



MIT WISSENSCHAFT DER ZEIT VORAUS

FORSCHUNGSBERICHT
2019

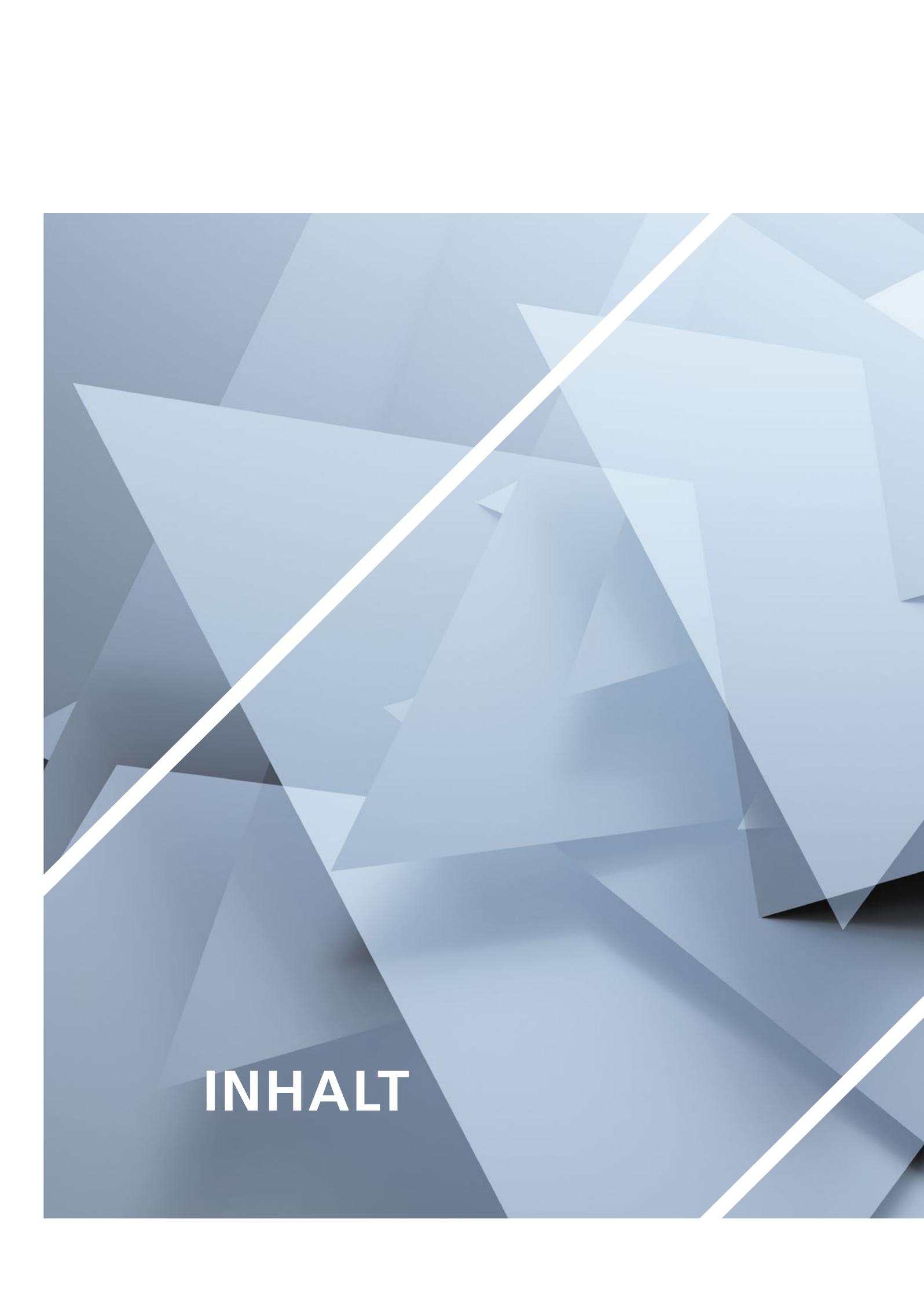




FORSCHUNGSBERICHT

2019

MIT WISSENSCHAFT
DER ZEIT VORAUS



INHALT

Inhalt

6 Vorwort

Institut

10 Philosophie

11 Organisation

Hauptbereiche

13 Kryotechnik- und Tieftemperaturphysik

37 Kälte- und Wärmepumpentechnik

59 Luft- und Klimatechnik

95 Angewandte Werkstofftechnik

113 Angewandte Energietechnik

Wissenswertes

122 Veranstaltungen

123 Verbände und Organisationen

124 Ausgewählte Veranstaltungen

130 Vorträge

138 Publikationen

140 Ausgewählte Fachberichte

MIT WISSENSCHAFT DER ZEIT VORAUS

Das Jahr 2019 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 29. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges privatwirtschaftliches, gemeinnütziges Forschungs- und Technologieunternehmen.

Mit 153 Mitarbeitern (146 VbE) in 5 Technologiebereichen und einem Jahresumsatz von ca. 14,8 Mio. € ist das ILK eine der größten privatwirtschaftlichen Forschungseinrichtungen in Deutschland.

*„Das menschliche
Leben und seine
Grundbedürfnisse
im Fokus.“*

Dabei stehen globale Herausforderungen für das menschliche Leben und heutige grundlegende menschliche Bedürfnisse, wie Wärme, Umweltschutz, Energieversorgung im Fokus des ILK. Mit seinen Technologien:

- Tieftemperaturtechnik
- Kältetechnik
- Wärme- und Stoffübertragung
- Klimatechnik
- Luftreinhaltung
- physikalisch-chemische Analytik
- Werkstoffe sowie
- angewandte Energietechnik

leistet das ILK Beiträge für die globalen Herausforderungen der Menschheit im Sinne der Verbesserung des Gemeinwohls.

Wir entwickeln neue Technologien, Produkte und Verfahren für die deutsche und europäische

Industrie. Zugleich unterstützen wir die Unternehmen bei ihren eigenen Bemühungen zum Klima- und Umweltschutz, der Sicherung einer hohen Lebensqualität sowie bei allen Fragen zum effizienten Energieeinsatz.

Im Jahr 2019 wurden 77 öffentlich geförderte 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 Transfer von Ergebnissen der öffentlich geförderten Forschungsprojekte in wissenschaftlich-technische Dienstleistungen und innovative Planung gebäudetechnischer Anlagen, Gegenstand der Arbeiten.

„Klima- und Umweltschutz, Sicherung einer hohen Lebensqualität sowie effizienter Energieeinsatz.“

Der Forschungsbericht des ILK für das Jahr 2019 beinhaltet ausgewählte Ergebnisse aus der Breite der Technologiebereiche. Sie dokumentieren die Leistungsfähigkeit und die Innovationsstärke des Unternehmens und sollen Inspiration für eine weitere gedeihliche Zusammenarbeit sein.

Wir bauen auf unsere Vergangenheit und nutzen das Wissen für ein vertrauensvolles Miteinander bei zukünftigen Projekten.

Die Geschäftsleitung bedankt sich bei allen Partnern in Wirtschaft, Forschung und im öffentlichen Bereich für die gute Zusammenarbeit im Geschäftsjahr 2019 und bei allen ILK-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die Ideen und das persönliche Engagement.

Wir freuen uns auf eine weitere erfolgreiche Zusammenarbeit mit Ihnen!

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'U. Franzke'.

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke



INSTITUT



Institut

10 Philosophie

11 Organisation

Philosophie

Das ILK Dresden ist ein freies und unabhängiges Forschungs- und Technologieunternehmen, welches sich wirtschaftlich eigenständig am Markt und an der FuE-Nachfrage orientiert.

Unsere Stärke besteht im breiten Spektrum unserer interdisziplinären Forschungsrichtungen, Technologien und Fachgebiete am ILK sowie ihrer Integration.

Die Fachgebiete der Kryotechnik und Kryophysik, der Kryomedizin und Kryobiologie, der Kälte- und Wärmepumpentechnik, der Wärme- und Stoffübertragung, der Thermodynamik und Kältemittelforschung, der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik einschließlich der Strömungstechnik und Akustik, die Luftreinigungstechnik und die Solarenergienutzung sowie angewandte Energietechnologien, die Nutzwasseraufbereitung und die Werkstofftechnik und Messtechnik stellen das breite Spektrum der ILK-Technologien dar.

Das ILK wirkt gemeinnützig mit Forschungsarbeiten zu globalen Themenstellungen, wie Umweltschutz, Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie verbesserte Lebensqualität.

„Wir schaffen Innovationen und Leistungen für die Wirtschaft und Gesellschaft.“

Mit der Dresdner Wissenschaftstradition, langjährigen Erfahrungen des ILK und der Dynamik des Aufbruchs in Sachsen schaffen wir Innova-

tionen und Leistungen für die Wirtschaft und Gesellschaft. Jeder Mitarbeiter des ILK sucht nach neuartigen Lösungen und nutzt das Potential des gesamten Unternehmens. Jeder einzelne Mitarbeiter und alle gemeinsam stehen für das ILK, keiner vertritt nur seine Arbeit.

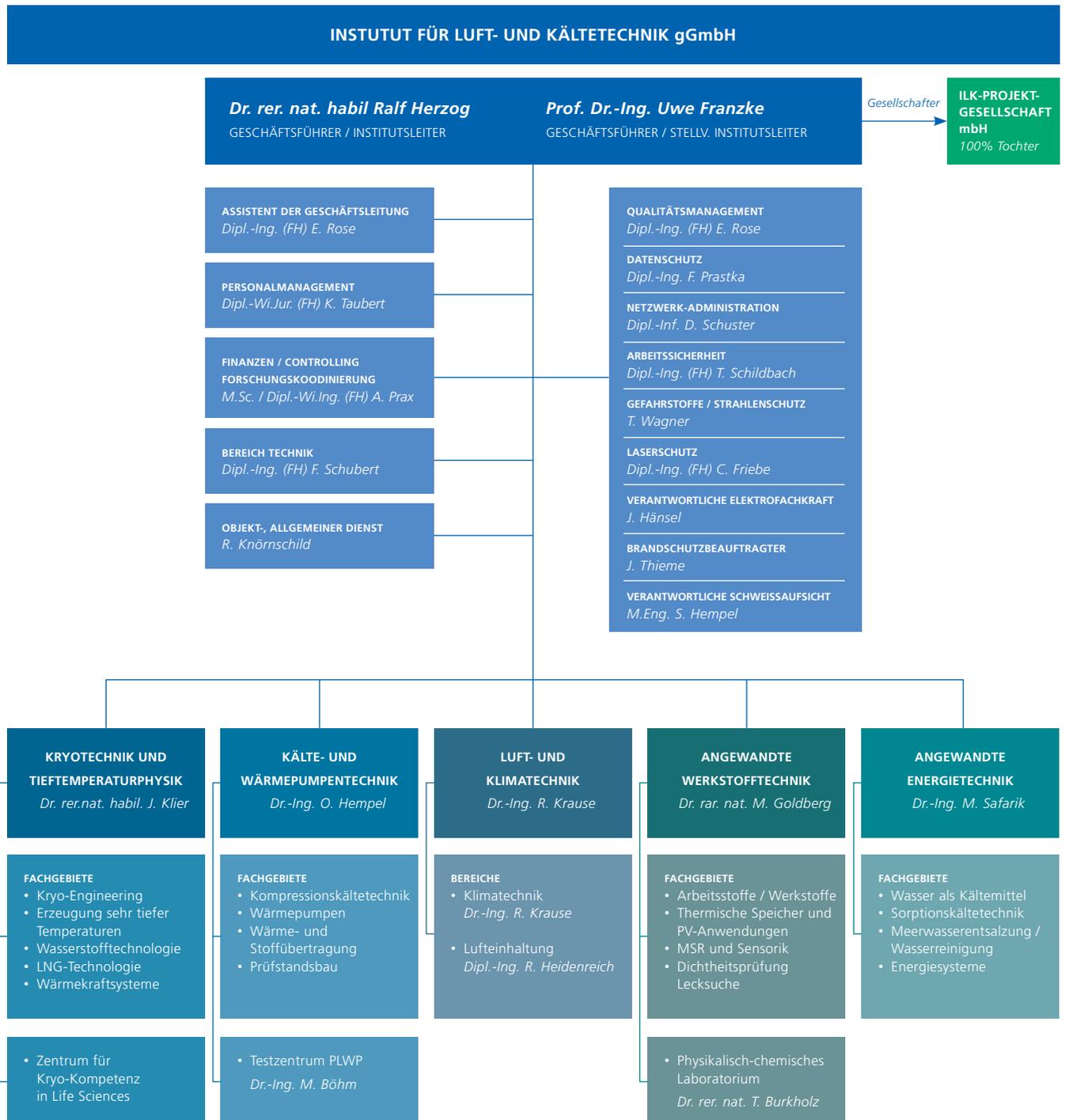
Die Erfolgskriterien unserer Forschungsarbeit bestehen in einer fundierten Wissenschaftlichkeit und einer nachhaltigen Wirtschaftlichkeit der Ergebnisse. Der Wunsch des Kunden und die geforderte Vertraulichkeit haben für uns höchste Priorität.

„Ein Weg entsteht, indem man ihn geht.“

Auch für uns gilt: Ein Weg entsteht, indem man ihn geht. Wir messen die Qualität unserer Arbeit am internationalen Spitzenniveau. Kostenbewusstes Handeln ist für uns ein Arbeitsprinzip. Effektive Forschungs koordinierung am ILK entlastet die Technologiebereiche und senkt die Kosten.

Mit Wissenschaft der Zeit voraus.

Organisation





**KRYOTECHNIK UND
TIEFTEMPORATUR-
PHYSIK**

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 14 I2S3 – Intelligente innovative Stromversorgung für supraleitende Spulen
- 16 Innovatives und kostengünstiges Tieftemperaturkühlsystem
- 18 HyMag – Innovativer magnetbasierter Parawasserstoffkonverter
- 20 Innovatives Neon-Kryosystem bis 30 K
- 22 4zWKM – 4-zyklische Stirling – Wärmekraftmaschine
- 24 SGS – Sequentielles Gaspermeationssystem
- 26 Verhalten mehrphasiger kryogener Fluide
- 28 Schalldämpfer mit integriertem Abgaswärmeübertrager zur Verbesserung des Kaltstartverhaltens
- 30 Entwicklungen kryotechnischer Anlagen
- 32 FuE-Dienstleistungen im Bereich tiefer Temperaturen
- 34 Normungsarbeit

I2S3 – Intelligente innovative Stromversorgung für supraleitende Spulen

Ziel des FuE-Projektes ist die Entwicklung einer intelligenten innovativen Stromversorgung als 4-Quadrantensteller, die aus einem miteinander kommunizierenden System zwischen Quench-Protection und Stromflusskontrolle am Supraleiter besteht. Die Entwicklung soll sich durch Sicherheit, Kompaktheit, Genauigkeit, Anwenderfreundlichkeit, gutes Preis-Leitungsverhältnis und Modularität auszeichnen, wobei durch die Kombination von tiefkalter und warmer Elektronik deutliche Vorteile ausgenutzt werden können.

Da MOSFET's leichter zu kühlen sind als Spulen, wurde Hauptaugenmerk auf die Auswahl einer geeigneten Filterspule gelegt. Diese wurde mit folgenden Parametern ausgewählt: $L=10\ \mu\text{H}$, resistiver Strom 30 A, Sättigungsstrom 37 A und Innenwiderstand $2,4\ \text{m}\Omega$.

Berechnungen haben gezeigt, dass bei diesem Spulentyp und den gewünschten Leistungsparametern die Frequenz mindestens 40 kHz betragen muss. Weiterhin konnte aus Rechnungen

abgeleitet werden, wie die Verlustleistung der MOSFET's in Abhängigkeit der Arbeitsfrequenz ansteigt. Für gängige MOSFET-Typen, in diesem Anwendungsbereich, ergeben sich damit ein Optimum der Gesamtverlustleistung bei ca. 40 kHz. Entsprechend der zu erwartenden Gesamtkosten und Leistungsparameter fiel die Auswahl auf einen Spulentyp mit den Spezifikationen: 195 A, 40 V, $1,5\ \text{m}\Omega$ mit Schaltzeit ca. 150 ns. Mit den ausgewählten Komponenten wurden zwei Prototypen eines 4-Quadrantenstellers entwickelt und vermessen, siehe Abbildung 1.

Dabei wurden hauptsächlich zwei MOSFET-Typen getestet. Eine langsamere Variante mit weniger Verlusten im statischen Betrieb und eine schnelle Variante mit höheren Verlusten im statischen Betrieb, die aber ein schnelles Ansprechverhalten haben und damit weniger Verluste beim Schaltvorgang. Durchgeführte Messungen haben ergeben, dass die Gesamtverlustleistung bei höheren Frequenzen deutlich zunimmt (Umschaltverluste). Damit fiel die Entscheidung für die langsamen MOSFET's, womit ein Optimum in der Temperaturverteilung zwischen Spulen und MOSFET's in der Schaltung erreicht werden konnte. Aus diesen Ergebnissen konnte eine finale Variante für den 4-Quadrantensteller entwickelt werden.

Die Komponenten für den Energiespeicher bestehen aus Einzelzellen mit einer Kapazität von 3.000 F und einer Spannung von 2,7 V. Damit werden 51 parallel geschaltete Module mit je 10 Einzelzellen zu einer Kondensatorbank zusammengefügt. Daraus ergibt sich eine Kapazität von 15.300 F und 25 V Spannung. Als Netzteil wurde ein 3 kA, 30 V Gerät ausgewählt, was bereits erfolgreich an einer tiefkalten Stromzuführung getestet werden konnte.

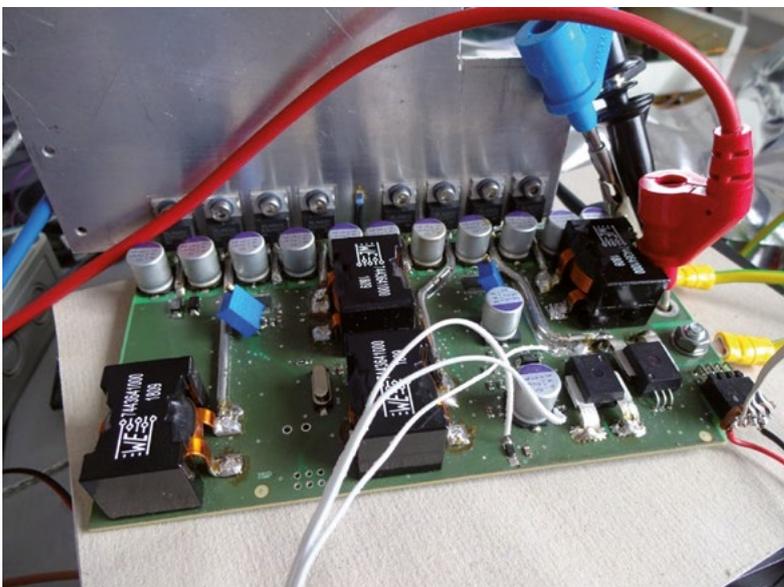


Abbildung 1: Prototyp des 4-Quadrantenstellers mit Kühlplatte [ILK Dresden]

Im nächsten Schritt werden die bereits konfigurierten Kondensatormodule für den Energiespeicher und die Platinen des 4-Quadrantenstellers in drei Schaltschränken zusammengeführt, siehe Abbildung 2.

Die Stromversorgung zur Spule erfolgt mittels Stromschienen aus Kupfer, Länge ca. 7 m. Da diese in ihrer Gesamtheit mehrere hundert Kilogramm wiegen, wurden statische Berechnungen vorgenommen, um eine solide Trägerkonstruktion zu gewährleisten. Zudem mussten elektrostatische Kräfte berücksichtigt werden.

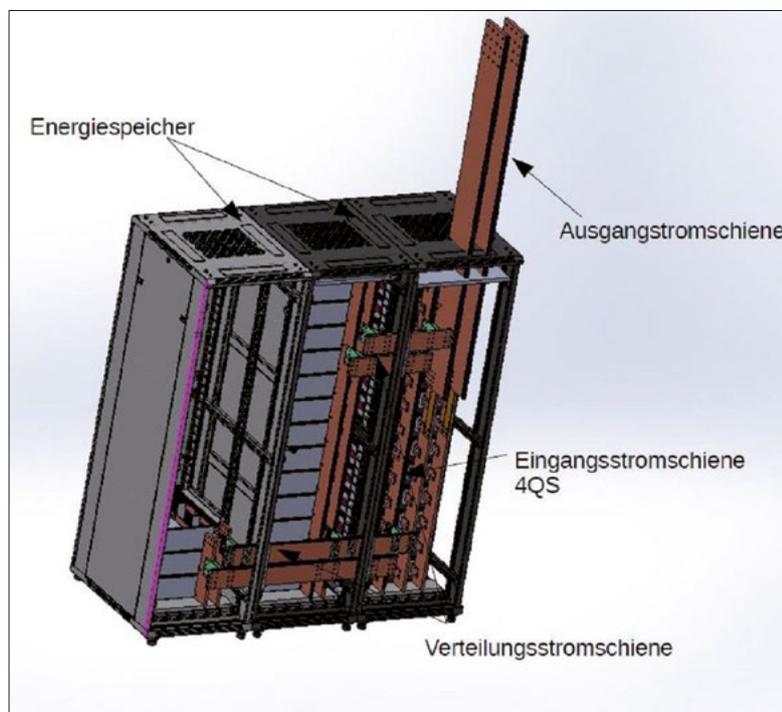


Abbildung 2: Komplette Stromversorgung in drei Schaltschränken mit Ausgangsschiene

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Innovatives und kostengünstiges Tieftemperaturkühlsystem

Hauptziel des FuE-Projektes ist die Entwicklung eines innovativen, effizienten und dennoch kostengünstigen Tieftemperaturkühlsystems, welches in der Lage ist, einen Gasstrom an verdampftem Erdgas aus einem flüssigen Erdgasreservoir zu rekondensieren oder andere Gase bis auf ein Temperaturniveau von 77 K zu kühlen und/oder zu verflüssigen. Im FuE-Projekt soll hierfür exemplarisch Stickstoff genutzt werden. Die technischen Lösungen zur Entwicklung des Systems zielen auf die Bereitstellung einer Reihe von Vorteilen gegenüber bereits existierenden Geräten: vergleichsweise hohe Leistungseffizienz, Umweltfreundlichkeit, Kompaktheit sowie wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit auf dem aktuellen Markt.

Die Grundidee des FuE-Projektes basiert hierbei auf der Nutzung eines Kältemittelgemisch-Tieftemperaturkühlers, welcher nach dem Linde-Verfahren arbeitet und mittels eines innovativen Algorithmus vollständig ausgelegt und optimiert wird. Als Kältemittelgemische sind verschiedene Kohlenwasserstoffe geplant, wobei deren Gesamtmasse aus Brandschutzgründen nicht 150 g überschreiten soll.

