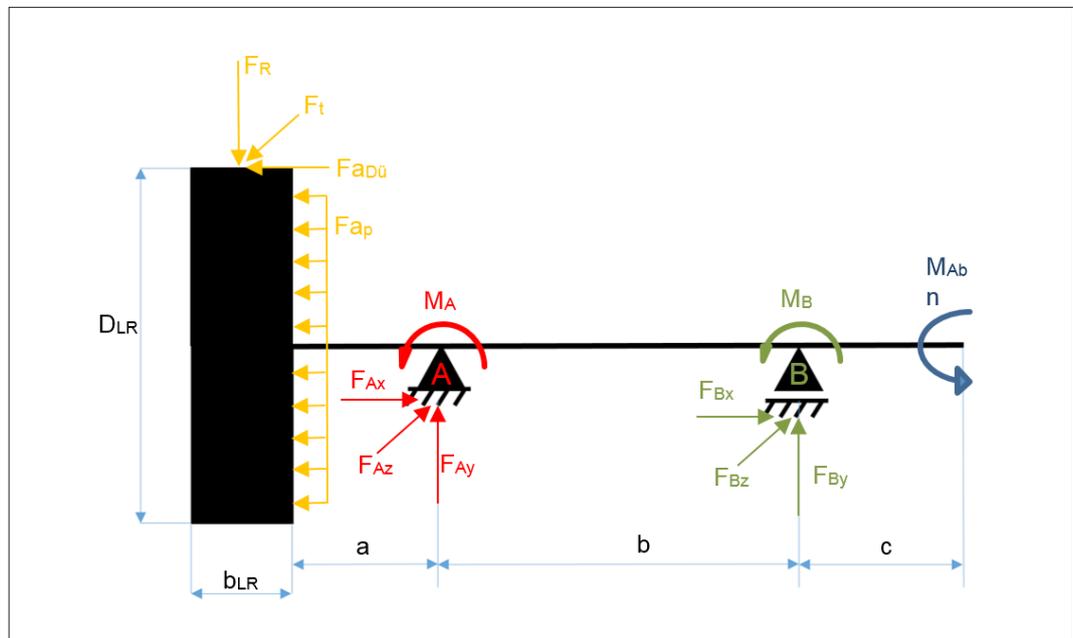


Abbildung 3: Modell der Wellenberechnung

FuE-Dienstleistungen für die Kältetechnik-Industrie 2017

Aus der Industrie erreichen das ILK zunehmend Anfragen nach Schulungsangeboten für die eigenen Mitarbeiter. Dabei handelt es sich sowohl um technisches Personal mit Fachkenntnissen der Kältetechnik als auch um Vertriebsmitarbeiter. So wurde bei einem Hersteller von Lebensmittelfrostern eine Inhouse-Schulung zu Grundlagen der Kältetechnik und speziell zu luftbeaufschlagten Wärmeübertragern durchgeführt. Dabei standen typische Problemstellungen des Kunden aus der Praxis im Mittelpunkt. Die Kompetenz des ILK wurde ganz wesentlich auch im ZIM-Projekt „Luftbeaufschlagte Ammoniakverdampfer“ erweitert.

Aufgrund der europäischen Regulierungen der F-Gase-Verordnung ist der Einsatz des Standardkältemittels R404A bei Neuanlagen im Supermarkt praktisch nicht mehr möglich. Aus diesem Grund werden neue Konzepte für Kälteanlagen untersucht. Dabei stehen die Kosten und die emittierten Treibhausgase im Mittelpunkt. In einer Studie hat das ILK verschiedene Kältemittel, darunter Kohlendioxid und Propan, für unterschiedliche Standorte in Europa für einen Komponentenhersteller untersucht. Dabei konnten die Erkenntnisse aus dem Projekt „Supermarkt-Kälteanlage“ genutzt werden. Ein wichtiges Vergleichskriterium waren die Gesamtkosten der Supermarkt-Kälteanlage während der gesamten Lebensdauer. Dabei zeigte sich, dass steckerfertige Systeme mit Propan eine ernsthafte Alternative gegenüber einer Kohlendioxid-Verbundanlage darstellen.

Kohlendioxid wird immer stärker als Kältemittel für Supermarktkälteanlagen eingesetzt. Das führt zum Markteintritt von neuen Herstellern für Komponenten. Eine dieser Komponenten ist der Ölspiegelregulator. Dieser stellt die Ölrückführung vom Ölabscheider zum Kältemittelverdichter sicher und regelt den Ölstand im Verdichter. Eine unsichere Funktion des Ölspiegelregulators führt somit zum Ausfall der Kälteanlage.

Das ILK wurde vom Hersteller des Ölspiegelregulators mit der Funktionsprüfung neuentwickelter Regulatoren beauftragt. Insbesondere sollte geprüft werden, bis zu welchem Differenzdruck das Magnetventil noch sicher öffnet und welcher Ölmassenstrom zurückfließt. Für diese Prüfung wurde ein entsprechender Messaufbau entwickelt und getestet. Dafür waren die Erfahrun-

gen aus den zahlreichen Forschungsprojekten zum Kältemittel Kohlendioxid sehr hilfreich. Die Prüfungen zeigten, dass ein sicheres Öffnen auch von der Art der Spannungsversorgung, Wechsel- oder Gleichspannung, abhängt.

Für die Kälteerzeugung bei Temperaturen unter -50 °C werden die nichtbrennbaren Kältemittel R507, R23 und R14 verwendet. Diese fluorierten Stoffe haben ein sehr hohes Treibhauspotential. Ein Ersatz dieser Kältemittel ist derzeit aber noch nicht möglich, da keine gleichwertige technische Lösung Stand der Technik ist.

In einer Studie wurden für den Forschungsrat Kältetechnik theoretisch geeignete Ersatzstoffe in 4 unterschiedlichen Kältesystemen betrachtet. Dabei handelte es sich insbesondere um brennbare Kältemittel. Der Vergleich erfolgte für die zweistufige Kälteanlage, die Kältekaskade, die Autokaskade und die Gemisch-Joule-Thomson-Anlage. Im Ergebnis zeigte sich, dass im besten Fall der heutige Stand der Technik wieder erreicht, aber nicht übertroffen wird.

Die Entwicklung von Alternativen für die Erzeugung von tiefen Temperaturen erfordert noch einen erheblichen Forschungsaufwand bis zur Umsetzung in die Praxis. Zur Gemisch-Joule-Thomson-Anlage läuft gegenwärtig ein aktuelles Forschungsprojekt im ILK.

Am CERN wird gegenwärtig eine Modernisierung des Large Hadron Collider (LHC) geplant. Diese soll in der Zeit 2021 bis 2024 umgesetzt werden. Dafür erfolgen zurzeit die detaillierten Planungen. Bestandteil dieser Modernisierung ist die Erneuerung der Kaltwasserversorgung für die Rückkühlung der Versuchsanlagen. Die Kaltwassersätze befinden sich an 2 Standorten in Frankreich und in der Schweiz, d.h. es ist unterschiedliches Recht zu beachten. Aufgrund der weitgehenden Beschränkung von fluorierten Kältemitteln in der Schweiz, kommen nur noch wenige Kältemittel für die neuen Kaltwassersätze in Frage. Die Studie stellt den gegenwärtigen Stand der Technik der Kaltwassersätze dar und gibt Empfehlungen für die Auswahl.

Aufgrund der Ökodesign-Richtlinie der EU wird die Marktüberwachung für Produkte erweitert. Derzeit ist dieser Prozess für die Wärmepumpen zur Beheizung

von Einfamilienhäusern in Vorbereitung. In einem ersten Schritt werden die Prüfinstitute ausgewählt und zertifiziert. In diesem Rahmen führt das ILK Vergleichsmessungen mit anderen Prüflabors an Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen durch. Die-

se werden durch eine unabhängige Stelle miteinander verglichen und bewertet. Dabei konnte das ILK erneut seine Kompetenz aus dem akkreditierten Prüflabor Wärmepumpen darstellen.

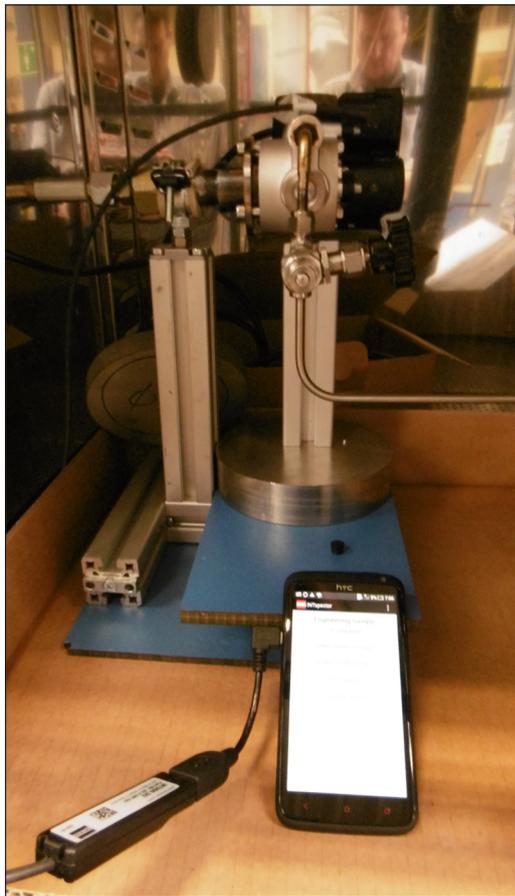


Abbildung 1: Versuchsaufbau Ölspiegelregulator

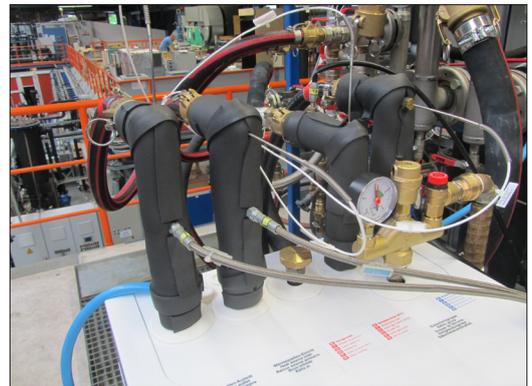


Abbildung 2 Wärmepumpenprüfung

Entwicklung kältetechnischer Prüfanlagen

Der im Vorjahr entwickelte Wärmepumpenprüfstand mit einer Heizleistung von 250 kW wurde beim Kunden in Betrieb genommen und übergeben. Im Anschluss erfolgte noch ein „Ringtest“ mit 2 Wärmepumpen zur Überprüfung der Messunsicherheiten des neuen Prüfstandes. Als Referenz wurden die Prüfstände des akkreditierten Prüflabors Wärmepumpen des ILK herangezogen.

Mit diesem Prüfstand wurden erneut wesentliche Erkenntnisse aus den Forschungsprojekten zur Entwicklung von kältetechnischen Prüfverfahren und aus Wärmepumpenprojekten erfolgreich in eine praktische Anwendung übertragen.



Abbildung 1: Wärmepumpenprüfstand

Für einen Hersteller von Wäschetrocknern wurde eine neue Messstrecke für Luftvolumenströme entwickelt. Diese hat einen wesentlich erweiterten Messbereich. Die exakte Vermessung der Luftmenge im Trocknungskreislauf des Wäschetrockners ist für die Entwicklung von Trocknungskreisläufen mit Wärmepumpenschaltung eine wesentliche Voraussetzung. Als Messverfahren wurde eine Normblende gewählt.

Dieses Verfahren zählt immer noch zu den genauesten Messverfahren für Volumenströme. Das gleiche Verfahren hat sich bereits mehrfach bei den Ventilatorprüfständen in der Klimatechnik bewährt.

Dieses Volumenstrommessverfahren beruht auf der Messung des Differenzdruckes über der Normblende. Die Konstruktion der Normblende, die Einbaubedingungen der Blende, die Qualifizierung der Messtechnik und die Auswahl der Stoffdatensoftware wurde in verschiedenen Forschungsprojekten verbessert.

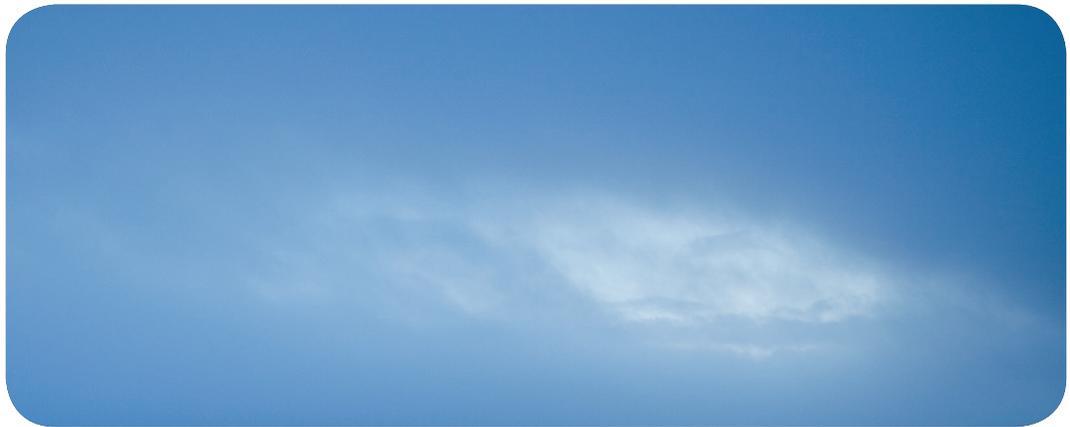


Abbildung 2: Normblende



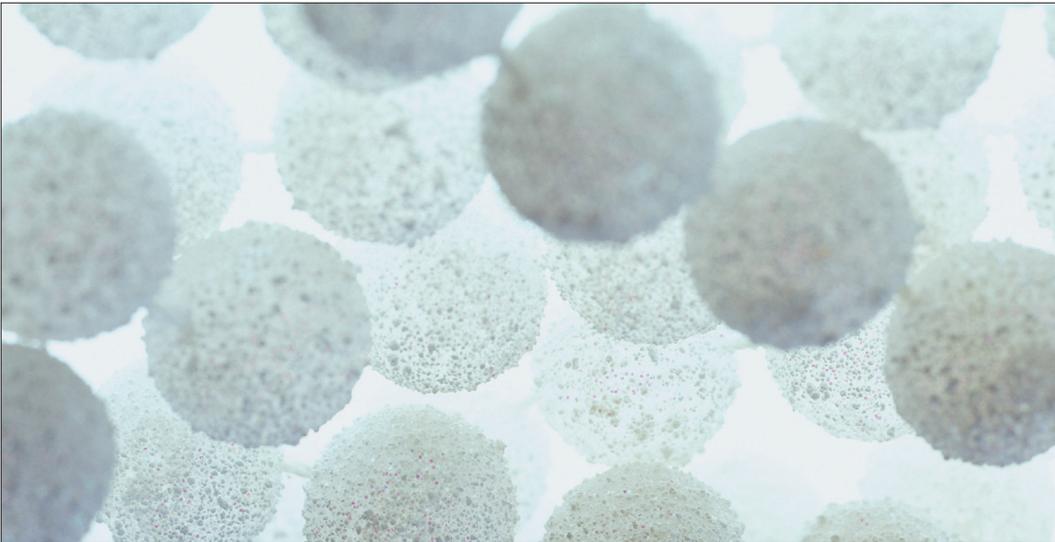
Abbildung 3: Wärmepumpenprüfstand

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Zustandsüberwachung für Außenluftfilter	52
Regenerationsmodul für dezentrale Trocknungsprozesse	54
Mehrstufiger gegenläufiger Axialventilator mit automatischer betriebspunktunabhängiger Drallvermeidung	56
Entwicklung eines Windturbinenventilators (WTV)	58
Pulsationsauslass für die Wohnungslüftung	60
Effizienter, kompakter und luftfördernder Wärmeübertrager	62
Einfluss der Sensorpositionierung im Raum auf den Energiebedarf heiz- und raumluftechnischer Anlagen Projektstufe II SPEE	64
TU Dresden, Neubau Institutsgebäude, Fachrichtung Physik	66
Desorptionsvorgänge bei der adsorptiven Filtration	68
Prüfverfahren für Kühlmittelkühler	70
Entwicklung eines Prüfverfahrens und einer Prüfvorrichtung für Klassifizierung von Filterelementen	72
Ingenieurdienstleistungen für die Industrie - Untersuchungen zum Emissionsverhalten bei der Anwendung von Laser- Bearbeitungsverfahren	73
PCM – Kaminspeicher	74

Zustandsüberwachung für Außenluftfilter



In dem FuE-Vorhaben „Zustandsüberwachung für Außenluftfilter“ wurde ein System entwickelt, mit dem eine Bewertung des Risikos für Schimmelpilzwachstum auf Außenluftfiltern ermöglicht wird. Zusätzlich zu den bereits oft genutzten Größen Druckdifferenz des Filters sowie Temperatur und relative Feuchte der strömenden Luft wurde der Parameter „Filterfeuchte“ für die Bewertung herangezogen. Dabei kann durch die neu entwickelte Kapazitätsmessung der mit Elektroden bestückten Filterfläche ein Wert für die Feuchte unmittelbar in der Filterfläche berücksichtigt werden. Dieser Wert ist abhängig von der Art und Weise der Elektrodenbestückung. Deshalb erfolgten umfangreiche Grundlagenuntersuchungen zu einer geeigneten Bestückung. Ein Filter mit entsprechenden Elektroden wurde in eine RLT-Anlage integriert und unter verschiedenen Bedingungen erfolgreich getestet. Mit dem erreichten Entwicklungsstand kann festgestellt werden, dass die Filterfeuchte sehr gut erfasst werden kann, lokale Feuchtestellen werden aus dem Vergleich mit der Luftfeuchte erkannt und als potentielle Gefahrenstellen registriert.

Für die Bewertung des Risikos von Schimmelpilzwachstum wurde eine Überwachungs- und Bewertungseinheit entwickelt und erprobt. Damit besteht die Möglichkeit, durch Vorgabe der kritischen Werte für die jeweiligen Parameter eine allgemeine Be-

wertung des Risikos vorzunehmen, bei dem auch der Zeitfaktor berücksichtigt wird. Die Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Risikobewertung an einer RLT-Anlage mit Testfilter für einen Tag.

Somit steht ein System zur Verfügung, das den Vorgaben des Projektes entspricht und sowohl unter Labor als auch unter realen Bedingungen in RLT-Anlagen getestet wurde.

Die bei der Bearbeitung gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich Filtertechnik und Luftqualität konnten bei der Zusammenarbeit mit verschiedenen Kunden einfließen, so z. B. bei Dichtheitsmessungen im Rahmen des Bauvorhabens der Tierärztlichen Hochschule Hannover oder bei Klimatisierungs- und Strömungsuntersuchungen in Pkws. Außerdem wurden im Rahmen der ISH 2017 verschiedene Gespräche mit möglichen Anwendern geführt, u. a. mit der Fa. Kluge-Filtertechnik GmbH. Auf dieser Grundlage wird die Zusammenarbeit mit einem Anwender angestrebt, so dass eine marktfähige Ausführung entwickelt werden kann. Desweiteren erfolgte eine Patentanmeldung zur Problematik der Erfassung des Risikos von biologischem Wachstum auf einem Filter.

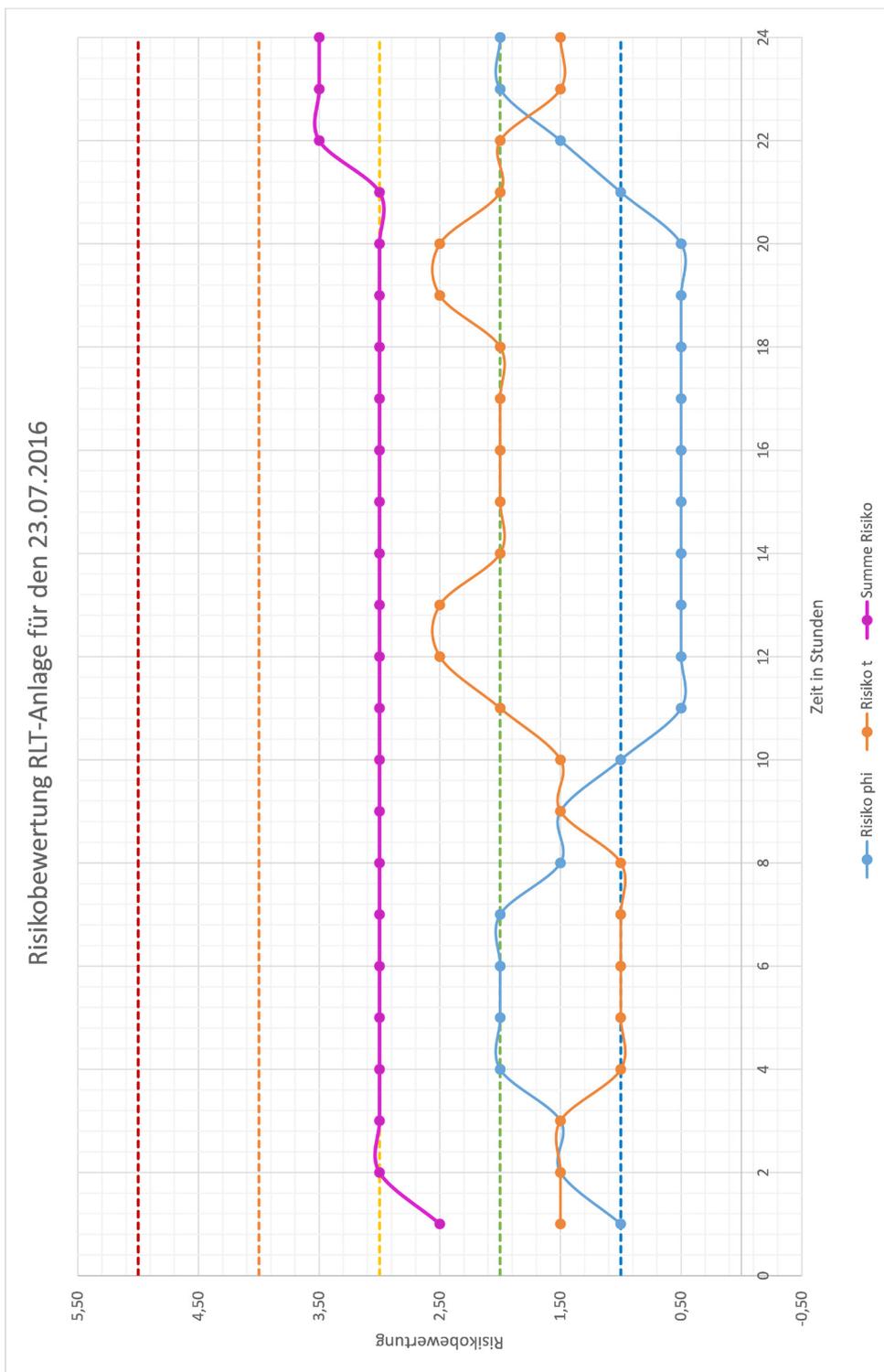


Abbildung 1: Risikobewertung an einer RLT-Anlage unter Berücksichtigung des zeitlichen Einflusses

Regenerationsmodul für dezentrale Trocknungsprozesse

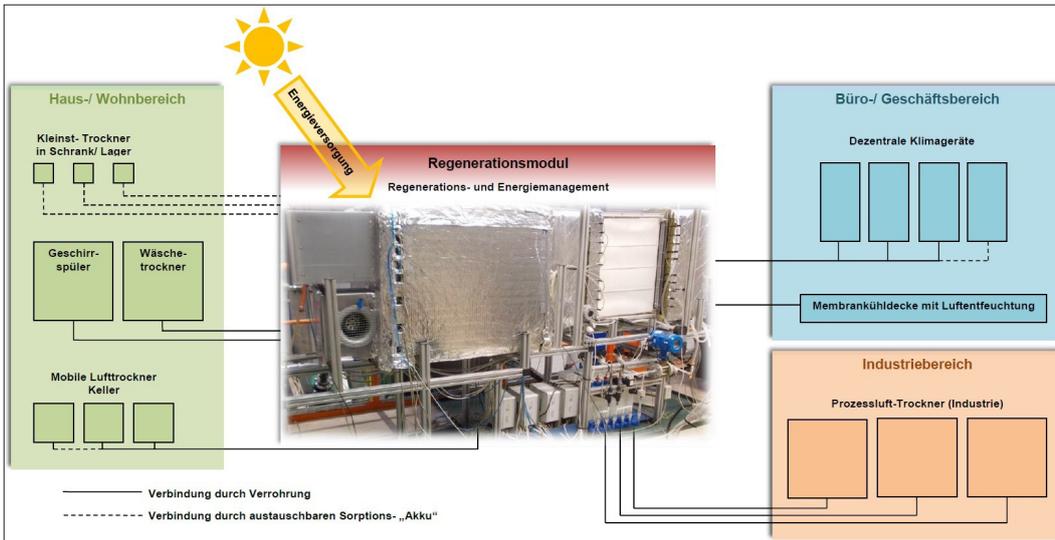


Abbildung 1: Funktionsmuster des Regenerationsmoduls mit Membran-Wärmeübertrager (30 m² Membranfläche verteilt auf 50 Membransegel) einschließlich Messtechnik. Durch Anpassung der Volumenströme erlaubt das Funktionsmuster Kapazitätsstromverhältnisse $\dot{C}_{Luft}/\dot{C}_{Sole}$ im Bereich zwischen 30 (Luftüberschuss) und 1.

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Regenerationsmoduls für dezentrale flüssigsorptionsbasierte Trocknungsprozesse. Als „Herz“ eines modular aufgebauten Gesamtsystems ist es das Bindeglied zwischen mehreren vereinzelt Entfeuchtungsmodulen (Absorptionseinheiten) und einer lokalen Energieversorgung für die Regeneration des Sorptionsmittels im Trocknungsprozess. Im Mittelpunkt der Entwicklung standen umfangreiche theoretische und messtechnische Analysen zu Konstruktion, Anschlusstechnik, Regenerationsmanagement und Hydraulik – beispielhaft ausgelegt für die Anwendung der Wäschetrocknung.

Ebenso wie die Entwicklung der Anschlusstechnik für membranbasierte durchströmbare textile Verbunde war auch die Entwicklung des Regenerationsmanagements sowie der konzentrationsvariablen Speicherung des flüssigen Sorptionsmittels erfolgreich. Zielführend sind demnach folgende zwei Aufbereitungsoptionen:

- „Umwälzprinzip“ (1-Tanksystem) für hohe Übertragungsgrade bzw. Sorptions-Akku-Anwendung
- „Umschichtprinzip“ (2-Tanksystem) für unmittelbar nutzbare bedarfsgerecht aufbereitete Sole

Für das entwickelte Funktionsmuster wurden drei Ansprüche formuliert:

1. Maximierung Übertragungsgrade (Wasserdampf-massenstrom über Membranfläche > 1,70 kg/h)
2. Maximaler Hub der Massenkonzentration der Sole beim einmaligen Durchströmen des Membran-Wärmeübertragers
3. Maximale Aufweitung der Regenerationsluft zur Taupunkttemperaturerhöhung derselben über Prozessluft-Eintrittstemperatur zum Zwecke der prozessinternen Kondensationswärmenutzung

Eine maximale Regenerationsleistung von 1,73 kg/h konnte am Versuchsmuster des Regenerationsmoduls bei einem Temperaturniveau von 55 °C mit Volumenströmen von 31,5 l/h (Sole) bzw. 390 m³/h (Luft) nachgewiesen werden. Einschließlich Aufheizzeit, Solenstillstandszeit und Entleerungszeit dauerte der gesamte Regenerationsprozess insgesamt 125 Minuten, um 14,38 Liter 31,52 %iger LiCl-Lösung auf 40,13 % aufzukonzentrieren und dabei 2,62 kg Wasser auszutreiben. Diese Regenerationsleistung entspricht den Zielparametern des Projekts und den Vorgaben für einen Sorptionsakku (ein wechselbarer Tank) mit der Trocknungskapazität eines Wäschetrocknungsvorgangs. Unter vergleichbaren Randbedingungen wurden diese Übertragungsgrade ausschließlich im Umwälzprinzip erreicht.

Der maximale Hub von 29,04 % Eintritts- auf 39,60 % Austrittskonzentration mit nur einer einzigen Durchströmung des Membran-Wärmeübertragers wurde mit erheblichem Luftüberschuss (4,5 l/h Sole, 55 °C und 390 m³/h Luft, 52 ... 54 °C) erzielt. Wenngleich die Regenerationsleistung mit 1,44 kg/h aus der Sole ausgetriebenen Wassers etwas geringer ausfällt, gelten die Zielvorgaben des Projektes als erreicht. Durch die volumenstrombedingt lange Fülldauer des Membran-Wärmeübertragers steht jedoch erst 45 Minuten nach Prozessstart erste auf Endkonzentration aufkonzentrierte Sole zur Verfügung. Anzustreben ist diese Art des Regenerationsmanagements deshalb für kontinuierliche Aufbereitungsprozesse in einem fest vernetzten Regenerationmodul, bei dem neben den Tanks auch das Rohrleitungsnetz als Speichervolumen fungieren kann.