Zunächst wurde eine umfassende Prozedur zur multiparametrischen Berechnung und zur Optimierung des Tieftemperaturkühlprozesses ausgelegt und programmiert. Der daraus resultierende Algorithmus erlaubt es, 2- bis 5-komponentige zeotrope Kältemittelgemische basierend auf Kohlenwasserstoffen hinsichtlich Anzahl, Auswahl und Konzentration der Komponenten bzgl. der thermischen und hydraulischen Parameter des Systems zu bestimmen sowie die Arbeitsparameter (Dimension, Masse, Leistung usw.) der einzelnen Einheiten des



Abbildung 1: Spiralwärmetauscher des Labormodells des Kältemittelgemisch-Kühlers

Kühlers bei vorgegebenem Bauteilschema auslegen. Aus diesen Ergebnissen konnten die Komponenten für das Kühlsystem geplant und ausgewählt werden. Das Kühlsystem besteht aus einem Phasentrenner, einem speziellen Wärmetauscher für drei Ströme, zwei Verdampfern sowie einem hermetischen, geschmierten Kompressor.

Basierend auf Rechenergebnissen wurden im Folgenden drei geeignete Kältemittelgemische ausgewählt und die zugehörigen, notwendigen Systemparameter ermittelt. Weiterhin erfolgte eine Optimierung der Hauptelemente der Kältemaschine hinsichtlich ihrer Arbeitsparameter für das jeweilige Gemisch. Daraufhin wurde die Tauglichkeit des Algorithmus anhand eines vorhandenen Versuchsmusters getestet und verifiziert. Die dabei erzielten Temperaturen betragen bis zu 122 K, was den Vorhersagen des Modelles entsprach. Das System arbeite darüber hinaus über einen längeren Zeitraum stabil und ohne nennenswerte Temperaturschwankungen oder Leistungseinbrüche.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen erfolgten die Auslegung, Konstruktion und Fertigung eines leistungsfähigeren Labormodells. Im Detail wurden hierfür ein vollhermetischer Hubkolbenverdichter mit einem Frequenzumrichter und einem Nachkühler sowie ein Spiralwärmetauscher (siehe Abbildung 1), welcher vom ILK Dresden selbst gefertigt wurde, ausgewählt.

Dieses Labormodell wurde zunächst mit einfachen Standardkältemitteln getestet und arbeitete zufriedenstellend. Danach erfolgte eine Untersuchung von mehrkomponentigen Kältemittelgemischen. Mit den gewonnenen Ergebnissen wird im nächsten Schritt ein Funktionsmuster realisiert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

HyMag – Innovativer magnetbasierter Parawasserstoffkonverter

Wasserstoff (H_2) liegt in zwei Molekülformen vor, Parawasserstoff und Orthowasserstoff, deren jeweilige Anteile von der Temperatur abhängen, siehe Abbildung 1. So beträgt der Anteil an Parawasserstoff bei Raumtemperatur lediglich 25 % und liegt erst bei 20 K bei fast 100 %. Problematisch ist, dass die Umwandlung von Para- zu Orthowasserstoff größtenteils unterhalb von 80 K stattfindet und Energie freisetzt. Dieser Vorgang beeinflusst signifikant Kühl- und Verflüssigungsprozesse, ausgenommen natürlich bei der Verwendung von reinem Parawasserstoff. Dieser kann jedoch bisher nur durch kryogene Methoden unter Verwendung eines Katalysators erzeugt werden, was allerdings sehr ineffizient ist.

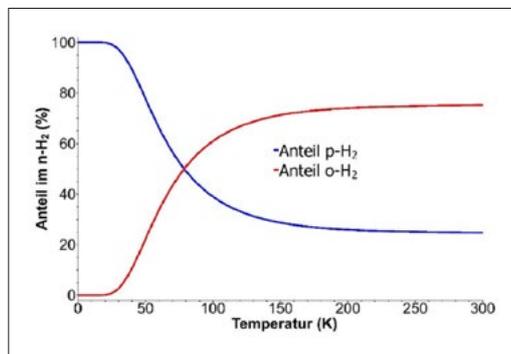


Abbildung 1: Prozentualer Anteil von Para- und Orthowasserstoff als Funktion der Temperatur

Hauptziel des FuE-Projektes ist die Entwicklung eines energieeffizienten Ortho-Para-Konverters auf Grundlage von Permanentmagneten. Dadurch soll Parawasserstoff bei Raumtemperatur auf einen Anteil von mehr als 99 % angereichert werden. Der so gewonnene Parawasserstoff soll im Anschluss direkt weiter verwendet werden, sei es zur energieeffizienten Verflüssigung oder Kühlung von Wasserstoff oder zur direkten Verwendung im wissenschaftlichen oder medizini-

schen Bereich, beispielsweise zur Ausrichtung der Spins von Atomkernen bei Magnetresonanztomografie oder Kernspinresonanzspektroskopie.

Als Ausgangsgas des Prozesses dient reiner Wasserstoff (Güte von mindestens 5.0), damit können von vornherein Verunreinigungen ausgeschlossen werden. Zur Wiederverwendung des abgetrennten Orthowasserstoffs soll dieser durch einen Kompressor bzw. eine Pumpe und eine hinreichend große Menge Katalysatormaterial wieder eingespeist werden, siehe Abbildung 2. Die Grundidee für das eigentliche Kernelement des Konverters ist der Ortho-Para-Separator (OPS). Dieser basiert auf einem Wasserstoff-Molekularstrahl und soll durch eine geschickte Anordnung von magnetischen Polschuhen um ein speziell präpariertes Rohr realisiert werden.

Das Prinzip der Verwendung von möglichst reinem Parawasserstoff bei Raumtemperatur zur Anwendung im Tieftemperaturbereich ist hierbei ein wichtiger Schritt. Wichtigste Innovationen der geplanten Entwicklung sind dabei eine hohe Energieeffizienz, Kompaktheit, Volumenstromreglung sowie eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit auf dem Markt.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Berechnungen hinsichtlich einer geeigneten Geometrie der Polschuhe und des Konverters durchgeführt. Der Konverter wurde für verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten realisiert und hinsichtlich seiner Effizienz vermessen. Zur Erfassung der resultierenden Trennung von Ortho- und Parawasserstoff kam ein spezieller Gasanalysators zum Einsatz.

Auf Basis der so gewonnenen Daten wurde ein quantitatives, heuristisches Modell über die Separation der Moleküle im Konverter entworfen, welches alle relevanten thermodynamischen und strömungstechnischen Parameter des Systems berücksichtigt. Unter Zuhilfenahme dieser Parameter kann mit der Optimierung des Konverters begonnen werden.

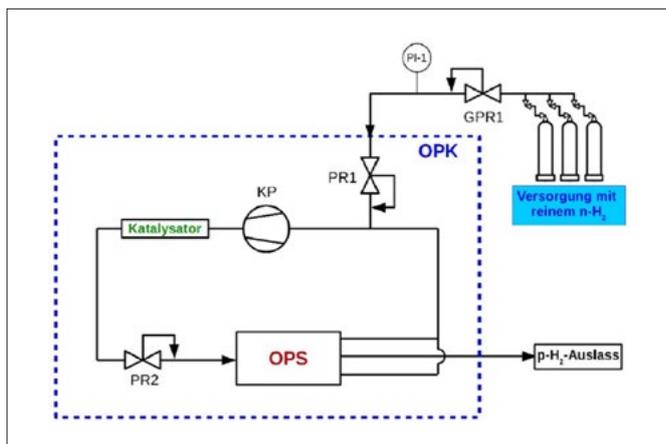


Abbildung 2: Skizze zum grundlegenden Funktionsprinzip des geplanten Konverters

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Innovatives Neon-Kryosystem bis 30 K

Ziel des FuE-Projektes ist die Entwicklung eines Tieftemperaturkühlsystems zur Kühlung und Kryostatierung eines Festkörpers oder Gasstroms auf ein Temperaturniveau im Bereich von ca. 27 K bis 64 K. Angestrebt wird eine Kühlung bei 30 K mit 500 W Kälteleistung. Für den Kühlkreislauf ist der Einsatz von Neon im Zweiphasenbereich als Kältemittel geplant. Das vorgeschlagene Kühlsystem soll effizienter und zuverlässiger sein als verfügbare Systeme. Die technischen Lösungen, welche für das zu entwickelnde Tieftemperatursystem vorgesehen sind, zielen darauf ab, eine Reihe von Vorteilen gegenüber bestehenden Kühlsystemen zu bieten: vergleichsweise hohe Energieeffizienz, Brandschutz, Kompaktheit, hohe Zuverlässigkeit und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit auf dem derzeitigen Markt.

Die Grundideen zur Umsetzung basieren dabei auf der Verwendung eines Kältemittelgemisch-Kühlers als Vorkühlstufe sowie auf dem Einsatz eines nassen Neon-Turboexpanders, welcher im Zweiphasenbereich arbeitet.

Mit Berechnungen und Simulationen wurde das Kühlsystem für die Vorkühlstufe des Neon-Tieftemperaturkühlers ausgelegt. Damit ist es möglich, Kältemittelgemische mit bis zu 5 verschiedenen Komponenten zu berücksichtigen sowie hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und thermodynamischer Parameter in Abhängigkeit vom zu kühlenden Objekt zu optimieren. Die Auslegung der Neon-Hauptkühlstufe erfolgte hingegen mittels analytischer thermodynamischer Abschätzungen.

Im Anschluss wurden geeignete Kältemittelgemische auf Basis von Kohlenwasserstoffen ermittelt sowie die Hauptelemente und ther-

modynamischen Betriebsparameter der Vorkühlstufe in Abhängigkeit vom benutzten Gemisch optimiert. Die Tauglichkeit des verwendeten Algorithmus wurde dabei anhand eines Funktionsmusters getestet und verifiziert, siehe Abbildung 1. Dieses Funktionsmuster wurde in einem weiteren FuE-Projekt bereits aufgebaut. Dabei wurde gezeigt, dass die ermittelten Modellvorhersagen gut auf die realen Messungen passen.



Abbildung 1: Bestehendes Labormodell eines Kältegemischkühlers, mit welchem eine Temperatur von 90 bis 100 K erzielt wurde

Darauf aufbauend erfolgte die Auswahl und Auslegung der verschiedenen Komponenten der eigentlichen Vor- und Hauptkühlstufe. Das System wurde so ausgelegt, dass als Vorkühlstufe verschiedene Möglichkeiten realisierbar bleiben: Kühlung mit Kältemittelgemisch bei 90 bis 100 K, Kühlung mit flüssigem Stickstoff bei 77 K sowie keine Vorkühlung. Letzteres führt dabei zu einer Verringerung der anvisierten Kühlleistung auf 300 W bei 30 K. Um eine solche Flexibilität ohne spätere bauliche Veränderungen des Kühlsystems zu ermöglichen, wurde ein spezieller Spiralwärmetauscher eingeplant, welcher sich hauptsächlich aus zwei seriell zusammengesetzten Komponenten aufbaut. Dieser erlaubt das Zirkulieren von Neon ohne Vorkühlung, kann aber auch mit vorgekühltem Neon über einen seitlichen Einlass gespeist werden.

Auf eine ähnliche Weise wurde der nasse Turboexpander (Beispiel siehe Abbildung 2) in Absprache mit dem Hersteller ausgelegt, so dass sich beide Hauptkomponenten derzeit in der Fertigung befinden. Anschließend kann der Versuchsstand aufgebaut und in Betrieb genommen werden.



Abbildung 2: Turboexpander

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

4zWKM – 4-zyklische Stirling – Wärmekraftmaschine

Bei fast jeder Form der Energieumwandlung, sei es im Transportwesen durch Verbrennen von Treibstoffen zur Fortbewegung, bei der Stromerzeugung durch Verbrennen von fossilen Energieträgern oder in der Industrie z. B. bei Trocknungsprozessen, fallen erhebliche Wärmemengen an, der Großteil davon auf niedrigem Temperaturniveau $< 150\text{ °C}$. Gerade diese Niedrigtemperatur-Wärmemengen können bisher mit herkömmlichen Verfahren nicht mehr wirtschaftlich genutzt werden. Entweder sind die nötigen Komponenten zu groß, zu teuer oder weisen einen geringen Wirkungsgrad auf. Motiviert durch Klimaerwärmung, Energiewende und steigender Nachfrage nach CO_2 -neutralen Techniken wird in diesem FuE-Vorhaben eine neuartige Wärmekraftmaschine (WKM) entwickelt. Eingesetzt werden soll die WKM in der Abgasenergierückgewinnung in PKW, Nutzfahrzeugen und Schienenfahrzeugen, Schiffen, Geothermie-Anlagen und in Fabriken mit Verbrennungsprozessen. Angestrebt wird ein Wirkungsgrad von mindestens 25 % von Carnot bei 100 °C bis 250 °C Arbeitstemperatur und einer Leistungsdichte $> 10\text{ W/dm}^3$.

Das Konzept besteht, vereinfacht beschrieben, aus mehreren, miteinander gekoppelten alpha-Stirlingmotoren. Die konventionellen Kurbelwellen sind dabei durch eine fluidische Kopplung substituiert worden. Die Kolben sind doppelwirkend und Teil der Lineargeneratoren. Die Phasenlage, vergleichbar mit dem Kurbelwinkel, zwischen den Kolben der warmen Seite und denen der kalten Seite sind abhängig von der Anzahl der Zyklen. Bei einer vier-zyklischen Anordnung beträgt die Phasenlage 90° . Wegen der fehlenden mechanischen Kopplung kann die Phasenlage im Betrieb von Zyklus zu Zyklus variieren, was zu periodischen und alle Zyklen durchlaufenden Störungen führen kann. Um diese Instabilität zu unterdrücken, werden die Generatorspulen der gegenläufigen Kolben jeweils antiparallel geschaltet. Kolben, die von dem gegenphasigen Lauf abweichen, erfahren so eine korrigierende Kraft mit stabilisierender Wirkung.

Auf diese Weise werden Dissonanzen und Schwebungen unterdrückt, was zu einer erhöhten Laufruhe der Maschine führt. Diese elektrische Kopplung der Kolben dient dadurch als eine Schwungmasse, die mit dem Kolbengestänge weggefallen ist. Des Weiteren bietet die direkte elektrische Energieauskopplung die Möglichkeit, die Kolben mit programmierbaren Lastwiderständen zu belasten. Dadurch kann je nach induzierter Spannung, Frequenz oder anliegender Temperaturdifferenz, die Belastung der Kolben variiert und stets ein optimaler Betriebspunkt angesteuert werden.

Zu Beginn des FuE-Vorhabens wurden mehrere numerische Modelle zur Simulation eines einzelnen Zyklus sowie von gekoppelten Anordnungen in 3-, 4- und 5-zyklischer Anordnung erstellt. Daran anschließend wurden die Abmes-

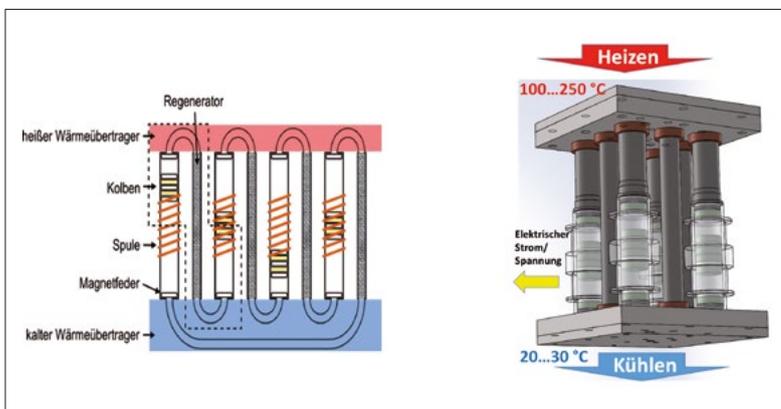


Abbildung 1: Links, Prinzipskizze und rechts, 3D-CAD-Entwurf des vier-zyklischen Modells der geplanten WKM in Kompaktbauweise

sungen der einzelnen Bauteile festgelegt und Materialien für Struktur und Regenerator ausgewählt. Gegenwärtig werden die Konstruktionen eines experimentellen Aufbaus für variable Anordnungen der einzelnen Zyklen sowie eines möglichst kompakten Aufbaus erarbeitet.

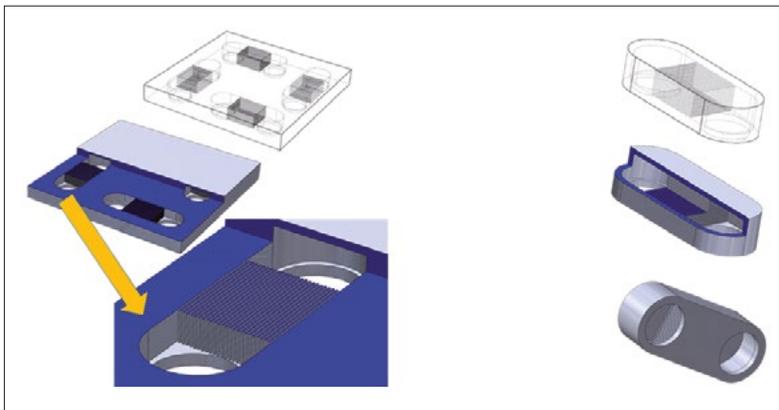


Abbildung 2: Links, kompakter Aufbau eines vier-zyklischen Plattenwärmeübertragers und rechts, einzelnes Segment für eine variable experimentelle Anordnung

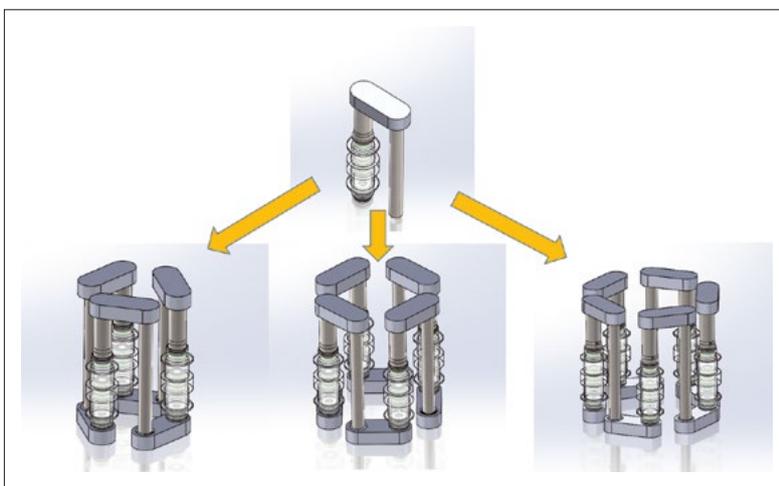


Abbildung 3: Oben, experimentelles Segment bestehend aus Plattenwärmeübertrager, Linear-generator und Regenerator; unten, variable Aufbauten in 3-, 4- und 5-zyklischer Anordnung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SGS – Sequentielles Gaspermeationssystem

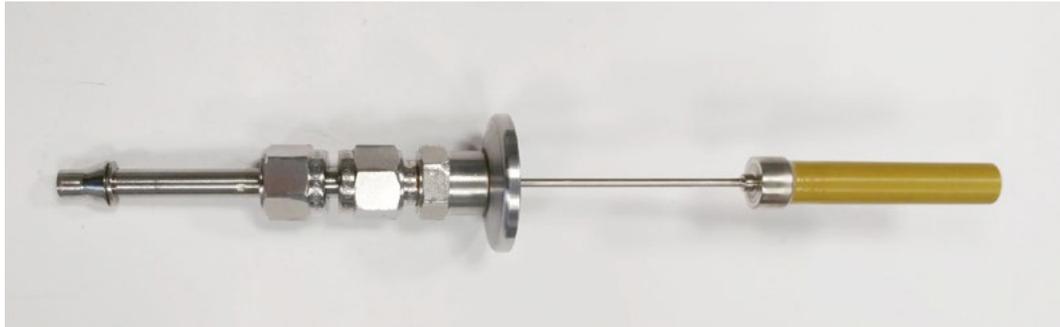


Abbildung 1: Testaufbau für die Permeationsmessung an einem Kunststoffröhrchen. Die Kapillare dient zur Evakuierung und zur Befüllung mit Testgas, hier Helium.

Die Gasdichtheit von Materialien und Bauteilen aus Kunststoff stellt weiterhin eine technische Herausforderung dar. Einerseits geht es dabei um Fragestellungen aus Materialentwicklung und Werkstoffeinsatz, andererseits um die Zuverlässigkeit von Produkten aus verschiedenartigen Kunststoffen. Ein Beispiel dafür ist die Langzeitlagerung biologischer und medizinischer Proben in speziellen Röhrchen, welche beispielsweise in großangelegten medizinischen Studien verwendet werden. Um eine sichere und degradationsfreie Langzeitlagerung biologischer Proben zu garantieren, müssen chemische Reaktionen und Stoffwechselprozesse auf ein Minimum reduziert werden. Realisiert wird dies durch die Lagerung bei tiefen Temperaturen. Für diesen Einsatzfall stehen jedoch keine Testanlagen zur Verfügung, welche eine Vielzahl von Testmessungen in vertretbarer Zeit ermöglichen, was für die laufende Qualitätssicherung an derartigen Röhrchen erforderlich ist. Im FuE-Vorhaben soll eine Anlage für Dichtheitsmessungen an Kunststoffen entwickelt werden, wodurch das ILK Dresden selbst entsprechende Forschungsdienstleistungen anbieten kann. Zudem sollen solche Anlagen auch eigenständig vermarktet werden.

Im Rahmen des FuE-Vorhabens soll ein Funktionsmuster des geplanten Permeations- und Dichtheitsprüfsystems für die Untersuchung von Kryoröhrchen entwickelt werden. Die zu entwickelnde Prüfkammer muss die Aufnahme und exakte Temperierung der Prüfkörper (Kryoröhrchen), die stoffdichte Trennung von Prüfgas- und Permeatseite des Prüfsystems sowie die Dichtheit nach außen und die vollständige und druckgenaue Füllung mit und Evakuierung von Prüfgasen und Permeat gewährleisten und stellt damit höchste technische Anforderungen an Konstruktion und Fertigung. Einen Schwerpunkt bildet die Konstruktion einer geeigneten Probenhalterung, die eine permeationsdichte Installation der Kryoröhrchen zu vertretbaren Kosten gewährleisten muss. Um die gewünschte Prüfaufgabe zu erfüllen, muss der Kontaktbereich zwischen Probenhalterung und Packmittel höchsten Dichtheitsanforderungen (Hochvakuumdichtheit) genügen. Die geforderte Dichtheit muss beim Durchschreiten einer Temperaturdifferenz von bis zu 200 K erhalten bleiben. In Abb. 1 wird ein einfacher Testaufbau gezeigt, der in den ersten Arbeiten innerhalb des FuE-Vorhabens insbesondere zur Bewertung von Messtechnik eingesetzt wurde. Die Abdichtung des Röhrchens erfolgte in diesem Fall mit einer metallischen Kappe, in welche die Kunststoffwand beidseitig eingeklebt wurde.

Aktuell wird dieser Ansatz konstruktiv weiterentwickelt, um verschiedenartig geformte Prüflinge aufnehmen zu können, mehrere Proben weitgehend parallel zu untersuchen und gleichzeitig nur eine kleine Teiloberfläche der Röhrrchen für die Einspannung zu verwenden. Besondere Herausforderung dabei ist das Dichtungskonzept.

Aus den ersten Vorversuchen an den oben gezeigten Aufbauten ergeben sich auch Hinweise auf Möglichkeiten und Grenzen des geplanten Verfahrens. Obwohl ein vereinfachter Aufbau genutzt wurde, welcher kein Ultrahochvakuum zulässt, konnte für verschiedenartige Kunststoffe ein klarer Effekt der Permeation detektiert werden, siehe Abb. 2. Mit den im FuE-Vorhaben geplanten Innovationen ist davon auszugehen, dass die angestrebten kurzen Messzeiten bei kleinen Prüflingen erreicht werden können.

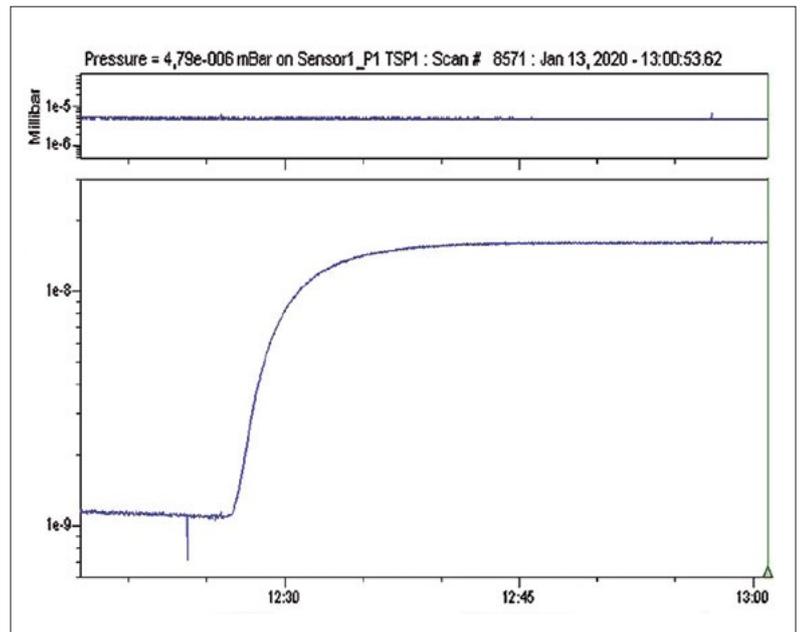


Abbildung 2: Typischer Verlauf einer Permeationsmessung, charakteristisch ist der Anstieg des Helium-Partialdrucks im umgebenden Vakuumraum beim Befüllen des Inneren des Röhrrchens.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verhalten mehrphasiger kryogener Fluide



Abbildung 1: Konstruktionsmodell eines Venturirohrs, welches zum Test (mit Helium im Zweiphasengebiet) im Versuchstand eingebaut ist.

In der Kryotechnik basieren wesentliche Kühlkonzepte auf Phasenumwandlungen kryogener Medien. Neue Herausforderungen für die damit verbundenen Prozesse und Bauteile resultieren einerseits aus verbesserten Kühlprozessen wie geschlossenen Kreisläufen und unterkühlten Medien. Andererseits werden potentielle Anwendungen zunehmend kritisch für das Design bezüglich Festigkeit und Stabilität des dafür erforderlichen Kryosystems. Als Beispiel sind große supraleitende Spulen zu nennen. Diese können beim schlagartigen Übergang in den normalleitenden Zustand in sehr kurzer Zeit erhebliche Energiemengen freisetzen. Insbesondere auch zur Auslegung von Sicherheitsventilen und vergleichbaren Komponenten ist die Bewertung der dynamischen Siedebedingungen unverzichtbar. Starke Fluktuationen und weitere Effekte aus mehrphasigem Verhalten können erhebliche technische und/oder wirtschaftliche Limitierungen für kryotechnische Anwendungen verursachen.

Ein Ziel des Vorlaufforschungsvorhabens ist die Vertiefung theoretischer Grundlagen zur dynamischen Berechnung und Bewertung siedender kryogener Medien. Für ein theoretisches Verständnis des konkreten Bauteilverhaltens sind, über die Auslegungsrechnungen hinaus, numerische Beschreibungen erforderlich, und zwar sowohl für die Fluid-Dynamik als auch für die räumliche und zeitliche Änderung der Temperatur. Parallel dazu wird die experimentelle Basis zur Auslegung anspruchsvoller Tieftemperatur-Komponenten und Anlagentechnik verbessert. Dazu werden insbesondere zwei Anlagen für Tests mit Stickstoff und mit Helium im Zweiphasengebiet aufgebaut. Diese dienen einerseits zur Untersuchung der Siededynamik und andererseits der Charakterisierung und Optimierung spezieller Bauteile.

In Abb. 1 wird als ein Beispiel für Komponentenuntersuchungen das Modell eines Venturirohrs gezeigt. Dieses Messgerät für den Massenstrom

eines Fluids basiert auf der Auswertung von Druckdifferenzen an einer Querschnittsänderung. Prinzipiell sind derartige Instrumente seit langem im Einsatz, und sie arbeiten bei einphasigen Strömungen (Flüssigkeit oder Gas) präzise und zuverlässig. Insbesondere für Helium im Zweiphasengebiet werden jedoch sehr starke Fluktuationen beobachtet, welche oft eine selbst nur näherungsweise Auswertung der Messung verhindern. Um dem entgegenzuwirken, werden aktuell zwei Ansätze verfolgt. Zum einen soll die elektronische Verarbeitung der Messsignale verbessert werden, insbesondere auch auf Basis von systematischen experimentellen Daten zu Temperaturen, Drücken und Masseströmen. Zum anderen sind Verbesserungen an konstruktiven Details geplant, um Fluktuationen zu dämpfen. Entsprechende Untersuchungen sind derzeit in Arbeit.

Neben systematischen Untersuchungen von Bauteilen stellen kryogene Kühlprozesse einen weiteren Schwerpunkt des FuE-Vorhabens dar, siehe Abb. 2. Für einige Anwendungen ist es

erforderlich, nicht oder jedenfalls nicht ausschließlich mit flüssigem Helium zu arbeiten, sondern stabile Temperaturen im Bereich etwa in der Nähe von 10 K zur Verfügung zu stellen. Für derartige Kaltgaszirkulationen kommen oft Kryokühler zum Einsatz. Wenn dies jedoch nicht realisierbar ist und flüssiges Helium vorab verdampft wird, sind störende Effekte durch die Flüssigphase zu erwarten. In in Abb. 2 gezeigten Prozess treten derartige Schwingungen bei ca. 12 K bzw. 14 K auf. Erst bei höheren Temperaturen um 18 K herum ist eine Stabilisierung möglich. Eine wesentliche Ursache für die schlechte Regelbarkeit der Heliumverdampfung ist der schwankende Druck im Heliumvorratsgefäß, vor allem auch aufgrund seiner Füllstandsabhängigkeit. Dieser Einfluss konnte durch eine neuentwickelte elektronische Druckregelung in der Heliumkanne minimiert werden, so dass der Verdampfungsprozess besser kontrolliert werden kann. In der Folge konnten dann für die gezeigte Anwendung Temperaturen bis unterhalb von 10 K über lange Zeit stabil gehalten werden.

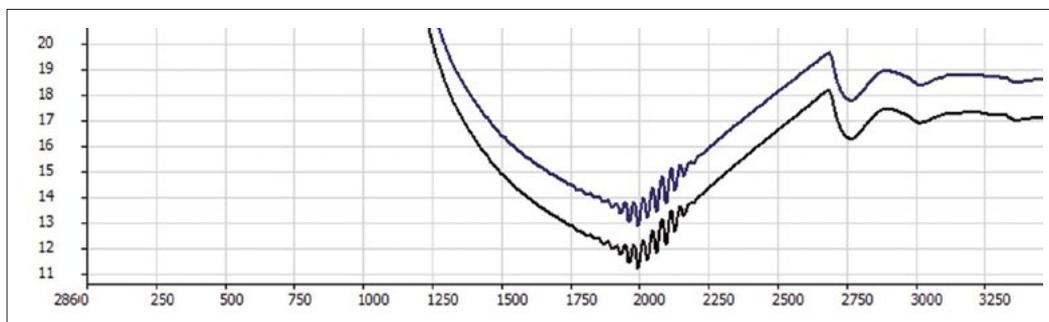


Abbildung 2: Temperaturverlauf für zwei Sensoren bei einer mit kaltem Heliumgas gekühlten Anlage. Es ist die Temperatur in Kelvin über der Messzeit in Sekunden aufgetragen, siehe Text.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schalldämpfer mit integriertem Abgaswärmeübertrager zur Verbesserung des Kaltstartverhaltens

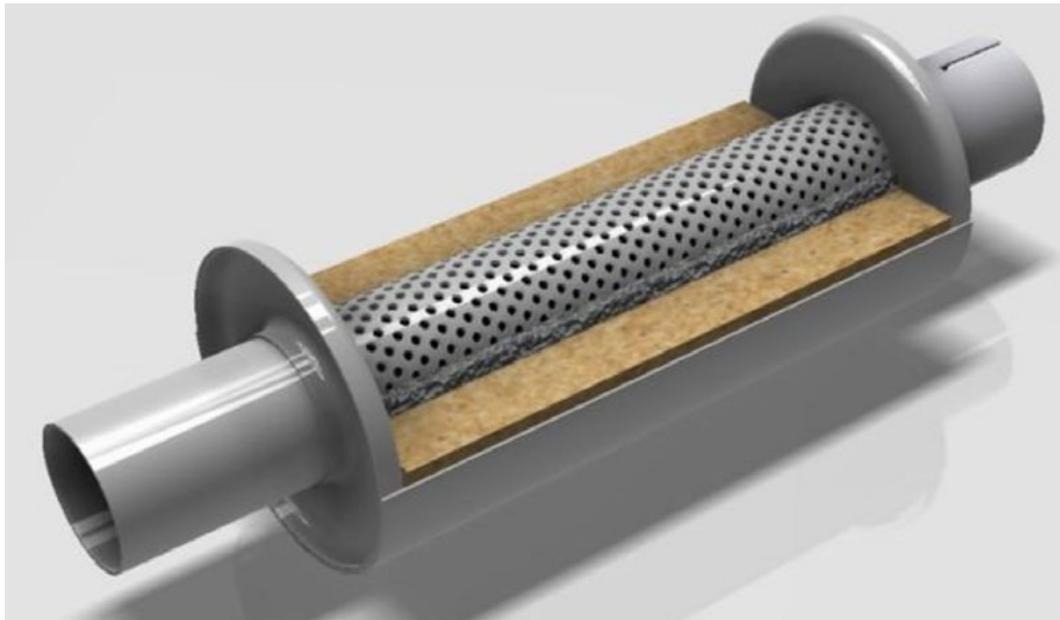


Abbildung 1: Schalldämpfer

Die moderne Abgastechnik hat sich stark verbessert, aber die Luftqualität in den Städten bleibt unverändert schlecht, Umweltzonen müssen eingerichtet werden und es drohen Fahrverbote für einzelne Fahrzeugklassen. Dies liegt zum großen Teil an den vielen Kurzstreckenfahrten und dem Schadstoffausstoß beim Kaltstart, bei dem so viele Abgase in die Luft geblasen werden, wie sonst bei einer 1.000 km-Fahrt. Eine schnelle Erwärmung des Motors würde den Kaltstart wesentlich verkürzen und somit die Emissionen signifikant reduzieren. Ein Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in den Städten ist das primäre Ziel dieses Entwicklungsvorhabens, sekundär nicht weniger von Bedeutung ist die Einsparung von Kraftstoff durch die Nutzung der zurück gewonnenen Abwärme.

Bekanntlich geht nach wie vor bei allen Verbrennungsmotoren ungefähr zwei Drittel der eingesetzten Antriebsenergie in Abwärme verloren, die sich hälftig auf Abgas und Kühlwasser ver-

teilen. So wird, obwohl die Automotoren in den vergangenen Jahren deutlich sparsamer geworden sind, ein großer Teil der Energie verschwendet, beziehungsweise geht dieser unweigerlich verloren.

Selbst Dieselmotoren mit relativ geringem Wärmeverlust kommen beim PKW kaum über einen Wirkungsgrad von 40 %. Heiße Abgase sind in jedem Fall ein erheblicher Wärmeverlust an die Umgebung und der Kaltstart erhöht die Schadstoffemission erheblich.

Kernaufgabe dieses FuE-Vorhabens ist die Entwicklung eines neuartigen Schalldämpfers mit integriertem Abgaswärmeübertrager für den Kfz- und Nfz-Bereich, der vornehmlich das Ziel hat, eine schnellere Vorwärmung des Motors zu ermöglichen. Gefördert wird das Vorhaben, welches in Zusammenarbeit mit der Firma FOX Sportauspuffanlagen ATJ Automotive GmbH (FOX exhaust systems) aus Johanngeorgenstadt

bearbeitet wird, durch die Sächsische Aufbau-bank aus dem europäischen Fond für regionale Entwicklung. Durch die Firma FOX exhaust systems ist nicht nur eine automobilgerechte Fertigung, sondern auch eine schnelle Marktplatzierung und Vermarktung gewährleistet. Innerhalb der Entwicklung übernimmt das ILK Dresden die thermodynamische Auslegung des Wärmeübertragers und des Wärmemanagements im Fahrzeug. Durch den Entwicklungsansatz, dass der Wärmeübertrager in den Schalldämpfer integriert wird, wird kein zusätzlicher Platz im Fahrzeug beansprucht. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Entwicklungen, die aus Abgaswärme auch noch Strom generieren sollen. Nichtsdestotrotz kann der Entwicklungsgegenstand letztendlich auch eine Komponente für solche Systeme sein.

Die Umsetzung erfolgt derart, dass bei der Firma FOX exhaust systems existierende Schalldämpfer, wie in Abbildung 1 dargestellt, weiter entwickelt werden. Dabei werden Wärmeübertragerrohre sowohl direkt im Mittelrohr des Schalldämpfers als auch in den Mantelraum integriert. Eine vorher eventuell notwendige Wärmeisolierung auf der Außenseite des Schalldämpfers kann damit entfallen. Das in Abbildung 1 ockerfarben dargestellte schalldämpfende Material muss für die Wärmeübertragerfunktion eine hohe thermische Leitfähigkeit besitzen.

Mittels numerischer Strömungssimulation, siehe Abbildung 2, wurden nicht nur verschiedene Materialien als Füllstoff für den Schalldämpfer auf ihre wärmeübertragende Leistung, sondern auch unterschiedliche Rohrgeometrien für das Wärmeträgermedium untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass der Einfluss der thermischen Leitfähigkeit des Materials gering ist, da ein Großteil der Leistung bereits über die

Rohrwendel innerhalb des mittleren gelochten Rohres übertragen wird. Hier hat sich eine Oberflächenvergrößerung mittels Rippen als vorteilhaft erwiesen. Nach Abschluss der thermodynamischen Untersuchungen erfolgt die Fertigung des Funktionsmusters.

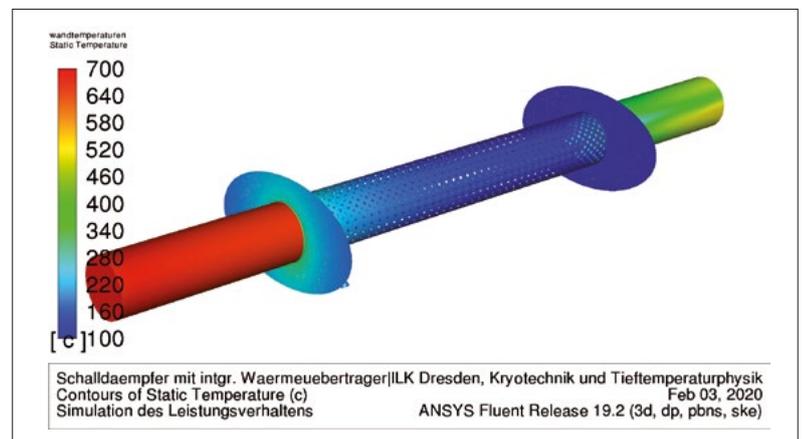


Abbildung 2: Numerische Simulation des Leistungsverhaltens

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Entwicklungen kryotechnischer Anlagen



Abbildung 1: MPD SRU im Helium-Testfeld des ILK Dresden

Einen wesentlichen Teil des kryotechnischen Anlagenbaus 2019 stellten FuE-Aufgaben für Großforschungszentren, welche auch die Entwicklungen der Vorjahre weiterführen, dar. Ein Beispiel für die Anwendung einer erfolgreich abgeschlossenen Thematik ist die Entwicklung der Satellite Refrigerator Unit (SRU) für den Multi-Purpose-Detektor (MPD)¹ am geplanten NICA-Beschleuniger des Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna, Russland. Erste Auslegungsarbeiten zu dieser Entwicklung wurden schon 2017 begonnen, in 2019 konnte dann das finale System erfolgreich getestet und an das JINR ausgeliefert werden, siehe Abbildung 1.

Der SRU, arbeitet als Multiplikator zur Bereitstellung von flüssigem Helium für den Teilchendetektor, dabei beträgt die Rückverflüssigungsrate mehr als 85 %. Je nach Betriebszustand ist ein vollautomatischer Betrieb gewährleistet. Der SRU verfügt über einen aktiv gekühlten thermischen Schild, wodurch Wärmeeinträge signifikant reduziert werden.

Im Zusammenhang mit dem MPD-SRU konnte auch die Entwicklung des Control Dewars in 2019 erfolgreich abgeschlossen werden, siehe Abbildung 2. Ein anschließender gemeinsamer Test beider Anlagen – MPD-SRU + Control Dewar – wurde im Helium-Testfeld des ILK Dresden (hier sind kryogene Untersuchungen mit Flüssighelium auch unter sog. forced-flow Bedingungen möglich) durchgeführt und zeigte sowohl die geforderte Spezifikationen beider Systeme als auch deren erfolgreiche Zusammenspiel, um letztendlich den Multi-Purpose-Detektor entsprechend kryogen betreiben zu können.

Der Control Dewar, als eigenständige funktionelle Einheit, ist die Schnittstelle zwischen dem MPD SRU und dem MPD. Es dient als Reservoir für flüssiges Helium und kontrolliert die Kühlung für den Teilchendetektor. Zudem enthält der Control Dewar die supraleitenden Stromzuführungen des Detektors, welche ebenfalls mit flüssigem Helium gekühlt werden können.



Abbildung 2: Control Dewar im Helium-Testfeld des ILK Dresden

In einer weiteren Entwicklung kryotechnischer Anlagen wurde ein spezieller Flüssighelium-Kryostat für den Cryogenic Current Comparator (CCC) für Tests im CRYRING / FAIR des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt, entwickelt und gefertigt.

Der CCC-Kryostat aus Edelstahl und Aluminium wurde konstruiert, um die Kühlung von einem „Superconducting Quantum Interference Device (SQUID)“-Sensor mit flüssigem Helium (LHe) zu ermöglichen, siehe Abbildung 3. Das Design ermöglicht die Nutzung unterschiedlich großer Sensoren und ist für die Forschungszwecke am GSI mit abnehmbaren Aluminium-Platten ausgestattet.



Abbildung 3: CCC-Kryostat im Helium-Testfeld des ILK Dresden

FuE-Dienstleistungen im Bereich tiefer Temperaturen

Im Hauptbereich „Kryotechnik und Tieftemperaturphysik“ wurde im Jahr 2019 eine große Bandbreite verschiedener FuE-Dienstleistungen durchgeführt. Stellvertretend für den gesamten Hauptbereich werden Auszüge der Ergebnisse des *Cryo Competence Center in Life Sciences* auf dem Gebiet der Biomaterialentwicklung, des Kryobanking und der Materialanalytik sowie Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen an Materialproben und Komponenten für kryogene Anwendungen vorgestellt.

Die Dienstleistungen des *Cryo Competence Center in Life Sciences* im Bereich der Dichtheitsprüfung von Probenröhrchen für Biobanking-Applikationen konnten erfolgreich weitergeführt und ausgebaut werden. Der Schwerpunkt lag erneut auf der Bewertung der Transportsicherheit kommerzieller Probenpackmittel nach den Vorgaben der International Air Transport Organization (IATA) und der Sicherheitsbewertung für den Transport auf Trockeneis.

Im Bereich der Materialprüfung wurden umfangreiche Analysen zum Nachweis der Beständigkeit und biologischen Unbedenklichkeit von Probenröhrchen aus verschiedenen Kunststoffen durchgeführt. Im Rahmen von Leachable- / Extractable Studies wurde die Beständigkeit der Packmittel gegen häufig verwendete Lösungsmittel untersucht. Die Extrakte wurden mittels chromatographischer Verfahren auf potentielle Schadstoffe, Verunreinigungen und Produktionshilfsmittel untersucht.

Im Rahmen einer Studie im Auftrag einer führenden deutschen Universität wurde eine Methode entwickelt, um den Einfluss eines Kühltransportes in Trockeneis auf eingefrorene Serumproben zu ermitteln, siehe Abb. 1, linker Teil. Dazu wurden das physikalisch-chemische Verhalten frischer Blutseren unter Laborbedingungen und der Einfluss einer CO₂-Dotierung auf die Probenstabilität untersucht. Im Ergebnis gelang es, eine Kalibrierfunktion für die Konversion zwischen pH-Wert und Kohlenstoffdioxidkonzentration humanen Blutserums zu etablieren.

Im Bereich der Biomaterialentwicklung wurden internationale FuE-Kooperationen vorbereitet. Für einen Hersteller kollagenbasierter Medizinprodukte wurde die Verarbeitung löslichen Kollagens zu 3-dimensionalen Medizinprodukten mit dem patentierten MBIT-Verfahren (modellgestütztes Ice Templating) erprobt. Für einen der weltgrößten Hersteller von Kollagenprodukten erfolgte eine Charakterisierung der Eigenschaften neuer, medizinischer Kollagensuspensionen in Bezug auf Reinheit, Nativität, Fließfähigkeit und wichtige Dispersionseigenschaften, wie beispielsweise die Faserlängenverteilung. Die charakterisierten Dispersionen wurden mit der neu entwickelten Prozessform „ILK-Flexiform“ (siehe Abb. 1, rechter Teil) für die simultane

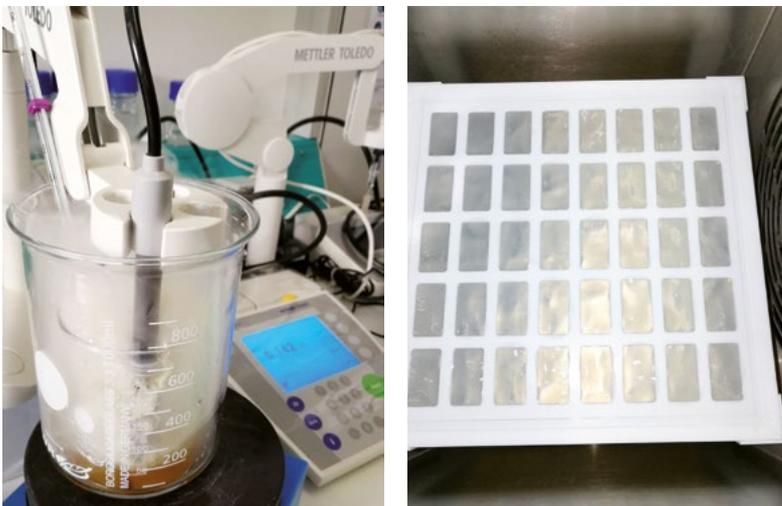


Abbildung 1: links, CO₂-Dotierung von humanem Blutserum im Life Science Labor und rechts, neue ILK-Flexiform mit Suspensionsproben (offen) im Konvektionseinfriergerät

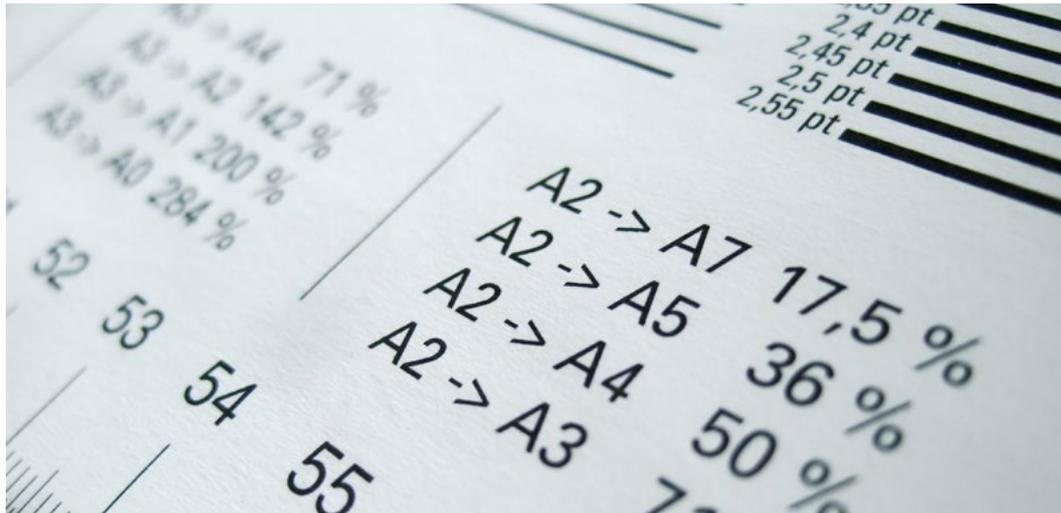
Gefriertrocknung von bis zu 40 Materialproben zu kundenspezifischen Trägermaterialien für die 3-dimensionale Zellkultur verarbeitet.