Die maximale Auffeuchtung der Regenerationsluft zum Zwecke der prozessinternen Kondensationswärmenutzung erfordert ein höchstmögliches Temperaturniveau und ein minimales Kapazitätsstromverhältnis. Im

Versuch (Regenerationsluftvolumenstrom 100 m³/h, Eintrittstemperatur 21°C, Regenerationstemperaturniveau 66°C und $\dot{C}_{\text{Luft}}/\dot{C}_{\text{Sole}}=1$) muss zudem die trockene Rückwärmzahl der luftseitigen Wärmerückgewinnung mindestens 0,88 betragen. Ermittelt wurde eine trockene Rückwärmzahl von 0,93, so dass eine anteilige Kondensationswärme innerhalb des Prozesses nachgewiesen werden konnte.

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

- zeitlich flexible Regeneration gemäß den Anforderungen „intelligenter Verbraucher“
- Energieeffizienz: Nutzung regenerativer Wärmequellen verschiedener Energieträger mit Temperaturniveau ab 55°C: Primärenergiebedarf < 0,75 kWh zur Desorption von 2,5 kg Wasser aus dem Sorptionsmittel
- Hygiene und Korrosionsschutz aufgrund aerosolfreier Stoffübertragung über Membranen
- Kondensationswärmenutzung innerhalb des Regenerationsprozesses
- Übertragbarkeit der Technologie auf andere Wärme- und Stofftransportvorgänge der Luftbe- und Luftentfeuchtung in der Luft- und Klimatechnik

Als wichtige Anwendungsgebiete dezentraler flüssig-sorptionsbasierter Trocknungsprozesse – und damit auch des Regenerationsmoduls – gelten der häusliche Bereich (lokale Trocknungsvorgänge in Wäschetrockner,...), der Gebäudebereich (Raumklimatisierung), aber auch industrielle Trocknungsanwendungen. Bis zur angestrebten Etablierung auf dem Markt sind jedoch noch Entwicklungsaufgaben, wie bspw. die sichere Abdichtung und die massenfertigungstaugliche Konfektionierung und Fertigung der Membransegel des Membranwärmeübertragers zu lösen. Die Markteintrittschancen sind vergleichsweise hoch. Das Regenerationsmodul und die Vernetzung von flüssig-sorptionsbasierten Trocknungsprozessen bedienen ein breites Themenspektrum mit jeweils positiven Auswirkungen auf Hygiene, Strömungswiderstand, Bauvolumen, Korrosion, Temperaturniveaus, regenerative Energien, kondensatfreie Entfeuchtung, verlustfreie Energiespeicherung.

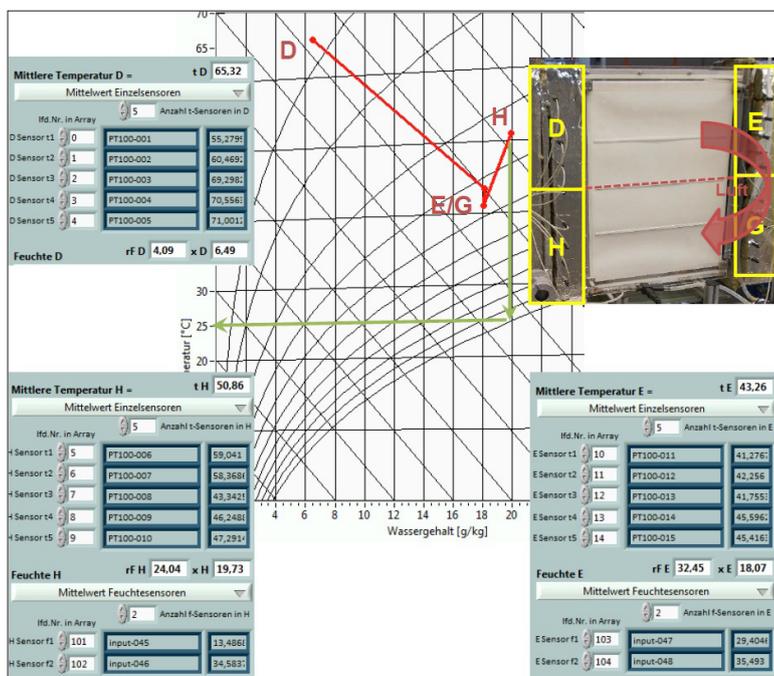


Abbildung 2: Testreihe zur maximalen Auffeuchtung der Regenerationsluft und Online-Messwerte der gemittelten Luftzustände im hx-Diagramm

Mehrstufiger gegenläufiger Axialventilator mit automatischer betriebspunktunabhängiger Drallvermeidung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Axiallaufrad entwickelt, welches sich durch den Einsatz gegenläufiger Laufräder (Contra-rotating Fan, CRF) auszeichnet. Die technischen Parameter des Laufrades sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Ebenso fanden und finden direkte Gespräche mit potentiellen Interessenten aus dem Bereich der Ventilatorherstellung und Interessenten aus dem Bereich der Ventilatoranwender statt.

Parameter	Symbol	Einheit	Laufrad A	Laufrad B	CRF
Volumenstrom	Q	m ³ /s	0.15		
Gesamtdruckaufbau	Δp_t	Pa	500	300	800
Drehzahl	n	s ⁻¹	133.3	83.3	105.41
Nabendurchmesser	D_H	m	0.080		
Gehäusedurchmesser	D_S	m	0.12		

Für diese Angaben wurde ein Laufradsatz ausgelegt und erprobt. Die gemessenen Parameter erreichen die Vorgabe.

Für die Anpassung der Drehzahl des zweiten Laufrades (Drallfreiheit in der Abströmung) wurde ein Dralldetektor entwickelt. Dieser ist in Abb. 1 dargestellt. Mit Hilfe des Drallsensors kann detektiert werden, in welchem Betriebspunkt der Ventilator arbeitet und die Drehzahl des zweiten Laufrades angepasst werden. Die Variation der Drehzahl erfolgt mit Hilfe eines mechanischen stufenlosen Getriebes.

Die Bestimmung der Strömungsverhältnisse am Austritt des Ventilators erfolgte mit laseroptischen Methoden. Die Abb. 2 zeigt den Aufbau für die Messung der Geschwindigkeiten am Austritt des Ventilators. Mit Hilfe eines Lasers und zweier Kameras werden drei Geschwindigkeitskomponenten in einer Ebene bestimmt. Das angewandte Messprinzip ist die stereoskopische Particle-Image-Velocimetry (sPIV). Klein dargestellt ist der Vektorplot in einer mittleren Ebene.

Die Vermarktung erfolgt durch Veröffentlichungen des Funktionsprinzipes für den Ventilator und für den Sensor in ausgewählten Fachbeiträgen, z.B. der Fan 2018.

Der Einsatz gegenläufiger Laufräder besitzt die folgenden Vorteile:

- eine drallfreie Abströmung erhöht den Wirkungsgrad eines Axialventilators
- optimale Anströmung der nachfolgenden Bauteile aus thermodynamischer und strömungsmechanischer Sicht
- drallfreie Anströmung der nachfolgenden Ventilatorstufen ohne statisches Nachleitgitter
- optimaler Wirkungsgrad durch Anpassung der Drehzahlen
- größere Leistung bei gleichen Bauvolumen

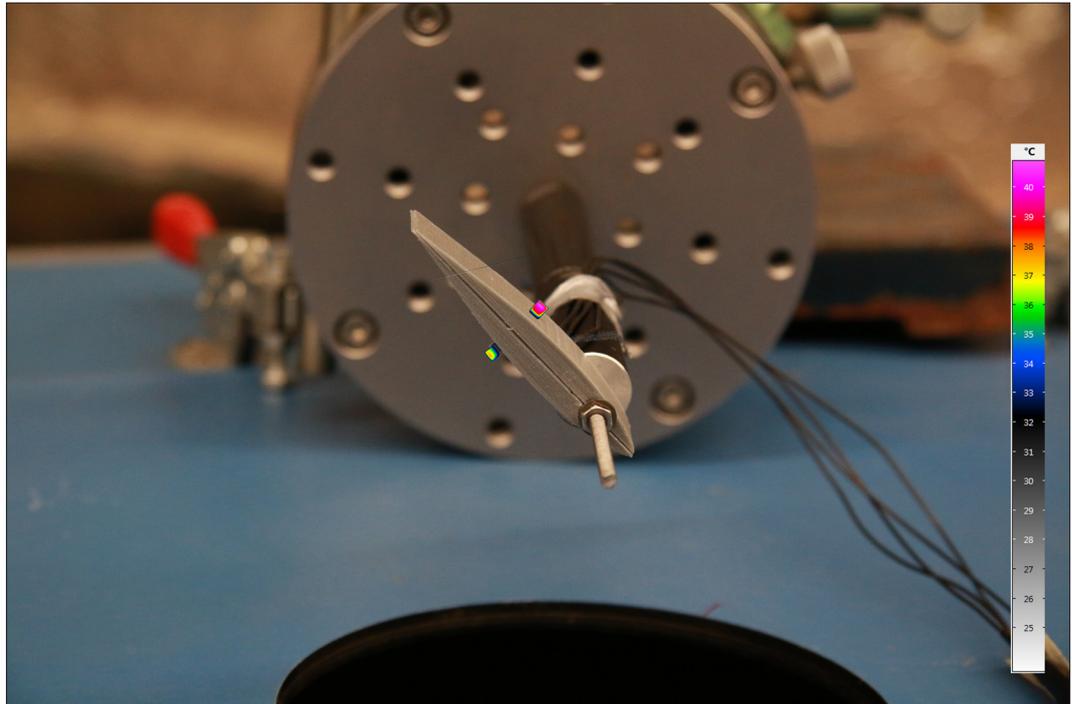


Abbildung 1: Darstellung des Drallsensors und dessen überlagerte Temperaturinformation bei drallbehafteter Anströmung

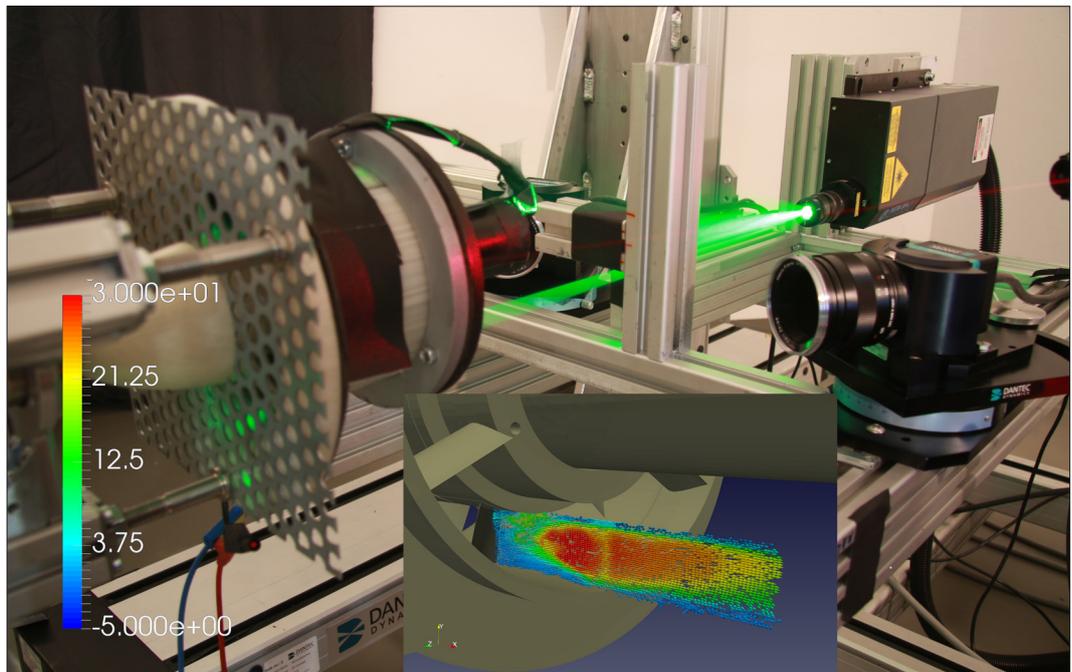


Abbildung 2: Messung der Geschwindigkeiten am Austritt des Ventilators mittels des laseroptischen Verfahrens Laser stereo-Particle-Image-Velocimetry und Vektordarstellung der Ergebnisse in einer Messebene. Die Farben zeigen die Absolutgeschwindigkeit in m/s.

Entwicklung eines Windturbinenventilators (WTV)

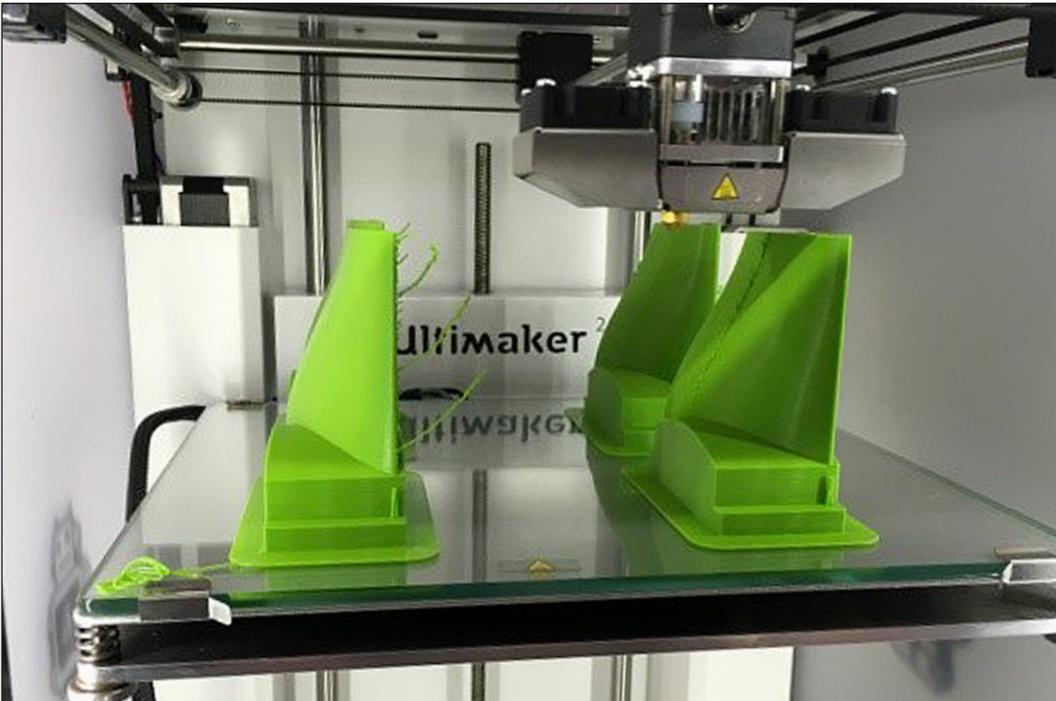


Abbildung 1: Herstellung der Windradschaufeln mittels Rapid-Prototypings

Ziel dieses Projektes ist es, einen Windturbinenventilator zu entwickeln, um den Energiebedarf bei der maschinellen Belüftung zu senken. Dafür wird ein Windturbinenventilator (WTV) entworfen, mit dessen Hilfe die kinetische Energie des Windes genutzt werden kann, um die Zuluft auf ein erhöhtes Druckniveau zu bringen, damit der Zuluftventilator eine geringere Druckdifferenz aufbringen muss. Diese Reduktion der Druckdifferenz hängt mit der Reduktion der erforderlichen elektrischen Antriebsleistung zusammen. Mögliche Anwendungsfälle des Windturbinenventilators sind:

- zentrale Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (heute Stand der Technik, vor allem in Niedrigenergiegebäuden)
- zentrale Wohnungslüftung ohne Wärmerückgewinnung (Bestandsanlagen in nicht energetisch sanierten Gebäuden)
- zentrale Belüftung und Klimatisierung größerer Nutzgebäude, wie z. B. Büros, Versammlungsräume, Hörsäle, Industriehallen, Labore,...

Im Verlauf der vergangenen 19 Monate wurde basierend auf einer umfangreichen Vorarbeit (Literaturrecherche, Konzeptentwicklung, Analyse der Bedingungen und Materialwerte) ein Entwurf für einen Windturbinenventilator entwickelt. Dieser wurde konstruktiv umgesetzt und mit einem additiven Rapid-Prototyping-Verfahren (Abbildung 1), mit dem im Rahmen des Projektes erworbenen 3-D-Druckers, gefertigt.

Erste Versuche zeigen vielversprechende Ergebnisse. So wird die Auslegungsdrehzahl von 1500 min⁻¹ wie projiziert bei einer Windstärke von 10 m/s in etwa erreicht (Abbildung 2) und die Kennlinienschar beim Betrieb des WTVs bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten zeigt deutlich das Potenzial für die technische Gebäudeausrüstung (Abbildung 3). Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf den Zuluftstrom und werden entsprechend dem Gebäude zur Verfügung gestellt.

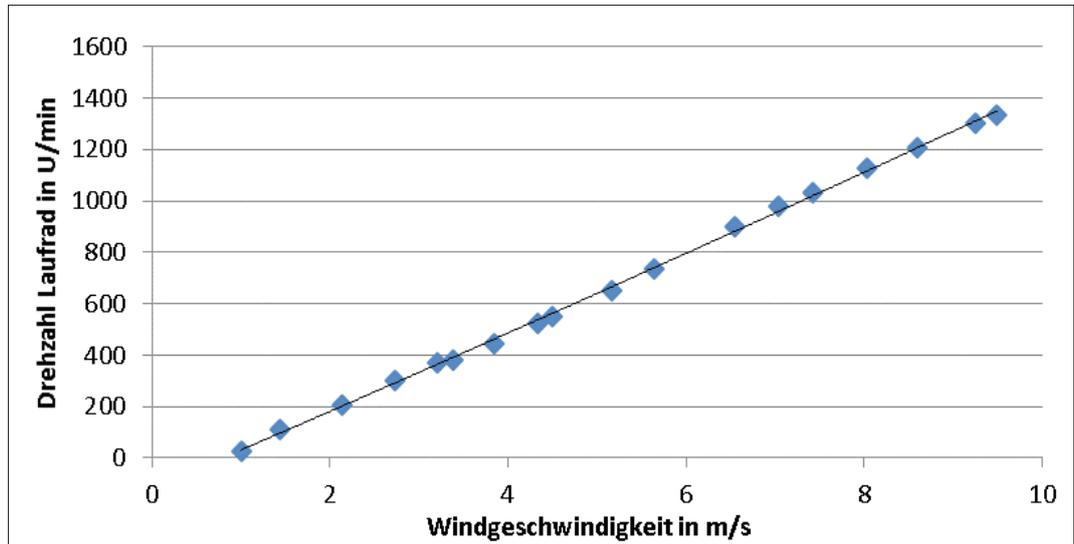


Abbildung 2: Versuch zum Zusammenhang von Windgeschwindigkeit und Drehzahl

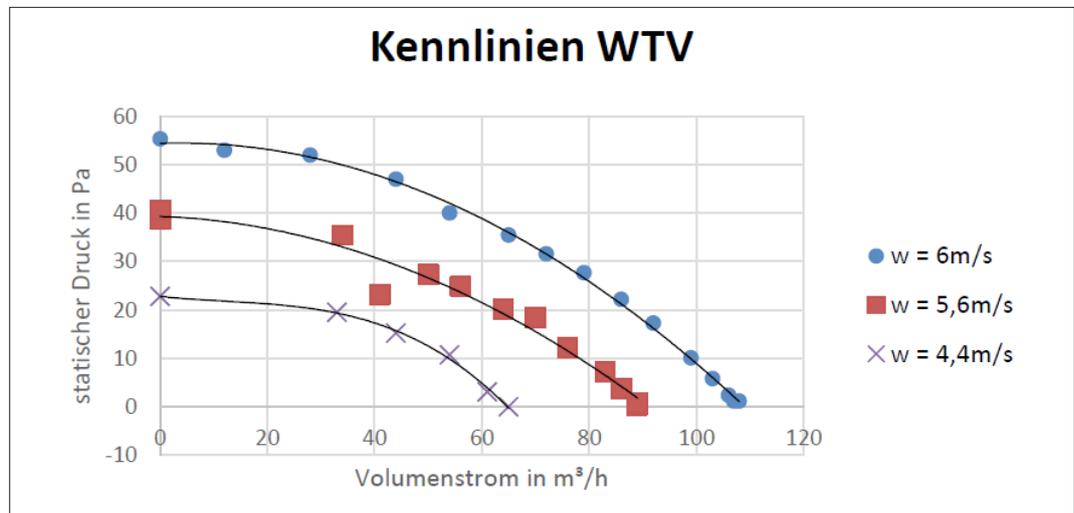


Abbildung 3: Kennlinienschar des 1. Versuchsmusters

Pulsationsauslass für die Wohnungslüftung



Abbildung 1: Versuchsstand Pulsationslüftung



Abbildung 2: pulsierender Betrieb mit Lochblechauslass

Entwicklungsziel ist ein Luftdurchlass speziell für den Einsatz in Wohngebäuden, der durch eine diskontinuierliche (pulsierende) Luftzufuhr eine instationäre Raumströmung ermöglicht. Der Pulsationsauslass soll das Strömungsverhalten in Wohnräumen verbessern, wo durch die geringen Luftvolumenströme und die ungünstige Anordnung der Zu- und Abluftdurchlässe oft nur sehr geringe Strahleindringtiefen und eine schlechte Raumdurchspülung erreicht werden.

Es wurde ein Versuchsstand errichtet, der eine motorisch angetriebene Pulsation mit einem mittleren Volumenstrom von $25 \text{ m}^3/\text{h}$ für verschiedene Pulsraten mit unterschiedlicher Amplitude ermöglicht (Abb. 1, Abb. 2). Dieser enthält eine Blendenmessstrecke für die instationäre Volumenstrommessung und eine 3D-Strömungssonde zur dreidimensionalen Geschwindigkeits- und Turbulenzmessung.

Es wurden verschiedene Auslassgeometrien (Freistrahl mit Irisblende, Freistrahl mit Lochblech, Tellerventil) und 3 Pulsraten ($7,6 \text{ min}^{-1}$, $25,8 \text{ min}^{-1}$, $63,2 \text{ min}^{-1}$) jeweils im Vergleich zur stationären Betriebsart untersucht. In definierten vertikalen und horizontalen Abständen zum Auslass wurden Geschwindigkeits- und Turbulenzgradfelder ermittelt.

Abbildung 3 zeigt einen Vergleich der Geschwindigkeiten in horizontaler Ebene in Höhe der Auslassachse. Die Varianten mit den geringen Pulsarten ($7,6 \text{ min}^{-1}$,

$25,8 \text{ min}^{-1}$) erreichen insbesondere bei größerem Abstand zum Auslass bei gleichem mittleren Volumenstrom höhere Geschwindigkeiten als im stationären Konstantbetrieb. Die Variante mit hoher Pulsrate ($63,2 \text{ min}^{-1}$) erreicht dagegen nur eine geringfügig höhere Geschwindigkeit. Die Eindringtiefe bei geringster Pulsrate ($7,6 \text{ min}^{-1}$) bezogen auf $v_m = 0,2 \text{ m/s}$ steigt im Pulsationsbetrieb um 50 %.

Diese Variante wird als Vorzugsvariante weiter verfolgt und der Luftdurchlass für folgende technische Parameter und konstruktive Randbedingungen als 1. Prototyp ausgelegt:

- Nennluftvolumenstrom: $25 \text{ m}^3/\text{h}$, maximaler Luftvolumenstrom $50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Nennweite: DN 100 (Außendurchmesser)
- Material: verzinktes Stahlblech
- Betriebsart: zyklisch wechselnde (pulsierende) Axial- und Radialabströmung
- Klappenumschaltung mittels vertikal rotierendem Laufrad nach Savonius-Prinzip
- Pulsrateneinstellung: durch Übersetzungsverhältnis der Stirnräder

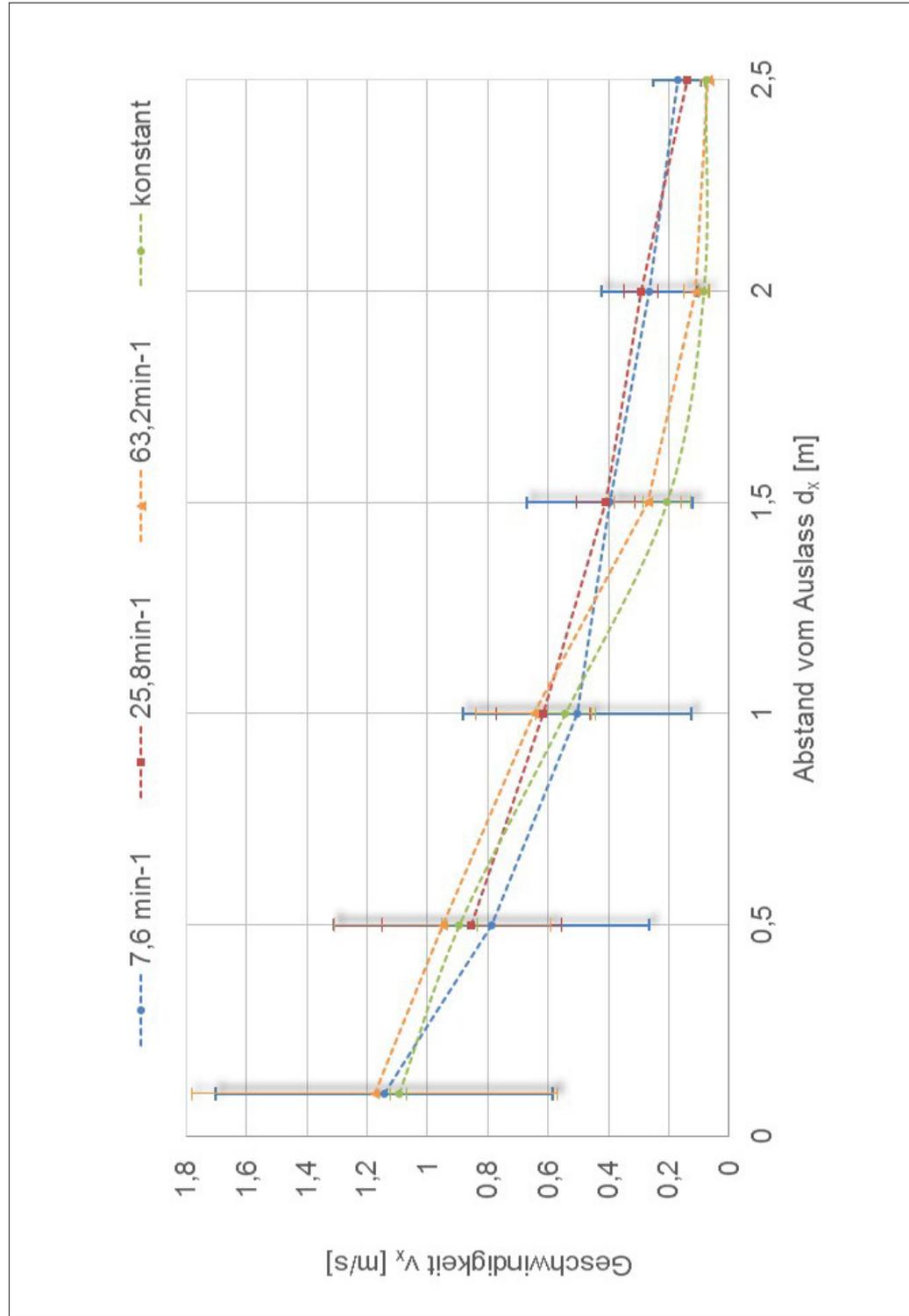


Abbildung 3: Vergleich der Geschwindigkeiten v_x [m/s] bei isothermen Betrieb (Lochblech, Messhöhe in Auslassachse)

Effizienter, kompakter und luftfördernder Wärmeübertrager

Entwicklungsgegenstand ist eine kompakte, effiziente und luftfördernde Lüftungskomponente für die dezentrale und zentrale Anwendung. Die im Vergleich zum Stand der Technik neuen Lösungsansätze sind:

- der Einsatz radial rotierender Wärmerohre als Basis eines effizienten Wärmeübertragersystems
- die Förderung beider Luftströme (kalte Außenluft und warme Raumluft) im Gegenstrom mittels eines neuen walzenförmigen, zweiflutigen Axiallaufrades
- der Einsatz nur eines elektrischen Antriebes für die Förderung beider Luftströme

Das Funktionsprinzip mit der Nutzung radial rotierender Wärmerohre eröffnet neue Möglichkeiten insbesondere für das Design zentraler Lüftungsgeräte. Die hier erforderlichen Rohranschlüsse für die Außen- und Raumluft können in der sogenannten „Rohr in Rohr“-Konstruktion konzipiert werden. Damit wird ein nicht unerhebliches zusätzliches Wärmeübertragerpotential in den Rohrleitungen generiert, die Anzahl zu verlegender Rohrstränge in Räumen halbiert sowie eine zusätzliche äußere Isolation der Rohrleitungen unnötig.

Infolge der Rotation des Wärmerohrregisters können die im Vergleich zur Absolutgeschwindigkeit höheren Relativgeschwindigkeiten die Wärmeübertragung zu den Luftströmen verbessern. All diese genannten Vorteile sollen zu einer messbaren Erhöhung der volumenspezifischen Wärmeleistung gegenüber dem Stand der Technik führen (um 40 % bis 80 %).