Weitere FuE-Dienstleistungen umfassten unter anderem thermische Belastungsprüfungen an optischen Bauteilen und Messungen der Wärmeleitung im Tieftemperaturbereich an innovativen Materialien, wie beispielsweise hochfesten Faserverbundstoffen. Zudem wurde ein Versuchsaufbau für kryogene Ventiltests realisiert, welcher an die spezielle Geometrie angepasst ist, siehe Abb. 2. Durch die Einbindung in die Infrastruktur des ILK-Wasserstofflabors können die Medien Helium und Wasserstoff zur Prüfung verwendet werden, die thermische Ankopplung des Aufbaus an einen Kryokühler ermöglicht dabei Temperaturen bis hinab zu ca. -253 °C (ca. 20 K).



Abbildung 2: Versuchsaufbau für Ventiltests im ILK-Wasserstofflabor

Normungsarbeit



Das ILK Dresden steht für Forschung und Entwicklung auf höchstem Niveau und deckt durch das breite Spektrum an hochqualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine große Bandbreite an verschiedenen Themen ab. In der Forschungsabteilung *Cryo Competence Center Life Sciences*¹, ein Teil des Hauptbereiches „Kryotechnik und Tieftemperaturphysik“, wurde in den vergangenen Jahren ein großes Know-how bei der Prüfung und Bewertung von Packmitteln für das Biobanking, sogenannten Kryoröhrchen oder Kryovials, erarbeitet und beständig ausgebaut. Es geht hier in erster Linie um die Dichtigkeit dieser Röhrchen bei der Langzeitlagerung von biologischen Proben, beispielsweise Blut oder Blutbestandteile oder andere patienteneigene Proben sowie Zellsuspensionen bis hin zum haltbar gemachten Gewebeproben. Die angestrebte Lagerdauer reicht dabei von wenigen Stunden oder Tagen bis hin zu Zeiträumen von mehreren Dekaden. In jedem Fall sollen die eingelagerten Proben sich während dieser Lagerzeit möglichst nicht verändern. Eine wichtige Stellschraube ist dabei die Lagertemperatur, da sich chemische und biologische Reaktionen mit sinkender Temperatur deutlich verlangsamen. Aus diesem Grund sind die Lagerung bei

ca. -80 °C in Tiefkühltruhen oder bei ca. -170 °C in der Gasphase über flüssigem Stickstoff in großen Lagertanks weit verbreitete Methoden. Potentielle Gefahren sind dabei das Eindringen von Gasen (z.B. Sauerstoff, Kohlendioxid) oder Partikeln (Bestandteile anderer Proben, Mykoplasmen, etc.), die zu einer Veränderung oder Schädigung der Proben führen können. Weiterhin kann das verwendete Material für die Röhrchen selbst Stoffe abgeben, die im ungünstigsten Fall mit den Bestandteilen der im Packmittel befindlichen Probe reagieren. Häufig werden hierbei Kunststoffe auf Basis von Polypropylen oder Polypropylenmischungen (Blends, Copolymer, etc.) mit speziellen Hilfsstoffen für eine verbesserte Verarbeitung im Spitzgussprozess verwendet.

Um für den Anwender nachvollziehbare und transparente Möglichkeiten zur Auswahl des besten Kryoröhrchens für die jeweiligen Aufgabestellung zu schaffen, nimmt ein wissenschaftlicher Mitarbeiter des *Cryo Competence Center Life Sciences* am ILK Dresden drei- bis viermal jährlich gemeinsam mit weiteren Experten aus Industrie und Forschung an Sitzungen des Deutschen Institutes für Normung (DIN)

im Zentrum Berlins teil. Im Normenausschuss Medizin, Fachbereich Biotechnologie (NA 063-09-02 AA Biotechnologie) wird eine Norm erarbeitet, die allgemeine Anforderungen an Probenbehältnisse für die Lagerung von biologischen Proben in Biobanken umfasst sowie relevante und allgemeingültige Spezifikationen für diese Packmittel beinhaltet. Insbesondere im Bereich der Durchführung und Entwicklung von geeigneten Prüf- und Auswertemethoden kann das ILK Dresden durch Erkenntnisse aus der erfolgreichen Bearbeitung von öffentlich geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekten einen wesentlichen Beitrag während der Erarbeitung der Norm im Arbeitskreis „Biobanken/Bioressourcen“ (NA 063-09-02-02 AK „Biobanken/Bioressourcen“) leisten. Um die wertvollen, eingelagerten Proben während der Lagerdauer möglichst unverändert zu erhalten, müssen dazu Anforderungen an die Dichtigkeit unter definierten Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck, umgebende Medien) erfüllt sowie die Verwendung von ungefährlichen Röhrchenmaterialien nachgewiesen werden.

A close-up photograph of a refrigeration system. The image shows several red and blue hoses connected to brass fittings and a black component, likely a compressor or valve. The background is a metallic surface with some condensation or frost. A white diagonal line runs across the image from the top-left to the bottom-right.

KÄLTE- UND WÄRME- PUMPENTECHNIK



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 38 HiCoDry – Hochtemperatur-Wärmepumpenmodul für Gewerbetrockner
- 40 HERAM – Hermetisierung von Verdichtern für das Kältemittel Ammoniak
- 42 KoLoR – Kühlverfahren zur Klimatisierung von Rechenzentren
- 44 Entwicklung eines Sublimations-WÜ für Tieftemperaturkühlung
- 46 MiCon – Mikro-Verflüssiger
- 48 Füllmengenreduzierung
- 50 STEAMCOMP – Wasserdampfverdichter für HT-Wärmepumpen
- 52 Dienstleistungen Kälte- und Wärmepumpentechnik
- 54 Prüfstände Kältetechnik, Wärmepumpen
- 56 Normungsarbeit

HiCoDry – Hochtemperatur-Wärmepumpenmodul für Gewerbetrockner

Projektpartner in diesem ZIM-Projekt war die Firma Rochhausen Kältesysteme GmbH aus Scharfenstein/Drebach, die für ihre vielfältige Produktpalette im Klein- und Gewerbekältebereich bekannt ist.

Das Forschungsprojekt „HiCoDry – High-temperature **C**ommercial **D**rying Process Heat Pump“ hatte zum Ziel, ein Hochtemperatur (HT)-Wärmepumpenmodul für gewerbliche Trocknungsprozesse zu entwickeln.

Durch hohe Einsatztemperaturen sollte eine schnellere Trocknung ermöglicht werden und die Wärmepumpentechnologie sollte trotzdem zu einer energiesparenden Betriebsweise führen.

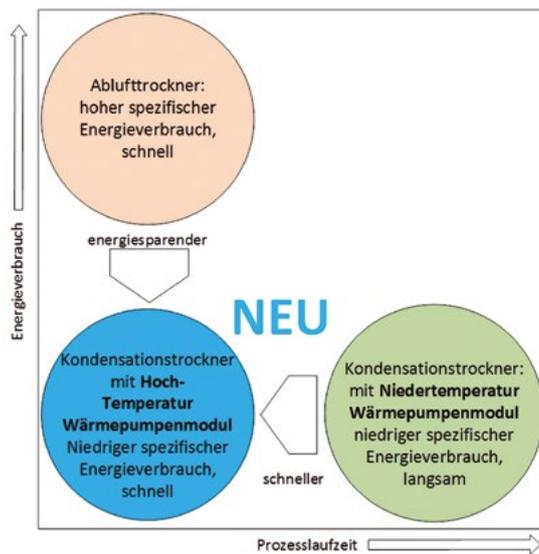


Abbildung 1: Energie-Zeit-Diagramm

Das Hauptproblem, das es zu lösen galt, waren die deutlich längeren Trocknungszeiten bei bisherigen Wärmepumpentrocknern (am Beispiel Trocknen von Wäsche). Im Haushaltsbereich sind diese Trocknungszeiten tolerierbar. Im Gewerbebereich hingegen bedeuten längere Trocknungszeiten, dass mehr Maschinen an-

geschafft werden müssten, um die gleichen zu trocknenden Wäschemengen bewältigen zu können. Konventionelle Gewerbetrockner sind entweder gas- oder elektrobeheizt und erreichen durch große installierte Heizleistungen Lufttemperaturen von bis zu 120 °C. Durch die hohe Feuchteaufnahmefähigkeit dieser heißen, trockenen Luft führt dies zu relativ kurzen Trocknungszeiten. Energetisch sind diese Trockner sehr ineffizient.

Der Wärmepumpenkreislauf in einem Trockner ist sowohl auf der kalten Seite als auch auf der warmen Seite mit dem meist geschlossenen Luftkreislauf gekoppelt. Auf der kalten Seite wird die Luft entfeuchtet und gibt dabei thermische Energie an das Kältemittel ab und auf der warmen Seite wird die getrocknete Luft wieder erwärmt, damit sie in diesem warmen, trockenen Zustand dem Trocknungsgut wieder zugeführt werden kann.

Die Auswahl des Kältemittels spielte bei diesem Projekt eine entscheidende Rolle. Kältemittel für Hochtemperaturanwendungen bis zu 120 °C Kondensationstemperatur wurden ursprünglich favorisiert, es zeigte sich aber, dass die kalte Seite für eine ausreichende Entfeuchtung der Luft „zu warm“ ist und dass die volumetrische Kälteleistung kleiner ist als bei herkömmlichen Kältemitteln. Dies würde zu größeren Verdichtern und damit zu Platz- und Kostenproblemen führen. Deshalb wurde zu relativ neu auf dem Markt befindlichen Gemischen aus HFOs und FKWs gegriffen, die höhere Kondensationstemperaturen zulassen, aber auch ähnlich hohe volumetrische Kälteleistungen besitzen. Außerdem war eine generelle Anforderung, dass es keinerlei Aufstellungsbeschränkungen geben darf, weshalb nur A1-Kältemittel in Frage kamen. Es ist gelungen, das gesamte Temperatur-

niveau um ca. 15 K anzuheben und damit die Trocknungszeiten um bis zu 25% zu senken.

Erreicht wurde das durch unterschiedliche Entwicklungsschritte, wie den Einsatz anderer Verdichter, neues Wärmeübertragerdesign, andere Prozessauslegung mit der Abstimmung des Expansionsventils und der Steuerung der gesamten Maschine.

Das Projekt wurde erfolgreich abgeschlossen und die Fa. Rochhausen Kältesysteme GmbH befindet sich bereits in der Markteinführungsphase. Es ist geplant, die Ergebnisse auch auf andere Trocknungsprozesse zu adaptieren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

HERAM – Hermetisierung von Verdichtern für das Kältemittel Ammoniak

Das Forschungsprojekt „Hermetisierung von Verdichtern für das Kältemittel Ammoniak“ (Kurzbezeichnung HERAM) ergibt sich aus der Notwendigkeit eines zukünftig stärkeren Einsatzes des Kältemittels Ammoniak. Vor allem sollen neue Anwendungsgebiete für Ammoniak erschlossen werden, z.B. für Gewerbe- oder Klimaanwendungen, wo dieses Kältemittel bislang keine Rolle spielt.

Gegenwärtig wird die kältetechnische Branche durch politisch-administrative Rahmenbedingungen sehr stark geprägt.

Zum einen ist eine weitere Erhöhung der Energieeffizienz von Kälteanlagen erforderlich. Dafür eignet sich Ammoniak als ein kältetechnisch sehr vorteilhaftes Kältemittel, denn damit lässt sich eine hohe Energieeffizienz von Kälteanlagen erreichen.

Zum anderen werden aufgrund der Festlegungen in der F-Gase-Verordnung EU 517/2014 künftig verschiedene synthetische Kältemittel mit hohen

GWP-Werten nicht mehr verfügbar sein. Für diese Kältemittel sind Ersatzstoffe notwendig. Im Sinne von Nachhaltigkeit sowie Umweltschutz sollten vorzugsweise natürliche Kältemittel, wie Ammoniak, mit sehr niedrigen GWP-Werten diese synthetischen, reglementierten Hoch-GWP-Kältemittel ersetzen.

Das natürliche, umweltfreundliche Kältemittel Ammoniak könnte dabei einen viel größeren Beitrag zur Entspannung der Kältemittel-Situation leisten, wenn dessen Einsatz für einen breiteren Anwendungsbereich erschlossen wird als gegenwärtig möglich ist. Aber wegen seiner Toxizität und Brennbarkeit sind für Ammoniak besondere Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. So sind z.B. Anlagen bzw. Anlagenkomponenten notwendig, die „auf Dauer technisch dicht“ (gemäß TRBS 2152) sind. Aus diesem Grund müssen entsprechende kältetechnische Komponenten entwickelt werden, insbesondere funktions sichere hermetische Ammoniak-Verdichter.

Aufgrund von Werkstoff-Unverträglichkeiten bieten die europäischen Marktführer für Kältemittelverdichter bislang ausschließlich offene Verdichter für das Kältemittel Ammoniak an. Bei diesen Verdichtern ist die Antriebswelle durch eine thermisch belastete, verschleiß- und störanfällige Gleitringdichtung dynamisch abgedichtet. Auch die für Nischenmärkte produzierten ansatzweise hermetisierten Ammoniak-Verdichter kleinerer Herstellerfirmen sind nicht frei von Schwachstellen und konnten den kältetechnischen Anforderungen nicht immer gerecht werden.

Deshalb besteht das Ziel dieses Forschungsprojektes in der Entwicklung eines funktions sicheren, energieeffizienten Ammoniak-Verdichters, der hermetisch ausgeführt ist.



Bild 1: Das Bild zeigt einen Prototyp des neu entwickelten hermetischen Ammoniak-Verdichters.

Mit der Firma EAAT GmbH Chemnitz ist ein fachkundiges Unternehmen als Kooperationspartner des ILK Dresden maßgeblich an der Entwicklung dieses hermetischen Ammoniak-Verdichters beteiligt. Die Kompetenzen der Firma EAAT liegen im Bereich von Antriebstechnik und rotierender Energieübertragung. Somit sind die besten Voraussetzungen gegeben, dass eine optimale Lösung für die problembehaftete Schnittstelle zwischen Ammoniak-Verdichter und Antriebsmotor gefunden wird. Als eine Besonderheit gilt es dabei zu beachten, dass auch am Übergang zwischen Verdichter und Antriebsmotor die für Verdichteranwendungen erforderliche Druckfestigkeit gewährleistet sein muss. Die Anforderungen eines kältetechnischen Verdichters und zusätzlich die speziellen chemisch/physikalischen Eigenschaften des Kältemittels Ammoniak stellen besondere Herausforderungen für die Neuentwicklung dar, die über den gegenwärtigen Stand der Technik deutlich hinausgehen.

Um die Lösung zur Hermetisierung von Ammoniak-Verdichtern nach Projektabschluss erfolgreich am Markt platzieren zu können, wurden weitere Zielstellungen für die Neuentwicklung formuliert:

Hohe Funktions- und Ausfallsicherheit, sowie ein genügend großes übertragbares Drehmoment müssen für die speziellen Betriebsanforderungen des Ammoniak-Verdichters im gesamten kältetechnischen Parameterbereich gewährleistet sein, für den der Verdichter vorgesehen ist.

Durch die Hermetisierung darf sich die Energieeffizienz nur marginal verschlechtern. In der Literatur werden beispielsweise für hermetisierte Pumpen Leistungsminderungen von etwa 10% angegeben – dies soll mit der Neuentwicklung deutlich unterschritten werden. Damit sollen auch starke Wärmeentwicklungen am Antriebssystem vermieden werden, die problematisch sein können.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

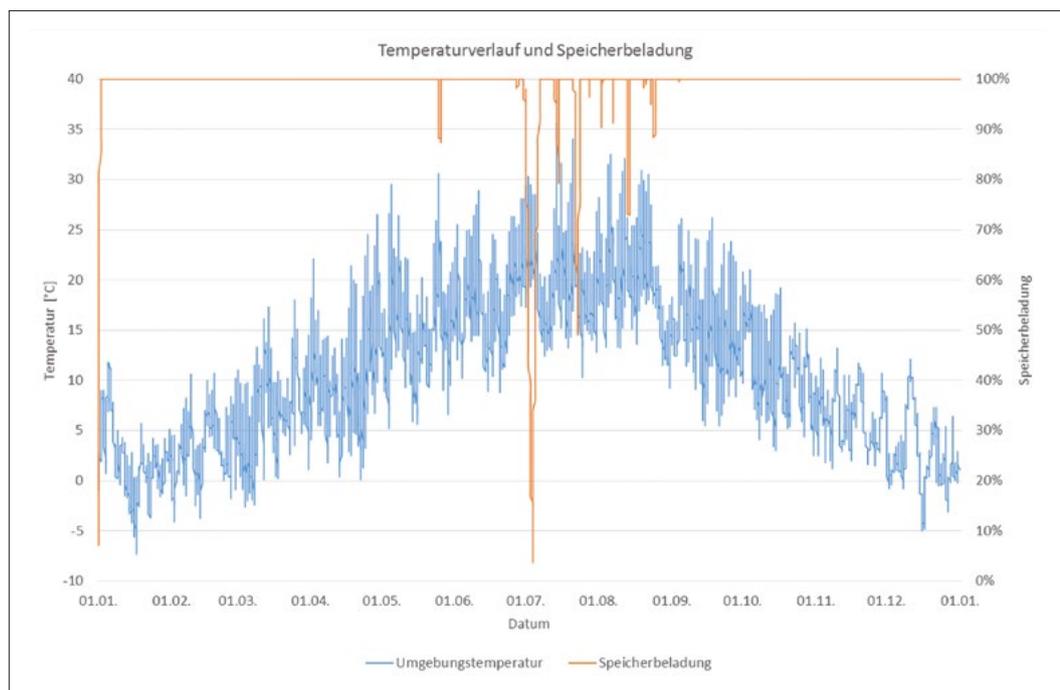
KoLoR – Kühlverfahren zur Klimatisierung von Rechenzentren

Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines Kühlverfahrens zur Klimatisierung von Rechenzentren ohne den Einsatz einer konventionellen Kompressionskälteanlage. Dafür soll ein neuartiger Prozess mit zwei Stufen adiabater Kühlung und Einbindung eines Kältespeichers entworfen und erprobt werden. Durch den Verzicht auf eine Kompressionskälteanlage soll der Energiebedarf zur Klimatisierung deutlich gesenkt und damit die Energieeffizienz des Rechenzentrums erhöht werden. Gleichzeitig wird durch den Einsatz von Luft und Wasser als Arbeitsstoffe die umweltschädliche Wirkung von bisher in Kälteanlagen eingesetzten Kältemitteln vermieden.

Die technische Zielstellung hinsichtlich technischer Parameter wie Systemtemperaturen, Kühlleistung, der angestrebten Energieeffizienz und der erforderlichen Verfügbarkeit der Kühlung wurden vom Projektpartner vorgegeben,

der seit einigen Jahren in dieser Branche tätig ist. Kritisch ist insbesondere die Realisierung einer zuverlässigen Kühlung ohne Kompressionskältemaschine bei hohen Außentemperaturen im Sommer für weit mehr als 99 % der Betriebsstunden.

Der Lösungsansatz für diese Problematik besteht in einem zweistufigen adiabaten Kühler aus zwei hintereinandergeschalteten Einheiten, in denen jeweils die angesaugte Umgebungsluft durch Befeuchtung und Verdunstung abgekühlt wird und diese Energie überträgt. Nach der ursprünglichen Idee sollten beide Einheiten mit einem wassergefüllten Zwischenkreis verbunden werden. Im Laufe der Projektbearbeitung stellte sich heraus, dass ein Luft-Luft-Wärmeübertrager praktikabler wäre, so dass das Kühlverfahren entsprechend angepasst wurde.



In Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen ergeben sich für das Kühlverfahren verschiedene Betriebszustände. Bei ausreichend geringer Umgebungstemperatur kann freie Kühlung stattfinden, ansonsten wird mit einer adiabaten Stufe gekühlt. Erst ab einer Grenztemperatur wird die zweite Stufe hinzugeschaltet, um die Lufttemperatur noch weiter abzusenken. Diese zweite Stufe ist der Kern der Neuentwicklung. Die zusätzliche Abkühlung ist auf den ersten Blick relativ klein, sie gestattet aber für eine große Betriebsstundenzahl im Sommer die Einhaltung der Zuluft-Temperaturen. Da der Trend zu immer höheren Kühlwassertemperaturen bei der Rechenzentrumskühlung geht, ist die Kühlung ohne Kompressionskältemaschine theoretisch möglich. Der Kaltwassersatz wäre nur noch ein Backup für den Notfall.

Ein weiteres Bauelement des neuen Systems ist ein Tag-Nacht-Speicher zur Überbrückung kurzzeitiger Lastspitzen von wenigen Stunden. Wenn die Leistungsanforderung der Klimatisierung geringer ist als die Kälteerzeugung, wird der Speicher regeneriert. Dieser wird aber nur dann entladen, wenn die zweistufige adiabatische Kühlung nicht genügend Leistung zur Verfügung stellen kann.

Für viele Rechenzentren ist der geringe Abstand von Netzknotenpunkten entscheidend für ihren Standort. Die Idee einer vollständigen Verschiebung der Lastspitzen über einige Tage musste deshalb leider verworfen werden. In den typischen Projekten der RZ-Kühlung im innerstädtischen Bereich ist die erforderliche Baugröße dieser Speicher nicht realisierbar.

Der Prozess und die Betriebszustände des Gesamtsystems wurden in einem Computermodell implementiert, um die Funktionsweise und Um-

setzbarkeit zu überprüfen. Dafür wurden signifikante Wetterdaten herangezogen und das Kühlverfahren in Jahresverläufen simuliert (Beispiel siehe Abbildung). Nach Optimierungen hinsichtlich Speichergröße und Volumenströmen zeigt sich im Ergebnis, dass der beschriebene Prozess zur Kühlung des Rechenzentrums prinzipiell geeignet ist.

Im weiteren Verlauf des Projekts wird ein Demonstrator im Labormaßstab entwickelt. Dieser wird auf Grund der Baugröße beim Projektpartner errichtet. In der verbleibenden Projektlaufzeit sollen Experimente bei verschiedenen Umgebungsbedingungen durchgeführt, wichtige Parameter gemessen und die Ergebnisse mit den Simulationen abgeglichen werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Entwicklung eines Sublimations-WÜ für Tieftemperaturkühlung

Ein spezielles Anwendungsgebiet der Kältetechnik ist die Bereitstellung von Kühlleistung im tiefen Temperaturbereich unter -50 °C , die beispielsweise für den Betrieb von Prüf- bzw. Umweltsimulationskammern, für Gefriertrocknung oder für bestimmte Prozesse in der Tieftemperaturmedizin bzw. -biologie benötigt wird.

Gegenwärtig werden für derartige Anwendungen zur Kälteerzeugung meist synthetische Kältemittel genutzt, die aufgrund außerordentlich hoher GWP-Werte sehr umweltschädliche Eigenschaften besitzen. Da für Kühlanwendungen im tiefen Temperaturbereich unterhalb von -50 °C noch keine ausgereiften technischen Lösungen mit alternativen umweltfreundlichen Kältemitteln existieren, sind diese umweltschädlichen Stoffe gemäß F-Gase-Verordnung EU 517/2014 mit einer Ausnahmeregelung noch zugelassen. Brennbare natürliche Kohlenwasserstoffe, wie Methan oder Ethan, wären zwar kältetechnisch für diesen tiefen Temperaturbereich geeignet und auch umweltfreundlich, aber aus Sicherheitsgründen werden brennbare Stoffe

in diesem speziellen Segment der Kältetechnik nicht akzeptiert. Denn Anlagen, bei denen diese Tieftemperaturkühlung angewandt wird, befinden sich meist in Innenräumen. Nach DIN EN 378-1 werden für brennbare Kältemittel spezielle Anforderungen an die Aufstellbedingungen gestellt, die den Einsatz von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel besonders in Innenräumen streng reglementieren und nicht ohne weiteres zulassen.

Andere Technologien wie Kaltgasprozesse (z.B. Stirling-, Kaltluft- oder Pulse-Tube-Prozess) sind in dem hier diskutierten Temperatur- und Anwendungsbereich keine wirtschaftlich sinnvollen Alternativen.

Aus diesen Gründen wird vom ILK Dresden in mehreren verschiedenen Forschungsvorhaben an einer umweltfreundlichen und nachhaltigen technischen Alternative zur Kälteerzeugung für den Temperaturbereich unter -50 °C gearbeitet, die auch von der Industrie akzeptiert wird. Eine wesentliche Voraussetzung für solch eine Lösung besteht darin, auf umweltschädliche, synthetische Kältemittel mit hohen GWP-Werten zu verzichten. Die Grundidee unserer Alternativlösung besteht deshalb darin, dass der natürliche, nicht brennbare Stoff Kohlendioxid mit dem vergleichsweise geringen GWP-Wert von 1 als Arbeitsstoff verwendet wird. Für die Tieftemperaturkühlung muss dabei die Sublimationswärme des festen CO_2 -Trockeneises genutzt werden, was neue Technologien notwendig macht. Die Nutzung des Phasenübergangs fest \rightarrow gasförmig ist deshalb erforderlich, weil der Tripelpunkt von Kohlendioxid bei $-56,6\text{ °C}$ liegt, und der normalerweise im Verdampfer eines herkömmlichen Kaltdampfprozesses verwendete Phasenübergang flüssig \rightarrow gasförmig kann nur oberhalb der Tripeltemperatur genutzt werden.

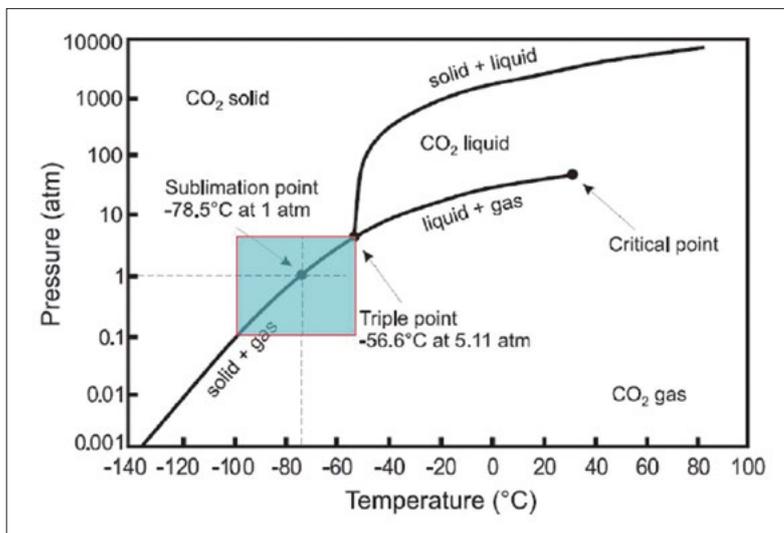


Bild 1: Das Temperatur-Druck-Zustandsdiagramm für Kohlendioxid zeigt farbig hervorgehoben den Bereich für die Ausnutzung des Phasenübergangs fest \rightarrow gasförmig unterhalb des Tripelpunktes.

Zu dieser alternativen Kälteerzeugungstechnologie wurde bereits sehr erfolgreich ein Vorlauforschungsprojekt im ILK bearbeitet. Abgeleitet aus den Erkenntnissen dieses Projektes soll nun in diesem Vorhaben ein Sublimations-Wärmeübertrager entwickelt werden, der in einen CO₂-Kältekreislauf eingefügt wird und analog wie der Verdampfer eines üblichen Kälteprozesses wirken soll.

Das Ziel ist die Entwicklung eines marktfähigen Sublimations-Wärmeübertragers, der industriell als Serienprodukt hergestellt und als Standard-Komponente wie ein herkömmlicher Verdampfer im Kältekreislauf integriert werden kann. In diesem neu entwickelten Wärmeübertrager wird CO₂-Trockeneis in einer speziellen flüssigen Lösung sublimiert. Wir sprechen dabei von der sogenannten Lösungs-Sublimation. Auf diese Weise kann ein sehr guter Wärmeübergang erreicht werden – auch im Vergleich zu anderen untersuchten Sublimationsvarianten – wie bereits im Vorlauforschungsthema nachgewiesen wurde. Bei praktischen Experimenten im Vorlauforschungsprojekt wurde mit dieser Lösungs-Sublimation nutzbare Kälte erzeugt bei Temperaturen von deutlich unter -60 °C. Allerdings wurde dies mit einer Versuchseinrichtung erreicht, die für reale Anwendungen nicht praktikabel ist.

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes wird ein marktfähiger Sublimations-Wärmeübertrager entwickelt, der für reale praktische Anwendungen gut nutzbar ist. Ein Prototyp dieses neu entwickelten Wärmeübertragers wird im Forschungsvorhaben sehr detailliert erprobt. Die ersten Tests mit dem Prototyp verliefen bereits sehr vielversprechend, so dass unsere Neuentwicklung des Sublimations-Wärmeübertragers 2019 zum Patent angemeldet wurde.



Bild 2: Das Foto zeigt den Prototyp des neu entwickelten Sublimations-Wärmeübertragers im Betriebszustand. Die starke Bereifung des Wärmeübertragers resultiert aus der noch fehlenden Wärmeisolation während des Testbetriebes.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MiCon – Mikro-Verflüssiger

Neben einer ständigen Verbesserung der Energieeffizienz von Kälteanlagen und dem vermehrten Einsatz von umweltfreundlichen Stoffen im Kälteprozess ist auch die Verringerung der Füllmenge einer Kälteanlage eine permanente Aufgabe der Anlagenhersteller. Mit Hilfe von sogenannten Mikro-Wärmeübertragern können diese Aufgabenstellungen ggf. besser gelöst werden als mit Wärmeübertragern nach dem Stand der Technik.

Der Trend zur Verkleinerung der Wärmeübertrager ist schon länger im Gange. So wurden zum Beispiel durch den Übergang von Rohrbündelapparaten zu Plattenwärmeübertragern immer bessere Verhältnisse von WÜ-Fläche zu Bauvolumen erreicht.

Wenn dann noch berücksichtigt wird, dass sich ca. 30 bis 50% der Kältemittelmenge einer üblichen, kompakten Kältemaschine im Verflüssiger befinden können, so ist der Ansatz zur Entwicklung von Mikro-Verflüssigern logisch und zielführend. Dafür ist insbesondere die Reduzierung des Innenvolumens entscheidend. Abbildung 1 zeigt mögliche Bauteile einer miniaturisierten Kälteanlage (Kleinstverdichter, Mikro-Wärmeübertrager) für sehr kompakte Abmessungen.



Abbildung 1: Kleinstverdichter und Mikro-Wärmeübertrager im Größenvergleich

Bisherige Versuche mit der Entwicklung von Mikro-Wärmeübertragern scheiterten an den vorhandenen Fertigungstechnologien und damit an den Herstellungskosten. In den letzten Jahren haben sich auf diesem Sektor erhebliche Weiterentwicklungen etabliert, die Anlass zur Hoffnung geben, solche Wärmeübertrager auch zu wirtschaftlich attraktiven Kosten zu fertigen. Auch das ILK war und ist an diesen Entwicklungen beteiligt, aber erst jetzt sind die Möglichkeiten absehbar, solche Wärmeübertrager auch für die Aufgaben der Kältetechnik zu entwickeln.

In dem laufenden Projekt werden flüssigkeits- (Kühlwasser-)beaufschlagte Kältemittel-Verflüssiger in Mikro-Bauweise („Mikro-Verflüssiger“) entwickelt. Dabei sollen additivgenerative Fertigungsverfahren (3D-Verfahren) eingesetzt werden, wobei die eigentliche Fertigung bei Kooperationspartnern des ILK bzw. bei reinen Dienstleistern erfolgen soll. Folgende technische Parameter sollen erreicht werden:

- Kanalabmessungen ca. 150 bis 200 μm
- Kompaktheit ca. 5.000 m^2/m^3
(Faktor 10 im Vergleich zu Plattenwärmeübertragern heutiger Bauart)
- Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 10.000 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- Reduzierung des Innenvolumens um ca. 80% möglich
- Zulässige Betriebsdrücke: 42 bar und höher
- Stromführung Gegen- oder Kreuzgegenstrom
- Deutlich geringere spezifische Kältemittelfüllmenge als herkömmliche Platten-WÜ (Ziel: -80%)
- Möglichkeit der automatisierten Fertigung mit wenig Handarbeit über CAD-Dateien und STL
- Verflüssigerleistung bis 1 kW

Die erste Projektphase unterteilte sich in verschiedene Aufgabenbereiche. Zum einen wurden Messungen an bereits vorhandenen Prototypen (die bisher nur mit Wasser vermessen wurden) als Verflüssiger vorbereitet. Dazu wurde ein im ILK vorhandener Prüfstand für die Vermessung von größeren Verdampfern und Verflüssigern für die Vermessungen von kleinen Verflüssigern modifiziert.

Zum zweiten wurden erste, speziell als Verflüssiger designte Entwürfe für Mikro-Wärmeübertrager erstellt und mit potenziellen Fertigungsfirmen abgestimmt. In einem iterativen Prozess wurden viele Konstruktionsdetails hinsichtlich des Fertigungsprozesses und der thermodynamischen und strömungstechnischen Auslegung abgestimmt.

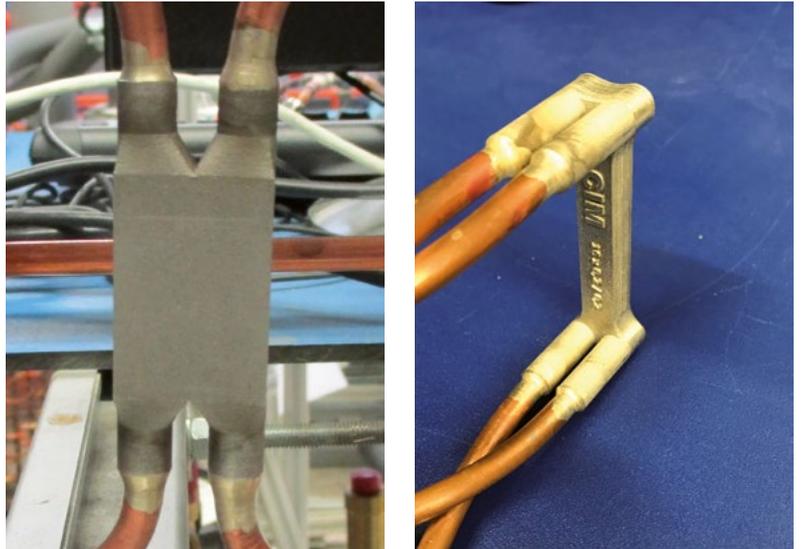


Abbildung 2: Beispiel eines Mikro-Verflüssigers (Versuchsmuster)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Füllmengenreduzierung

Die neue F-Gase-Verordnung hat eine schrittweise Beschränkung (Phase down) der am Markt verfügbaren Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) eingeführt. Diese synthetischen Stoffe, die ein großes Treibhauspotential (GWP) haben, werden nach und nach reduziert und sollen durch Ersatzstoffe mit geringerem GWP-Wert ersetzt werden.

In der Kältetechnik können für die HFKW-Kältemittel als Alternativen natürliche Stoffe wie Ammoniak, Butan, Propan oder CO₂ verwendet werden. Daher sind diese Substanzen mit der heutigen Technik und aufgrund der heutigen Gesetzgebung nicht in uneingeschränktem Umfang und auch nur in bestimmten Anwendungen geeignet, um die synthetischen Kältemittel mit hohem GWP-Wert zu verdrängen oder zu substituieren. Infolge der F-Gase-Verordnung nimmt die Bedeutung der natürlichen Kältemittel aber erheblich zu. Eine mögliche Reduzierung der Kältemittelfüllmenge in den Anlagen könnte eine bedeutende Rolle spielen, um die natürlichen, ökologisch vorteilhaften Arbeitsstoffe mit vernachlässigbar geringen GWP-Werten in wesentlich breiteren Anwendungsgebieten zu ermöglichen.

Bei der weiteren Verwendung von erlaubten synthetischen fluorierten Kohlenwasserstoffen hat eine mögliche Verringerung der Füllmenge auch eine nicht zu unterschätzende Wirkung. Denn einerseits ist die Kältemittelmenge ein wesentlicher Kostenfaktor einer Kälteanlage. Andererseits werden im Havariefall die ökologischen Schäden wesentlich geringer, wenn von vornherein nur kleinere Mengen des Kältemittels in die Umgebung entweichen können.

Im Projekt sollen mögliche Maßnahmen untersucht und herausgearbeitet werden, die schon in der Auslegungs- und Konstruktionsphase zu wesentlichen Verringerungen der Kältemittelfüllmengen führen. Dabei darf es keine Minderungen bei der Kälteleistung geben, und es muss eine sichere und stabile Funktionalität der Kälteanlage im gesamten vorgesehenen Betriebsbereich gewährleistet sein.

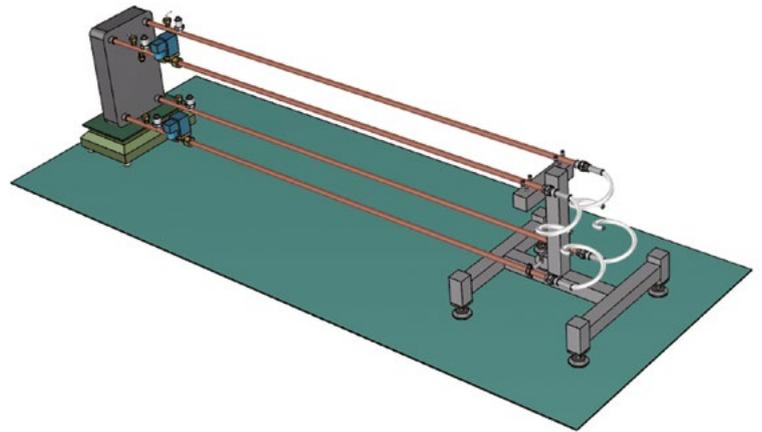
Im Laufe des Projektes wurden folgende Komponenten des Kältekreislaufes theoretisch betrachtet und analysiert: Verdichter, Ölabscheider, Ölsammler, Kältemittelsammler und Rohrleitungen mit Zubehör. Bei der Analyse wurde mögliches Reduzierungspotential und Gesamtgewicht im Kreislauf der Kältemittelfüllmengen für jede Komponente ermittelt.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass eine gute Auslegung bzw. Berechnung der Anlage für eine Füllmengenreduzierung unbedingt notwendig ist. Für die Berechnung ist aber auch ein gutes Verständnis des Verflüssigers und des Verdampfers notwendig, da hier nicht unerhebliche Massen an Kältemittel zwischengespeichert werden können. Ansonsten gilt es, alle Bauteile möglichst klein, aber für die Anwendung ausreichend zu dimensionieren und die Rohrleitungen so kurz wie möglich zu halten.



Die Kältemittelfüllmenge der Kreislaufkomponenten, die nur eine Phase (Gas oder Flüssigkeit) erhalten, kann mit der akzeptablen Genauigkeit rechnerisch ermittelt werden. Aufgrund der in den Wärmeübertragern vorhandenen Zweiphasenströmung (Flüssigkeit und Dampf) ist die Bestimmung der Kältemittelmasse in diesen Bauteilen sehr schwierig. Dies hängt mit komplexen, teilweise auch dynamischen Vorgängen der Zweiphasenströmung, wie Schlupf, Kumulierungseffekten und lastabhängigen Randbedingungen zusammen. Die vielseitigen messtechnischen Untersuchungen der Wärmeübertrager, um akzeptable rechnerische Modelle erstellen zu können, sind deswegen unvermeidlich.

Größter und wichtigster Teil des Projektes ist die Untersuchung von verschiedenen Verflüssiger-, Gaskühler- und Verdampfer-Arten. Hierzu wurden verschiedene Messmethoden entwickelt, die die lastabhängige Kältemittelfüllung bestimmen können. Im Laufe des Projektes werden die Messmethoden mit einander verglichen und verifiziert.



3D Darstellung des Aufbaus

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

STEAMCOMP – Wasserdampfverdichter für HT-Wärmepumpen

Die Bereitstellung industrieller Prozesswärme bei sehr hohen Einsatz-Temperaturen bis 200 °C durch Höchsttemperatur-WP (Very High Temperature Heat Pump) VHTHP forciert die Abwärmenutzung in der Industrie für Abwärmequellen auf hohem Temperaturniveau und die Nutzung regenerativ erzeugten Stromes (Dekarbonisierung der Energiebereitstellung).

In diesem Temperatursegment existiert ein Energiebedarf von > 5 % (13.997.296 MWh bzw. 3.675 kt CO₂-Emissionen) u.a. in den Branchen Nahrungsmittel-, Papier- und Metallverarbeitung.

Der Verdichter zur Kompression des Kältemittels ist die Basiskomponente der Wärmepumpe. Dessen Verfügbarkeit für Nutzttemperaturen t_{Heiz} von > 150 °C und maximalem Temperaturhub von ca. 60 K zur Wärmequelle ist die grundlegende Voraussetzung für die Entwicklung einer nachhaltigen und effizienten VHTHP (COP > 3).

Synthetische Kältemittel sind aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften auf relativ niedrige Verflüssigungstemperaturen (< 160 °C) limitiert. Aufgrund seiner sehr hohen Temperatur t_c und dabei moderatem Druck p_c am kritischen

Punkt ist in diesem hohen Temperaturbereich daher Wasser (R718) das nahezu ideale Kältemittel. Einschränkend verhält sich jedoch der hohe Isentropenexponent des Wassers.

Der Einsatz von Wasser führt zu einem Bedarf an bislang nicht am Markt verfügbaren Verdichtern, die sehr spezifische Merkmale aufweisen müssen.

Alle Untersuchungen im Projekt STEAMCOMP dienen deshalb der Bestimmung, Quantifizierung und späteren Qualifizierung eines Verdichters speziell aus dem Einsatzgebiet der Kältemittelverdichtung zum Einsatz in einer VHTHP.

Aufgrund der herstellungszahlbedingt hohen Kostenstrukturen soll der Einsatz von Konstruktionen aus der Prozessgasverdichtung nicht favorisiert werden.

Für den Wasserdampf-Verdichter sind u.a. folgende Merkmale einsatzrelevant:

- Beherrschung der infolge des Isentropenexponenten sehr hohen Verdichtungs-End-Temperaturen an den eingesetzten Materialien des Verdichters
- Eignung der Verdichtermaterialien (Stahlguss, Alu, Kunststoffe) und des Elektromotors (Kupfer, Drahtlack) bzgl. Beständigkeit gegenüber Wasserdampf
- Eignung des Elektromotors zum Betrieb oder Stillstand unter Vakuumbedingungen
- Verträglichkeit des Wasserdampfes und ggf. zugesetzter Inhibitoren mit dem auszuwählenden und testenden Schmiermittel
- Gute Transportfähigkeit des Gemisches Wasser-Schmiermittel bei unterschiedlichen Betriebszuständen im Verdichter (an bzw. in den Komponenten Kurbelgehäuse, Welle, Arbeitsraum, Ventile etc.)

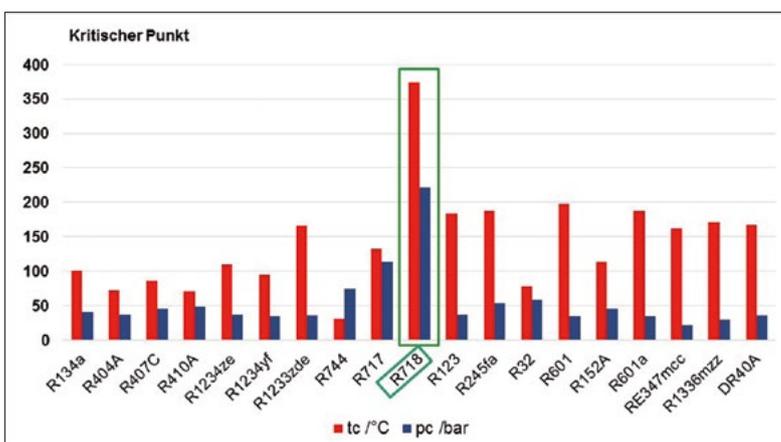


Bild 1: Kältemittel R718

Die thermischen Herausforderungen durch große Temperaturdifferenzen sind gerade am Flächenschaubild des Misch-Verdampfers des Kreislaufes erkennbar.

Für den Verdichter stellt die offene bzw. halbhermetische Bauweise der Hubkolben die Vorzugsoption für das Projekt dar. Vergleichende Tests wurden auch an Scrollverdichtern durchgeführt.

Entsprechende Testprogramme werden dem Projektplan folgend nach Aufbau des Prüfstandes durchgeführt.