Das beschriebene Funktionsprinzip ist in einer modular aufgebauten Testkonstruktion konzipiert und aufgebaut worden (siehe Abb. 1). Die entwickelten erfolgversprechendsten Lösungen für die Komponenten „Wärmerohrregister“ und „zweiflutiges Axiallaufrad“ sind das Resultat einer Vielzahl von Variantenuntersuchungen. Die mittels speziell entwickelter Auslegungsalgorithmen erwarteten Leistungsparameter sind experimentell quantifiziert worden. Ein wesentlicher Schwerpunkt war die Auswahl der Wärmerohre. Hier haben sich die markverfügbaren Flachwärmerohre gegenüber einer Eigenentwicklung in Summe aller relevanten Bewertungsfaktoren als besser erwiesen.

Die Kriterien dabei sind das Gewicht, die Form, die bedarfsgerechte Verfügbarkeit und der Preis.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist ein modular aufgebautes Wärmerohrregister mit integrierter metallischer Wabenstruktur als zusätzliche Wärmeübertragungsfläche entwickelt worden. Dieses Register kann mit baugleichen Wärmerohrrädern im „Legoprinzip“ praktisch beliebig erweitert werden. Die an beiden Enden erforderlichen Luftführungselemente tragen die axialen Schaufelgitter. Abbildung 2 zeigt eine Modellkonstruktion für das Wärmerohrregister und ein Ergebnis der wärmetechnischen Untersuchungen.

Abbildung 3 veranschaulicht Lösungen für die axialen Laufschaufelgitter mit gemessenen Leistungsparametern. Für eine nahezu identische Kennliniencharakteristik müssen beide Laufschaufelgitter gleich groß dimensioniert werden.

Folgende wesentliche Sachverhalte stehen als Ergebnisse:

- Das Funktionsprinzip ist für eine effiziente Lüftung geeignet und nachweislich konstruktiv umsetzbar.
- Radial rotierende Wärmerohre sind für eine effiziente Wärmeübertragung gut geeignet. Bis zu einer Drehzahl von aktuell 350 U/min kann der Wärmerückgewinnungsgrad gesteigert werden. Diese Tendenz wird mit Reduzierung der inneren Leckagen noch in Richtung höherer Drehzahlen verlagert.
- Die entwickelten axialen Schaufelgitter für die druckseitige Durchströmung des Wärmeübertragers können die für die Raumlüftung relevanten strömungstechnischen Parameter bei einer Drehzahl von z.Z. 1600 U/min generieren.

Aktuell wird der Demonstrator entwickelt. Ein wesentlicher Schwerpunkt dabei ist die Reduzierung der inneren Leckagen.

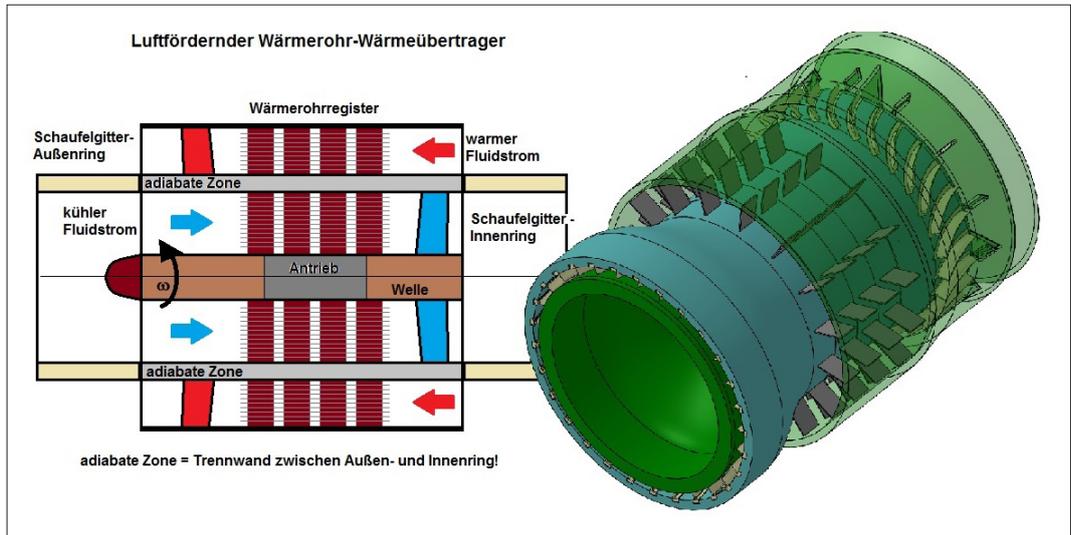


Abbildung 1: Funktionsprinzip und konstruktiver Lösungsansatz für den effizienten luftfördernden Wärmeübertrager

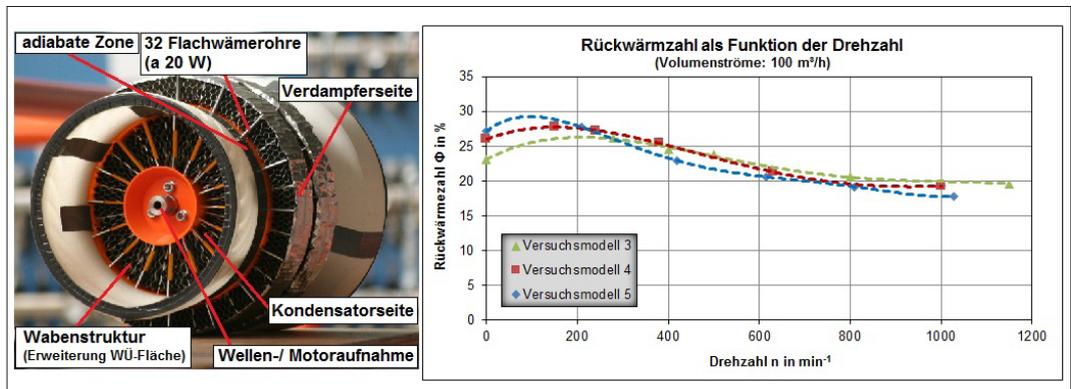


Abbildung 2: ein entwickeltes rotierendes Wärmerohrregister (Modell 5) mit gemessener Wärmeleistungscharakteristik

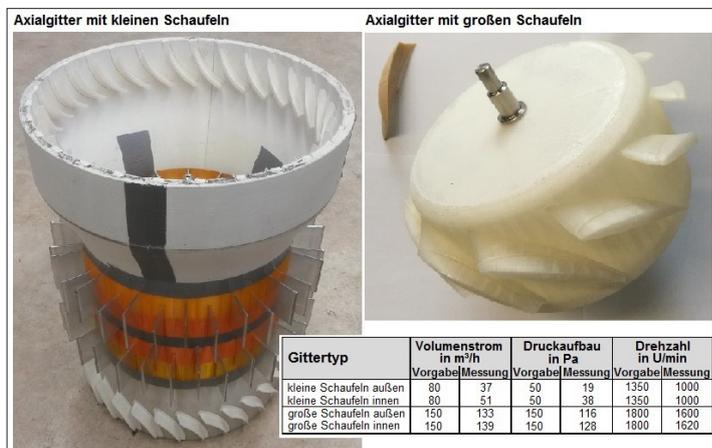


Abbildung 3: Modelle für axiale Schaufelgitter

Einfluss der Sensorpositionierung im Raum auf den Energiebedarf heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Projektstufe II | SPEE

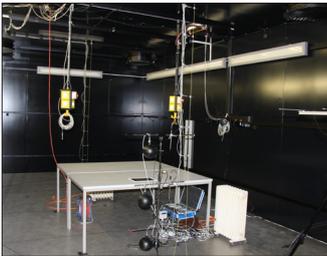


Abbildung 1: Raumströmungslabor der ILK Dresden gGmbH mit Szenario „Büro“ und Messequipment

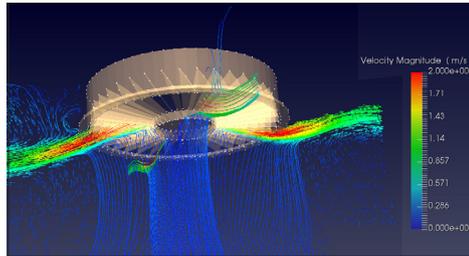


Abbildung 2: Ergebnisbild einer Geschwindigkeitsmessung an einem Drallausslass unter Anwendung der PIV-Messtechnik



Abbildung 3: Raumströmungslabor der ILK Dresden gGmbH mit Messtechnikausstattung und Solar-Simulator

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

Die Aufrechterhaltung der energetischen Qualität [§ 11 EnEV] sowie die Energieeinsparung im Gebäudebereich ist dauerhaft nur mit Hilfe einer geeigneten regelungs- und automationstechnischen Ausstattung zu garantieren. Dies gilt ebenso für die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit und der Raumlufqualität. Das Gesamtziel des Vorhabens besteht dementsprechend in der Bestimmung des quantitativen Einflusses der möglichen Sensorpositionierungen im Raum in Abhängigkeit praktisch relevanter Einflussgrößen.

In der ersten Projektstufe sind wichtige Grundlagen und Aussagen für sich leicht verändernde Verhältnisse im Raum erarbeitet worden. Für die aktuell zweite Projektstufe sind die Ergänzungen zu stark instationären Situationen, beispielsweise infolge von nutzerbedingten Lastwechseln (hier liegt der Fokus im Speziellen auf den Zu- und Abluftanlagen) oder Solarstrahlung, zu Mehrpersonenbüros und zum Einsatz von Sensorfeldern erarbeitet worden.

Primäre Arbeitsziele der zweiten Projektstufe sind die Ermittlung von Energiebedarfswerten für Bürogebäude

auf Basis der Untersuchungen einzelner Büros und die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Sensorpositionierung, die praxistauglich sind und ggf. nach Abschluss des Projektes ordnungsrechtlich verankert werden können.

Alle wissenschaftlichen Untersuchungen finden im Rahmen eines Verbundprojektes zwischen der ILK Dresden gGmbH und der Technischen Universität Dresden statt. Ein wichtiges Ziel der Arbeiten war die Sicherstellung der Vergleichbarkeit von Messungen und numerischen Simulationen. Dies war für die weiterführenden Untersuchungen essentiell, weil nur ausgewählte Szenarien in Messung und Simulation gleichermaßen nachgebildet werden.

Die umfangreiche und vielseitige Ausstattung des ILK Dresden ermöglicht eine ausgezeichnete Absicherung der Untersuchungen aus mess- und anlagentechnischer Sicht (Abb. 1 und 3). Mit dem Raumströmungslabor als Grundlage und den vorhandenen Messmethoden und -techniken lassen sich viele der zu untersuchenden Konfigurationen experimentell nachbilden und für die Validierung der Simulationen nutzen.

Es wurden insgesamt 90 Temperatursensoren an unterschiedlichsten Raumpositionen installiert, um lokale Luft- und Oberflächentemperaturen im jeweiligen Versuchszeitraum zu protokollieren. Zudem kamen diverse Sensoren zur Feuchte- und Geschwindigkeitsmessung an ausgewählten Orten und ein PIV-Messequipment (PIV = engl.: particle image velocimetry) für die räumlich und zeitlich hoch auflösende Messung relevanter Bereiche, z.B. an Luftauslässen, zum Einsatz (Abb. 2).

Bei der numerischen Simulation kommt ein beim Kooperationspartner TU Dresden entwickeltes und erfolgreich eingesetztes Softwarepaket zum Einsatz. Es besteht aus einem Programm zur thermischen Gebäudesimulation und zur Anlagensimulation (TRNSYS-TUD), einem FEM-Programm zur räumlich hoch aufgelösten Berechnung der Raumluftströmung (ParallelNS) sowie einem Programmsystem für die Kopplung und den effizienten Datenaustausch via PVM.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde angestrebt, ein möglichst breites Spektrum an Raumkonditionierungssystemen bzw. typische in Büroräumen zum Einsatz kommende Kombinationen an Heiz-, Kühl- und Belüftungssystemen abzubilden. Darüber hinaus erfolgte eine breite Variation an geometrischen und bauphysikalischen Parametern. So wurden sowohl Zwei- und Mehrpersonbüros (Altbauten, Neubauten in leichter, schwerer Ausführung in unterschiedlichen Abmessungen) berücksichtigt als auch alle gängigen Zuluftsysteme, wie Mischlüftung (Drallauslässe, Schlitzauslässe), Quelllüftung und Fensterlüftung. Zudem erfolgte die Nachbildung von heizkörperbasierten und flächenbasierten Systemen, wie Kühldecken, Fußbodenheizungen und Betonkernaktivierung. Aus diesen unterschiedlichen Systemen wurden dann ca. 40 typische Anlagenkonfigurationen zusammengestellt und hinsichtlich des Einflusses verschiedener (bis zu 12 Varianten) Sensortypen und Sensorpositionen auf den Energiebedarf und die thermische Behaglichkeit analysiert. Neben der Untersuchung der Wechselwirkung instationärer Effekte / Sensorposition / Sensorart kam es auch zu Prognosen des Heiz-Kühlenergiebedarfs (pro

Heiz-, Kühlperiode) auf Basis eines vereinfachten Typtagverfahrens. Das bedeutet, für jede einzelne Variation jeder einzelnen Anlagenkonfiguration wurden im Heizfall neun und im Kühlfall sechs gekoppelte Simulationen mit jeweils einer 48-stündigen CFD-Echtzeit-Simulation und einer 15-tägigen Einschwingphase gerechnet. Aus den einzelnen Berechnungen erfolgte dann jeweils die Hochrechnung auf den Gesamtenergiebedarf.

Beispielhaft zeigt die Abb. 4 ausgewählte Ergebnisse der transienten Simulationen nach dem Typtagverfahren für verschiedene luftbasierte Kühlsysteme im Einsatz in unterschiedlichen Baukörpern. Die Resultate beinhalten die Betrachtung unterschiedlicher Sensorpositionen, deren Daten als Bewertungs- und Regelgröße während der Simulation dienen. Das Ergebnis jedes einzelnen Balkens setzt sich letztlich aus sechs Einzelsimulationen zusammen.

Neben diesen Energiebedarfswerten existiert zusätzlich eine sehr umfangreiche Datenbasis aus zeitlichen Verläufen diverser Sensoren in den Büros und aus Felddarstellungen der einzelnen aus den Strömungssimulationen abgeleiteten Feldgrößen, wobei alle für eine umfassende Bewertung aus energetischer Sicht und aus Sicht der thermischen Behaglichkeit relevanten Feldgrößen zur Verfügung stehen.

Diese Datenbank und aus den Resultaten abgeleitete Handlungsempfehlungen werden im Rahmen einer Online-Datenbank zur Verfügung gestellt.

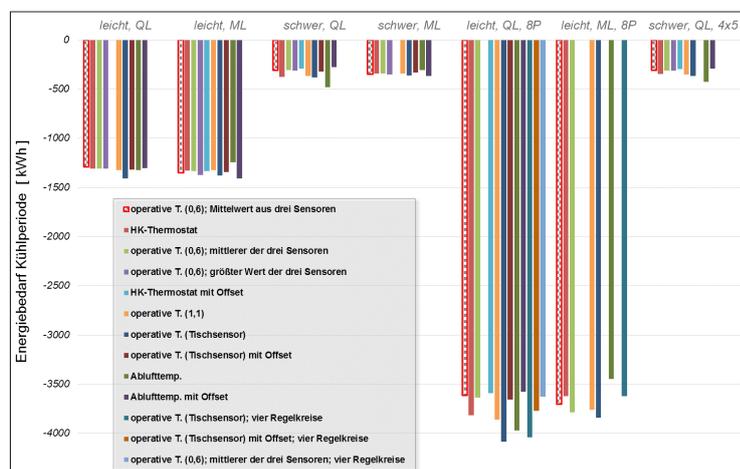


Abbildung 4: Ergebnisse für den Energiebedarf während der Kühlperiode bei Nutzung luftbasierter Kühlsysteme und jeweils unterschiedlicher Sensoren nach dem Typtagverfahren

TU Dresden, Neubau Institutsgebäude, Fachrichtung Physik



Abbildung 1: Gebäudeansicht - Haupteingang

Das neu errichtete Institutsgebäude gewährleistet die optimalen Rahmenbedingungen für Lehre und Forschung für die Fachrichtungen Optoelektronik und Experimentalphysik / Photophysik. Dazu trägt eine Vielzahl von technischen Anlagen bei.

Besonders hoher Wert wird dabei den zentralen und dezentralen RLT-Anlagen für die Reinnräume sowie physikalisch-technische Labore/Versuchsräume und Klimazellen auf ca. 3.200 m² Nutzfläche beigemessen. Die damit erforderlichen Außenluftsysteme müssen zur Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen, der Arbeitsplatzgrenzwerte und der Raumluftzustände unter den verschiedensten Versuchsbedingungen beitragen. Die ganzjährig notwendige Aufbereitung des hohen Außenluftanteils muss deshalb energieeffizient und wirtschaftlich angemessen erfolgen.

Dazu werden die vom ILK Dresden entwickelten Erkenntnisse aus den öffentlichen Projekten zur Nutzung des Erdreiches zur effizienten Vorwärmung bzw. Vorkühlung der Außenluft genutzt.

Wesentlich für den Energieverbrauch des Gesamtsystems sind die Nutzung möglichst energieeffizienter Ventilatoren und die optimale Gestaltung der Leitungsführung unter Vermeidung unnötiger Druckverluste.

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

In Verbindung mit dem öffentlich geförderten FuE-Projekt – Hochleistungswärmerohr zur Außenluftaufbereitung – 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 und Erhöhung des Energieeffizienz- und Innovationsgrades der möglichen Lösungen für die technische Gebäudeausrüstung bei.



Abbildung 2: Neubau – Außen- und Innenansicht



Abbildung 3: Technikzentralen und Labor



Abbildung 4: weitere Technikzentralen und Labor

Desorptionsvorgänge bei der adsorptiven Filtration

Im Rahmen des Vorlaufforschungsprojektes wurden weitere Untersuchungen zum Adsorptions- und Desorptionsverhalten unterschiedlicher Materialien durchgeführt. Dabei wurde auch die iGC-Technik (vgl. Abb. 1) eingesetzt. Damit können neben dem Ad- und Desorptionsverhalten auch Oberflächeneffekte an den Materialien charakterisiert werden.

Die Ergebnisse werden derzeit für den Abschlussbericht aufgearbeitet und werden im Anschluss pub-

liziert. Aus den Forschungsergebnissen lassen sich Aussagen zu Standzeiten und zu Bindekräften in den Molekularstrukturen ableiten, die einer Desorption entgegenwirken. Das ist wichtig für Filterhersteller und Anwender. Dabei geht es auch um eine Optimierung der Standzeit. Hier konnten wesentliche methodische Ansätze über Temperaturmessungen entwickelt werden. Auch die Analysemethoden zur Charakterisierung von Adsorbentien stehen zur Verfügung, um eine bessere Spezifikation zu erreichen.

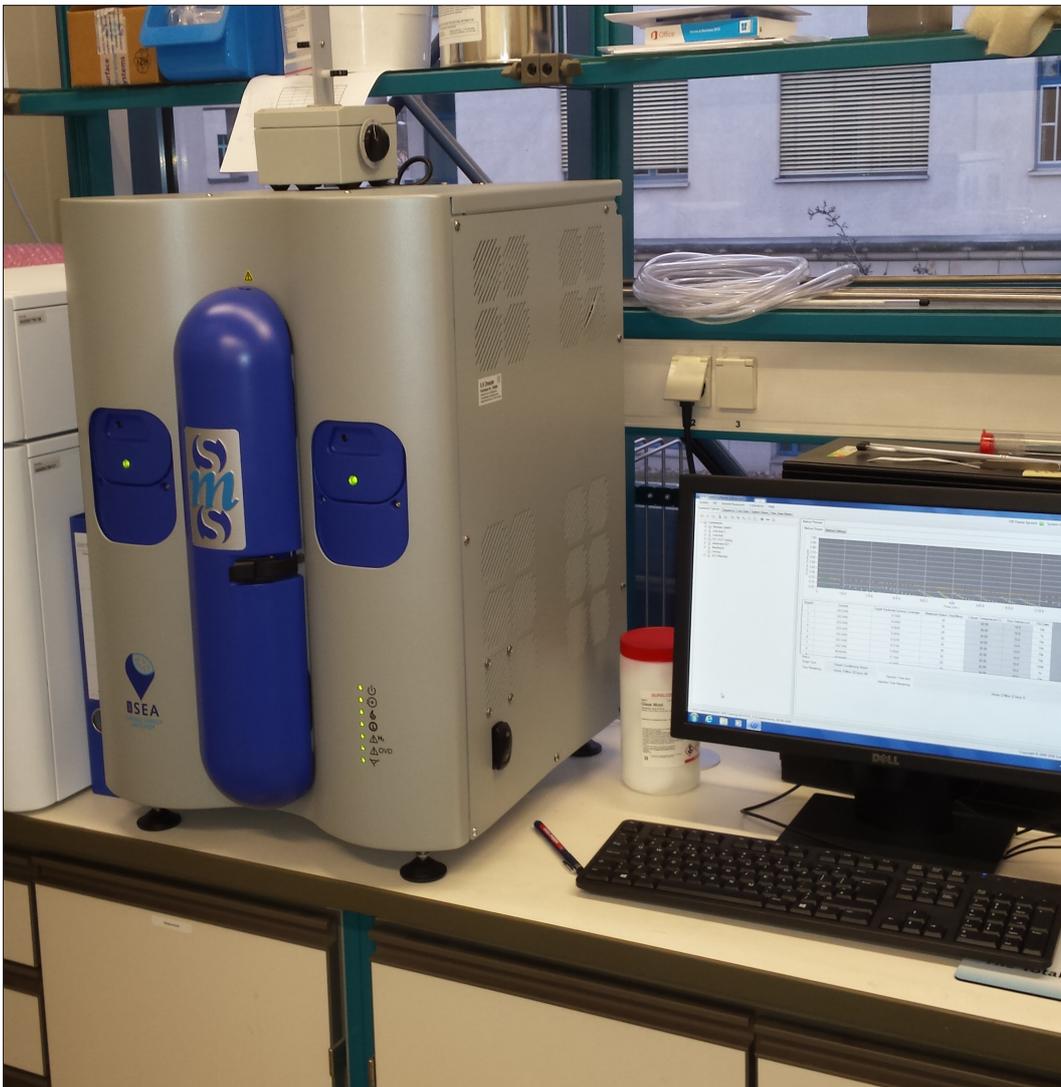


Abbildung 1: Messaufbau zur Untersuchung von Adsorber- Materialien durch inverse Gas-Chromatographie (iGC)

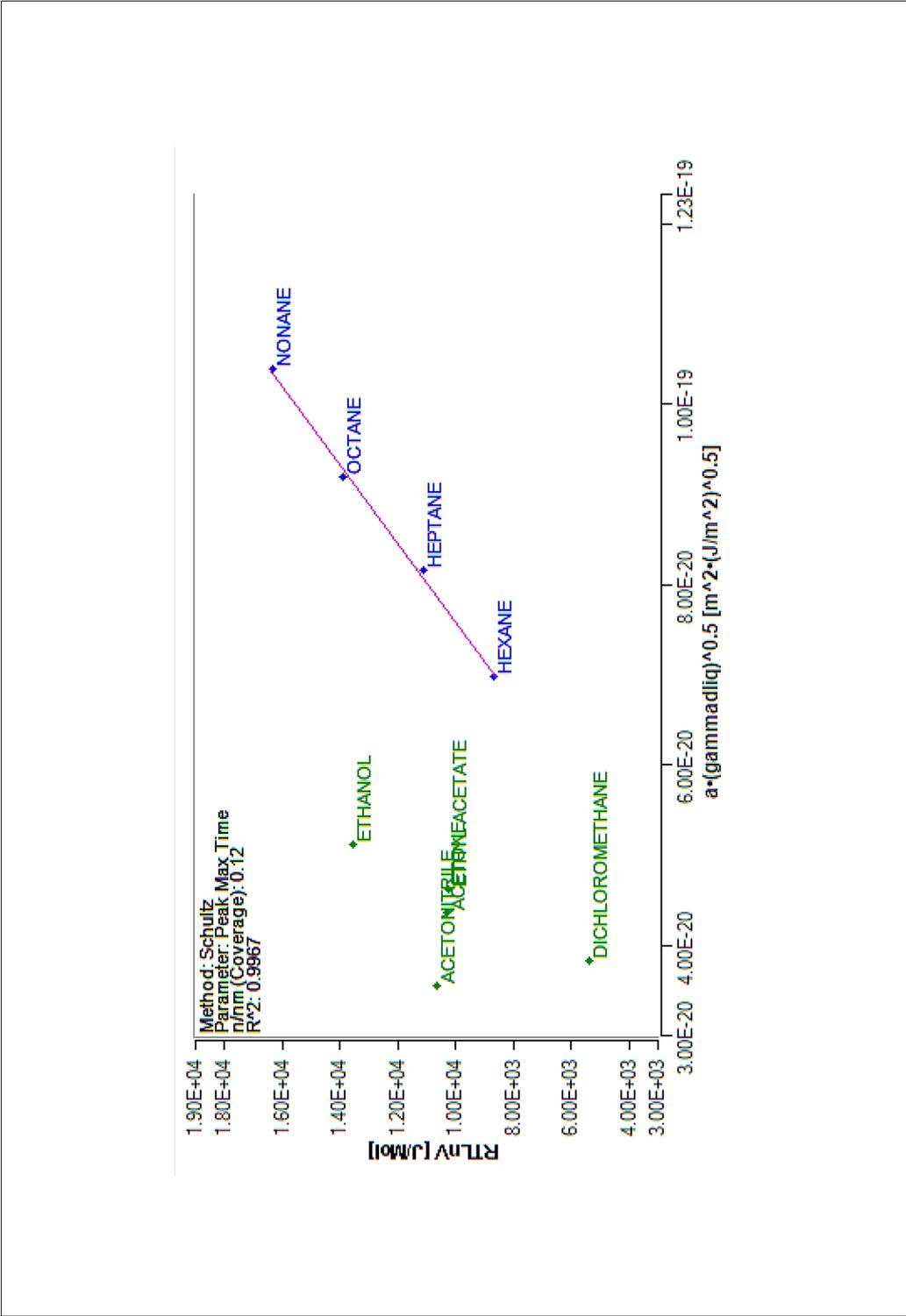


Abbildung 2: Ergebnis der Oberflächenanalyse eines kohlenstoffhaltigen Adsorbens

Prüfverfahren für Kühlmittelkühler

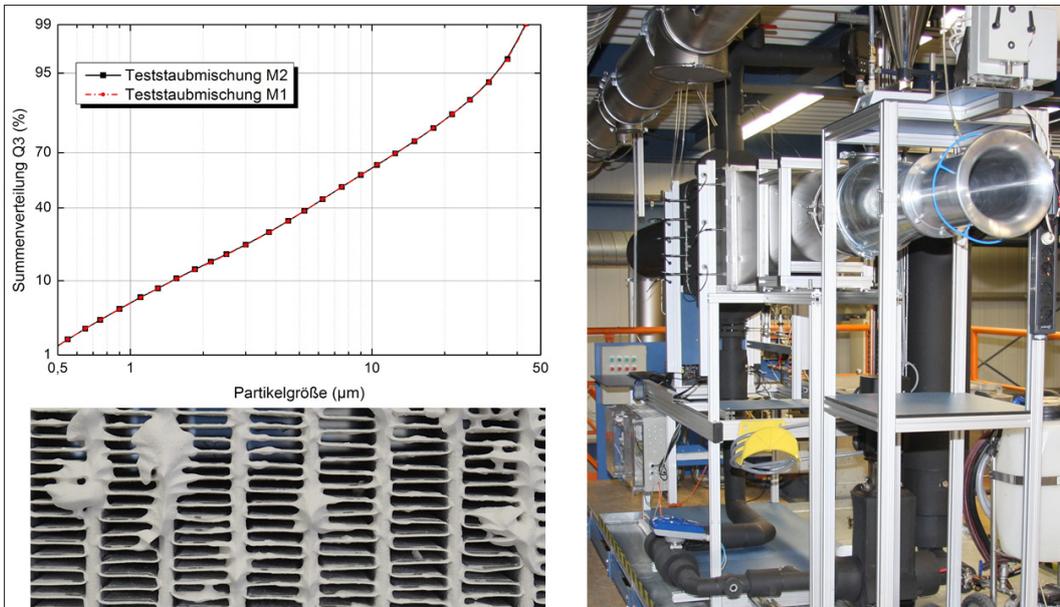


Abbildung 1: Prüfstand für luftseitige Kühlmittelkühler-Verschmutzung

Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen müssen wegen der hohen Temperaturen, die beim Verbrennen des Kraftstoffes entstehen, durch ein Motorkühlsystem gegen eine Überhitzung der Bauteile geschützt werden. Der Alterungsprozess mit der Verschmutzung von Kühlmittelkühlern (KMK) bewirkt eine Abnahme der Wärmeübertragung und eine Verringerung der Kühlleistung. Am Anfang kann das Kühlsystem durch erhöhte Massenströme und eine höhere Kühlmitteltemperatur dies noch ausgleichen. Der Preis hierfür ist ein erhöhter Energiebedarf und ein größerer Kraftstoffverbrauch mit erhöhter Schadstoffemission. Mit zunehmender Verschmutzung wird dann ein Arbeitspunkt am Kühlsystem erreicht, der nicht mehr für eine ausreichende Motorkühlung sorgt. Ziel des Vorhabens war die Entwicklung, der Bau und die Erprobung einer Vorrichtung zur Simulation, Charakterisierung und Bewertung von verschiedenen Betriebszuständen (Alterungszuständen) für die Luftseite des KMK. Die Simulation des Alterungszustands, der sich als Verschmutzung der Kühlflächen darstellt, ist innovativ durch einen komplexen Bestäubungsvorgang zu realisieren. Sowohl Vorrichtung als auch Simulationsvorgang soll unter definierten und reproduzierba-

ren Prüfbedingungen arbeiten. Die Nachbildung der Alterungszustände war praxisrelevant, zeit- und kostenmoderat zu gestalten.