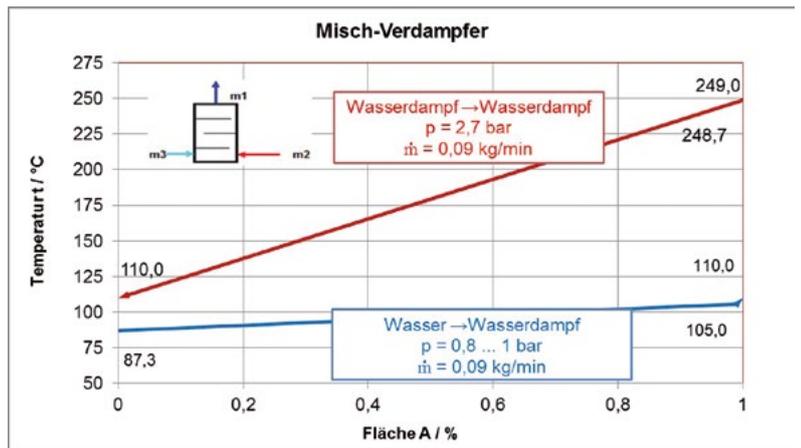


Bild 2: Misch-Verdampfer

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Dienstleistungen

Kälte- und Wärmepumpentechnik

Dem Prüflabor Wärmepumpen (PLWP) wurde 2008 erstmalig im Rahmen eines Akkreditierungsverfahrens nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH die prüfverfahrenskonforme Kompetenz zur „Ermittlung der Heiz- und Kühlleistung an Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen“ zuerkannt. Seitdem wurde das Angebots- und Aufgabenspektrum kontinuierlich erweitert und flexibilisiert. Neben den Untersuchungen von Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden normative Prüfungen von Luft/Wasser-Wärmepumpen, kältetechnischen Verflüssigungssätzen, Kältemittel-Verdichtern, Ventilatoren und Wärmeübertragern in das Angebot des PLWP integriert.

Die Norm DIN EN ISO/IEC 17025 wurde durch das internationale Normkomitee in 2017 grundlegend überarbeitet und aktualisiert. Diese Neufassung führte zur vollständigen Umstellung und Modernisierung des Managementsystems des PLWP.

Deshalb agiert das Laboratorium ab 2020 unter dem Namen Testzentrum PLWP am ILK Dresden. Die beiden Prüfgebiete sind „Ermittlung der Heiz- und Kühlleistung“ und „Akustische Untersuchungen“ an Fluid-Energiemaschinen und kältetechnischen Bauteilen.

Im vergangen Jahr wurde erneut eine Vielzahl Prüfungen an Wärmepumpen und Kältemittelverdichtern für Industriekunden durchgeführt. Für die BAM Berlin wurden die Untersuchungen zur Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens an Luft-Wasser-Wärmepumpen fortgesetzt. Dieses Verfahren soll in Zukunft die Prüfungen im Rahmen des Marktüberwachungsprogrammes der EU vereinfachen. Dieses dient der Kontrolle einer Mindest-Energieeffizienz der in Europa verkauften Produkte.

Regelmäßig wird das ILK mit der Untersuchung von Schadensfällen beauftragt. Dabei wird häufig mit Sachverständigen zusammengearbeitet.



Bild 1: Schaden an einem Schraubenverdichter

In Zusammenhang mit den neuen brennbaren Kältemitteln und veränderten Anforderungen bei mobilen Klimaanlage entwickeln Zulieferer neue Wärmeübertrager. So wurde für einen Automobilzulieferer die Leistung vermessen. Dabei zeigte sich eine Minderleistung gegenüber der Auslegung, die auf eine schlechte Kältemittelverteilung im Verdampfer zurückgeführt werden konnte. Das konnte mit einem Vereisungsversuch nachgewiesen werden.



Bild 2: Versuch zur Kältemittelverteilung durch Vereisung

Neben der Beratung der Stadt Dachau zum Bau eines neuen Eisstadions, eines Herstellers von Wäschetrocknern zur Entwicklung von neuen Produkten wurde die Energieeffizienz einer Ammoniakkälteanlage in einer bekannten deutschen Brauerei untersucht. Dabei wurden Potentiale aufgezeigt, den Energieverbrauch zu reduzieren und das Defizit an Kälteleistung in den Sommermonaten zu reduzieren. In einem zweiten Schritt könnten konkrete Planungen zur Umsetzung der Vorschläge beauftragt werden.



Bild 3: Plattenwärmeübertrager einer Ammoniakkälteanlage in einer Brauerei

Für den Forschungsrat Kältetechnik (VDMA) wurde eine Studie zu alternativen Kälteerzeugungsverfahren für kleine und große Kälteleistungen im Bereich der Normal- und der Tiefkühlung erstellt. Kälteverfahren, die insbesondere Gegenstand der aktuellen Forschung und Entwicklung sind, wurden mit dem Stand der Technik verglichen und die Entwicklungschancen der nächsten 10 Jahre abgeschätzt.

Das ILK hat in den letzten Jahren regelmäßig die Wartung, insbesondere die Kalibrierung, von Prüfständen bei Kunden durchgeführt. 2019 betrafen das Verdichterleistungs- und Wärmeübertragerprüfstände bei drei unterschiedlichen Kunden. Alle Prüfstände wurden in der Vergangenheit durch das ILK entwickelt, gebaut und geliefert.

Prüfstände Kältetechnik, Wärmepumpen

Das erste Halbjahr des vergangenen Jahres war durch einen Großauftrag eines Wärmepumpenherstellers für zwei Prüfstände zur Leistungsmessung geprägt. Durch diese Prüfstände sollte einerseits die Prüfkapazität und andererseits der Leistungsbereich des Versuchsfeldes erweitert werden. Hintergrund ist der immer stärkere Einsatz von Wärmepumpen für die Raumheizung für Wohn- und Gewerbegebäude. Die Hersteller der Wärmepumpen bereiten sich außerdem auf die in Kürze beginnende Marktüberwachung für Wärmepumpen der EU im Rahmen der ErP-Richtlinie vor.

Die kundenspezifische Entwicklung der beiden Anlagen erfolgte auf der Basis bereits gelieferter Wärmepumpenprüfstände. Diese umfassen neben den Wasserkreisläufen, den Elektro-

schaltschränken und der umfangreichen Messtechnik auch die komplette Regelungstechnik. Die Grundmodule der Software wurden im Forschungsprojekt „Automatisierte Gasschleife“ neu entwickelt und erstmals für ein Kundenprojekt eingesetzt. Mit dieser neuen Software können halb- und vollautomatische Prüfabläufe normgerecht mit reduziertem Aufwand realisiert werden. Die Bedienoberfläche wurde für den Kunden in der gewohnten Optik erstellt.

Die Besonderheit des Auftrages war die enge Zeitschiene des Kunden für beide Prüfstände. Erstmals realisierte das ILK zwei Prüfstände weitgehend parallel. Das stellte hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit von Personal und Versuchsfläche im ILK.

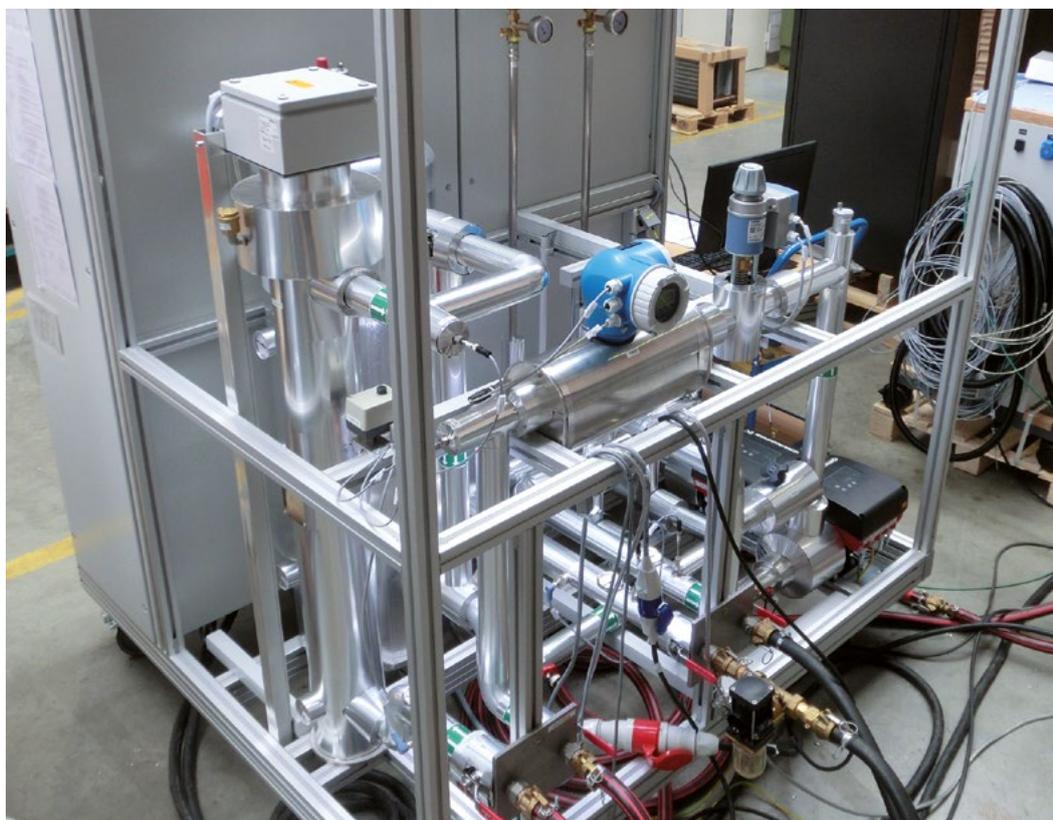


Bild 1: Inbetriebnahme des Prüfstandes im ILK-Versuchsfeld

Die erste Inbetriebnahme der Anlagen erfolgte im Versuchsfeld des ILK. Die von der Norm vorgegebenen Prüfabläufe wurden mit einer Test-Wärmepumpe des Kunden eingefahren und optimiert. Die Messtechnik wurde so kalibriert, dass sie auf den nationalen Standard rückführbar ist.

Mit einer Zeitverschiebung von wenigen Wochen wurden beide Prüfstände an den Kunden ausgeliefert, im Versuchsfeld in Betrieb genommen und an den Kunden übergeben. Gleichzeitig erfolgte eine grundlegende Einweisung des Bedienpersonals des Kunden.



Bild 2: Aufstellung des Prüfstandes im Versuchsfeld des Kunden

Mit den Prüfständen des ILK ist der Kunde in der Lage, neuentwickelte Wärmepumpen normgerecht auf Heiz- und Antriebsleistung zu testen und die Jahresarbeitszahl auszuweisen. Diese Angaben sind u.a. erforderlich, um bei der BAfA die Investitionsförderung für die jeweilige Wärmepumpenbaureihe zu beantragen.

Normungsarbeit

Nummer:	EN 17432 Kälteaggregate für begehbare Kühlräume – Klassifikation, Prüfung der Leistung und des Energieverbrauchs; Deutsche und Englische Fassung
Normenausschuss:	NA 044 „DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) CEN-TC44-WG7 – Packaged refrigerating units for walk-in cold rooms
Normenziel:	Schaffung von europäischen abgestimmten Methoden zur Bestimmung der Kühlleistung von Kälteaggregaten für Kühlräume. Dieser europäische Norm-Entwurf definiert die Prüfbedingungen und Prüfverfahren für die Klassifizierung von Kälteanlagen nach EN 378-1, insbesondere Luft-Luft-Kälteanlagen und Wasser-Luft-Kälteanlagen. Dazu gehören Einheiten ohne Leitungskanäle für Kühl- und Gefrieranwendungen, die mit elektrisch angetriebenen Kompressoren ausgestattet sind, die nach dem Dampfkompessionszyklus arbeiten, und die werkseitig entweder in kompakter oder geteilter Ausführung hergestellt werden.
Förderprojekt:	921115 – „Entwicklung Prüfverfahren und Prüfstand für stationäre Einbau-Kältesätze (LPVKK) FKZ: MF160096
Nummer:	DIN EN 17066-1:2019-10 Wärme gedämmte Transportmittel für temperaturempfindliche Produkte – Anforderungen und Prüfung – Teil 1: Container
Normenausschuss:	NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) NA 044-00-10 AA Arbeitsausschuss Fahrzeugkühlung
Normenziel:	Dieses Dokument (EN 17066 1:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 413 „Wärme gedämmte Transportmittel für temperaturempfindliche Produkte mit oder ohne Kühl- und/oder Heizeinrichtung“ unter Beteiligung deutscher Experten erarbeitet. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 044-00-10 AA „Fahrzeugkühlung“ im DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä). Diese Norm gilt für wärme gedämmte Transportmittel, einschließlich: LKW, Anhänger, Tanks, Transporter, Güterwagen, Behälter für den Landtransport, kleine Behälter und Verpackungen. Sie bezieht sich auf alle Arten der Wärmedämmung. Wenn bestimmte Temperaturen unabhängig von den äußeren Bedingungen aufrechterhalten werden müssen, können die vorstehend genannten Transportmittel zusätzlich mit einer Kühl- und/oder Heizeinrichtung ausgestattet werden. Dieses Dokument legt

die Terminologie, die Anforderungen an die Wärmedämmung, die Luftdichtheit, die Prüfvorschriften des K-Wertes und der Behälter sowie die Maße der Behälter mit und ohne Kühl- und/oder Heizeinrichtung fest. Dieses Dokument gibt keine weiteren Anforderungen an den Landtransport hinsichtlich der Maße, Gewichte und so weiter an. Dieses Dokument befasst sich außerdem nicht mit Sicherheitsanforderungen. Dieses Dokument legt keine Sonderanforderungen an Seefrachtcontainer fest, die durch ISO 1496-2 abgedeckt werden.

Förderprojekt:

921201 – „Entwicklung Prüfverfahren für E-Commerce-Kühlboxen (EPECK) FKZ: 49MF170037





**LUFT- UND
KLIMATECHNIK**

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 60 Entwicklung eines schnellen Rechenverfahrens für die Auslegung von Strömungsmaschinen
- 62 Klimatechnik-Betriebsoptimierung mittels maschinellem Lernen
- 64 PCM-Kurzzeitspeicher mit alternierender Luftförderrichtung
- 66 Gegenläufiger Radialventilator
- 68 Aktives Schichtladesystem für Kaltwasserpufferspeicher
- 70 i-MWÜ4.0 – Industrie-4.0-Membran-Wärme-und-Stoffübertrager
- 72 Entwicklung klimatechnischer Prüfanlagen
- 74 FuE-Dienstleistungen auf dem Gebiet der Klimatechnik
- 76 Erhöhung der Energieeffizienz durch Gesamtverbund und Kälteinsel 4 an der TU Dresden
- 78 Normungsarbeit
- 80 ADDIFIL – Filtrationsverfahren Additive Fertigung
- 82 PVA – Prüfverfahren für Außenluftfilter
- 84 AMEKA – Abscheide-Mechanismen für Kohlenstoff-Aerosole
- 86 Filterlösung mit rundgewebten Filtrationsmaterialien für hygiene-relevante Anwendungen
- 88 EMA-Emulsionsnebelabscheider
- 90 Untersuchungen zur Rauchgaszusammensetzung an Biomassefeuerungen
- 92 Normungsarbeit



Entwicklung eines schnellen Rechenverfahrens für die Auslegung von Strömungsmaschinen, basierend auf IBM und LES



Das Ziel dieses Verbundprojektes mit der Firma Cfturbo GmbH im Rahmen der industriellen Forschung ist die methodische Entwicklung eines neuartigen Simulationsverfahrens für die effiziente numerische Berechnung der Strömung in Schaufelkanälen von rotierenden Laufrädern und feststehenden Diffusoren. Mit dem neuen Rechenverfahren kann, im Gegensatz zum aktuellen Stand der Technik, interaktiv die Auswirkung geometrischer Änderungen der Schaufelkontur auf die Strömung berechnet und visualisiert werden. Diese schnelle Rückkopplung zwischen Änderung und Ergebnis ist

essentiell für die Implementierung zukünftiger Verbesserungsstrategien in der Auslegung von Turbomaschinen. Das Simulationsverfahren wird basierend auf aktuellen hocheffizienten numerischen Methoden aus dem wissenschaftlichen Rechnen entwickelt.

Mit dem Projektstart im Jahr 2019 erfolgte zunächst die Konzeption des Programmcodes und der generellen Datenstruktur des Simulationstools. Anschließend wurde ein erster Prototyp des Navier-Stokes-Lösers entwickelt und intensiv getestet. Die weiteren Arbeitsschritte umfassten die Implementierung einer lokalen Gitterverfeinerung zur Auflösung der geometrischen Berandungen des Rechengebietes sowie die Parallelisierung des gesamten Strömungslö-

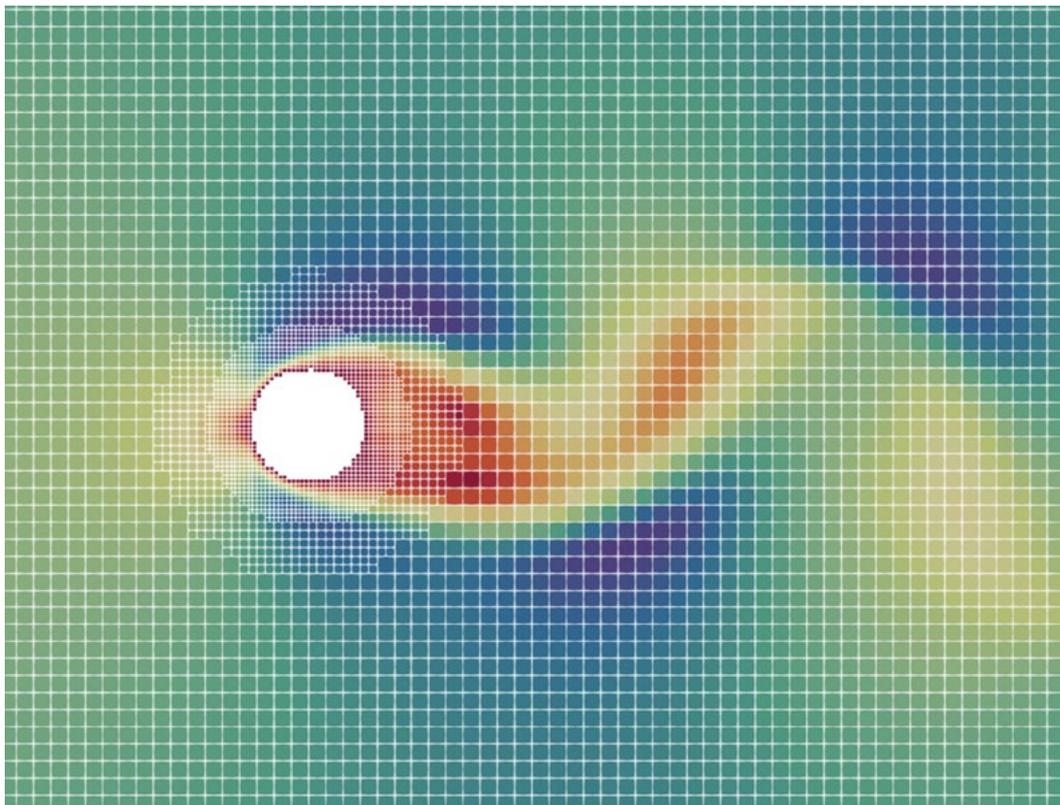


Abbildung 1: Simulation einer Zylinderumströmung bei $Re=100$ mit TurboSim und Ausbildung einer Karmanschen Wirbelstraße

sers über eine Gebietszerlegung. In Abbildung 1 ist als ein erster Testfall die Umströmung eines Zylinders bei einer Reynoldszahl von $Re=100$ auf einem lokal verfeinerten Gitter dargestellt. Wie erwartet, bildet sich in diesem Reynoldszahlbereich eine periodische Wirbelablösung – die sogenannte Karmansche Wirbelstraße – aus.

Im Rahmen der weiteren Arbeiten wird eine Immersed-boundary-Methode zur verbesserten numerischen Darstellung gekrümmter Oberflächen implementiert und für die Ausführung auf Multi-Core-Prozessoren parallelisiert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Klimatechnik-Betrieboptimierung mittels maschinellem Lernen

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Betriebsoptimierungs-Tools für klimatechnische Systeme unter Verwendung von Methoden des maschinellen Lernens (ML) und Daten aus dem digitalen Gebäudemodell (Building-Information-Model, BIM).

Hiermit werden zwei Punkte aufgegriffen, die bislang in der Nutzung klimatechnischer Systeme nicht gemeinsam berücksichtigt werden:

Zum einen werden die durch den Planungsprozess vorhandenen BIM-Daten neuer Gebäude

und Anlagen üblicherweise im Betrieb nicht mehr verwendet und zum anderen werden insbesondere komplexe Systeme mit mehreren Erzeugern, Speichern und Abnahmestellen oft nicht optimal betrieben. Diese beiden Punkte führen dazu, dass die Energieeffizienz des klimatechnischen Systems weit unterhalb des prognostizierten Wertes bleibt.

Das zu entwickelnde Betriebsoptimierungs-Tool setzt hier an und greift während des gesamten Betriebszeitraumes eines Gebäudes konsequent

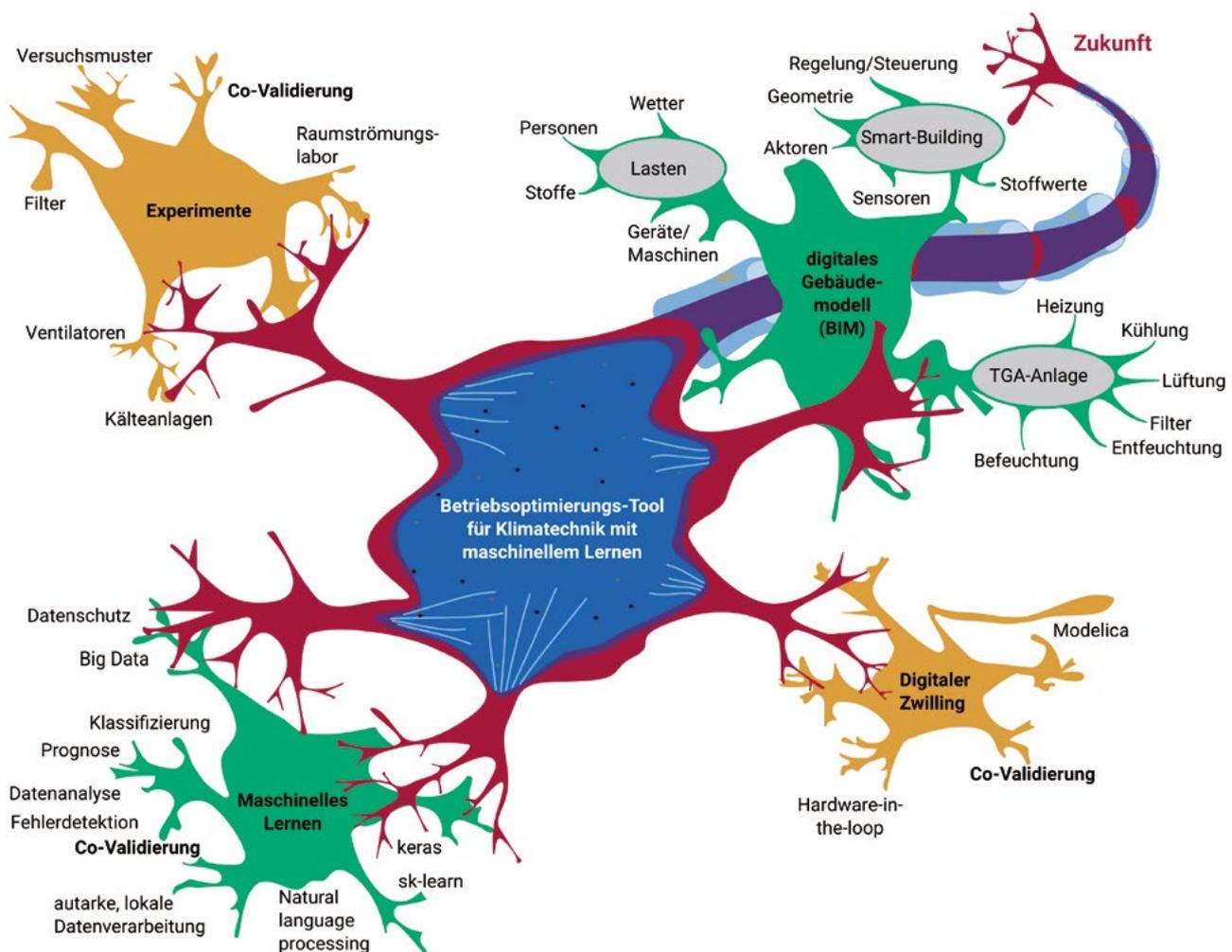


Bild 1: Schematische Darstellung des Projektansatzes

auf BIM-Daten zu und ermöglicht somit eine mit diesem Datensatz konsistente Optimierung des Anlagenbetriebs durch ML-Methoden. Dabei kann autoadaptiv auf sich ändernde Bedingungen (Gebäude, Anlage, Nutzung, Smart-Meter für Echtzeitabrechnung von Energie und Medien, etc.) reagiert werden. Somit wird ein riesiges Potenzial zur Einsparung von Betriebskosten, Energie und Kohlendioxidemissionen durch Effizienzsteigerung erschlossen. Weiterhin stehen die erhobenen Daten und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse zur Visualisierung und normgerechten Sicherung zur Verfügung.

In Bild 1 ist der Projektansatz schematisch dargestellt. Durch Verknüpfen von BIM-Daten und maschinellem Lernen entsteht das Klimatechnik-Betriebsoptimierungstool. Dieses wird innerhalb des Projekts experimentell sowie mithilfe eines digitalen Zwillings validiert. Als Beispielgebäude für das Projekt fungiert das Raumströmungslabor des Instituts. Hier werden unter kontrol-

lierten Bedingungen Messdaten aufgenommen, die sowohl zur Validierung des digitalen Zwillings (Simulationsmodell des Raumströmungslabors inkl. RLT-Anlagen) als auch zum Anlernen der ML-Algorithmen Anwendung finden.

Der digitale Zwilling des Raumströmungslabors wurde mit der Software Dymola in der Modellierungssprache Modelica implementiert. Aus durchgeführten Tests unterschiedlicher Modellbibliotheken für Gebäudetechnik ging die quell-offene Buildings-Library als meistversprechende Bibliothek hervor, sodass diese im Projekt eingesetzt wird.

Mit der Implementierung des Betriebsoptimierungstools (Testversion) in Python wurde begonnen. Für Python sind mit sk-learn und keras/Tensorflow leistungsfähige Bibliotheken für maschinelles Lernen verfügbar, auf die das Tool zurückgreifen kann.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

PCM-Kurzzeitspeicher mit alternierender Luftförderrichtung

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuartigen, effizienten und kompakten PCM-Kurzzeitspeichers mit integrierter, periodisch wechselnder Luftförderrichtung für den Einsatz in dezentralen Lüftungssystemen. Die Besonderheit ist der Speicher aus formstabilen bzw. phasenfesten PCM-Elementen mit bereichsweise verschiedenen Schmelztemperaturen. Ein solches Speichersystem verspricht ein bis zu 3-fach höheres Speichervermögen (bezogen auf das Volumen) für Wärmepotentiale gegenüber den klassischen Keramikspeichern.

Der Aufbau ermöglicht erstmalig den Betrieb eines alternierenden Gerätes ohne Drehrichtungsänderung des Ventilators. Somit können Radiallüfter genutzt werden. Diese sind gegenüber den Axiallüftern druckstabiler und akustisch vorteilhafter.

Eine weitere neue Funktionalität ist, dass die Luftfilter immer in die gleiche Richtung trotz der periodischen Änderung der Luftförderrichtung durchströmt werden. Sie sind somit hygienisch unbedenklich hinsichtlich des möglichen Austrages von Keimen in Aufenthaltsräumen.

Letztlich steht die Anforderung einer hohen Normschallpegeldifferenz (Eintritt von Umweltgeräuschen in Aufenthaltsräume). Das soll erreicht werden ohne die Installation zusätzlicher Schalldämmkomponenten und ohne Verschlechterung der aerodynamischen Leistungsfähigkeit.

Das allgemeine Funktionsprinzip veranschaulicht Bild 1. Im Rahmen dieses Entwicklungsprojektes sollen zwei unterschiedliche Funktionsmuster entwickelt werden. Zunächst wird

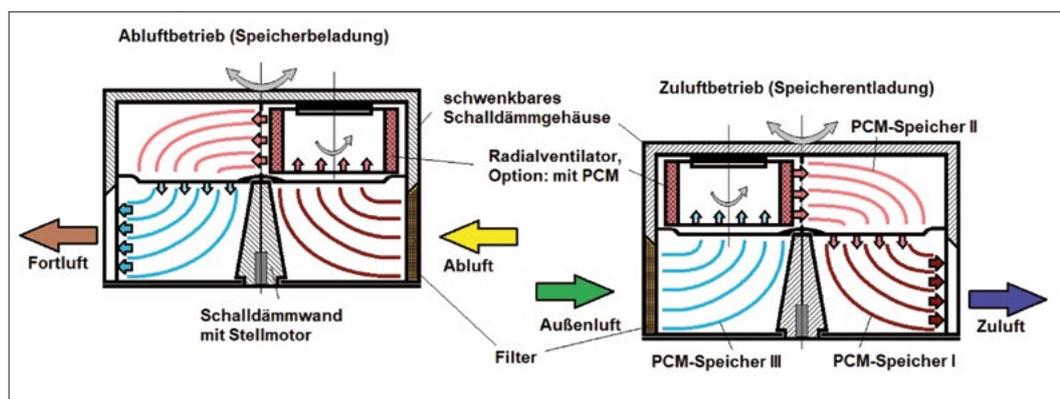


Bild 1: Funktionsprinzip des PCM-Kurzzeitspeichers mit alternierender Luftförderrichtung (Bauweise „Zylinder“)

die Anordnung der neuen Komponenten im klassischen Gehäuserohr entwickelt, konstruiert und getestet (siehe Bild 2). Die zweite Ausführung ist die neue Zylinderbauweise mit drehbarem Schalldämmgehäuse und integriertem Filter (siehe Bild 1).

Für beide Varianten werden die PCM-Speicher aus formstabilen Elementen gestapelt und mit einem Gehäuse versehen. Im Ergebnis der bisherigen Untersuchungen sind die PCM-Platten im Verbund mit 3 mm hohen durchströmbaren Distanzelementen aus Kunststoff (Hohlkammerplatte) und sogenannten PCM-Noppenplatten (3,5 mm hoch) die erfolgversprechendsten Lösungsansätze (siehe Bild 3).

Es sind die konstruktiven, strömungstechnischen und thermischen Designanforderungen für den PCM-Speicher erarbeitet worden. Für die Anforderung eines Kurzzeitspeichers für Lastwechsel im Minutenbereich sind Kriterien hinsichtlich minimaler Anströmflächen, optimaler Verhältnisse zwischen nutzbarer Wärmeübertragerfläche und PCM-Menge sowie erforderlicher Be- und Entladeleistungen erarbeitet worden.

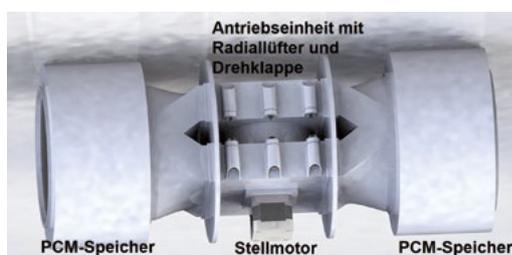


Bild 2: Aufbau des PCM-Kurzzeitspeichers mit alternierender Luftförderichtung in der Variante „Gehäuserohr“

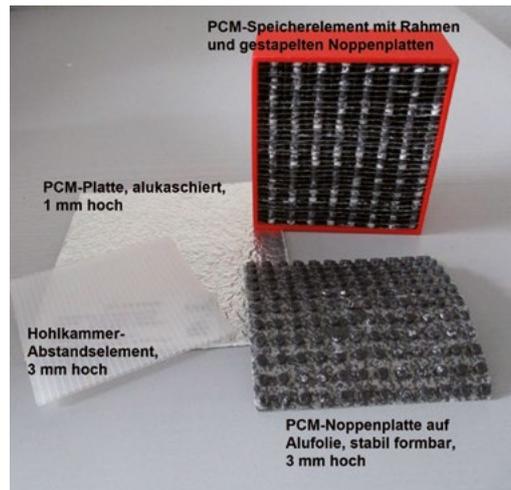


Bild 3: Varianten für den Aufbau eines PCM-Kurzzeitspeichers

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gegenläufiger Radialventilator

In vielen Bereichen werden Radialventilatoren für die Förderung von Luft eingesetzt. Je nach Einbausituation und Anforderung kann der Einsatz eines gehäuselosen Ventilators, eines sogenannten freilaufenden Rades sinnvoll sein. Ein typischer Einsatzfall ist z.B. das Klimagerät (siehe Bild 1). Nachteilig ist die funktionsbedingt drallbehaftete Abströmung aus dem Laufrad. Dies kann bei nachfolgenden Bauteilen wie z.B. Filtern, Schalldämpfern oder Wärmeübertragern zu einer schlechteren Akustik, mehr Druckverlust und geringerer Leistung führen.

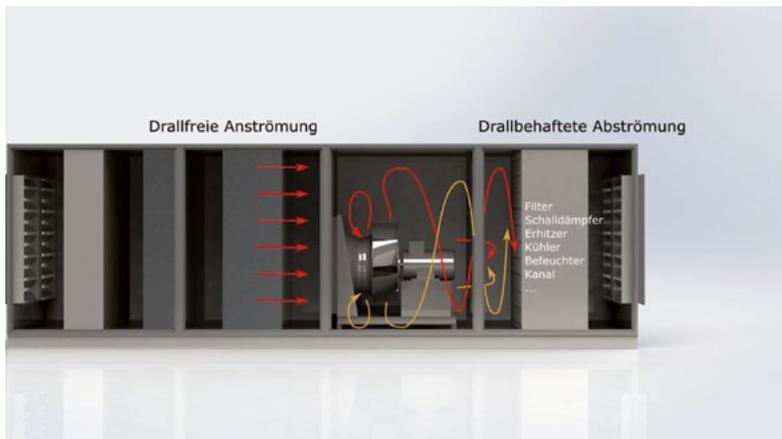


Bild 1: Luftströmung in einem Klimagerät bei Verwendung eines frei ausblasenden Radialventilators

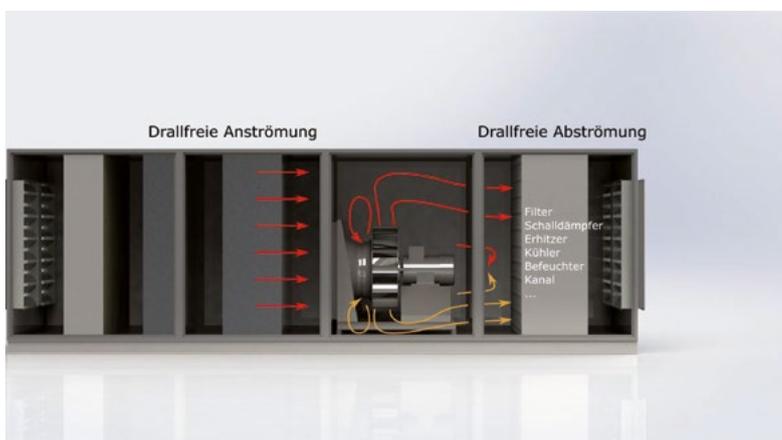


Bild 2: Luftströmung in einem Klimagerät bei Verwendung eines frei ausblasenden Radialventilators

Nach dem Stand der Technik kann mit verschiedenen Mitteln der Drall aus der Strömung entfernt werden. Einerseits ist der Einsatz eines Spiralgehäuses möglich, andererseits die Verwendung eines Nachleitgitters. Das Spiralgehäuse widerspricht dem Einsatzzweck des freilaufenden Rades und weist im Austritt immer noch eine hohe Geschwindigkeit auf. Sowohl Spiralgehäuse als auch Nachleitrad können beide dazu beitragen, den vorhandenen dynamischen Druck aus dem Lauf in nutzbaren statischen Druck umzuwandeln. Jedoch sind beide nicht in der Lage, zusätzliche Energie auf das Fluid zu übertragen.

Es ist daher die Aufgabe in diesem Forschungsvorhaben, mit einem neuartigen gegenläufigen Laufrad eine drallfreie Abströmung aus einem Laufrad zu erzeugen (siehe Bild 2). Die Funktionsweise zeigt das Bild 3 anhand der Geschwindigkeitsdreiecke der beiden gegenläufig rotierenden Laufräder.

Auf Basis einer drehzahl- und volumenstromabhängigen Abstimmung der beiden Laufräder aufeinander wird mit der gegenläufig rotierenden Bauweise des zweiten Laufrades eine stoßfreie Anströmung erreicht und die Relativgeschwindigkeit w weiter verzögert. Aufgrund des vorhandenen Vordalles kann trotz Geschwindigkeitsabbau ein drallfreier Druckaufbau erreicht werden.

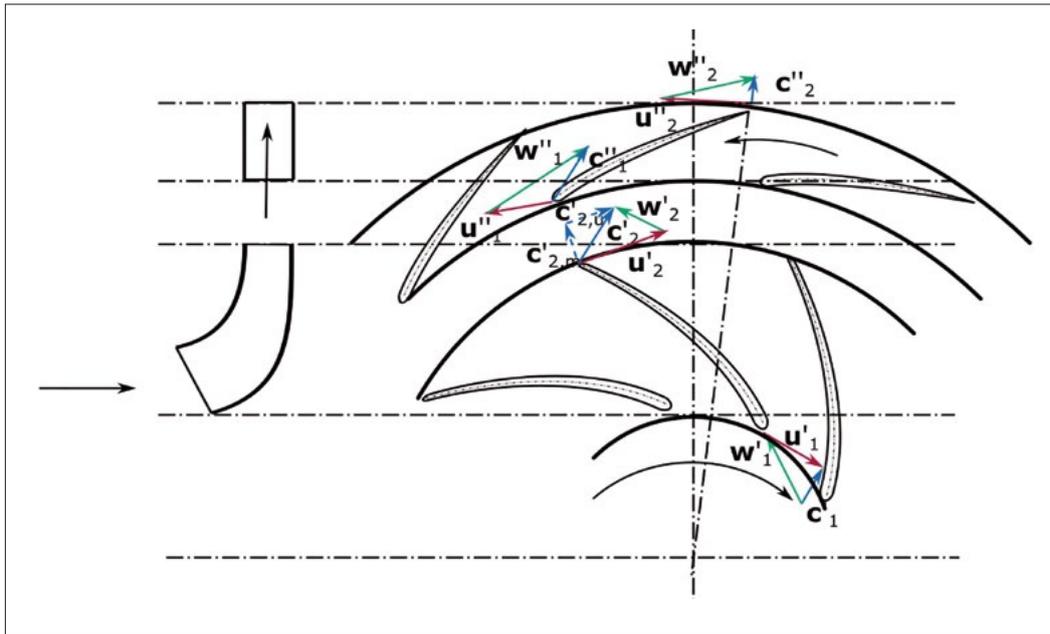


Bild 3: Funktionsprinzip eines gegenläufig rotierenden Radialventilators

Für die erfolgreiche Bearbeitung des Themas sind folgende Teilaufgaben zu klären:

- Auslegung, Abstimmung und Optimierung der Laufräder
- Entwicklung eines geeigneten Antriebskonzeptes
- Reduktion der Leckage im Spalt zwischen den beiden Laufrädern
- Optimierung der akustischen Eigenschaften
- Entwicklung eines Dralldetektors für die Regelung des Ventilators

Der Einsatz eines gegenläufigen Radialventilators besitzt die folgenden Vorteile:

- eine drallfreie Abströmung für einen höheren statischen Wirkungsgrad, vergleichbar mit einem Gehäuse oder einem Nachleitrad,
- optimale Anströmung der nachfolgenden Bauteile aus thermodynamischer und strömungsmechanischer Sicht,
- optimaler Wirkungsgrad durch Anpassung der Drehzahlen,
- größere Leistung bei gleichem Bauvolumen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Aktives Schichtladesystem für Kaltwasserpufferspeicher

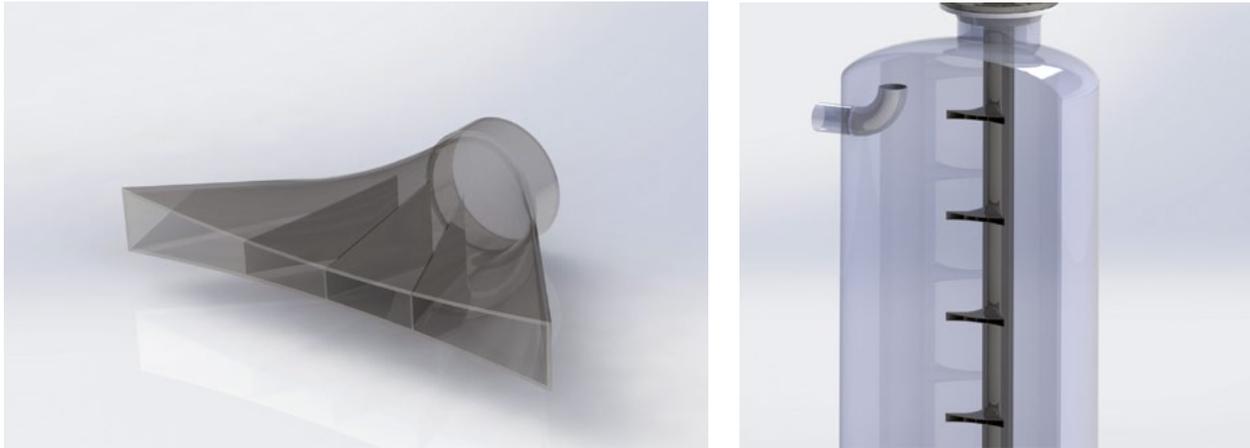


Bild 1: Konstruktion eines Beladers (links) mit Integration in den Pufferspeicher (rechts)

Ziel ist die Entwicklung eines aktiven Be- und Entladesystems für Kaltwasserpufferspeicher, das durch eine temperaturgesteuerte Ein- und Ausschichtung des Kaltwassers konvektive Mischungsverluste reduziert und eine Schichtung im Speicher erhält bzw. aufbaut. Grundidee der ortsveränderlichen Einschichtung ist dabei die Tatsache, dass eine mischungsarme Beladung nur erfolgt, wenn das Beladefluid auf der Höhe mit gleicher Temperatur in den Speicher eingeschichtet wird. Um diese Anforderung zu erfüllen, soll ein höhenveränderlicher Belader zum Einsatz kommen oder mehrere Belader eingesetzt werden, bei denen der Fluidstrom außerhalb des Speichers der richtigen Temperaturschicht zugeordnet wird.

Neben dem Beladesystem wird eine geeignete Messtechnik entwickelt, die eine integrale Aussage zum Speichertemperaturprofil über der Speicherhöhe ermöglicht. Durch die Auswertung der Temperaturänderungsgeschwindigkeiten können Rückschlüsse auf die Strömungsgeschwindigkeiten im Speicher gezogen werden. Gemeinsam mit den Ein- und Austrittstemperaturen des Speichers wird daraus der aktuelle

Speicherbelastungsgrad ermittelt. Daraus kann eine Prognose des erforderlichen Kältemaschinenbetriebes erfolgen. Durch die Berücksichtigung von Teillasteffizienzkennwerten von Kältemaschinen kann die Steuerung selbsttätig entscheiden, ob die Kältemaschine im Teillastbetrieb angefordert wird oder nicht. Damit kann eine deutliche Effizienzsteigerung bei der Kälteerzeugung von bis zu 20 % erreicht werden.

Zur speicherinternen Beladung werden eine Teleskoprohrvariante und eine Drehrohrvariante mit mehreren, über der Speicherhöhe verteilten Öffnungen favorisiert. Für den Belader der Teleskoplösung kann dabei auf eigene Voruntersuchungen und externe Untersuchungen zu Radialdiffusoren zurückgegriffen werden. Für den Belader der Drehrohrvariante und der speicherexternen Variante mit seitlichen Rohranschlussstutzen wurden Ausströmelemente entwickelt, die eine impulsarme Einschichtung des Kaltwassers in den Speicher erlauben. Dafür wurden Konstruktionsentwürfe erstellt (Bild 1) und die konstruktiven Eigenschaften für die numerische Berechnung aufbereitet.

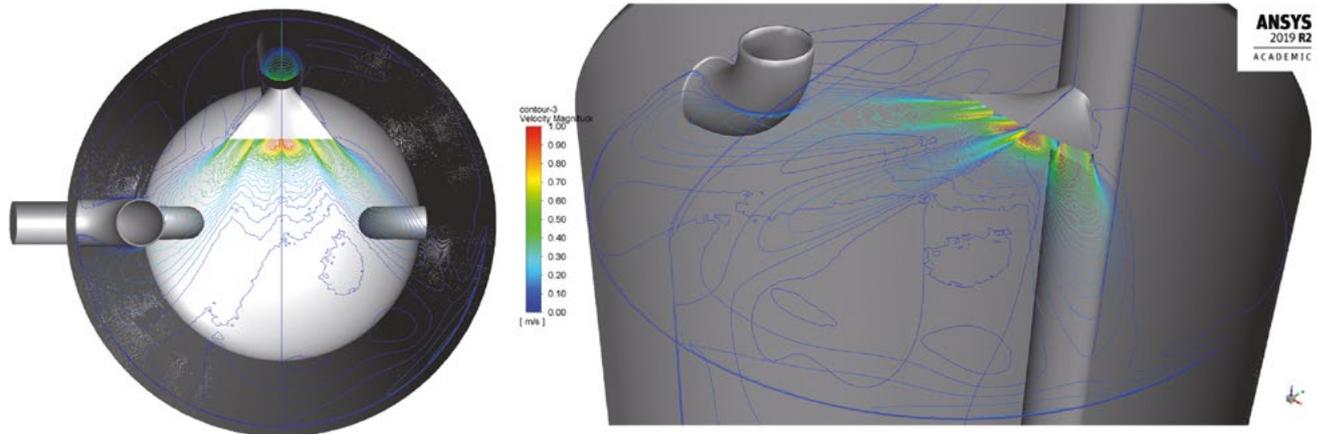


Bild 2: Strömungstechnische Untersuchung des Beladers

Unter Verwendung des Programmpaketes ANSYS® FLUENT 2019R2 wurde mittels CFD-Simulation eine strömungstechnische Untersuchung verschiedener Beladerkonstruktionen durchgeführt (Bild 2).