Im Ergebnis wurden eine Vorrichtung und ein Verfahren entwickelt, welche praxisnah und reproduzierbar die luftseitige Verschmutzung und das dadurch veränderte Wärmeübertragungsverhalten von KMK abbildet. Es können bereits geringste Veränderungen des Wärmeübertragungsverhaltens unterhalb von 1 % detektiert werden. Dies setzt allerdings eine präzise Kalibrierung der MSR-Technik voraus. Für den Bestäubungsvorgang wurde aus der Analyse von Kühlern, welche ca. 1 Mio. km in Nutzfahrzeugen auf der Straße unterwegs waren, eine äquivalente Staubmischung für die luftseitige Verschmutzung entwickelt. Dabei wurden auch die Dosier- und Dispergierparameter so bestimmt, dass eine Einlagerung des Staubes nicht nur auf der Anströmfläche des KMK erfolgt, sondern in der Tiefe auch Ablagerungen erfolgen.

Dies wurde auch durch eine Vielzahl von staubtechnischen Analysen flankiert und nachgewiesen. Die auf Basis der Messungen gewonnen Erkenntnisse kön-

nen von den Unternehmen direkt in die Serienentwicklung überführt werden.

In der letzten Zeit hat sich der Fokus der Nutzung etwas verschoben; auf Grund der industriepolitischen Entwicklungen der letzten zwei Jahre werden Entwicklungen im PKW-Bereich mit Verbrennungsmoto-

ren nicht mehr so forciert betrachtet. Dagegen hat sich ein weiterer Nutzungsbereich der Ergebnisse auf dem Gebiet der Wärmeübertrager für die Luft- und Kältetechnik eröffnet. Die Bestrebungen der Ergebnisnutzung im Bereich der Nutzfahrzeuge und Baumaschinen sind nach wie vor aktuell.

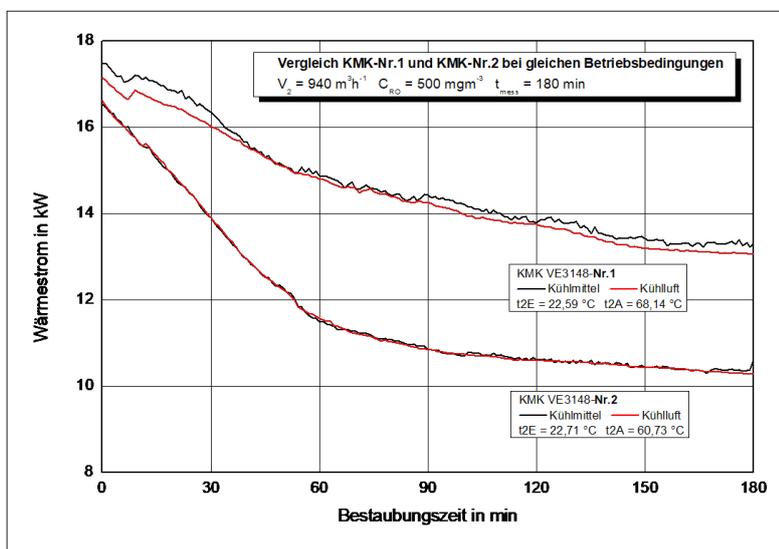
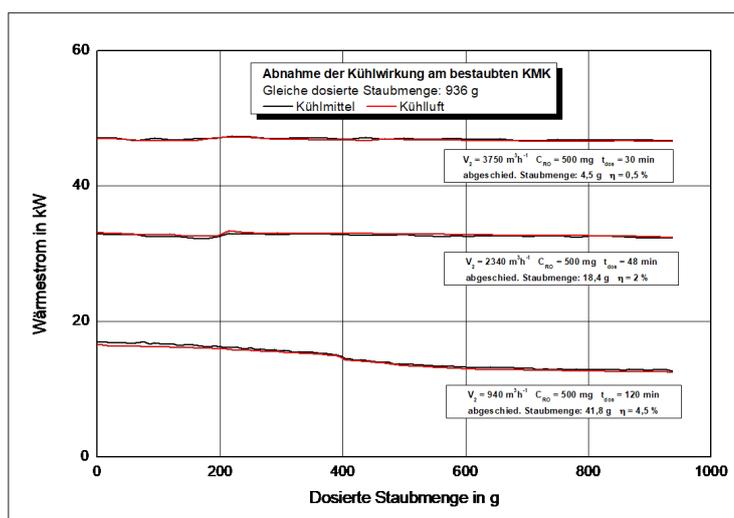


Abbildung 2: Abnahme der Wärmeübertragung durch Staubeinlagerung bei unterschiedlichen Geometrien

Abbildung 3: Wärmeübertragungsverhalten als Funktion von Staubeinlagerung und Strömung



Entwicklung eines Prüfverfahrens und einer Prüfvorrichtung für Klassifizierung von Filterelementen

Durch die ständig steigenden Anforderungen an Produkte unseres täglichen Lebens bezüglich deren Leistungsparameter und des Energieverbrauches kommen immer mehr neue Materialien zum Einsatz. Die während der Produktion entstehenden Nebenprodukte und die Wertstoffe nach ihrer Lebenszeit sind entsprechend weiter zu behandeln und werden zum Teil recycelt, thermisch verwertet oder deponiert. Hierbei liegen entsprechend viele Materialien vermischt vor. Bei ihrer Verarbeitung treten daher häufig Luftverunreinigungen (Stäube, Gase, Mikroorganismen, Pilzsporen) auf, deren Zusammensetzung und somit deren Auswirkungen auf Mensch und Natur nicht bekannt sind. Zu deren Schutz werden diese Prozesse in der Regel in geschlossenen Räumlichkeiten umgesetzt. Die Arbeitskräfte vor Ort sind allerdings durch entsprechende Maßnahmen vor gesundheitlichen Schäden zu schützen.

Ziel des Vorhabens ist es, ein Prüfverfahren zu entwickeln, mit welchem sich die Prüfung von Filterelementen für solche Schutzkabinen reproduzierbar und sinnvoll durchführen lässt. Basis dieses Prüfverfahrens müssen dabei die Forderungen der Berufsgenossenschaften sein. Eine Prüfung mit diesem Prüfverfahren muss es erlauben, eine produktionsbegleitende Qua-

litätssicherung bei der Herstellung der Filterelemente zu gewährleisten.

In den letzten Jahren stiegen bereits die Anfragen zu Untersuchungen von Filter- und Adsorptionsmedien. Im Juli 2010 trat die Prüfnorm DIN EN 15695-2 in Kraft. Dieser Standard regelt die Vorschriften für die Prüfung für Filterelemente für Kabinen landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge und wird derzeit erneut überarbeitet. Bereits die Durchführung dieser Prüfungen ist mit der derzeitigen verfügbaren Prüftechnik nicht möglich, ohne dass diese entsprechend weiter entwickelt und aufgerüstet wird. Dabei sieht diese Prüfung bezüglich der Gasadsorption ausschließlich eine Untersuchung mit dem organischen Prüfgas Zyklohexan vor.

Neu hinzukommen nun die Forderungen nach Prüfungen von Filterelementen für die Bau- und Spezialmaschinen. Eine Prüfnorm für solche Untersuchungen ist derzeit noch nicht verfügbar. Es existiert lediglich die Handlungsanweisung 581 der BG Bau /1/, welche wiederum auf die Prüfnorm DIN EN 14387 /4/ der Atemschutztechnik verweist. Zudem können die hierfür nahestehenden weiteren Normendokumente, die EN 143 /2/ und die DIN EN 12941 /3/, herangezogen werden.



Abbildung 1: Radlader im Deponiewesen im Einsatz

Ingenieurdienstleistungen für die Industrie – Untersuchungen zum Emissionsverhalten bei der Anwendung von Laser-Bearbeitungsverfahren

Viele Prozesse sind mittlerweile neben dem Laserschneiden von Interesse, wobei meist das Emissionsspektrum unbekannt ist. Immer ist die entstehende Partikelgröße den sogenannten ultrafeinen Stäuben zuzurechnen, für die ein Minimierungsgebot in der Produktionsumgebung gilt. Dies sind Abtrag- und Reinigungsprozesse, Gravuren und Oberflächenbearbeitung. Durch das ILK Dresden wurden hier in einer Anzahl von Messungen die Emissionen von Laserprozessen bestimmt.



Abbildung 1:
Versuchsaufbau zur Bestimmung der Laser-Emissionen

Für die Messungen müssen geeignete Messgeräte eingesetzt werden, welche eine Detektion der Gase und Partikel in dem erwarteten Größenbereich ermöglichen.

Im Ergebnis können Emissionsfaktoren ermittelt werden, welche eine Gefährdungsbeurteilung und eine Auslegung von Absauganlagen ermöglichen.

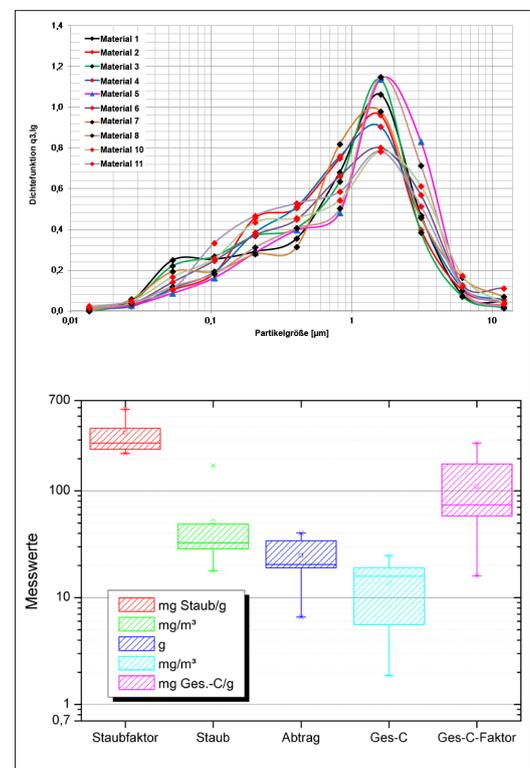


Abbildung 2:
Beispielhafte Ergebnisse für einen Reinigungsprozess

PCM-Kaminspeicher

Mit dem FuE-Vorhaben bewegt sich das ILK Dresden auf dem Sektor der Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich der Speichertechnologien. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Speichers für Einzelraumfeuerungen, welcher neben den üblichen, sensiblen Wärmeanteilen auch latente Wärmeanteile speichert. Einzelraumfeuerungen wie Kaminöfen mit Glasscheibe sind bei Anwendern auf Grund der guten Wärmeentfaltung, einfachen Bedienung und Sichtbarkeit der Flammen beliebt. Ein Nachteil ist jedoch die Diskrepanz zwischen dem meist nur durchschnittlichen Wärmebedarf im Raum gegenüber der recht hohen Wärmeleistung der Feuerstätten bei sauberer Verbrennung. Um dem Rechnung zu tragen, soll ein Teil der Wärme im Speicher eingelagert und bedarfsgerecht wieder abgegeben werden.

Bisherige Ergebnisse

Nach einer Evaluierung der bau- und anwendertechnischen Erfordernisse erfolgte eine Vorauswahl des PCM und die Entwicklung verschiedener Möglichkeiten, einen solchen Speicher in ein Kamin-Baukastenmodell zu integrieren. Dabei sind die chemisch-physikalischen Randbedingungen für den Einsatz des PCM, vor allem bei den sehr heißen Oberflächen des Kamins (siehe Abb. 1), zu berücksichtigen gewesen. Gleichzeitig muss auch eine entsprechende Ladeleistung aufgebaut werden, um den Speicher möglichst in der Anwendungsdauer von etwa 4 Stunden aufladen zu können. Dafür muss die über die Kaminoberfläche in Form von Strahlung und Konvektion abgegebene Wärmeenergie so genutzt werden, dass etwa 50 % der Feuerungsleistung (ca. 8 kW) in den Speicher eingelagert werden können. Die so gespeicherte Energiemenge wird ca. 3 - 6 kWh betragen.

Neben der eigentlichen Speicherbaugruppe steht aber auch das PCM selbst für den Anwendungsfall im Focus der Entwicklung. Dies betrifft seine Eigenschaften Zyklusstabilität sowie chemisch-physikalische Alterung, und schlägt sich u. a. auch im wärmetechnischen Verhalten nieder (Abb. 2). Hier wurden bereits gute Fortschritte durch eine hermetische Abtrennung sowie Mischungsverhältnisse mit Wasser erreicht.

Nach dem positiven Abschluss der Entwicklung steht den Partnern eine Entwicklung zur Verfügung, mit wel-

cher der Gebrauchswert und die energieökologischen Vorteile einer Kaminfeuerstätte für die Raumbeheizung nochmals deutlich gesteigert werden können.

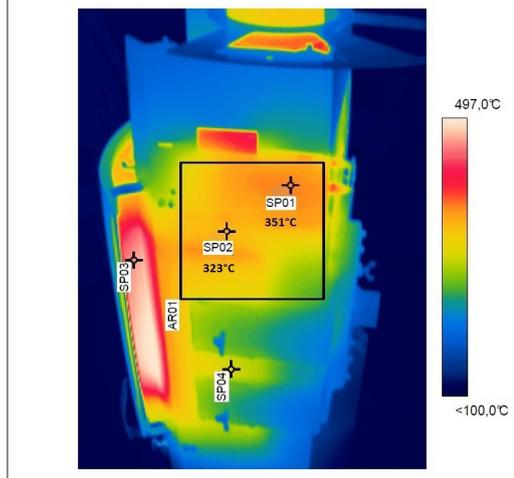


Abbildung 1: Kamin im Versuch mit Kleinspeicher (o.), Wärmebild eines heißen Kamins (u.)

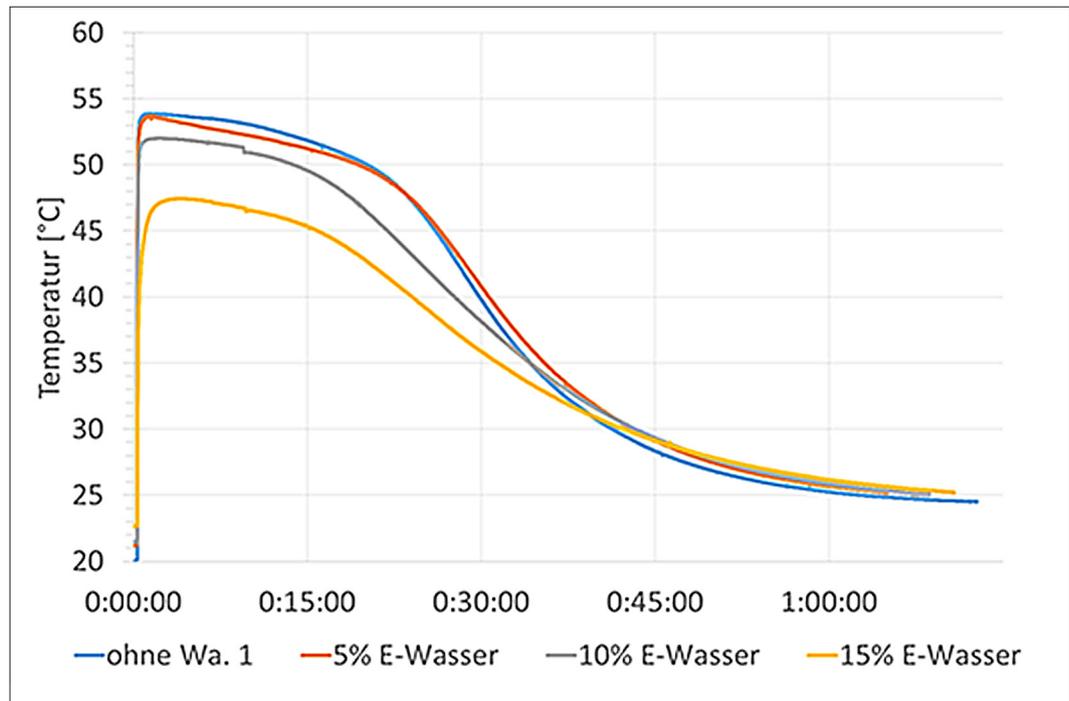


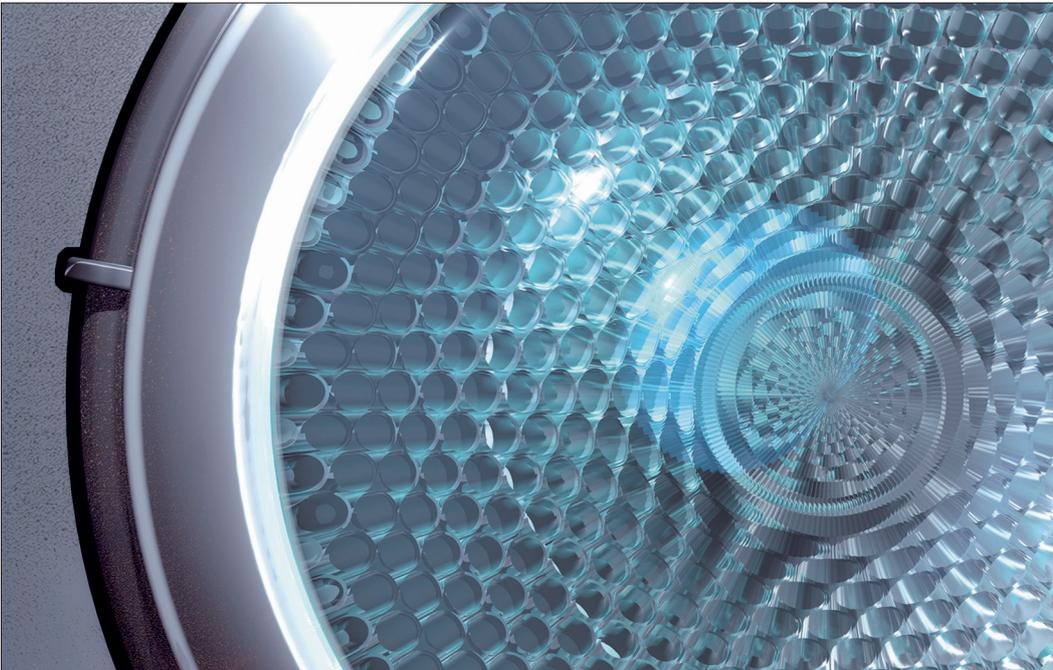
Abbildung 2: Wärmetechnisches Verhalten bei verschiedenen Zusammensetzungen des PCM

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



CONTECT-R	78
Prüfleck für Formiergas-Lecksuchgeräte	79
EnBeKa II - Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen II	80
FuE-Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik 2017	82
Korrosionsinhibitor für H ₂ O-LiBr-Absorptionskälteanlagen	84
N ₂ O (Lachgas) als Ersatzkältemittel für R-23	86
MetPCM – Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher	88
Kombinierte Wasserbad-Hüllen-Dichtheitsprüfung	90

CONTECT-R



Inhalt und Ziel des Gesamtvorhabens CONTECT® R ist die Entwicklung einer neuen Generation hochselektiver, photoakustischer Reinheitsdetektoren und deren demonstrativer Anwendung in innovativen Analysegeräten zur Feststellung der Kältemittelreinheit für die Kältemittel R1234yf und R134a sowie weiterer Gasmischungen.

Im Teilvorhaben des ILK erfolgen dazu Beständigkeitsuntersuchungen (künstliche Alterung) der für das Analysegerät vorgesehenen Materialien und Komponenten zusammen mit Kältemittel und ggf. relevanten Verunreinigungen und Kältemaschinenöl in Autoklaven unter erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur, um Aussagen zur Langzeitstabilität der Werkstoffe im geplanten Einsatz zu erhalten. Ein wichtiger Teilaspekt sind dabei Untersuchungen zu Auswirkungen

von im Kältekreislauf im Betrieb entstehenden und damit in den Proben enthaltenen Abbauprodukten des R1234yf, insbesondere von Flußsäure (HF) auf Glasdurchführungen (Dichtheit) und ggf. Fenstermaterialien (Trübung). Außerdem werden am ILK die zum Vergleich mit dem Detektor notwendigen Referenzanalysen (mittels GC-MS) durchgeführt, definierte Kältemittel-Gemische für Versuche bei den Projektpartnern hergestellt sowie die im Feld in R1234yf- und in R134a-Proben gefundene Kältemittelverunreinigungen erfasst und bezüglich ihrer Relevanz für das Vorhaben bewertet.

Die bisherigen Beständigkeitsuntersuchungen haben die prinzipielle Eignung der vorgesehenen Materialien gezeigt, so dass durch die Partner nunmehr erste Demonstratoren gebaut werden können.

Prüfleck für Formiergas-Lecksuchgeräte

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines kostengünstigen, einfach handhabbaren und technisch sicheren Prüflecks für die regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit von mobilen und stationären Lecksuchgeräten für Formiergas.

Die Dichtheit einer Kälteanlage ist eines ihrer wesentlichen Qualitätsmerkmale. Aus technischen, ökonomischen, ökologischen und rechtlichen Gründen darf das Kältemittel nicht aus der Anlage entweichen. Mit der am 9. Juni 2014 in Kraft getretenen und ab dem 1. Januar 2015 gültigen neuen F-Gase Verordnung wurden und werden die Regeln für (periodische) Dichtheitskontrollen von Kälteanlagen deutlich verschärft.

Regelmäßige Dichtheitsprüfungen sind bereits ab einer Füllmenge von ≥ 5 t CO₂-Äquivalent vorgeschrieben, dies entspricht einer Füllung von lediglich 3,5 kg R134a oder 1,3 kg R404A.

Die vorgegebenen Intervalle für die Dichtheitskontrollen schwanken dabei je nach CO₂-Äquivalent der Kältemittelfüllmenge zwischen 3 Monaten und 2 Jahren. Hinzu kommt, dass gemäß E-DIN EN 378-2 (2014) Kälteanlagen mit einer Füllmenge > 5 kg (CO₂-Äquivalent) nicht mit Kältemittel auf Dichtheit geprüft werden. Für diese Anwendungsfälle kommen daher nur Prüfgasverfahren in Betracht.

Formiergas, ein Gemisch aus 5 % Wasserstoff und 95 % Stickstoff, ist das für die Lecksuche und Dichtheitsprüfung in der Kältetechnik am häufigsten eingesetzte Prüfgas.

In der Praxis werden zur Lecksuche und Dichtheitsprüfung von Kälteanlagen dabei meist mobile elektronische Lecksuchgeräte eingesetzt. Diese verfügen im Gegensatz zu vielen größeren stationären Geräten über keine interne Funktionskontrolle, um vor der eigentlichen Lecksuche die korrekte Funktionsfähigkeit des Gerätes sicherzustellen.

Im Bereich der mobilen Lecksuchgeräte für Kältemittel haben sich für eine regelmäßige Funktionskontrolle seit vielen Jahren einfach zu handhabende, preiswerte Prüflecks mit einer äquivalenten R134a-Leckrate von 5 bzw. 30 g/a bewährt, welche ebenfalls am ILK entwickelt

wurden und erfolgreich vermarktet werden. Ziel des aktuellen Projekts ist die Entwicklung eines Prüflecks mit einer Leckrate von 2,5 g/a bzw. 5 g/a Formiergas.

Für die Umsetzung werden drei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten zur Speicherung bzw. Erzeugung und der anschließenden kontrollierten Freisetzung von Wasserstoff betrachtet.

Neben dem Einsatz kleiner Druckminderer an einem gasförmigen Wasserstoffvorrat in Verbindung mit Kapillaren oder Sintermetallkörpern (Variante 1) werden verschiedene chemische Reaktionen (Variante 2) sowie Elektrolyseverfahren (Variante 3) für die „on-demand“ Erzeugung von Wasserstoff hinsichtlich ihrer Eignung für ein solches Prüfleck untersucht.

Für die Elektrolyse wurden zahlreiche Elektrodenmaterialien überprüft (z.B. Graphit, Edelstahl, Platin) und der Einfluss der elektrischen Parameter auf die Wasserstoffentstehung mit dem Ziel einer Steuerung der Reaktion für eine möglichst genaue, reproduzierbare Einstellung der entstehenden Wasserstoffmenge. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Wasserstoff- und Sauerstoffbildung an zwei Graphitelektroden.



Abbildung 1: Entstehung von Sauerstoff (links) und Wasserstoff (rechts) an zwei Graphitelektroden

EnBeKa II – Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen II

Das Verbundprojekt EnBeKa II ist ein Forschungsprojekt von 4 Projektpartnern, zwei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und zwei Forschungseinrichtungen. Die Projektpartner haben in einem ersten Schritt („Phase 1“) in einem vorherigen Forschungsprojekt „EnBeKa - Energieeffizienz und optimierte Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen“ (Oktober 2012 - Juli 2016) bereits wertvolle Grundlagen erarbeitet und die Basis für die Anwendung neuer Methoden zur Energieeffizienzbewertung und zur Anlagen diagnose geschaffen, die im aktuellen Projekt weiter vertieft werden sollen.

Das Potenzial durch den Einsatz eines intelligenten Anlagen- und Energie-Monitorings Einsparungen im Betrieb gewerblicher Kälteanlagen zu erlangen, ist sowohl beim Energieverbrauch als auch beim Personaleinsatz als sehr hoch einzuschätzen. In der Literatur werden Einsparpotenziale durch Systemoptimierungen im Bereich der Kühlung von bis zu 10 % und durch verbesserte Wartungs- und Betriebsmaßnahmen nochmals mit 8 % Energieeinsparung prognostiziert. Allerdings werden sehr oft weder Energieeffizienz noch der Zustand von Kälteanlagen ermittelt oder kontinuierlich überwacht. Bei auftretenden Störungen an gewerblichen Kälteanlagen ist der Personaleinsatz für die Behebung von Service- und Fehlermeldungen sehr hoch, insbesondere bei der großen Anzahl an Filialen bei Discountern und Filialisten im Einzelhandel. Oft sind Serviceeinsätze notwendig, die durch lange Anfahrtsstrecken auch mit hohen CO₂-Emissionen verbunden sind.

Die Ausstattung der Anlagen im Feld mit Messtechnik ist entsprechend der im Projekt EnBeKa I gesammelten Erfahrungen sehr unterschiedlich ausgeprägt und oft auf ein Minimum reduziert. Auch das Monitoring ist sehr individuell und stark herstellerepezifisch.

Basierend auf Prozessdaten von in Betrieb befindlicher gewerblicher Kälteanlagen wurden im vorangegangenen Projekt Anlagendaten ausgewertet und Methoden entwickelt, um ein kontinuierliches Monitoring mit Fokus auf eine kontextbezogene Anlagendiagnose zu ermöglichen. An ersten Fallbeispielen wurden diese Methoden der Musterklassifizierung erprobt und zur Fehlerdiagnose angewendet.

EnBeKa II baut auf diesen Ergebnissen auf mit dem Ziel höherwertige Fehlerdiagnoseverfahren zu integrieren (Teilprojekt des ILK: Fehlererkennung und Diagnose). Hierbei ergänzt das ILK die bestehende Musterklassifikation um Neuronale Netze. Ziel ist es, unter Nutzung dieser Fehlererkennungs- und Prognoseverfahren ein prädiktives Monitoring zu ermöglichen. Dem späteren Anwender soll ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, den derzeitigen hohen Wartungs- und Serviceaufwand zur Behebung von Anlagenstörungen anhand automatisierter Prozesse und verbesserter Geschäftsprozesse zu verringern. Ziel ist es, unnötige Service-Einsätze zu vermeiden und Wartungstermine planbar zu machen. Dazu werden im Rahmen des Verbundprojektes durch die Partner nachfolgende Teilziele bearbeitet:

- Kontinuierliche und automatisierte Fehlererkennung und Diagnose
- Fehlerdiagnose mit selbstlernenden Verfahren (z. B. Künstliche Neuronale Netze)
- Entwicklung prognosebasierter Optimierungsverfahren für Serviceeinsätze
- Entwicklung eines Service- und Diagnosetools

Das Forschungsprojekt EnBeKa II zielt auf die kontinuierliche Überwachung von gewerblichen Kälteanlagen zur Vermeidung von Störungen und die dauerhafte Senkung des Energieverbrauchs der Anlagen ab.