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

i-MWÜ4.0 – Industrie-4.0-Membran- Wärme- und Stoffübertrager

Durch die Einbindung regenerativer Energien und einen Stofftransport ohne Direktkontakt der beteiligten Medien ermöglichen Membran-Wärme- und Stoffübertrager (MWÜ) für eine Vielzahl von Anwendungen einen ressourcenschonenden Energieeinsatz. Dazu gehören Luftbefeuchtung, Verdunstungskühlung aber auch Flüssigsorptionsprozesse zur Lufttrocknung oder Enthalpierückgewinnung zwischen örtlich getrennten Luftströmen. Das ILK Dresden hat diese Anwendungen bereits erfolgreich im Labormaßstab getestet.

Ziel der Entwicklung ist es, einen breiten Einsatz der MWÜ zu ermöglichen. Dafür werden die Herstellungs- und Fertigungsverfahren als auch die Betriebsumgebung innerhalb eines RLT-Gerätes auf Anforderungen von Industrie-4.0 weiter-

entwickelt. Über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg sollen die MWÜ Industrie-4.0-Standards erfüllen. Im Einzelnen werden mit der Planung und Auslegung vernetzbare automatisierbare Konstruktions-, Montage- sowie Prüfverfahren zur Qualitätssicherung der Fertigung entwickelt. Darüber hinaus werden Online-Verfahren zur Diagnose des energetischen und hygienischen Zustandes für i-MWÜ4.0 im Betrieb entwickelt, um daraus ein parametergeführtes Wartungsmanagement zur Qualitätssicherung abzuleiten. Bild 1 zeigt die Interaktion eines i-MWÜ4.0.

Basierend auf theoretischen und experimentellen Studien sind Lösungsansätze für zerstörungsfreie Prüfmethode für unkonfektionierte und konfektionierte textile Verbunde erarbeitet worden.

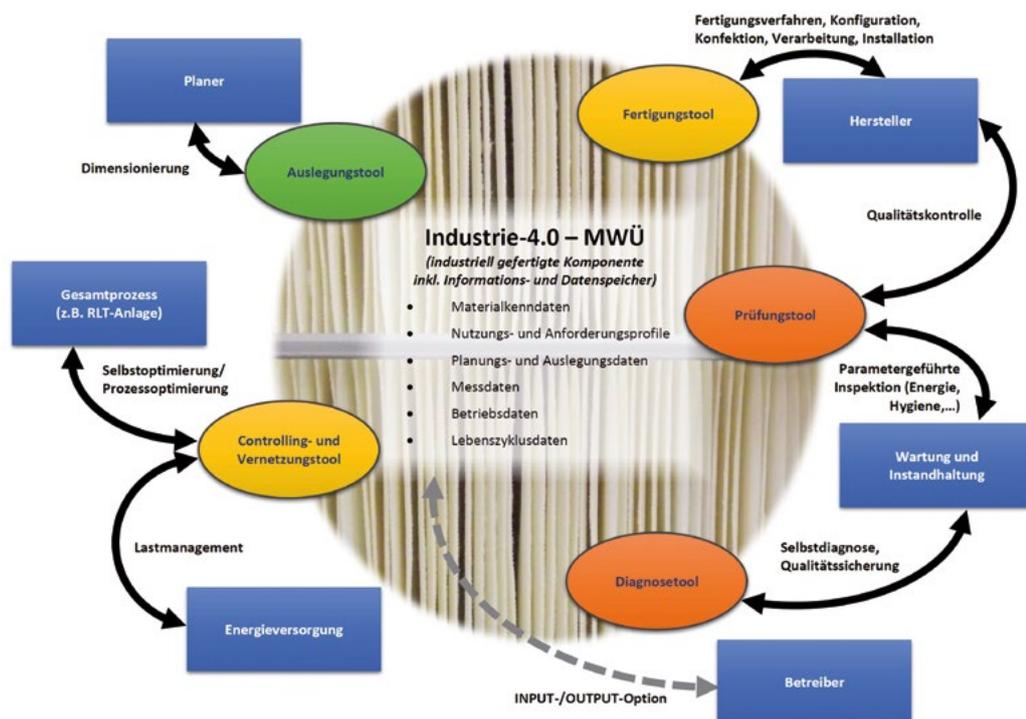


Bild 1: Interaktion eines i-MWÜ4.0

Ein Lösungsansatz besteht darin, die textilen Verbunde via Unterdruckkammern mit Wasser bzw. Luft zu füllen oder zu durchströmen und zeitgleich thermografisch zu analysieren. Die Ergebnisse geben Auskunft über die Materialqualität, speziell zu Dichtheit, Verarbeitungsqualität oder etwaigen Fehlstellen. Das Konzept für die konstruktive Umsetzung einer entsprechenden Prüfanordnung zeigt Bild 2.



Bild 2: Strömungstechnische Untersuchung des Beladers

Auch vergleichende Wasserdampfdurchlässigkeitsprüfungen in der Orientierung der Flächennormale durch die textilen Verbunde können Auskunft über Abweichungen oder Fehlstellen innerhalb ein- und derselben Charge (gleiche Fertigungsparameter) geben. Analysiert und getestet wurde die Messbarkeit einer veränderten Wasserdampfdurchlässigkeit durch Fehlstellen in der Membran (definierte Lochgrößen), eine Verletzung der Vliesschicht (Textillayer zum Schutz der Membran), Verunreinigungen bzw. Veränderungen nach Gebrauch (nach ca. 1-jähriger Nutzung) und durch fertigungsbedingte Varianzen im Textil bzw. in einzelnen textilen Lagen. Die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen

Studien sind von wesentlicher Bedeutung, um zerstörungsfreie Qualitätskontrollen im Fertigungsprozess realisieren zu können. Funktionell sind die erarbeiteten und erprobten Prüfmethode dem „Prüfungstool“ (Bild 1) zuzuordnen – der Entwicklung schneller, in den Fertigungsprozess integrierbarer und zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Qualitätssicherung. Prüfergebnisse und Materialkenndaten bilden wichtige Basisinformationen der Industrie-4.0 – Komponente und dienen über dessen gesamten Lebenszyklus als Vergleichsgrundlage.

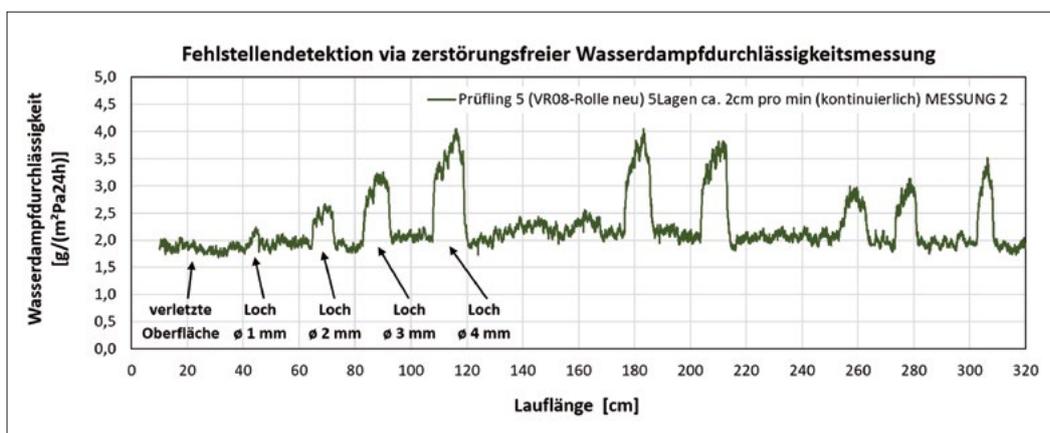


Bild 3: Wasserdampfdurchlässigkeit entlang des geprüften Materials (Rollenware)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Entwicklung klimatechnischer Prüfanlagen



Bild 2: Entwickelter Volumenstromprüfstand für hochpräzise Kennlinienmessungen

Im Rahmen der Forschungsprojekte zur Entwicklung von Ventilatoren, insbesondere aus dem Projekt „Gegenläufiger Radialventilator“ sowie dem Projekt „Primäre Lärmreduktion an einem gegenläufigen Axialventilator“ bestand die Anforderung, die Kennlinienparameter und die Energieeffizienz messtechnisch mit hoher Präzision nachzuweisen.

Ein Schwerpunkt dabei war die Kompensation von witterungsbedingten Dichteänderungen der Luft, um vergleichende Messungen mit dem Ziel der empirischen Optimierung zu erhalten. Dies war erforderlich, um die numerischen Auslegungsmodelle zu validieren bzw. zu optimieren. In diesem Rahmen wurde sowohl ein messtechnisches Konzept als auch eine Software entwickelt, die auf Basis von Stoffwertbibliotheken Luftdichteinflüsse bei der Messung kompensiert (Bild 1).

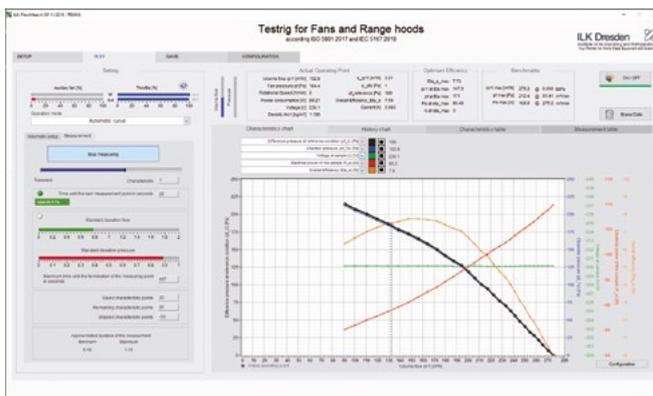


Bild 1: Prüfstandssoftware ILK FlowMeas

Das im Rahmen dieser Forschungsprojekte entstandene Mess- und Berechnungskonzept zur hochpräzisen Luftvolumenstrommessung ist zudem für viele andere Anwendungsbereiche nutzbar. Beispielsweise wurden diese Ergebnisse auf dem in Bild 2 dargestellten Prüfstand an einen Industriekunden überführt.

Das in Bild 3 dargestellte Mess- und Berechnungsmodul wird im Rahmen der Produktentwicklung eines Prozessluftventilatorherstellers zum Leistungsnachweis und zur energetischen Optimierung des Produktspektrums genutzt. Besonders in dem sehr breiten Druck-, Temperatur- und damit Luftdichtebereich ist mit dem

Prüfstand eine sehr hohe Messgenauigkeit erzielbar. Bei dem sehr hohen Leistungsbedarf dieser Ventilatoren in verfahrenstechnischen Anlagen sind betriebspunktgenaue Optimierungen möglich, sodass damit der Elektroenergiebedarf reduziert und damit auch der CO₂-Ausstoß von Industrieanlagen reduziert werden kann.



Bild 3: Mess- und Berechnungsmodul für die Leistungsmessung von Prozessluftventilatoren eines Industriekunden

FuE-Dienstleistungen auf dem Gebiet der Klimatechnik

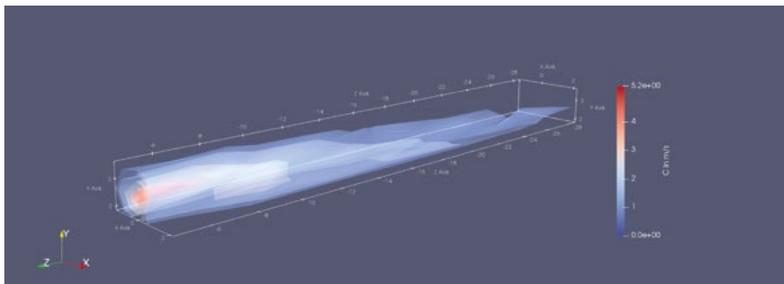
Der Bereich Luft- und Klimatechnik kann auf Basis des Know-how aus öffentlich geförderten Forschungsvorhaben umfangreiche FuE-Dienstleistungen der freien Wirtschaft anbieten. Im Vordergrund steht dabei der Technologie-Transfer aus Forschungsvorhaben der marktvorbereitenden Forschung. Die folgende Auflistung zeigt ausgewählte Dienstleistungen aus diesem Spektrum:

1. AKUSTISCHE MESSUNGEN AN ZENTRALEN UND DEZENTRALEN LÜFTUNGSGERÄTEN

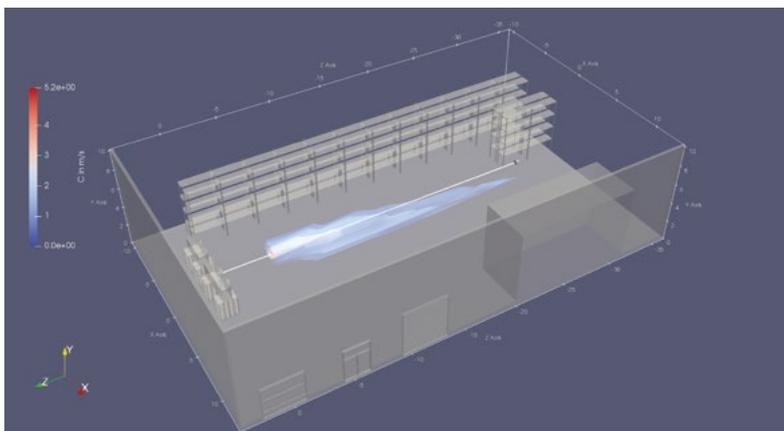
Die akustischen Kenngrößen nehmen neben den bisherigen Produktdaten einen immer mehr an Bedeutung gewinnenden Platz ein. Das betrifft sowohl den Wettbewerb der Anbieter untereinander als auch die steigenden Anforderungen der Nutzer.

Im Hallraum erfolgen z.B. Schalleistungsmessungen nach DIN EN ISO 3741 oder auch Messungen zur Bestimmung der Normschallpegeldifferenz gemäß DIN EN ISO 140-10 und DIN EN ISO 717-1. Darüber hinaus stehen weitere akustische Messverfahren zur Verfügung wie z.B. die Schallquellenortung mit einer akustischen Kamera.

Den Auftraggebern werden mit den Messdaten qualifizierte Werte für die Produktbeschreibung übergeben. Darüber hinaus ist ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen das Erkennen von Optimierungspotential am Lüftungsgerät. Neuste Entwicklungsergebnisse aus den FuE-Vorhaben werden dabei in die für den Markt vorgesehenen Lüftungsgeräte implementiert. Mit den übergebenen Unterlagen wird der AG qualifiziert, eigene Weiterentwicklungen an seinen Geräten erfolgreich durchzuführen.



Freistrahls Isotachen



Freistrahls im Lagerraum

2. FREISTRALHMESSUNGEN AN DECKENKÜHLGERÄTEN

Deckenkühlgeräte werden in Lagerräumen in verschiedenen Ausführungen und Leistungsstufen eingesetzt. Ein wichtiges Kriterium dieser Geräte sowohl auf den Energieverbrauch als auch auf die Qualität der Raumkühlung ist die Wurfweite der Kühlluft in den Raum. Diese wird maßgeblich durch die Ausbildung des Freistrahls beeinflusst. Für die Auslegungs- und Planungsprozesse ist die Kenntnis des Freistrahls / der Wurfweite von immenser Bedeutung.

Gemeinsam mit dem AG wurde mit spezieller, am ILK Dresden entwickelter 3d-Strömungsmesstechnik, der Freistrahls für verschiedene Gerätekonfigurationen / Betriebszustände vermessen. Im Ergebnis konnten an den Geräten vereinzelt Verbesserungen erkannt und umgesetzt werden. Wesentlicher Punkt jedoch war die Qualifizierung der Auslegungstools für den

Planungsprozess der Deckenkühlgeräte in Lagerräumen. Der AG war mit den übergebenen Ergebnissen in der Lage, sowohl Verbesserungspotential an seinen Geräten zu erschließen als auch sein Planungstool zu qualifizieren.

3. THERMISCHE GEBÄUDE- UND ANLAGENSIMULATION SOWIE STRÖMUNGSSIMULATION FÜR EIN HÖRSAALZENTRUM

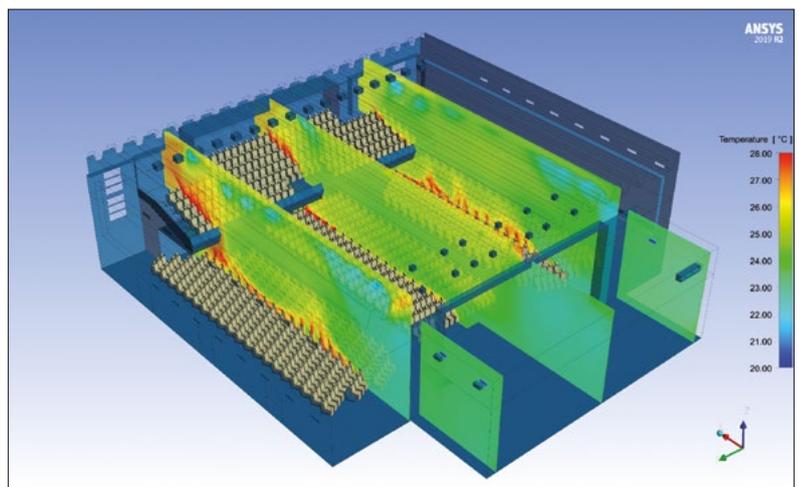
Das Hörsaalzentrum wird unter Berücksichtigung historischer Gebäude- und Raumgeometrien umfangreich saniert. In diesem Zusammenhang erhält der vielseitig genutzte große Hörsaal eine neue mechanische Lüftungsanlage. Sie soll sowohl der hygienischen Mindestlüftung als auch der Kühllastkompensation dienen. Mit Ausnahme weniger statischer Heizflächen sind – baulich bedingt – keine weiteren RLT- oder wasserführenden Systeme vorgesehen. Auch dem Kanalsystem der Lüftungsanlage sind entsprechend den baulichen Gegebenheiten Dimensionsgrenzen gesetzt. Zudem ist die Luftführung mit Zuluftauslässen in den Seitenwänden und Abluftgittern im oberen Bereich der Rückwand des Hörsaals weitestgehend vorgegeben.

Mit Hilfe der Simulationsrechnungen soll gezeigt werden, ob die für den großen Hörsaal des Audimax definierten raumklimatischen Anforderungen eingehalten werden können und wie häufig bzw. in welchem Maße etwaige Sollwertüberschreitungen auftreten.

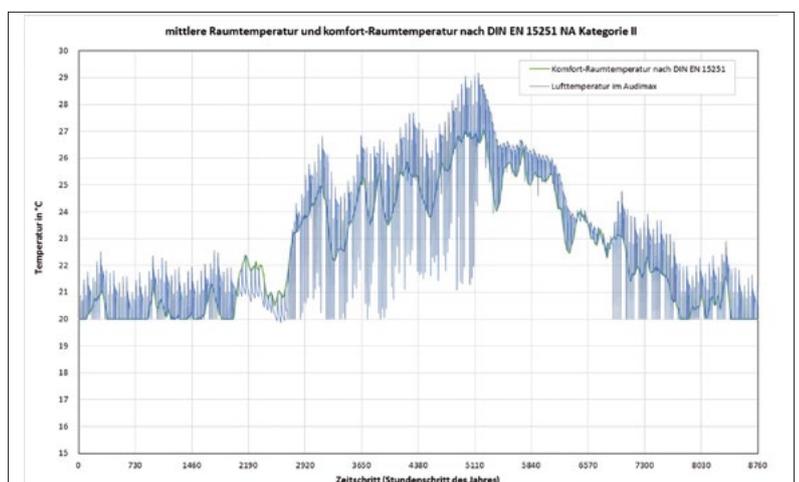
Die dynamische Gebäude- und Anlagensimulation betrachtet dabei die energetische Bilanz und die aus Wetterdaten, Nutzungsprofil und Anlagenleistung resultierenden (mittleren) Raumluftparameter im Jahresgang.

Die numerische Strömungssimulation vertieft die Analyse für vier ausgewählte Szenarien.

Im Fokus steht dann die Funktionalität und Wirkungseffektivität des Lüftungs-/Klimatisierungskonzeptes im Raum. Speziell werden Lufttemperatur-, Feuchte- und Strömungsgeschwindigkeits-Verteilung im Raum bestimmt. Auch behaglichkeitsrelevante Bewertungskriterien finden Berücksichtigung. Eine Eingrenzung kritischer Raumbereiche ist ebenso möglich, wie die Findung etwaiger Ursachen und die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen.



Temperaturverteilung, Hörsaalzentrum



Jahresgang mittlere Raumlufttemperatur, Hörsaalzentrum

Erhöhung der Energieeffizienz durch Gesamtverbund und Kälteinsel 4 an der TU Dresden

Die Technische Universität Dresden ist mit über 36.000 Studenten und mehr als 4.000 Beschäftigten die größte Universität des Freistaates Sachsen. Gemessen an der Zahl der Studenten ist sie die größte Technische Universität und zählt zu den zehn größten Universitäten in Deutschland. Die TU Dresden ist zu großen Teilen eine Campus-Universität. Ihr Hauptcampus befindet sich südlich des Dresdner Stadtzentrums im Stadtteil Südvorstadt zwischen Fritz-Foerster-Platz und Nöthnitzer Straße in Nord-Süd-Richtung sowie Münchner Platz und Zellescher Weg in West-Ost-Richtung. Auf dem Campusgelände befinden sich eine Vielzahl von Gebäuden für die Forschung und Lehre, die Kälteenergie sowohl für die Klimatisierung als auch für den technologischen Bedarf benötigen. Im Rahmen dieses Bauvorhabens ist ein Kälteverbund zu entwickeln und zu realisieren, der die verschiedenen Kälteerzeuger in den Gebäuden verbindet und dadurch zu einer Effizienzsteigerung und einer Erhöhung der Funktionssicherheit führt.

Der Anspruch des Auftraggebers ist es, eine neuartige und ressourcenschonende Kälteversorgung des Universitätscampus zu realisieren. Dazu sind die Erkenntnisse aus den öffentlich geförderten Projektforschungen mit den theoretischen Simulationsmöglichkeiten, wie sie aufgrund der fachlichen Expertise und instrumentellen Ausstattung am ILK gegeben sind, zu nutzen. Innerhalb des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsauftrages sind diese Vorteile weiter herauszuarbeiten. Zugleich sind die bisher im Rahmen der öffentlich geförderten Projektforschung entstandenen neuen Erkenntnisse zum prinzipiellen Leistungsverhalten von Kälteanlagen und deren Zusammenwirken im Kälteverbund einzuarbeiten. Perspektivisch ist geplant, einen Gesamtverbund, also ein hydraulischer Zusammenschluss von mehreren Kälteinseln, für

die energieeffiziente Kaltwasser-Versorgung des Universitätscampus zu realisieren.

Einen der wesentlichsten Schwerpunkte dabei bilden die Entwicklung und der Einsatz von Methoden zur automatisierten Fehlererkennung und Diagnose (FED) in gebäudetechnischen Anlagen. Damit wird die Entdeckungswahrscheinlichkeit fehlerhafter Betriebszustände deutlich erhöht. Voraussetzung hierfür sind Verfahren, mit deren Hilfe