FuE-Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik 2017



Das ILK gehört zu den führenden Forschungsinstituten im Bereich der Luft- und Kältetechnik, sowohl bei der Analyse der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Kältemitteln, Kältemaschinenölen und deren Gemischen als auch bei den in Kälteanlagen eingesetzten Materialien und Werkstoffen. In den Laboren des Hauptbereichs „Angewandte Werkstofftechnik“ liegt ein Schwerpunkt im Bereich der Erforschung von Werkstoffen für Kälteanwendungen, deren mechanische, chemische und physikalische Eigenschaften und dem Zusammenspiel mit Kältemittel-Öl-Gemischen. Da die im Kältekreislauf eingesetzten Werkstoffe zum Teil extremen Bedingungen (Temperatur, Druck, korrosive Arbeitsfluide) ausgesetzt sind, ist deren Langzeitstabilität vor dem Einsatz kritisch zu überprüfen. Dabei werden nicht nur Materialproben in Hochdruckautoklaven unter erhöhten Temperaturen unter dem Einfluss von Kältemittel-Öl-Gemischen ausgelagert und künstlich gealtert, sondern auch ganze Kälteanlagen und die darin enthaltenen Komponenten (z. B. Verdichter, Wärmeübertrager, etc.) kritisch hinsichtlich Verschleiß, Korrosion und Materialermüdung untersucht. Die werkstoffwissenschaftlichen Untersu-

chungen sind hierbei teils hochkomplex und benötigen eine entsprechend gute apparative Ausstattung.

Das ILK fokussiert sich dabei auf die Erforschung und den Einsatz neuer Low-GWP Kältemittel (insbesondere im Zusammenhang mit der F-Gase-Verordnung), der zugehörigen Schmierstoffe (Öle, halogenierte Arbeitsfluide) und neuer Werkstoffe für die stationäre und mobile Kältetechnik. Eine möglichst genaue Überwachung der chemischthermischen Beständigkeit dieser neuen Arbeitsfluide und Werkstoffe in Kombination mit einem erweiterten Temperatur- oder Druckbereich wird hierbei vorausgesetzt. Speziell für den Dauerbetrieb von Kälteanlagen müssen die Arbeitsfluide genauestens auf Zusammensetzung und Langzeitstabilität analysiert und geprüft werden.

Neben möglichen metallischen Ablagerungen, Korrosionsprodukten sowie dem Wasser- und Säuregehalt geben vor allem auch die chemischthermischen Zersetzungs- und Alterungsprodukte der eingesetzten Kältemittel-Öl-Gemische einen Hinweis auf den Zustand der Kälteanlage. Viele dieser Zersetzungspro-

dukte liegen in unterschiedlichen Aggregatzuständen (gasförmig, fest oder flüssig) vor. Sie lassen sich nicht ohne weiteres nachweisen und benötigen daher sehr empfindliche, jedoch gleichzeitig auch robuste und reproduzierbare Nachweismethoden. Die flüssigen und festen Abbauprodukte lassen sich in der Regel ionenchromatographisch oder mittels HPLC oder ATR-IR nachweisen. Einige flüssige Stoffe sowie die gasförmigen Zersetzungsprodukte liegen oft nur im Spurenbereich vor und benötigen zur Analyse daher empfindliche gaschromatographische Methoden und die passenden Detektoren, wie einen Flammenionisations- (FID), einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) und ein Massenspektrometer (MS).

Im Jahr 2017 wurden mehrere Laborgerätschaften neu angeschafft, darunter eine „Analysestation Gasanalyse“ bestehend aus einem Gaschromatographen Agilent 7890B mit einem Massendetektor, einem FID sowie einem WLD inklusive kompaktem Autosampler. Durch das neue System konnte die Nachweisgrenze und die Auflösung auch kleinster Verunreinigungen in Kältemitteln und Kältemaschinenölen (Gasraum)

deutlich verbessert werden. Die Ausstattung des Werkstoff- und Metallographie-Labors wurde grundlegend erneuert und entspricht so wieder aktuellsten Anforderungen. Mit den neuen Geräten (Labotom Nasstrennschleifmaschine, CitoVac Vakuuminprägniergerät, LaboPol-30 Schleif- und Poliermaschine und DuraScan-70 G5 Mikro/Kleinkraft-Härteprüfmaschine) und einem Probenschrank aus Acryl/Alu wird eine deutlich verbesserte werkstoffwissenschaftliche Konditionierung, Präparation, Bearbeitung und Auswertung von Materialproben erreicht und bestehende sowie neue Forschungsprojekte können nach dem Stand der Technik bearbeitet werden.

Die hohe Qualität des physikalisch-chemischen Laboratoriums und der ermittelten Analyseergebnisse wird durch die regelmäßige Teilnahme an öffentlichen Ringversuchen überprüft und sichergestellt. Auch die seit Anfang 2016 bestehende Akkreditierung des Laboratoriums als amtliche Prüfstelle über die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) ist ein weiterer Qualitätsnachweis.

Korrosionsinhibitor für H₂O-LiBr-Absorptionskälteanlagen

Zielstellung

Eine Herausforderung beim Betrieb von Absorptionskältemaschinen (AKA) ist die Verhinderung der Korrosion an in den Anlagen verbauten Materialien wie z. B. Schwarzstahl, Edelstahl und Kupfer. Zur Verhinderung von Korrosion werden den Anlagen daher chemische Korrosionsinhibitoren zugesetzt. Als Standardinhibitor wurde in H₂O-LiBr-AKA in der Vergangenheit Lithiumchromat eingesetzt. Seit dem 21.09.2017 dürfen innerhalb der EU einige Chromatverbindungen nicht mehr eingesetzt werden. Das führte dazu, dass auch nach Ersatzstoffen für Lithiumchromat gesucht wurde. Jedoch sind die bisher gefundenen alternativen Inhibitoren mit Nachteilen behaftet oder auf dem freien Markt aus patentrechtlichen Gründen nicht verfügbar. Im Rahmen des Projektes soll daher ein hochwirksames und ökologisch unbedenkliches Korrosionsinhibitorpaket für H₂O-LiBr-AKA entwickelt und getestet werden. Außerdem soll die Inbetriebnahme von AKA einschließlich Konditionierung optimiert werden. Zur Vereinfachung der Wartung soll ein mobiles „Vor-Ort-Analyse-Set“ entwickelt werden, welches einfach zu handhaben ist und ohne chemische Vorkenntnisse verlässliche Aussagen über den aktuellen Zustand der Inhibierung der Anlage ermöglicht.

Ergebnisse Korrosionsinhibitorpaket

Innerhalb des Projektes wurden zwei neuartige wirksame Inhibitorpakete entwickelt. Die Vorauswahl der Chemikalien erfolgte durch elektrochemische Untersuchungsmethoden. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität-Bochum ein Verfahren entwickelt, welches Aussagen zur Verschiebung des Korrosionspotenzials in 54 %iger LiBr-Lösung unter Zusatz von Korrosionsinhibitoren erlaubt. Nach einer Vorauswahl erfolgten Auslagerungsexperimente im Labor des ILK Dresden. Für die Auslagerungen wurde eine Methode entwickelt, welche als Standard für den Test von Korrosionsinhibitoren in LiBr-Lösungen angesehen werden kann. Dabei werden die interessierenden Metalle und Lötwerkstoffe aus Absorptionsmaschinen in einem Probenkörper zusammengefasst und bei erhöhter Temperatur in der Lithiumbromidlösung unter Vakuum über 7 Tage ausgelagert. Danach wird der Fall eines Eingriffes in die Maschine simuliert, indem die Lösung abgegossen wird und die Metalle

1 Tag bei Raumtemperatur an Luft stehen. Die Lösung wird danach wieder zugegeben und es folgte eine erneute Auslagerung bei erhöhter Temperatur in der Lösung unter Vakuum über weitere 7 Tage, siehe Abbildung 1.

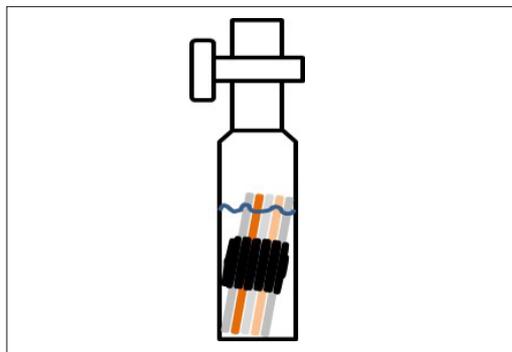


Abbildung 1: Auslagerung

Die so ausgelagerten Proben wurden gereinigt und danach auf Korrosion hin untersucht. Dazu wurden sowohl die Massenverluste bzw. -zunahmen gemessen als auch optische Verfahren angewandt, inkl. Elektronenstrahlmikroskopie (REM). In Abbildung 2 sieht man die REM-Aufnahme an einem Schnitt einer Kupferprobe sowie die Elementverteilung an der Oberfläche, welche mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) analysiert wurde. Für das entwickelte Inhibitorsystem aus Antimonmolybdaten konnte so die beginnende Schutzschichtbildung auf Kupferwerkstoffen nachgewiesen werden. Die zwei während des Projektes vom ILK entwickelten Inhibitorpakete wurden in Feldtests bei Partnern des Projektes erstmalig eingesetzt und zeigten positive Wirkung auf die Konzentration der Metallionen in der Lösung. Eines der beiden Inhibitorsysteme wurde beim Deutschen Patentamt zum Patent angemeldet.

Ergebnisse Vor-Ort-Analyseset

Für die Analyse der Wirksamkeit der Inhibitoren an den Absorptionskältemaschinen wurden leicht durchführbare Tests im Labor entwickelt. Hierzu war es notwendig, zunächst Feldanalysemethoden für Ionen in wässriger Lösung zu recherchieren. Im Labor wurden diese Analysemethoden dann für die zum reinen Wasser veränderte Umgebung einer hochprozentigen

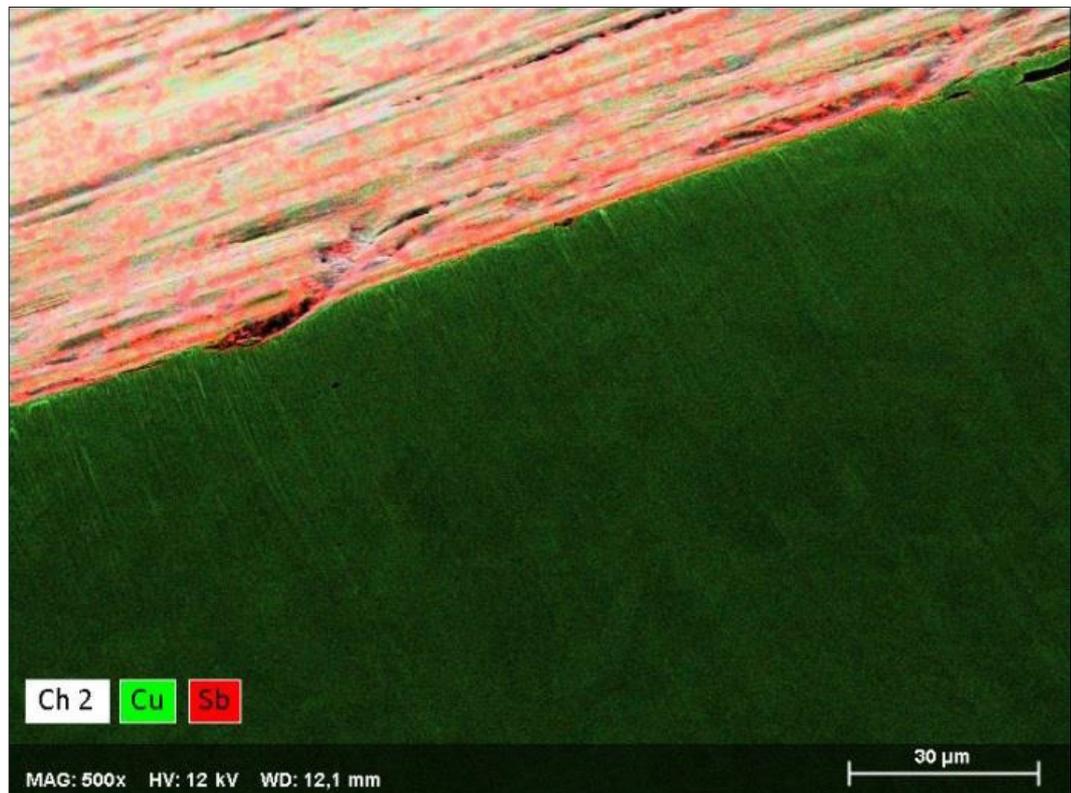


Abbildung 2: Nachweis einer Antimonschutzschicht auf Kupfermetall anhand von REM-EDX

Lithiumbromidlösung erprobt und entsprechend angepasst. Es steht nun ein Analysenset zur Verfügung, welches vor Ort die Bestimmung der Konzentration an Lithiumbromid, die Ermittlung des pH-Wertes, die Konzentration einiger Inhibitoren und die Konzentration an gelösten Metallen ermöglicht. Dadurch ist es möglich, schon an der Maschine selbst Anzeichen für beginnende Korrosion durch Analyse der Lösung zu

erkennen, ohne den Umweg über das Einschicken einer Lösungsprobe, die Analyse im Labor und einer erneuten Anreise bei Problemen gehen zu müssen. Weitere Projektinhalte, wie die Inbetriebnahme von AKA und die mögliche Verwendung eines Depots der Inhibitoren wurden innerhalb des Projektzeitraumes mit betrachtet.

N₂O (Lachgas) als Ersatzkältemittel für R-23

Das Forschungsvorhaben hat das Ziel, ein alternatives, natürliches und nichtbrennbares Kältemittel für den Einsatz zur Tieftemperaturkühlung unterhalb von -50 °C zu qualifizieren.

Das bisher genutzte Kältemittel R-23 besitzt einen sehr hohen GWP-Wert und ist auf dem europäischen Markt auf Grund der F-Gase-Verordnung nicht mehr in dem Maße verfügbar wie bisher. Dies führte in der letzten Zeit zu einem starken Preisanstieg für alle Kältemittel mit hohem GWP und damit auch für R-23.

Alternative Kältemittel für den Temperaturbereich, der von R-23 abgedeckt wird, gibt es bisher nur in Form von brennbaren Kältemitteln (Kohlenwasserstoffe). Diese sind jedoch für zahlreiche Anwendungen aus sicherheitstechnischen Gründen nicht geeignet.

Eine Alternative ist das nichtbrennbare und gleichzeitig natürliche Kältemittel N₂O (Distickstoffmonoxid, allgemein bekannt unter dem Namen Lachgas). N₂O besitzt für den kältetechnischen Einsatz vorteilhafte physikalische Eigenschaften. Seine volumetrische Kälteleistung liegt beispielsweise signifikant über der von R-23. Die Verbindung ist jedoch chemisch nur

bedingt stabil. Das heißt, oberhalb einer Temperatur von ca. 565 °C zersetzt sich N₂O bei Atmosphärendruck unter Freisetzung von Energie in Sauerstoff und Stickstoff. Da bei ansteigendem Druck die Zersetzungstemperatur sinkt, ist eine Verwendung von reinem N₂O in Kompressionskälteanlagen aus sicherheitstechnischer Sicht nicht vertretbar. Deshalb ist ein Gemisch aus N₂O und CO₂ vielversprechend, um die Stabilität des Kältemittels zu sichern und die Zersetzung des N₂O unter den Bedingungen einer Kälteanlage mit subkritischer Kühlkaskadenstufe zu unterbinden. Sinnvoll ist dabei ein möglichst kleiner CO₂-Anteil, da mit zunehmender CO₂-Konzentration auch die Verdampfungstemperatur steigt und somit der Einsatzbereich eingeschränkt würde.

Die minimale Konzentration der CO₂-Zumischung zum Lachgas wurde durch experimentelle Untersuchungen ermittelt. Dazu erfolgten Zersetzungsversuche in einem 10 l Hochdruck-Autoklav bei Temperatur- und Druckbedingungen, wie sie in einer unteren Kühlkaskadenstufe auftreten können. Die Konzentration von CO₂ in N₂O, bei der keine spontane Zersetzung (Zündung) bei 55 bar und 150 °C an einer Glühwendel mehr nachgewiesen werden konnte, zuzüglich einem

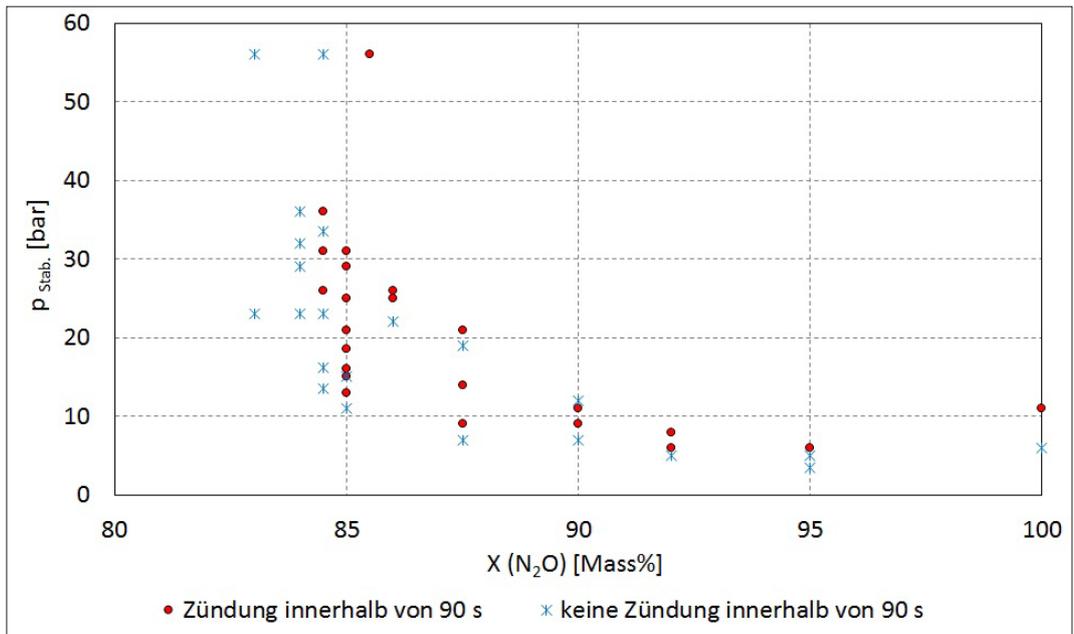


Abbildung 1: Stabilitätsgrenzdruck im System N₂O/CO₂ bei 150 °C

Konzentrations-Sicherheitszuschlag, ergab einen Anteil von 18 % CO₂ für das Kältemittelgemisch. In Abbildung 1 sind die Messergebnisse zu diesem Test dargestellt. Die Messungen erfolgten als Unterauftrag bei der IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH.

Da N₂O ein relativ starkes Oxidationsmittel ist, muss dies bei der Auswahl des Verdichterschmierstoffs berücksichtigt werden. Bisherige Kältemaschinenöle sind für die Anwendung nicht geeignet. Somit erfolgte die Auswahl eines gegenüber N₂O inerten Perfluorpolyethers mit einer für Kältemittel-Hubkolbenverdichtern erforderlichen Viskosität.

Neben der Untersuchung physikalischer und mischphasen-thermodynamischer Eigenschaften des Kältemittels (N₂O/CO₂) im Gemisch mit dem Schmierstoff erfolgten auch tribologische Tests an einem Almen-Wieland-Prüfstand sowie Verträglichkeitsuntersuchungen mit Werkstoffen.

Nach Aufbau eines Kältekreislaufs, bei dem eine untere Kältemittelkaskadenstufe mittels eines geeigneten Hubkolbenverdichters aufgebaut wurde, konnten erste Abkühltests mit dem Kältemittelgemisch experimentell

vorgenommen werden. Eine gemessene Abkühlkurve ist in Abbildung 2 dargestellt und demonstriert die Möglichkeit, Verdampfungstemperaturen von -80 °C mit diesem Kältemittelgemisch zu erreichen.

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

- Reaktionsverhalten von N₂O unter erhöhten Temperatur- und Druckbedingungen wie sie in Tieftemperatur-Kältekreisläufen anzutreffen sind.
- Erweiterung der messtechnischen Untersuchungsmöglichkeiten für oxidierende Arbeitsstoffe (Gemische aus N₂O und CO₂) und Perfluorpolyether als Verdichterschmierstoff.
- Erfahrung bei der Nutzung von Perfluorpolyether als Kältemaschinenschmierstoff in Hubkolbenverdichtern.
- Auslegung von Kältekreisläufen mit einem N₂O/CO₂ Gemisch als Arbeitsfluid.
- Aufbau einer unteren Kühl-Kaskadenstufe zur Erzielung von tiefen Temperaturen bis zu -80 °C.

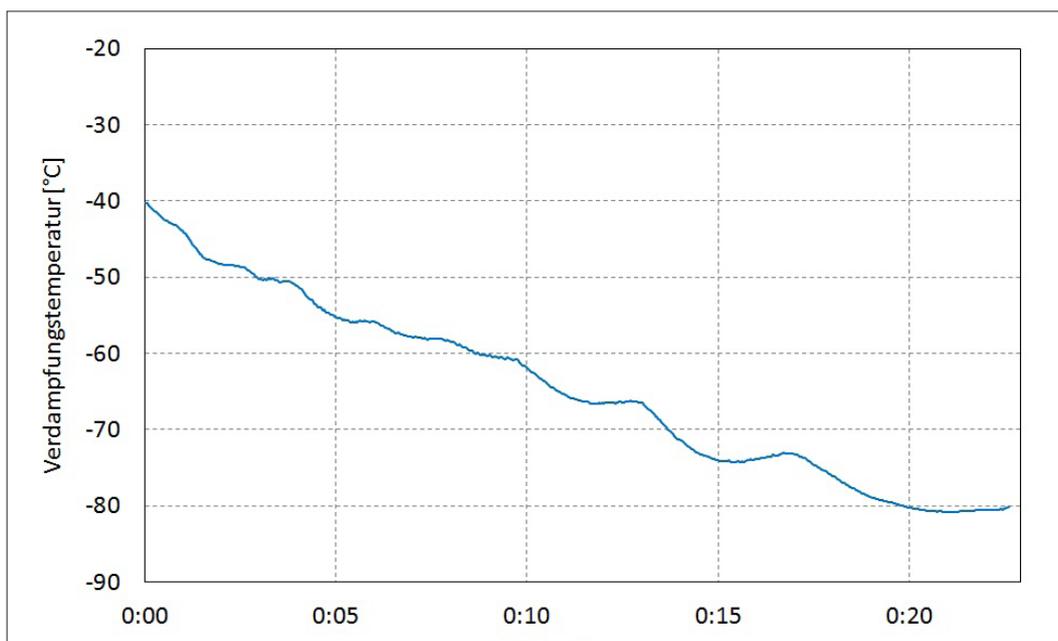


Abbildung 2: Messdaten-Aufzeichnungskurve zur Verdampfungstemperatur

MetPCM – Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher

Das Ziel des Projektes „MetPCM - Mesoskalige, metallverkapselte Hochtemperatur-PCM für dynamische Wärmespeicher“ bestand darin, einen wesentlichen Beitrag auf dem Gebiet der thermischen Speicher- und Transporttechnologien für einen Temperaturbereich zwischen 130 °C und 350 °C zu leisten. Damit konzentrierte sich die im Projekt geplante Technologieentwicklung auf einen Bereich von Prozesswärmemetemperaturen, für den es trotz hohen wärmetechnischen Potenzials noch keine ausreichend effizienten Wärmespeicher- und Wärmetransporttechnologien gibt.

Die wissenschaftlich-technischen Ziele des Vorhabens waren die Entwicklung thermischer Hochleistungs-Speicherkapseln im Millimeter-Bereich auf der Basis PCM-gefüllter metallischer Hohlkugeln. Im angestrebten Temperaturbereich kommen Salze und Salzmischungen als PCM zum Einsatz. Die Speicherkapseln stellen hinsichtlich Abmessung, Temperaturbereich und Speicherdichte ein absolutes Novum dar und wurden im Projekt für zwei grundlegend unter-

im Mittelpunkt. Es wurden thermische Eigenschaften von möglichen PCM untersucht und ausgewertet. Im Fokus standen Schmelz-/Erstarrungstemperaturen von 130 °C bis 350 °C, wobei die Salze Kaliumnitrat, Natriumnitrat, Lithiumnitrat und deren eutektische Gemische sich als besonders geeignet erwiesen und diesen Bereich gut abdecken. Die thermischen Eigenschaften wurden mit der T-History-Methode untersucht. Das Diagramm zeigt ein Beispiel einer typischen Temperatur-Zeit-Kurve einer untersuchten Probe.

Der Vorteil gegenüber einer DSC-Untersuchung ist die wesentlich größere und damit repräsentativere Probenmenge im Bereich von ca. 20 ml. Für die ausgewählten PCM LiNO_3 , NaNO_3 und KNO_3 sowie deren eutektische Gemische wurden gute Eigenschaften im geplanten Temperaturbereich nachgewiesen.

Für die Materialauswahl der Hohlkugel wurden Sinterfolien angefertigt und in Verbindung mit den Nitraten

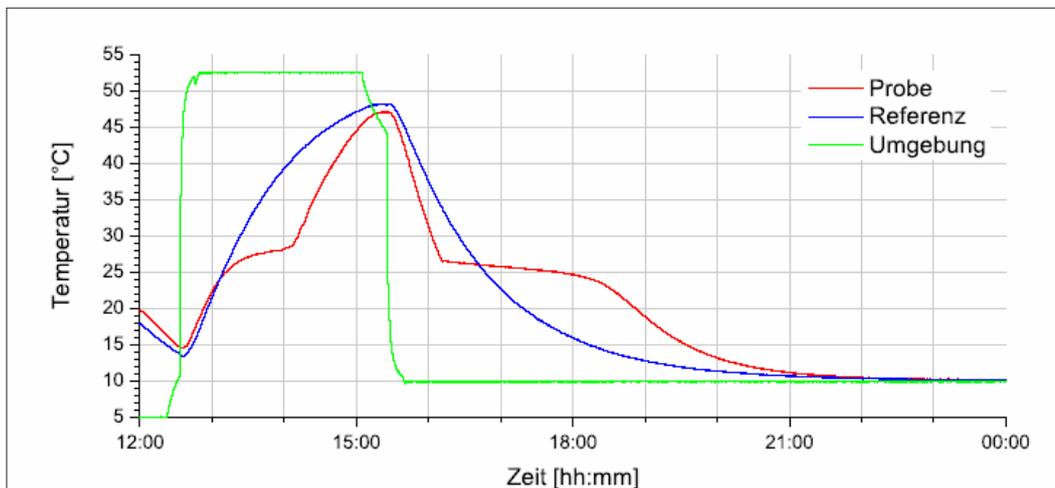


Abbildung 1: Temperatur-Zeit-Kurve einer T-History-Messung

schiedliche Anwendungsfälle entwickelt. Zum einen in einer statischen Schüttung, wobei die Hohlkugeln von einem Wärmeträgerfluid durchströmt werden und zum anderen als Zugabe in einen flüssigen Wärmeträger zur Optimierung der Wärmespeicherkapazität.

Im ersten Jahr des Bearbeitungszeitraumes standen werkstofftechnische Untersuchungen

sowie mit den geplanten Ölen als Wärmeträgermedium auf Korrosion untersucht. Dazu wurden verschiedene metallische Materialien mit den Nitraten und Ölen bei der jeweiligen Schmelztemperatur für bis zu 500 Stunden in Autoklaven ausgelagert. Die Nitrats und Öle wurden anschließend mittels ICP-OES analysiert, um eventuelle Anreicherungen von Metallen nachzuweisen. Mittels REM und EDX-Analyse wurden die Sinter-

folien auf Korrosionsspuren untersucht. Dabei zeigte sich besonders Fe, 316L und IN625 als Kugelmaterial und Ni als Versiegelungsmaterial geeignet. Bei weiteren Versuchen zur Versiegelung der mit PCM gefüllten Kugeln stellten sich aber erhebliche Probleme ein. Zum einen ist die Kugeloberfläche zum Zeitpunkt des Versiegeln (nach dem Infiltrieren) noch mit PCM behaftet und zum anderen durch zum Teil starke hygroskopische Eigenschaften der PCM leicht feucht. Daher wurden eine Vielzahl von Versiegelungsverfahren wie z. B. Galvanik, mechanisches Verdichten (Dengeln), Magnetron-Sputtern, PVD-Sputtern, Metall-Lacke, Galvanik auf Metall-Lacke, Silikon und mechanische Vorbehandlung + Hochtemperatur-Metall-Lack experimentell untersucht. Keines der Verfahren brachte letztlich eine ausreichende Versiegelung der Kugeln, um diese unter Betriebsbedingungen im Versuchstand bei entsprechenden Temperaturen im Ölkreislauf auf Wärmeübertragung und Enthalpie Erhöhung des Systems zu untersuchen.

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

Fazit:

- PCM – Recherche erfolgreich abgeschlossen, Materialien identifiziert.
- Schalenmaterial / Korrosion – Materialauswahl erfolgreich.
- Hohlkugelherstellung – Labor- und Technikumsmaßstab erfolgreich.
- Infiltration – Labormaßstab erfolgreich, Skalierbarkeit nachgewiesen, kein Technikumsmaßstab.
- Reinigung und Versiegelung – vorgesehene Methode(n) ungeeignet, sehr umfangreiche Recherche + Versuchsreihen, Versiegelung kleiner Chargen (60 % der Kugeln dicht) gegen Projektende.
- Katalytische Beschichtung – an ungefüllten Kugeln nachgewiesen, gefüllte Kugeln nicht verfügbar.
- Thermische und strömungstechnische Charakterisierung – Versuchsstände aufgebaut, Simulationsmodell für Kugelschüttungen, Einlaufverteilung mit Modellkugeln erfolgreich untersucht, große Kugelmengen für Technikumsversuche fehlten -> keine systematischen thermischen Tests (durchströmte Schüttung; Kugeln in Thermoöl, ...).

Kombinierte Wasserbad-Hüllen-Dichtheitsprüfung

Zur Prüfung der Dichtheit von Kälteanlagen stehen verschiedene Verfahren zur Auswahl.

Eines dieser Verfahren, das häufig in der Serienfertigung zum Einsatz kommt, ist der Blasenachweis (Eintauchen) nach DIN EN 1779, Verfahren C1 (nachfolgend Wasserbadprüfung genannt). Bei diesem Verfahren wird der Prüfling unter Prüfgasüberdruck gesetzt und anschließend in ein Wasserbad eingebracht. Bei Vorhandensein von Lecks strömt das Prüfgas aus dem Leck und steigt als (sichtbare) Blasenschnur im Wasserbad auf. Unter günstigen Bedingungen können Leckagen so visualisiert werden (vgl. Abb. 1).

Die Qualität dieses Verfahrens, also die nachweisbare Leckagerate, ist von mehreren Faktoren abhängig. Zu nennen ist zum einen das Prüfbecken, insbesondere hinsichtlich Wassertrübung, Beckenbeleuchtung und Oberflächenspannung des Wassers. Zum anderen hängt das Ergebnis aber auch stark von der Erfahrung und der Sorgfalt des die Prüfung durchführenden Werkers ab. Weiterhin besteht bei der Durchführung die Gefahr, dass sich die unter Bauteilvorsprüngen angesammelte Luft bzw. am Prüfling äußerlich anhaftende Luftblasen während der Prüfung lösen und durch den Werker fälschlicherweise als „Leck“ erkannt werden bzw. umgekehrt aufsteigende Blasen aus Lecks fälschlicherweise aufsteigender Luft zugeschrieben werden.

Ein weiteres, gängiges Verfahren ist die Hauben- oder Hüllen-Prüfung (Sammeln des austretenden Gases) nach DIN EN 1779, Verfahren B3. Bei der Hüllenprüfung wird der Prüfling mit einem detektierbaren Gas unter Überdruck gesetzt. Anschließend wird dieser in eine Hülle eingebracht. Bei Vorhandensein von Lecks führt das austretende Prüfgas während einer Akkumulationszeit zu einem Konzentrationsanstieg innerhalb der Hülle. Dieser Anstieg ist mit einem, auf das Prüfgas abgestimmten Detektor, nachweisbar. Eine Besonderheit des Hüllenprüfverfahrens ist, dass die nachweisbare Leckagerate neben der Akkumulationszeit auch vom Hüllvolumen abhängig ist: je größer das Hüllvolumen, desto größer (d. h. schlechter) die nachweisbare Leckagerate.

In Kombination mit der Wasserbadprüfung kann das Hüllvolumen jedoch drastisch verringert werden. Möglich ist dies, indem das Prüfbecken abgedeckt wird. Somit ist

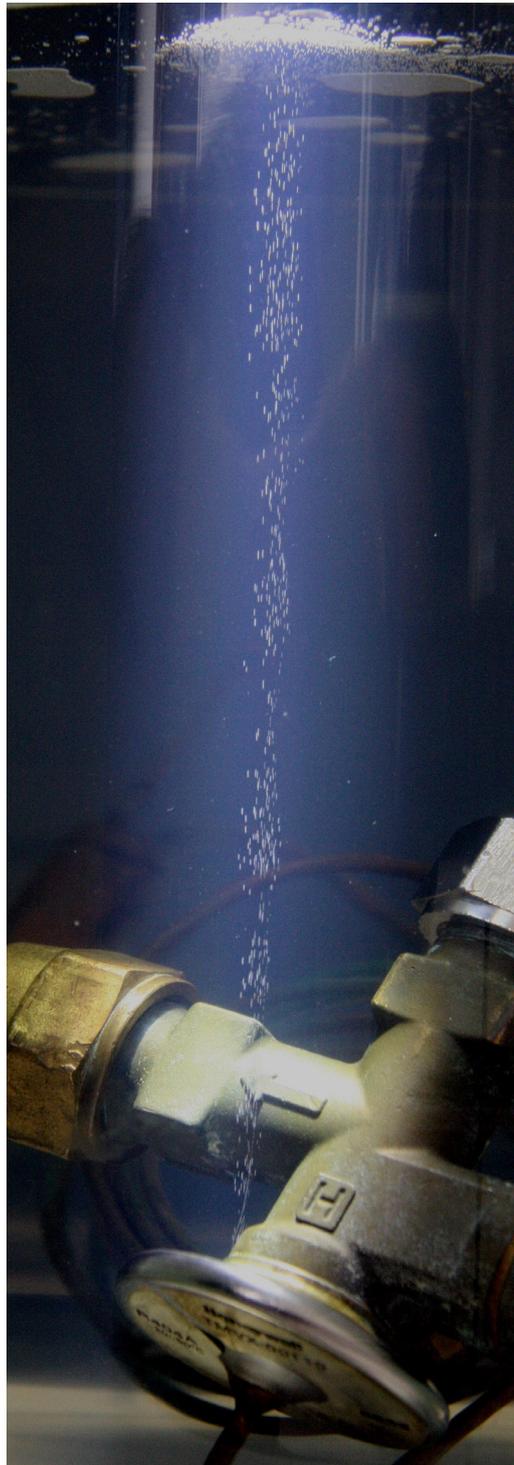


Abbildung 1: Blasenschnur, optimierte visuelle Bedingungen

das Hüllvolumen nur auf den Luftraum zwischen Wasseroberfläche und Abdeckung begrenzt. Dieses Volumen ist wesentlich kleiner als beispielsweise bei einem separat eingehüllten Lamellenwärmeübertrager (oder eines anderen komplexen Bauteils) und trägt dadurch zu einer verringerten Akkumulationszeit bzw. höheren Empfindlichkeit bei.

Der innovative Ansatz des Forschungsvorhabens besteht in der Verfahrenskombination und damit darin, gezielt die Vorteile der Einzelverfahren zu nutzen und gleichzeitig die Schwachstellen der jeweiligen Einzelverfahren weitestgehend zu kompensieren. Es wird eine Nachweisgrenze von äquivalent 5 g/a Kältemittel angestrebt.

In den bisherigen Arbeitspaketen erfolgten Recherchen und Voruntersuchungen. So wurde ein kleineres Prüfbeck mit 50 l Fluidvolumen aufgebaut. In diesem Prüfbeck wurden Untersuchungen zu den Themen Beleuchtung und Anordnung von Spiegeln zur kontrastreichen Visualisierung der aufsteigenden Blasen durchgeführt (vgl. Abbildung 1).

Des Weiteren wurden Filterkonzepte unter Berücksichtigung verschiedener Verunreinigungen wie Öle, Partikel und Verfahren zur Entkeimung mit UV-Licht und Chlor getestet. Dazu wurden auch definierte Lecks in verschiedenen Größen aufgebaut.

Verschiedene Verfahren zur Dekontamination von prüfgasbelasteten Prüffluid wurden entwickelt und getestet, u. a. thermische Entgasung, Ultraschall- und Vakuumentgasung, Austreiben von Gasen durch Druckluft und der Einsatz von Entlüftungsadditiven. Dabei erwies sich das Durchströmen des Prüffluids mit Druckluft am effektivsten (vgl. Abbildung 2).

Im Rahmen der Untersuchung geeigneter Haubenmaterialien wurden Folienmaterialien mit diversen Prüfgasen kontaminiert. Anschließend wurden die Abklingzeiten ermittelt. Bei diesen Untersuchungen wurde für die Prüfgase Helium und Formiergas wesentlich kürzere Abklingzeiten ermittelt als für Kältemittel. Als nächste Schritte folgen nun Konzeption und Bau eines Funktionsmusters.

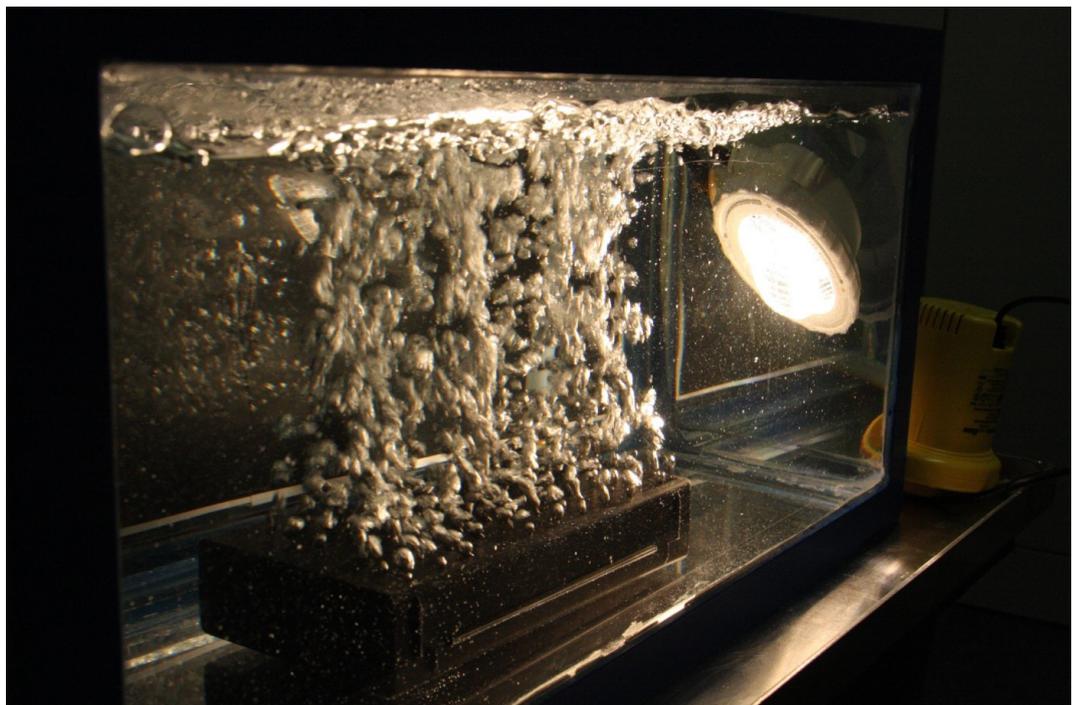


Abbildung 2: Gebläse und Ausströmer bei $3 \text{ m}^3/\text{h}$

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung & Entwicklung



Aerodynamische Grundlagen für Wasserdampf-Turbo-Verdichter mit hoher Umfangsmachzahl	94
Asymmetrische Plattenwärmeübertrager für Wasser-Lithiumbromid- Absorptionskälteanlagen - Projekt AsAb	96
Verbundvorhaben SolarSplit: Solar-elektrisch angetriebenes Heizen und Kühlen mit thermischen Speichern und optimierter Netzkopplung - SolarSplit	98
WindNODE - Teilvorhaben 6.2: PtC-Anwendungen (Power-to-Cold) mit Flüssigeis im Industriemaßstab	100

Aerodynamische Grundlagen für Wasserdampf-Turbo-Verdichter mit hoher Umfangsmachzahl

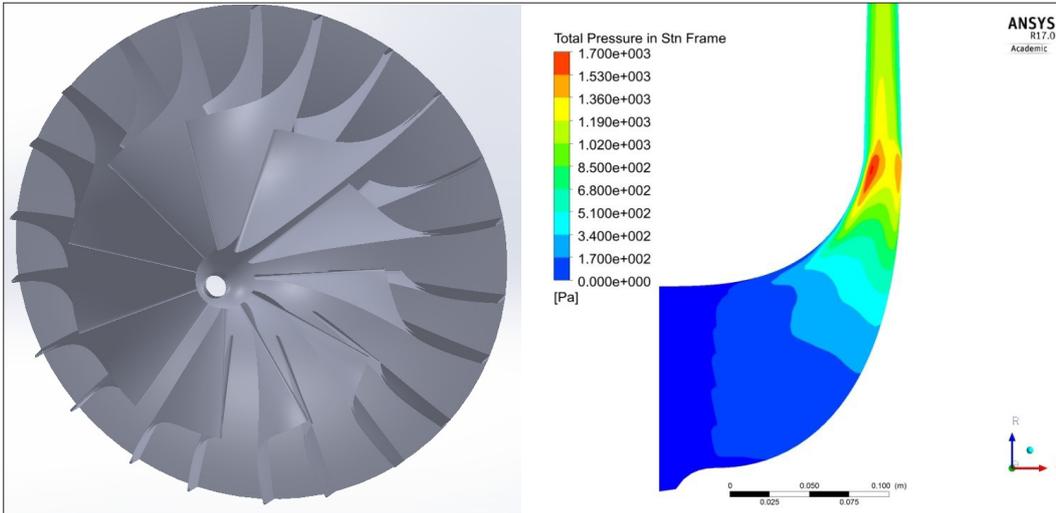


Abbildung 1: links: bestes Design; rechts: mittlerer Totaldruck im Meridianschnitt

Dieses Vorlauftorschungsvorhaben hatte zum Ziel, transsonische (schallnahe) Strömungsvorgänge in Wasserdampf-Turbo-Verdichtern zu untersuchen. Forschungsschwerpunkt bildete dabei die Suche nach Lösungsansätzen zur Reduzierung der Maschinenabmessungen.

Das Ergebnis des Projekts legt die strömungs- und thermodynamischen Grundlagen zur Weiterentwicklung der ILK-Wasserdampf-Turboverdichter-Technologie, welche wiederum Voraussetzung zur Fortführung der F&E-Aktivitäten in der Forschungsrichtung Wasser als Kältemittel und Flüssigeiserzeugung ist.

Das Projekt gliedert sich in folgende Schwerpunkte:

Theoretische Grundlagen

Die universitäre und industriennahe Forschung auf dem Gebiet radialer Turbomaschinen ist in umfangreichen Publikationen breit dargestellt. Im ersten Arbeitsabschnitt des Forschungsprojekts wurde die gefundene Fachliteratur wissenschaftlich aufbereitet und ausgewertet. Darauf aufbauend wurde eine Zusammenstellung der relevanten Erkenntnisse zur weiteren Verwendung im Forschungsprojekt erarbeitet und eine systematische Einordnung der in der Literatur und am Markt verfügbaren Verdichter nach Bauart, Fördermedium, Druckverhältnis, Machzahl erstellt. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen konnten theoretische

Vorbetrachtungen zu ebenen Gitterströmungen im Unterschallbereich (Machzahlen <1 , subsonic) und im Bereich schallnaher Strömung (transonic, $Ma \approx 1$) erfolgen. Im nächsten Schritt wurden die theoretischen Vorbetrachtungen zu ebenen Gitterströmungen (AP3) auf rotierende Systeme von Turbomaschinen übertragen. Insbesondere die Interaktion im Übergangsbereich vom rotierenden System (Verdichterlaufrad) zum ruhenden System (Diffusor, Nachleitgitter) war hier von großem Interesse, da dieser Bereich besonders kritisch und für die Funktion des Verdichters als wichtig angesehen wird.

Systemanalyse

In mehreren Anlagen zur Nutzung von Wasser als Kältemittel setzt das ILK Wasserdampfturboverdichter ein, welche auf einer Eigenentwicklung des ILK basieren. Bei gezielten experimentellen strömungsmechanischen Untersuchungen konnte reproduzierbar festgestellt werden, dass die eingesetzte Konfiguration aus rotierendem Laufrad und ruhendem Nachleitgitter zu erheblichen Druck- und damit Effizienzverlusten führt. Das Nachleitgitter soll der verlustarmen Reduzierung der am Laufradaustritt vorliegenden Strömungsgeschwindigkeit (dynamischer Druck) zugunsten des Gewinns an statischem Druck dienen. Diese Aufgabe kann das Nachleitgitter jedoch nur dann erfüllen, wenn das Strömungsfeld, welches auf das Nachleitgitter trifft, nahezu schaufelkongruent gerichtet ist. Erfüllt

das Strömungsfeld diese Bedingungen nicht, wirkt das Nachleitgitter wie ein zusätzliches Verlustglied und kann seine gewünschte Wirkung nicht erzielen. Messungen an ausgeführten Wasserdampfverdichtern haben gezeigt, dass die Strömungsverluste im Nachleitgitter über denen eines unbeschaukelten Radialdiffusors liegen. Die zweite, negative Wirkung eines nicht korrekt arbeitenden Nachleitgitters ist in der Begrenzung des Arbeitsbereichs des Verdichters zu sehen. Ziel der weiteren Entwicklungsarbeiten muss es also sein, das Verdichterlaufrad so zu gestalten, dass das Strömungsfeld am Austritt desselben so homogen wie möglich ist, damit die Zuströmung zum Nachleitgitter im Betriebspunkt schaufelkongruent ist.

Auslegung, Berechnung und numerische Optimierung

Für die theoretischen und experimentellen Untersuchungen wurde eine Modellverdichterstufe ausgelegt und dimensioniert. Diese Verdichterstufe besteht aus Laufrad, unbeschaukeltem Radialdiffusor, beschaukeltem Radialdiffusor und Sammelvorrichtung (Spiralgehäuse). Das Modell ist so beschaffen, dass sowohl die wichtigsten Ähnlichkeitskennzahlen des Turbomaschinenbaus (spez. Drehzahl, Durchflusszahl, Energiedifferenzzahl) eingehalten, als auch die zu untersuchenden schallnahen Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden.

Eine große Anzahl von Untersuchungen, speziell im rotierenden System, ist einfachen experimentellen

Untersuchungen nicht zugänglich. Hierfür können die leistungsfähigen Werkzeuge der numerischen Strömungsuntersuchung (CFD) verwendet werden. Moderne CFD-Codes sind in der Lage, Strömungen im transsonischen Bereich treffsicher voraus zu berechnen. Mit Hilfe der numerischen Strömungsrechnungen wurden durch Parameterstudien optimale Größen für Ansaugdurchmesser, Laufraddurchmesser, Schaufelanzahl, Schaufelwinkel und Drehzahl bestimmt.

Zur effektiven Umsetzung der numerischen Parameterstudien wurde ein quasiautomatischer Workflow für das Optimierungsprogramm optiSLang® entwickelt, welcher folgende Hauptschritte umfasst:

- Entwurf des initialen Designs der Verdichterstufe mit CFturbo® Export der Daten (Geometrie)
- automatische Vernetzung der generierten Geometrien mittels ANSYS-TurboGrid
- scriptgesteuerte CFD Berechnung der Verdichterstufe mit ANSYS-CFX
- optiSLang® als übergeordnete Kontrollinstanz zur Steuerung des gesamten Prozessablaufs

Die Variation der Optimierungsparameter wird mit optiSLang® durch einen evolutionären Algorithmus gesteuert.

Asymmetrische Plattenwärmeübertrager für Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen – Projekt AsAb



Abbildung 1: Entwicklungsteam ILK und Kooperationspartner EAW bei der Präsentation der Ergebnisse zur Markteinführung innerhalb des durchgeführten Symposiums

Im Rahmen des Projektes sollten neue asymmetrische Plattenwärmeübertrager, die für die zwei Medienströme unterschiedliche Kanalhöhen besitzen und die direkt für die Bedingungen des Einsatzes in Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen als Absorber, Generator, Verdampfer und Kondensator angepasst sind, entwickelt werden. Damit sollen für die unterschiedlichen Medien auf beiden Seiten angepasste Strömungs- und folglich Wärmeübergangsbedingungen geschaffen werden.

Mit den neuen Wärmeübertragern besteht das Ziel, Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen vollständig mit maschinell herstellbaren Plattenwärmeübertragern kompakter zu gestalten, um den Fertigungsaufwand für die Absorptionskälteanlagen erheblich reduzieren zu können. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind als sehr positiv zu bewerten. Abbildung 2 zeigt ein Funktionsmuster einer Absorptionskälteanlage mit den entwickelten asymmetrischen Plattenwärmeübertragern. Abbildung 3 vergleicht die erreichten mittleren k -Werte mit den Zielsetzungen. Die Zielstellungen wurden erreicht. Die entwickelten asymmetrischen Plattenwärmeübertrager arbeiten in den Funktionen Verdampfer, Absorber, Kondensator und Generator sowie in den entsprechenden Funktionseinheiten sehr zufriedenstellend. Die Entlüftung

der Kanäle des externen Mediums wird durch den Mediendurchfluss gesichert. Die Druckverluste der



Abbildung 2: Funktionsmuster mit eingebauten asymmetrischen Plattenwärmeübertragern und der Funktionseinheiten Niederdruck (Verdampfer, Absorber) und Hochdruck (Kondensator, Generator)

externen Medien sind gering. Eine gute Flüssigkeitsbeaufschlagung ist gewährleistet. Das Projekt ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer kompakten und kostengünstigen Gestaltung von Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen. Mit der Bildung der Funktionseinheiten wurden für Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen die Stellflächen- und Baugrößenreduzierungen ermittelt. Die Stellflächen- und Baugrößenreduzierungen be-

tragen im Vergleich zu Anlagen mit konventionellem Rohrbündelwärmeübertrager rd. 40 %.

Es kann nun ein weltweit neuer, innovativer Weg beim Bau von Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen begangen werden. Erstmals können Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlagen ausschließlich mit Plattenwärmeübertragern gebaut werden.

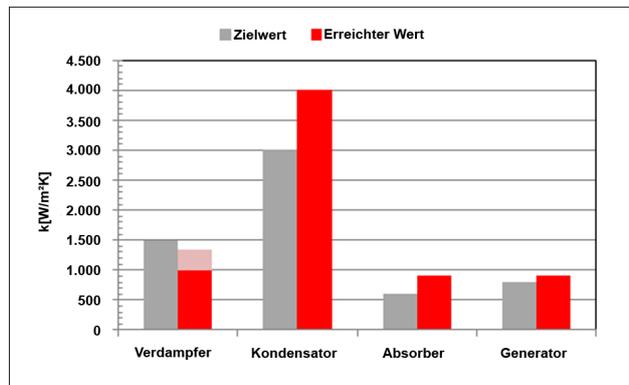


Abbildung 3: Vergleich der avisierten und erreichten Wärmedurchgangskoeffizienten des Prüflings des asymmetrischen Plattenwärmeübertragers in den unterschiedlichen Funktionen

Verbundvorhaben SolarSplit: Solar-elektrisch angetriebenes Heizen und Kühlen mit thermischen Speichern und optimierter Netzkopplung – SolarSplit

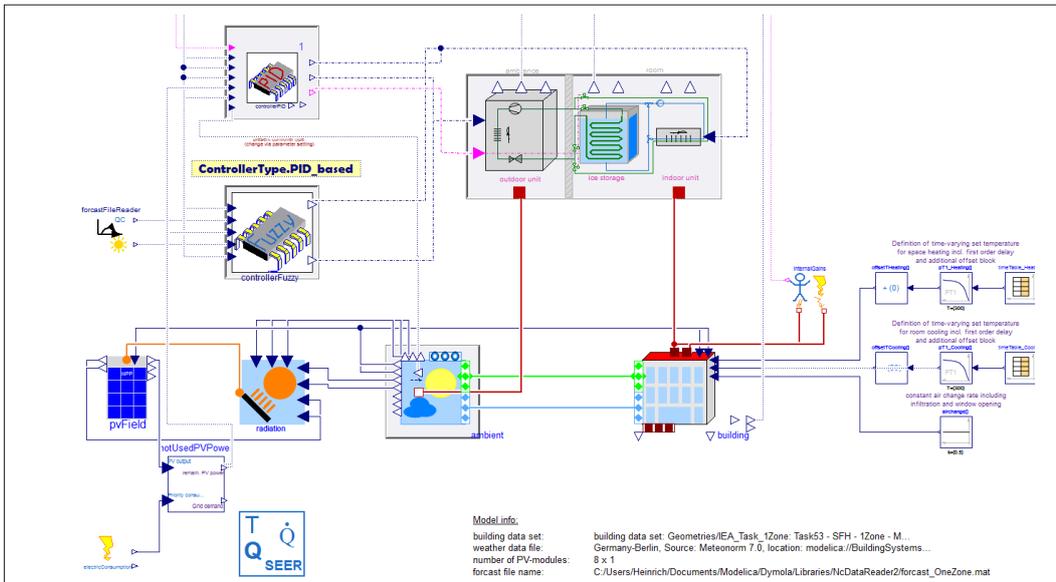


Abbildung 1: Modelica-Gesamtmodell von Gebäude, PV-Module, Splitgerät mit Eisspeicher, Regler und notwendigen Randbedingungen (Diagramm-Ansicht in Dymola 2018 FD01)

Die Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs und die Reduktion der Netzbelastung durch die Entkopplung von Kälteerzeugung und Kältebedarf mit Hilfe eines Eisspeichers und der zugehörigen Regelung stellt die Zielstellung des Teilprojekts von ILK Dresden im Verbundprojekt SolarSplit dar. Die begonnenen experimentellen Untersuchungen wurden weitergeführt und zusätzlich optimierte Verdampfer vermessen. Hierbei wurde ein neuartiger Verdampfertyp entwickelt und getestet. Durch diesen konnte das Gesamtverhalten deutlich verbessert werden:

- Der maximal erreichbare Eisgehalt konnte von ca. 58 auf knapp 80 % erhöht werden.
- Der Verdampfungstemperaturabfall über dem Eisgehalt konnte von vormals ca. 10 K auf 5 K für den Verlauf von 0 auf 50 % Eisgehalt gesenkt werden, das gesamte Verdampfungstemperaturniveau wurde im Mittel um ca. 8 bis 11 K angehoben.
- Die Einsatzgrenzen hinsichtlich der maximalen Umgebungstemperatur im Ladebetrieb konnten wesentlich ausgeweitet werden.
- Die benötigte Ladedauer konnte um ca. 40 % reduziert werden.

Der aufgebaute Prüfstand wurde um die Untersuchung weitere Systemkonzepte erweitert. Ebenso wurde eine Luftkonditionier- und -messstrecke angekoppelt. Diese ermöglicht Untersuchungen zum Einfluss der Speicherentladung über den Eisspeicher auf die Entfeuchtungsleistung und von kombinierten Wärmeübergängen (Wasser-Kältemittel-Luft). Im weiteren Projektverlauf sind mit dem gesamten Prüfstand Untersuchungen zum realen Regel- und Anlagenverhalten in Verbindung mit der Nachbildung der aktuellen Gebäude-Lastzustände, aktuellen PV-Erträgen sowie realen Prognosedaten geplant.

Zur Umsetzung von Systemkonzepten mit kältemittel-seitiger Speicherentladung bzw. dem sicheren und effizienten Einsatz natürlicher Kältemittel ist der Einsatz einer Kältemittelpumpe erforderlich. Am Markt sind bisher keine passenden Pumpen verfügbar. Mit einem Hersteller von Pumpen für einen Anwendungsbereich wurde eine Entwicklung einer Kältemittelpumpe angesprochen. Ein erstes Versuchsmuster wurde bereits erfolgreich in einem Testkreislauf erprobt und wird aktuell im Prüfstand eingebaut und getestet.

Die Entwicklung und Untersuchung unterschiedlicher Reglersysteme als auch die Bewertung zum

energetischen Nutzen verschiedener Konzepte und Regelstrategien erfolgt ausgehend vom entwickelten dynamischen Simulationsmodell in Modelica (Abbildung 2). Das Modell zum Split-Gerät mit integriertem Eisspeicher wurde als physikalisches Modell aufgebaut und mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen parametrisiert. Ein Beispielergebnis inkl. Zuordnung zu den Betriebsmodi ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Reglerentwicklung umfasst die Einbeziehung von Prognosedaten für die Entwicklung des Kühlbedarfs (Wettereinfluss auf Gebäude) sowie für den PV-Ertrag. Zwei verschiedene Reglerkonzepte werden dabei aktuell verfolgt: 1) PID-Regler-Kaskade und 2) Fuzzy-Regler (siehe Abbildung 3). Die Regelalgorithmen werden auf einem PiXtend umgesetzt.

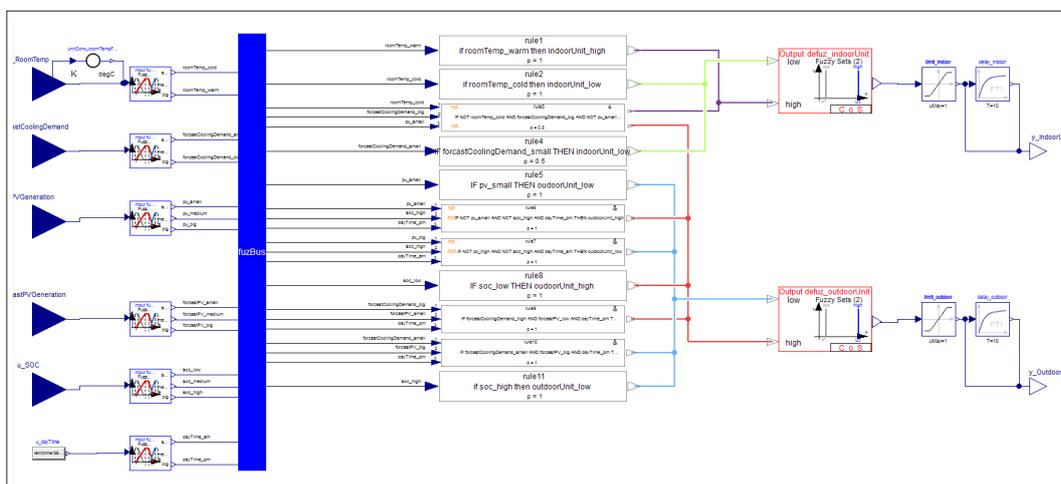


Abbildung 2: Modell-Ansicht des entwickelten Fuzzy-Reglers

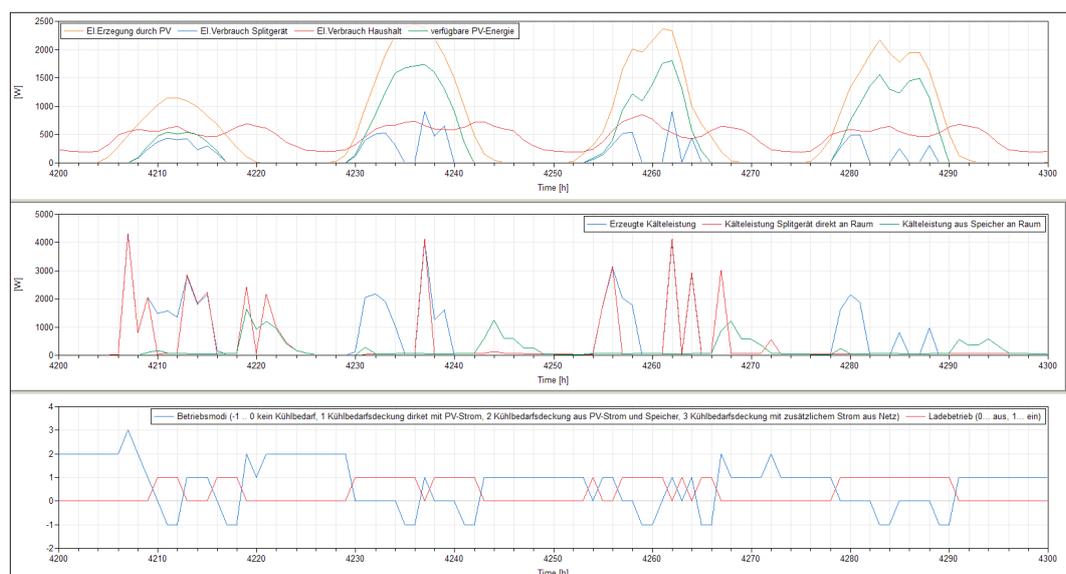


Abbildung 3: Simulationsergebnis beim Einsatz einer PID-Regler-Kaskade

WindNODE – Teilvorhaben 6.2: PtC-Anwendungen (Power-to-Cold) mit Flüssigeis im Industriemaßstab

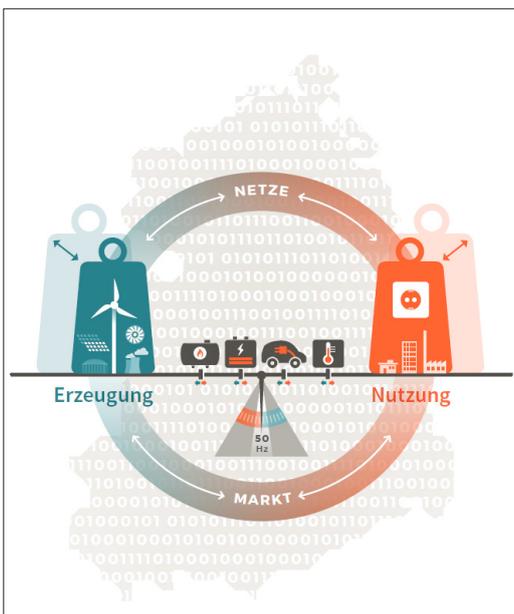


Abbildung 1: Projektansatz von WindNODE

WindNODE wird vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) im Rahmen der Sinteg-Initiative als ein „Schaufenster intelligente Energie“ gefördert. Gezeigt wird ein Netzwerk flexibler Energienutzer, die ihren Stromverbrauch nach dem schwankenden Angebot von Wind- und Sonnenkraftwerken ausrichten können. Ziel ist es, große Mengen erneuerbaren Stroms ins Energiesystem zu integrieren und zugleich die Stromnetze stabil zu halten. Damit entstehen über-

tragbare Musterlösungen, die auch anderswo die Energiewende voranbringen können.

Das Teilvorhaben des ILK gliedert sich in das Arbeitspaket 6 „Neue Flexibilitätsoptionen – Speicher und Power-to-Value“ ein. Eisspeicher bieten ausgezeichnete Potenziale, die ohnehin strombasierte Kälteerzeugung in der Industrie und im Gewerbe zu flexibilisieren. Dazu entwickelt das ILK Dresden in diesem Vorhaben die Vakuum-Flüssigeistechnologie zur Erschließung großer Kälteverbraucher insbesondere in der Nahrungsmittelindustrie, also in Brauereien, Molkereien oder Kühllhäusern, weiter. Daneben bauen wir einen Demonstrator mit einer Einspeicher- und Eiserzeugungskapazität von 500 kW und einem angeschlossenen Flüssigeis-Speicher mit einer Kapazität von ca. 10-12 MWh – dies entspricht etwa 160 - 190 m³ Volumen.

Zwischenergebnisse im Jahr 2017

Zur einfachen Integration von Flüssigeisspeichern in industrielle Kälteanlagen ist eine Absenkung der Gefrieretemperatur auf -5 °C durch Zusatz geeigneter Additive erforderlich. Dazu wurden verschiedene Additive experimentell auf Anwendbarkeit im Vakuum-Flüssigeisprozess untersucht. Abbildung 2 zeigt den Temperaturverlauf im Verdampfer bei steigendem Eisanteil für verschiedene Startkonzentrationen des Additivs. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte ein Additiv erfolgreich für den Einsatz in der Vakuum-Flüssigeiserzeugung qualifiziert werden.

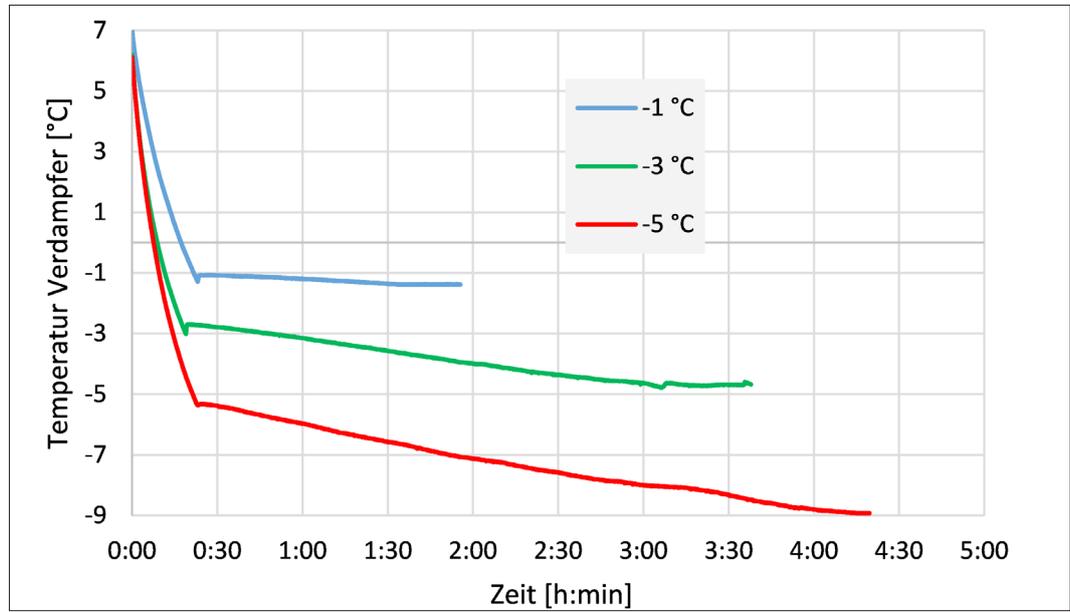


Abbildung 1: Projektansatz von WindNODE



Internationale wissenschaftliche Veranstaltungen

15. - 19.05.2017 14th Cryogenics 2017 IIR International Conference in Dresden, internationale Tagung mit 164 Teilnehmer aus 24 Ländern

Kolloquien / Seminare / Veranstaltungen / Gäste

- 24.01.2017 Seminar Evakuieren und Trocknen von Kälteanlagen, ILK Dresden
25. - 26.01.2017 Sachkundequalifikation Lecksuche/Dichtheitsprüfung, ILK Dresden
- 26.01.2017 Forschungs-Speed Dating in der Dresdner Messe
ILK Vakuum-Flüssigeis-Technologie, Marcus Honke, ILK Dresden
- 14.03.2017 Besuch des MdB Andreas Lämmel (CDU)
- 09.05.2017 Dresdner Kolloquium in der Kältetechnik „Low-GWP-Kältetechnik“
- 11.05.2017 Kältepreis hautnah – Exkursion ins ILK Dresden
- 16.05.2017 6. Mitgliederversammlung der Sächsischen Industrieforschungsgemeinschaft e.V. (SIG)
- 18.05.2017 24. Innovationstag Mittelstand des BMWi, Berlin
19. - 20.06.2017 15. Überwachungsaudit DIN EN ISO 9001:2008, TÜV Management Süd

23.06.2017	Besuch des sächsischer Wirtschaftsminister Martin Dulig (SPD)
11.08.2017	Gemeinsamer Feierabend-Ausklang im Fährgarten Johannstadt
19.09.2017	11. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung,
07.11.2017	Seminar Evakuieren und Trocknen von Kälteanlagen, ILK Dresden
08. - 09.11.2017	Sachkundequalifikation Lecksuche/Dichtheitsprüfung, ILK Dresden
22. - 24.11.2017	DKV-Tagung, Kassel
18.12.2017	ILK Jahresabschlussveranstaltung

ILK-interne Fachseminare

21.03.2017	Absorptionskälte
24.04.2017	Lüftungs- und Klimatechnik (ausgewählte ILK Innovationen)
23.05.2017	PCM Entwicklungen / Anwendungen
19.06.2017	Kryogene Energiespeicherung
14.11.2017	ILK bei der DKV-Tagung
05.12.2017	Vorlaufforschung

ILK-interne Kick-off-Meetings

16./17./24.1.2017	Vorstellung (neu)-bewilligter ILK-Forschungsvorhaben
02.05.2017	Vorstellung (neu)-bewilligter ILK-Forschungsvorhaben
06.06.2017	Vorstellung (neu)-bewilligter ILK-Forschungsvorhaben
16.10.2017	Vorstellung (neu)-bewilligter ILK-Forschungsvorhaben
14.11.2017	Vorstellung (neu)-bewilligter ILK-Forschungsvorhaben

ILK-Messebeteiligung

07. - 09.02.2017	E-world energy & water 2017 – Leitmesse der Energie- und Wasserwirtschaft, Gemeinschaftsstand von ENERGY SAXONY
14. - 18.03.2017	ISH 2017 – Weltleitmesse Erlebnisswelt Bad, Gebäude-, Energie-, Klimatechnik, Erneuerbare Energien

14th Cryogenics 2017 IIR International Conference



Abbildung 1: Eröffnung

Die 14. IIR Konferenz Cryogenics 2017 fand vom 15. - 19.05.2017 in Dresden statt und wurde vom ILK Dresden gemeinsam mit Partnern aus der Tschechischen Republik als internationale Konferenz zur Kryotechnik und Tieftemperaturphysik organisiert und wissenschaftlich gestaltet.

- Kryokühler und Kryoprozesse
- Thermodynamische Eigenschaften und Kryokomponenten
- Kryobiologie und Kryotherapie
- LNG sowie Luftzerlegung und kryogene Energiespeicherung

Die Cryogenics 2017 fand eine breite internationale Resonanz. Zur Konferenz waren 164 Teilnehmer aus insgesamt 24 Ländern angereist. In 12 themenspezifischen Sitzungen wurden 58 Vorträge gehalten. In den gut besuchten Posterpräsentationen und der begleitenden Industrieausstellung mit 17 Ausstellern wurde rege diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht.

Für die Supraleitungs- und Kryotechnik erweisen sich die internationalen Programme zum Bau von Beschleunigern für schwere Ionen und die Neutrino-physik als große Herausforderung. Dies wurde in einer Reihe von Konferenzbeiträgen zu den Vorhaben FAIR in Deutschland, NICA in Russland, ESS in Schweden und LBNF in den USA besonders deutlich.

Als lokaler Gastgeber verwies Dr. Ralf Herzog (ILK-Institutsleiter und Präsident der Sektion A des IIR) in seiner Einführung vor allem auf die globalen Herausforderungen für neue Anwendungen der Kryotechnik in den Bereichen Energietechnik und -speicherung, Medizin und Biotechnologie sowie in internationalen Vorhaben zur Kernfusion und Partikelphysik.

Große Aufmerksamkeit galt auch den Beiträgen zur Kryobiologie und Kryotherapie wie Zell- und Gewebekonservierung, Kryobiobanking sowie entsprechenden Verfahren und Ausrüstungen. Weitere Themen wie Anwendungen der Hochtemperatur-Supraleitung, Sicherheitsaspekte von Kryoplanzen, Speicherung und Transport von Flüssigerdgas (LNG) und flüssigem Wasserstoff sowie Flüssigluftenergiespeicherung rundeten das Konferenzprogramm mit interessanten Beiträgen ab.

Die wissenschaftlichen Schwerpunkte der Konferenz waren:

- Kryotechnik für die Partikelphysik
- Angewandte Supraleitung
- Wasserstoff, Helium, Edelgase

Besonders erfreulich war die Vielzahl junger WissenschaftlerInnen und TechnikerInnen als Konferenzteil-

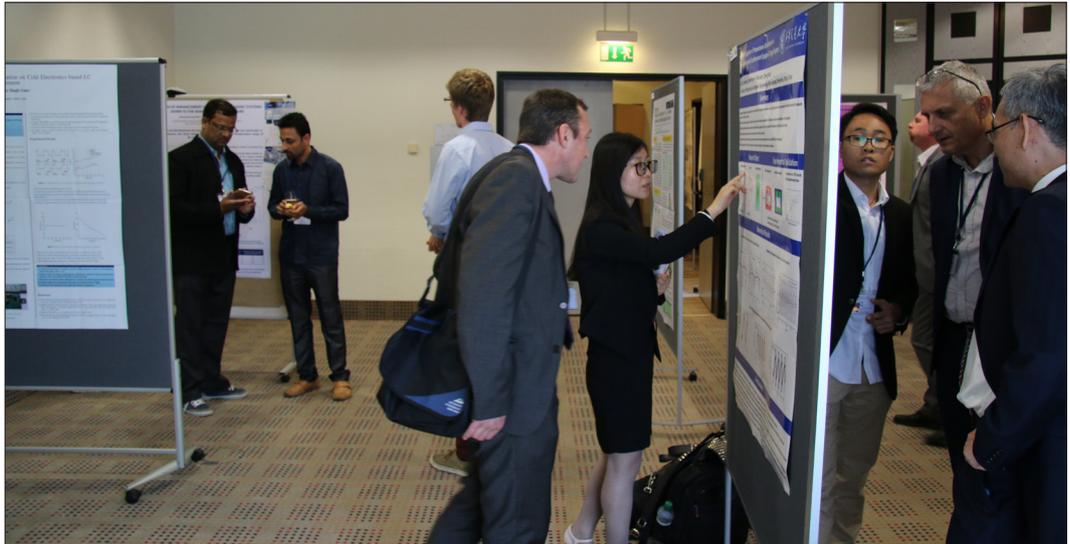


Abbildung 2: Postersitzung

nehmer. Damit ist ein Generationswechsel in Gang gekommen, der eine gute Ausgangsposition für die Bewältigung der „kryogenen“ Herausforderungen der Zukunft darstellt.

Den Abschluss der Tagung bildeten das „Conference Dinner“ im Italienischen Dörfchen und die „Technical Tours“ zum ILK Dresden, HZDR und IFW Dresden.

Die 14th Cryogenics 2017 in Dresden wurde wiederum zu einer äußerst erfolgreichen Konferenz und zu einem bedeutenden IIR-Ereignis. IIR-Generaldirektor, Didier Coulomb, dankte den Veranstaltern und insbesondere dem ILK Dresden als lokalem Gastgeber. Die nächste Cryogenics IIR-Konferenz wird im April 2019 in Prag stattfinden. In 2021 wird Dresden wieder Gastgeber für diese Veranstaltung sein.



ISH – Weltmesse Gebäude-, Energie- und Klimatechnik

Die Internationale Fachmesse ISH fand vom 14.03. - 18.03.2017 in Frankfurt statt. Das ILK Dresden war durch den Hauptbereich Luft- und Klimatechnik mit einem Messestand in der Halle 11.0 D51 vertreten.

Die ISH ist die weltweit führende Messe für den verantwortungsvollen Umgang mit Wasser und Energie in Gebäuden. Sie setzt Trends für modernes Baddesign, nachhaltige Heizungs- und Klimatechnik und intelligentes Wohnen. Damit erfüllt die ISH gleichzeitig die wachsenden Bedürfnisse nach Komfort, Individualisierung, Wohlbefinden und Ästhetik. Systemübergreifende Lösungen decken alle Anforderungen ab und leisten einen

entscheidenden Beitrag zu einer energieeffizienten und ressourcenschonenden Gebäudetechnik.

Das ILK konnte nicht nur mit einem außergewöhnlichen Blickfang des Messestandes Aufsehen erregen (Abb. 1). Auch die Kompetenz auf vielen Ingenieurgebieten wurde von den Besuchern gern in Anspruch genommen. Bestehende Kontakte konnten dabei weiter vertieft werden und neue Ansprechpartner von der Leistung des ILK überzeugt werden.

Mit ungewöhnlichen Motiven sollten die vielfältigen Dienstleistungen des Instituts dargestellt werden.



Abbildung 1: ISH-Messestand

11. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung in Dresden



Abbildung 1: Dr. Olaf Andersen bei der Eröffnung des 11. Dresdner Kolloquium zur Reinhaltung der Luft

Das 11. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung fand am 19.09.2017 im Deutschen Hygiene-Museum in Dresden statt. Im Fokus dieser Fachtagung standen ultrafeine Aerosole und Nanopartikel, die große Herausforderungen für die Luftreinhaltung darstellen. Die Tagung wurde vom Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden und dem VDI Bezirksverein Dresden veranstaltet. 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 Dr. Andersen, die in ihren Grußworten die Bedeutung der Luftreinhaltung im Kontext des Arbeitsschutzes und des Klimawandels hervorhoben und in die komplexe Thematik einführten. Dieser Anspruch spiegelte sich auch im Programm wieder. In den Vorträgen wurden u.a. neueste Forschungsergebnisse zur Messung und Charakterisierung von Filter- und Nanomaterialien sowie zu Möglichkeiten und

Grenzen der Messtechnik zur Bewertung von ultrafeinen Aerosolen und der Feinstaubklassen PM₁, PM_{2.5} und PM₁₀ vorgestellt.

Einen breiten Raum nahmen die Entwicklung moderner Filtersysteme zur Abscheidung feinsten Stäube und Partikel aus industriellen Prozessen sowie die Klimawirkung von Partikeln und deren Ausbreitung bei industriellen Prozessen ein. Die Entwicklung von Technologien und Methoden zur Erfassung und Abscheidung dieser meist unsichtbaren Schadstoffe erfordern auch zukünftig einen engen Dialog von Fachleuten aus Wissenschaft und Praxis, Verwaltung und dem Gesetzgeber, um den Emissionen stetig steigender industrieller Entwicklung entgegenzuwirken und unsere Luft als Lebensgrundlage rein zu halten. Die erfolgreiche Reihe der „Dresdner Kolloquien zur Luftreinhaltung“ wird fortgesetzt. Bereits heute steht der Termin für das 12. Kolloquium fest: der 24.09.2019.



Abbildung 2: Rund 60 Teilnehmer waren der Einladung zum 11. Kolloquium zur Luftreinhaltung gefolgt

E-world energy & water 2017



Vom 7. bis 9. Februar 2017 zeigte das ILK innovative Energietechnologien auf dem Gemeinschaftsstand von ENERGY SAXONY.

Die E-world 2017 stand erneut im Zeichen von Smart Energy. In der Themenwelt wurden über 150 Unternehmen und Institutionen intelligente und effiziente Lösungen zur Energieerzeugung, Energiespeicherung, Stromübertragung und Verbrauchssteuerung präsentiert. Schwerpunkte in der Themenwelt Smart Energy bildeten Energy Storage, Smart City-Lösungen und IT-Security.

Durch den weiteren Ausbau des Erneuerbare Energien Sektors stellt die Volatilität der Einspeisung eine Herausforderung für die Netzstabilität dar. Vorerst muss trotz steigender Nettoleistung der installierten Windkraftanlagen eine ausreichende Reserve konventioneller Kraftwerke vorgehalten werden.

Für diese Herausforderung hat das ILK Dresden mit

seinem innovativen Flüssigluftenergiespeicher (FLES) eine zuverlässige und effiziente Lösung zur Speicherung von Elektroenergie entwickelt, wodurch Investitionskosten um bis zu 40% gegenüber dem Stand der Technik für dieses Verfahren reduziert werden können. Das Modell konnte am Gemeinschaftsstand besichtigt werden.

Für die Klimatisierung von Gebäuden sowie für die Kühlung von Lebensmitteln und Produktionsprozessen wird Kälte benötigt. Die Kältebereitstellung erfolgt meist strombetrieben. Mit der Speicherung von Kälte können Kälteerzeugung und Kälteanwendung zeitlich entkoppelt werden. Die Vakuüm-Flüssigeis-Technologie des ILK verbindet höchstmögliche Effizienz der Eiserzeugung mit hoher Speicherdichte sowie den Vorteilen des umweltfreundlichen und preiswerten Speichermediums Wasser. Die Pumpfähigkeit des Speichermediums eröffnet hervorragende Potentiale zum Lastmanagement sowie zur effektiven Integration erneuerbarer Energien.

Dresdner Kolloquium der Kältetechnik – „Low-GWP Kältetechnik“



Abbildung 1: Eröffnung des Kolloquium „Low-GWP Kältetechnik“

Am 09.05.2017 fand das Dresdner Kolloquium der Kältetechnik „Low-GWP Kältetechnik“ im Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden statt.

Die Moderation erfolgte durch Herrn Dr. Olaf Hempel, Leiter des Hauptbereiches Kälte- und Wärmepumpentechnik am ILK Dresden. Die Gäste wurden durch Herrn Dr. Ralf Herzog, Geschäftsführer des ILK Dresden, begrüßt und in die komplexe Thematik eingeführt.

Die Veranstaltung beinhaltete folgende Themen: „Elektromobilität und Thermomangem“ (Herr Professor Ingwer Ebinger, HAW Hamburg), Verflüssigungsätze – Marktüberwachung und Testmethode (Herr Markus Müller, ILK Dresden gGmbH), „Erfahrungen bei der Planung und dem Betrieb einer Kälteanlage mit natürlichen Kältemitteln“ (Herr Dr. Dirk Hoffmann, Fit

GmbH), „Die neue DIN EN 378-2 – Konsequenzen für die Dichtheitsprüfung“ (Herr René Seidel, ILK Dresden gGmbH), „Absorptionskälte mit Wasser als Kältemittel – kompaktere und leistungsfähigere Anlagen durch neue Wärmeübertragerkonzepte“ (Herr Christian Kemmerzehl, EAW Energieanlagen GmbH Westenfeld und Frau Myrea Richter, ILK Dresden gGmbH), „Kohlenwasserstoffe in der Praxis“ (Herr Andreas Schwarz, FUTRON GmbH), „Viskositätsniedrigung von Ölen für R717-Hochtemperaturanwendungen durch eingelöstes Ammoniak“ (Herr Dr. Steffen Feja, ILK Dresden gGmbH), „Experimentelle Untersuchungen effizienter Abtaumethoden für Luftkühler“ (Herr Professor Dirk Müller, E.ON ERC - EBC) sowie „Vergleichende Leistungsmessungen an Deckenkühlergeräten“ (Herr Ralf Noack, ILK Dresden gGmbH).



Abbildung 2: Rund 70 Teilnehmer waren der Einladung zum Dresdner Kolloquium der Kältetechnik gefolgt

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.

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.



Gust, N., Kade, A., Klier, J., Fischer E.,
Datskov V., Seifert F.
[Development of multifunctional electronic modules for cryogenic applications](#)
14th Cryogenics 2017, Dresden, 15.05.-19.05.2017

Reinsch, H., Kretschmer, R., Spörl, G.
[From Vial to Multiwell – Controlled Rate Freezing in a Convective Environment](#)
14th Cryogenics 2017, Dresden, 15.05.-19.05.2017

Zerweck, U., Kuhn, M., Kade, A., Wischer,
M., Schroeder, G., Klier, J.
[Cryogenic components for a superconducting DC-rail](#)
14th Cryogenics 2017, Dresden, 15.05.-19.05.2017

Gust, N., Kade, A., Klier, J.
[Universal Multifunctional Modules for low temperature measurements](#)
Tagung Kryoelektrische Bauelemente 2017,
Bad Albling, 08.10.-10.10.2017

Spörl, G., Kretschmer, R., Reinsch, H.
[Cryopreservation – Optimal cell survival in grafts and tissue models](#)
User Meeting LiCONiC GmbH, Limburg/Lahn,
14.11.2017

Gust, N., Kade, A., Klier, J.
[Development of multifunctional electronic modules for cryogenic applications](#)
DKV-Tagung 2017, Bremen, 22.11.-24.11.2017

Müller, M.
[Verflüssigungssätze – Marktüberwachung und Testmethodik](#)
Dresdner Kolloquium „Low-GWP-Kältetechnik“,
Dresden, 05/2017

Noack, R.
[Vergleichende Leistungsmessungen an Deckenkühlgeräten](#)
Dresdner Kolloquium „Low-GWP-Kältetechnik“,
Dresden, 05/2017

Noack, R.
[Entwicklung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe für Nutzttemperaturen über 120°C](#)
DKV-Bezirksverein Sachsen des DKV, Dresden,
03/2017

Röllig, P.
[Energieeinsparung durch Wartung \(FKT 37/97\)](#)
Forschungsrat Kältetechnik, 10/2017

Röllig, P.
[Freie Kühlung mit Pumpenzirkulation des Kältemittels CO₂](#)
DKV-Bezirksverein München, München, 11/2017

Hempel, O.
[Wärmepumpen – Entwicklungstrends](#)
Fachseminar ILK, Dresden, 02/2017

Hempel, O.
[Natürliche Kältemittel](#)
Besuch georgischer Firmen im ILK, Dresden,
02/2017

Langner, P.
[Wärmepumpen – Technologie, Entwicklungen, Bewertung](#)
Sinnvoller und wirtschaftlicher Einsatz von Wärmepumpen unter den veränderten Rahmenbedingungen der EnEV 2014/16
Vortragsreihe der SAENA,
Dresden, Leipzig, Chemnitz, 10/2017

Paatzsch, R.
[Energieeffizienzmaßnahmen und Fördermöglichkeiten bei Kälteanlagen](#)
Seminar „Kälte- und Klimatechnik“ HTI Gienger,
Röttenbach, 10/2017

Franzke, U.
[Klimatechnik](#)
Vorlesungsreihe an der HTW Dresden, Dresden,
Oktober 2017 – Januar 2018 (Herbstsemester)

- Franzke, U.
[Mögliche Weiterentwicklung der Dienstleistung](#)
 Erfahrungsaustausch Energetische Inspektion nach § 12EnEV, Frankfurt am Main, 13.02.2017
-
- Franzke, U.
[Aufgaben der Raumluftechnik, Allgemeine Anforderungen der VDI 6022, Abgrenzung zu anderen Planungsvorgaben, Normen](#)
 VDI - Expertenforum Lufthygiene, Düsseldorf, 02.03.2017
-
- Franzke, U.
[Abnahme von RLT-Anlagen – notwendiges Übel oder sinnvolle Vorschrift? / Von der Energetischen Inspektion zur Ventilatortauschkampagne / Energetische Inspektion von Klimaanlage- was brachte § 12 EnEV? Was kommt mit der EPBD 2017 und den GEG?](#)
 ISH Klima-Forum des FGK, Frankfurt am Main, 15.03.2017
-
- Franzke, U.
[Ingenieure – Innovationstreiber der Wärmewende – Potentiale und Akteure. Eine Thesendiskussion ...](#),
 Workshop Wärmewende auf dem Ingenieurkammertag 2017, Leipzig, 05.04.2017
-
- Franzke, U.
[„Smart“ im Kontext der Behaglichkeitskriterien](#)
 11 FGK Klima-Tag, Köln, 29.06.2017
-
- Franzke, U.
[Smarte Lüftungstechnik für smarte Gebäude](#)
 Vortrag - Wissenschaftliches Kolloquium an der Berufsakademie Riesa, Riesa, 11.12.2017
-
- Mai, R.
[Energetische Inspektion von Klimaanlage nach EnEV §12](#)
 BTGA-Seminarveranstaltung, Hamburg, 26.01.2017, Berlin, 18.05.2017, Frankfurt am Main, 28.09.2017
-
- Mai, R.
[Effizienzexperte für Nichtwohngebäude](#)
 Berufsbegleitende Fachfortbildung im Bereich Lüftungs- und Kälteanlagen (EIPOS), Dresden, 31.05.2017
-
- Mai, R.
[Softwaretool Quickcheck / Mindeststandards für Zähler](#)
 BMWi - Herstellerworkshop Klima - Lüftung, Berlin, 20.10.2017
-
- Mai, R.
[KWKK-basierte Kälteversorgung Gebäudetechnik und Systemintegration](#)
 AGFW-Infotag KWKK-Systeme Effiziente Kälteversorgung, Hannover, 21.11.2017
-
- Hantsch, A.
[Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen](#)
 Vorlesung und Übung zur im Rahmen der Vorlesungsreihe Klimatechnik an der HTW Dresden, Dresden, 2017
-
- Velde, O., Friebe, C., Korfanty, M.
[Design and Optimisation of Contra-Rotating Fans](#)
 Symposium on Innovative Simulations in Turbomachinery ISimT, Rottach/Egern, 2017
-
- Friebe, C., Keßlau, D.
[Laseroptische Strömungsmesstechnik](#)
 Exkursion der TU-Dresden, Dresden, 2017
-
- Kerscher, M., Heilmann, G., Puhle, C., Krause, R., Friebe, C.
[Sound Source Localization on a Fast Rotating Fan Using Beamforming](#)
 the 46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering INTER-NOISE, HONG KONG (China), 2017
-
- Buschmann, M.H.
[Nanofluids as heat carrier](#)
 Imperial College London, London (UK), 2017
-
- Buschmann, M.H., Günther, R.
[Condensation under the influence of turbulence generated by regular and fractal grids](#)
 16th EUROPEAN TURBULENCE CONFERENCE Stockholm (Schweden), 2017
-

Buschmann, M.H., Huminic, A., Mancin, S., Riehl, R.R.
[State of the art of heat transfer of Heat Pipes and Thermosyphons employing nanofluids as working fluid](#)
1st European Symposium on Nanofluids (ESNf2017), Lisbon (Portugal), 08.-10.10.2017

Wlazlak, A., Zajackowski, B., Woluntarski, M., Buschmann, M.H.
[Influence of graphene oxide nanofluid and surfactant on thermal behavior of the thermosyphon](#)
1st European Symposium on Nanofluids (ESNf2017), Lisbon (Portugal), 08.-10.10.2017

Gimeno-Furió, A., Juliá, E., Barison, S., Agresti, F., Friebe, C., Buschmann, M.H.
[M. H. Nanofluids as direct solar energy absorbers](#)
1st European Symposium on Nanofluids (ESNf2017), Lisbon (Portugal), 08.-10.10.2017

Heidenreich, R., Görner, K.
[Abscheidemechanismen zur Feinstaubabscheidung mit Vliesstoffen an Biomasseverbrennungsanlagen](#)
Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Abfallbehandlung, Werkstoffrückgewinnung, Energieverfahrenstechnik, Gasreinigung, Frankfurt am Main, 21.-23.03.2017

Heidenreich, R.
[Neue Lösungen zur Feinstaubabscheidung in der industriellen Absaug- und Abscheidetechnik](#)
Parlamentarischer Abend der sächsischen Industrieforschungsgemeinschaft e.G., Dresden, 15.05.2017

Birnbaum, Th.
[Möglichkeiten der Reduktion staubförmiger Emissionen an Kleinf Feueranlagen](#)
11. Dresdner Kolloquium der Luftreinhaltung, Dresden, 19.09.2017

Blei, S., Heidenreich, R.
[Investigation of nano particles during additive manufacturing processes](#)
European Aerosol Conference, Zürich (Schweiz), 27.08.-01.09.2017

Honke, M.
[Future Technologies Dresden Kühlen, Speichern,](#)

[Heizen - effizient und erneuerbar mit Flüssigeis](#)
Future Technologies Science Match, Dresden, 26.01.2017

Richter, M, Kemmerzehl, M.R.C.
[Wasser/LiBrAbsorptionskältemaschinen-kompaktere Anlagen durch neue Wärmeübertragerkonzepte](#)
Dresdner Kolloquium der Kältetechnik „Low-GWP-Kältetechnik“, Dresden, 09.05.2017

Richter, L.
[Mögliche Technologien zur Bereitstellung von Wärme, Kälte und Strom durch Abwärmenutzung](#)
SAENA - Abwärmenutzung, Mühlau, 2017

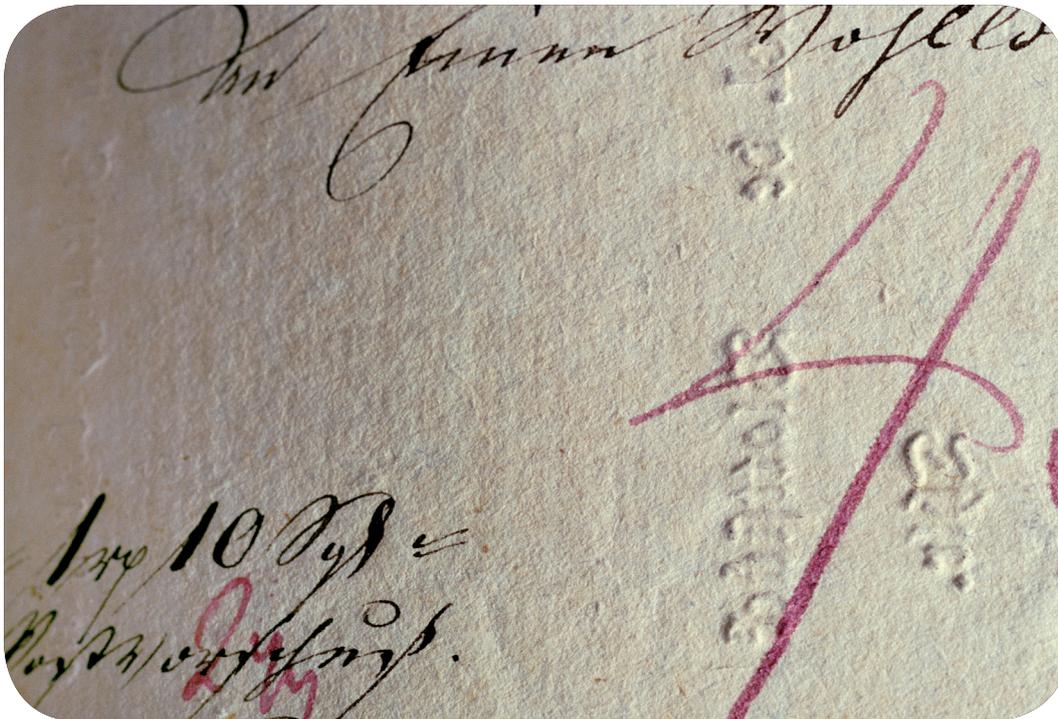
Steffan, C.
[Energy efficient cooling technologies in industry..](#)
UAE-German expert workshop on energy efficiency in industry in the framework for the energy partnership between the UAE and Germany, Berlin, 21.11.2017

Safarik M.
[Vorstellung der Einsatzpotentiale von Vakuum-Flüssigeis](#)
TREFF-Punkt der Exportinitiative Energie des BMWI, Berlin, 28.9.2017

Safarik M.
[Einsatz von Flüssigeis zur Kältespeicherung \(Power-to-Cold\), Reduktion von Kältemittelfüllmengen und zur Distribution von Lebensmitteln](#)
Energieeffizienz in der Produktion und in Distribution von Lebensmitteln. Sächs. Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Löbau, 20.9.2017

Safarik, M.
[Innovative and climate-friendly cooling technologies](#)
GIZ Proklima side-event at the 29th Meeting of the Parties of the Montreal Protocol, Montreal (Kanada), 22.11.2017

Richter, M. , Heinrich, C..
[Eisspeicherintegration in einem Mono-Split-Klimagerät, Experimentelle und theoretische Untersuchungen](#)
DKV Tagung 2017 ,Bremen , 2017



Gust, N., Kade, A., Klier, J., Fischer E. ,
Datskov V., Seifert F.

[Development of multifunctional electronic modules
for cryogenic applications](#)

Proceedings of the 14th CRYOGENICS 2017 IIR Inter-
national Conference, ISBN 978-2-36215-022-7

Reinsch, H., Kretschmer, R., Spörl, G.

[From Vial to Multiwell – Controlled Rate Freezing in
a Convective Environment](#)

Proceedings of the 14th CRYOGENICS 2017 IIR Inter-
national Conference, ISBN 978-2-36215-022-7

Zerweck, U., Kuhn, M., Kade, A., Wischer, M., Schro-
eder, G., Klier, J.

[Cryogenic components for a superconducting
DC-rail](#)

Proceedings of the 14th CRYOGENICS 2017 IIR Inter-
national Conference, ISBN 978-2-36215-022-7

Reinsch, H., Kretschmer R., Spörl G

[Tox-Assay aus dem Eis - Kryokonservierbares 3D-
Gewebe Modell im Multiwell-Format eignet sich für
Ready-to-use-Toxizitätstests](#)

LABO – Magazin für Labortechnik und Life Sciences,
Ausgabe 12/17, S. 54 – 57

Noack, R.

[Untersuchungen an Einbaukältesätzen – Decken-
kühlgeräte für Normal- und Tiefkühlager](#)

KI 12/2017, S.40 - 49

Hantsch, A., Friebe, C., Döge, S.

[Numerical Investigation of Energetic Effects
of Flow Through Wall Elements](#)

Journal of Building Engineering Vol. 12, pp. 51–59

Kempe, T., Hantsch, A.
Large-eddy simulation of indoor air flow using an efficient finite-volume method
Building and Environment vol. 115, pp. 291–305

Kerscher, M., Heilmann, G., Puhle, C.,
Krause, R., Friebe, C.
Sound Source Localization on a Fast Rotating Fan Using Beamforming
46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Hong Kong, China), INTER-NOISE (2017), pp. 626 (1–8)

Tschisgale, S., Kempe, T., Fröhlich, J.
A non-iterative immersed boundary method for spherical particles of arbitrary density ratio
In Journal of Computational Physics vol. 339, pp. 432–452

Vowinckel, B., Nikora, V., Kempe, T., Fröhlich, J.
Momentum balance in flows over mobile granular beds application of double-averaging methodology to DNS data
Journal of Hydraulic Research, pp. 1814–2079

Vowinckel, B., Nikora, V., Kempe, T., Fröhlich, J.
Spatially-averaged momentum fluxes and stresses in flows over mobile granular beds a DNS-based study
Journal of Hydraulic Research vol. 0, pp. 1–16

Schiller, H., Mai, R.
Überarbeitung Kapitel 3.3.3 „Raumlufthtechnische Geräte“, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Band 2, Recknagel, Sprenger, Albers
79. Auflage 2018 | 2019. ed.

Hackeschmidt, K.
Überarbeitung Kapitel 3.8.2 „Dimensionierung des Luftleitungsnetzes“, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Band 2, Recknagel, Sprenger, Albers
79. Auflage 2018 | 2019. ed.

Safarik, M.
Regenerative Energien: Power-to-Cold - Neue Möglichkeiten durch Flüssigeis
Wirtschaftsbild Spezial Moderne Gebäudetechnik
2017, S. 23, ISSN: 0344-3055

Richter, M. and Heinrich, C.
Eisspeicherintegration in einem Mono-Split-Klimagerät Experimentelle und theoretische Untersuchungen
DKV Tagung 2017, Bremen, 2017



Kryotechnik und Tieftemperaturenphysik

BÖHM, U. UND KADE, A.

2. Zwischenbericht: Kunststoff-Kryostate für extreme Anforderungen

Nr. ILK-1-2017-361

DALAKOV, P.

3. Zwischenbericht: Innovative Lösungswege zur Heliumgewinnung aus Erdgas

Nr. ILK-B-1-17-365

GROSSMANN, B. UND TIPPMANN, S.

5. Zwischenbericht: MikroExpansionsventil

Nr. ILK-B-1-17-384

KLEIN, F., KUHN, M. UND ZERWECK, U.

Schlussbericht: Vorlauforschungs-Vorhaben "Innovative Stirling-WärmeKraftprozesse zur Energie-Rückgewinnung bei niedrigen Temperaturniveaus"

Nr. ILK-B-1-17-387

KLUPSCH, M. UND SCHRÖDER, G.

2. Zwischenbericht: Kombiniertes Energierückgewinnungssystem für erdgasbetriebene Kraftfahrzeuge

Nr. ILK-B-1-17-373

KRETSCHMER, R.

1. Zwischenbericht: Innovativer Prüfstand für die Sicherheitsbewertung von KryoVials

Nr. ILK-B-1-17-370

KRETSCHMER, R.

Dichtheitsprüfung Kryotubes

Nr. ILK-B-1-17-399_v

KRETSCHMER, R. UND SPÖRL, G.

2. Zwischenbericht: Innovative Gefriertrocknungsanlage mit MBIT (Model Based Ice Templating)

Nr. ILK-B-1-17-371

KUHN, M.

3. Zwischenbericht: 3S – SupraStromSchiene Supraleitendes Hochstromsystem für DC-Anwendungen

Nr. ILK-B-1-16-346

KUHN, M. UND WISCHER, M.
Innovativer Hochleistungskryokühler: ölfreies Kaltteil
und wartungsarmes System
Nr. ILK-B-1-17-372

REINSCH, H.
Zwischenbericht: Kosteneffizientes, transport- und
lagerfähiges 3D-Zellkultursystem
Nr. ILK-B-1-17-366

Kälte- und Wärmepumpentechnik

BÖHM, M. UND HAUPTMANN, J.
Untersuchungen an einem Kältemittelverdichter aus
Schienefahrzeug- Klima-Anlagen
Nr. ILK-B-2-18-1743

BÖHM, M., LEUPOLT, H. UND BARTHEL, M.
Untersuchungen an Ölspiegelregulatoren
Nr. ILK-B-2-17-1638

GRILLE, R. UND STANGL, R.
Druck-/ Dichtheits-Prüfung von kompletten Mikro -
Wärmeübertrager-Prototypen (ILK, 3D Micro Print)
Nr. ILK-B-2-17-1715

HEMPEL, O.
Berechnung der Eisoberflächentemperatur bei Ände-
rung an der Kälteanlage
Nr. ILK-B-2-17-1674

ILLGEN, A.
Literaturstudie zu gültigen Normen und Standards in
Europa
Nr. ILK-B-2-17-1664

ILLGEN, A.
Modellansatz für den Stofftransport
Nr. ILK-B-2-17-1707

ILLGEN, A.
Modellschätzung für die Kältemittelverlagerung ins Öl
von Verdichtern
Nr. ILK-B-2-17-1729

J. HAUPTMANN UND BÖHM, M.
Testbericht - Leistungsmessung Verflüssigungssatz
BITZER LH104E4DES-7Y
Nr. ILK-B-2-17-1713

LANGNER, P.
Umweltverträgliche bzw. Niedrig-GWP-Ersatzstoffe
für R23 und R507A in Kälteanlagen mit Verdamp-
fungstemperaturen unter -40 °C (FKT 197/15)
Nr. ILK-B-2-17-1709

M. BÖHM, ILLGEN, A. UND HAUPTMANN, J.
Prüfverfahren und Prüfstand für Verflüssigungssätze
und Ventilatoren
Nr. ILK-B-2-17-1623

MÜLLER, M.
Auslegung Unterkühler für neues Wärmepumpen-
Wäschetrockner-Design
Nr. ILK-B-2-17-1723

MÜLLER, M.
Bauraumstudie Wärmeübertrager für Wärmepum-
pentrockner
Nr. ILK-B-2-17-1654

MÜLLER, M.
Berechnungen zu einer Wärmepumpe mit Heatpipe
Nr. ILK-B-2-17-1656

MÜLLER, M.
Messungen an einem Wärmeübertrager mit ver-
dampfendem Kältemittel
Nr. ILK-B-2-17-1672

MÜLLER, M.
Rechnerische Ermittlung des Einflusses von Luft auf
den k-Wert von kryptongefüllten Plattenelementen
Nr. ILK-B-2-17-1693

NOACK, R.
Untersuchungen an Einbaukältesätzen – Decken-
kühlgeräte für Normal- und Tiefkühlager
Nr. ILK-B-2-17-1683

NOACK, R. UND PEUSCH, A.

Untersuchungen an einer Abluftwärmepumpe (Aufdachvariante)

Nr. ILK-B-2-17-1653

PAATZSCH, R.

Energetischer Vergleich und Lebenszykluskosten-Analyse von zwei Supermarktkältesystemen an verschiedenen Standorten

Nr. ILK-B-2-17-1640

PAATZSCH, R.

Leistungsmessungen Wärmeübertrager Abscheideranlage Molkerei Ammerland eG

Nr. ILK-B-2-17-1741

PEUSCH, A.

2. Zwischenbericht: Entwicklung Prüfverfahren und Prüfstand für stationäre Einbau-Kältesätze (LPVKK)

Nr. ILK-B-2-18-1747

PEUSCH, A.

Schalluntersuchungen an Luft/Wasser-Wärmepumpen in Splitausführung nach DIN EN 12102:2013 - Inneneinheit (IDU)

Nr. ILK-B-2-17-1644

Röllig, P.

Regulations of Refrigerants and Dimensions of Chiller Machines for HL-LHC project at CERN

Nr. ILK-B-2-17-1714

Luft- und Klimatechnik

BUSCHMANN, M. H.

4. Zwischenbericht: Wärmerohre mit optimierten Kühlmedien

Nr. ILK-B-31-17-4126

BUSCHMANN, M. H.

Abschlussbericht: Kondensation unter fraktaler Turbulenz

Nr. ILK-B-31-17-4164

BUSCHMANN, M. H.

Studie zu Nanofluiden auf Basis flüssiger Metalle

Nr. ILK-B-31-17-4166

DÖGE, S.

Abschlussbericht:

Zustandsüberwachung für Außenluftfilter

Nr. ILK-B-31-17-4178

DÖGE, S. UND FRIEBE, C.

Festigkeitsberechnungen mittels FEM für die Laufräder eines mehrstufigen gegenläufigen Axialventilators -Teil 2: Untersuchungen an einem überarbeiteten Entwurf

Nr. ILK-B-31-17-4180

FRIEBE, C. UND STUBBE, D.

Bestimmung des Einflusses der Einbausituation auf die Kennlinie eines Diagonalventilators

Nr. ILK-B-31-17-4143

HANTSCH, A. UND MAI, R.

Ergänzung zum Leitfaden „Klimatisierung von Auslandsvertretungen

Nr. ILK-B-31-17-4179

KEMPE, T.

Belegarbeit: Studie zur aeroakustischen Simulation eines Axialventilators

Nr. ILK-B-31-17-4152

KEMPE, T.

Interdisziplinäre Projektarbeit: Innov. Regelalgorithmus für HVAC-Systeme auf Basis von Strömungssimulation und numerischer Optimierung

Nr. ILK-B-31-17-4154

MAI, R.

Untersuchung der Potentiale von Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050 sowie technische Beratung im Bereich Klima- und Lüftungstechnik

Nr. ILK-B-31-17-4170

ROSENBAUM, H.

Sachbericht: Regenerationsmodul für dezentrale Trocknungsprozesse

Nr. ILK-B-31-17-4194

Luftreinhaltung

BIRNBAUM, T.
Begutachtung eines Versuchsstandes
zur Heizkesselprüfung
Nr. ILK-B-33-17-2151

BIRNBAUM, T.
Abschlussbericht: Entwicklung eines Abscheiders
neuer Bauart auf elektrostatischer Basis für Kleinfu-
erungsanlagen im häuslichen Bereich zur Senkung
der Gesamtstaubemissionen
Nr. ILK-B-33-17-2162

BIRNBAUM, T.
Untersuchung der Emissionen eines
Dampferzeugers nach dessen Optimierung
Nr. ILK-B-33-17-2048

BIRNBAUM, T.
Untersuchung des Ausstoßes an krebserzeugenden
Stoffen sowie Stickoxiden an einer verbrennungs-
motorischen Anlage
Nr. ILK-B-33-17-2102

BIRNBAUM, T. UND MANN, C.
Untersuchungen an reinraumtechnischen Anlagen
Nr. ILK-B-33-17-2157

BLEI, S.
Untersuchung zu Aerosolspektrum bei der additiven
Fertigung unter Inertgasbedingungen
Nr. ILK-B-33-17-2156

BLEI, S. UND HEIDENREICH, R.
Abschlussbericht: Hybrid-Mehrkammerfilter
zur Ölnebelabscheidung
Nr. ILK-8-33-17-2119

BLEI, S. UND HEIDENREICH, R.
Schadstoffmonitoring an einer Anlage
zur Verarbeitung von Kleberkomponenten
Nr. ILK-B-33-17-2153

BÖHME, A.
Prüfung von Dunstabzugshauben – Produktprüfung
Nr. ILK-B-33-17-2116

BÖHME, A., MANN, C. AND S.HERRMANN
Vergleichende Prüfung von Kühlmittelkühlern auf
luftseitige Verschmutzung
Nr. ILK-B-33-17-2114

HEIDENREICH, R.
Auslegung und Berechnung einer pneumatischen
Förder- und Filteranlage
Nr. ILK-B-33-17-2165

HEIDENREICH, R.
Bestimmung der Ozonkonzentration an elektrostati-
schen Kühlschmierstoff-Abscheidern
Nr. ILK-B-33-17-2128

HEIDENREICH, R.
Lufthygienische Messungen bei Inbetriebnahme
von Projekt TS10 Bremen
Nr. ILK-B-33-17-2143

HEIDENREICH, R..
Untersuchungen an Venturi-Nassabscheidern
Nr. ILK-B-33-17-2171-1

HEIDENREICH, R., BIRNBAUM, T., HERRMANN, S.
UND BLEI, S.
Abschlussbericht: Flugstaubfilter zur Abscheidung von
Feinstäuben aus Biomasse-Verbrennungsanlagen
Nr. ILK-B-33-17-2100

HEIDENREICH, R., BIRNBAUM, T. UND MANN, C..
Untersuchung der Zu- und Abluftparameter einer
Gießerei
Nr. ILK-B-33-17-2138

HEIDENREICH, R. UND BLEI, S.
Bewertung der Leistungsfähigkeit von Aerosolab-
scheidern für Kühlschmierstoffe in einem Betrieb
der Metallverarbeitung
Nr. ILK-B-33-17-2097

HEIDENREICH, R. UND BLEI, S.
Entwicklung eines Feuchtemesssystems in Inertgas-
atmosphäre bei der Aufbereitung metallischer Pulver
bei additiven Fertigungsprozessen – Konzeption
Nr. ILK-B-33-17-2180

HEIDENREICH, R., BLEI, S. UND MANN, C.

Abschlussbericht: Entwicklung einer Prozessabsaugung mit aktivem Reaktor für die Anforderungen von Industrie 4.0

Nr. ILK-B-33-1-2182

HEIDENREICH, R. UND BÖHME, A.

Ermittlungen zum Staubgehalt der Luft und Analyse von Staubinhaltsstoffen

Nr. ILK-B-33-17-2177

HEIDENREICH, R., BÖHME, A. UND FRENZEL, W.P.

Abschlussbericht: Vorrichtung zur Simulation, Charakterisierung und Bewertung von Alterungszuständen am Kühlmittelkühler in Kraftfahrzeugen

Nr. ILK-B-33-17-2163

HEIDENREICH, R. UND FRENZEL, W.-P.

Abschlussbericht: Leistungsprüfung für filternde Abscheider

Nr. ILK-B-33-17-2133

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung eines Aerosolfilterelementes großer Dimension

Nr. ILK-B-33-17-2134

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung eines Filterelementes für Traktorenkabinen mit dem Prüfstaub AC-Fine

Nr. ILK-B-33-17-2112

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung eines Innenraumfilters bezüglich seiner Staubkapazität und Abscheideleistung

Nr. ILK-B-33-17-2121

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung eines Motoransaugfilters hinsichtlich der Standzeit

Nr. ILK-B-33-17-2105

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung eines Rundfilters für Schutzkabinen

Nr. ILK-B-33-17-2106

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Vergleichende Untersuchung an einem textilen Gewebe und einem Metallgewebe

Nr. ILK-B-33-17-2104

HEIDENREICH, R., HOLFELD, S.

UND BURKHOLZ, T.

1. Zwischenbericht: Grundlegende Untersuchungen zu Desorptionsvorgängen sowie deren praxisrelevante Überwachung bei der adsorptiven Filtration

Nr. ILK-B-33-17-2098

HEIDENREICH, R. UND KESSLAU, D.

Entwicklungsprüfung eines Filtermaterials

Nr. ILK-B-33-17-2089

HEIDENREICH, R. UND HOLFELD, S.

Untersuchung von DEHS Aerosolen beim Einsatz verschiedener Aerosolgeneratoren

Nr. ILK-B-33-16-2071

HOLFELD, S.

Untersuchung der Abscheideleistung von Filtermedien in Bezug auf Flammenruß

Nr. ILK-B-33-17-2139

HOLFELD, S.

Untersuchung eines Filtermediums für Scheinwerferbelüftungen

Nr. ILK-B-33-17-2110

KESSLAU, D.

Determination of dust class of a vacuum cleaner equipped with different filter systems

Nr. ILK-B-33-17-2126

KESSLAU, D.

Prüfung von zwei Reinraumstaubsaugern (Typ: Nilfisk IVT 1000 CR-H) auf Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit

Nr. ILK-B-33-17-2149

KESSLAU, D.

Entwicklung einer zylindrischen Personenreinraum-schleuse

Nr. ILK-B-33-17-2108

KESSLAU, D.
Untersuchungen zum Drift des Ausgangssignals
eines Streulichtmesssystems bei gleichbleibender
Staubkonzentration
Nr. ILK-B-33-17-2146

KESSLAU, D. UND HEIDENREICH, R.
Charakterisierung eines neuartigen Partikelmess-
Systems zur Raumluftüberwachung im Konzentrati-
onsbereich von 1.....30 mg/m³
Nr. ILK-8-33-17-2115

KESSLAU, D. UND HEIDENREICH, R.
Vermessung des Tropfenspektrums von Wasser-
dampf mittels laseroptischen Messverfahrens
Nr. ILK-B-33-17-2092

KESSLAU, D. UND HERMANN, S.
Filter characterization of glass fiber fleeces
Nr. ILK-B-33-17-2154

MANN, C. UND HOLFELD, S.
Materialuntersuchung bezüglich der Porengrößen-
verteilung eines Filtervliesstoffes
Nr. ILK-B-33-17-2169

Angewandte Neue Technologien

BURKHOLZ, T.
Literaturrecherche und Bewertung des aktuellen
Wissenstands zu möglichen Umwelteinflüssen von
Abbauprodukten von HFO-Kältemitteln
Nr. ILK-B-4-16-3475

FEJA, S.
Zwischenbericht: Korrosionsinhibitor für H₂O-LiBr-
Absorptionskälteanlagen (KorInAMF 150012)
Nr. ILK-B-4-17-3517

GERMANUS, J..
1. Zwischenbericht: N₂O (Lachgas) als Ersatzkälte-
mittel für R-23
Nr. ILK-B-4-17-3512

GOLDBERG, M., .KRAHL, WAGNER, T., RÜDIGER,
K., MIERSCH, K., D.VOIGT UND LEUTERITZ, U.
Vergleich der Langzeitstabilität von HFO- und
HFKW-Öl-Gemischen
Nr. ILK-B-4-16-3444

HANZELMANN, C.
3. Zwischenbericht zum Projekt „Innovative Prozess-
wärmespeicher mit organischen Latentmaterialien
- Prolatent“
Nr. ILK-B-4-17-3507

RITTSCHKE, A.
Zwischenbericht: Energieeffizienz und optimierte
Betriebsführung von gewerblichen Kälteanlagen
(EnßeKa II); Teilprojekt: Methoden der Fehlererken-
nung und Diagnose
Nr. ILK-B-4-17-3657

SEIDEL, R.
Zwischenbericht zum Projekt „Prüfleck für mobile
CO₂ - Lecksuchgeräte (CO-Test)“
Nr. ILK-B-4-17-3504

TÜRKE, A.
Abschlussbericht: Zustandsbestimmung von Ölen
mittels Voltammetrie (Oil-CV)
Nr. ILK-B-4-17-3589

Angewandte Energietechnik

HEINRICH, C. UND SAFARIK, M.
1SolarSplit - 2. Zwischenbericht für das Teilprojek
„Entwicklungen Mono-SplitKlimagerät“
Nr. ILK-B-5-17-0384

HONKE, M.
2. Zwischenbericht: Aerodynamische Grundlagen für
Wasserdampf-Turbo-Verdichter mit hoher Umfangs-
machzahl
Nr. ILK-B-5-17-0393

SAFARIK, M.

1. Zwischenbericht WindNODE: Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands; Teilvorhaben: Flexibilisierung einer industriellen KWKK-Anlage zur Integration in ein regionales Energieversorgungsnetz mit Schaufenster

Nr. ILK-B-5-17-0385

SAFARIK, M.

2. Zwischenbericht WindNODE: Das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands; Teilvorhaben: Flexibilisierung einer industriellen KWKK-Anlage zur Integration in ein regionales Energieversorgungsnetz mit Schaufenster

Nr. ILK-B-5-17-0416



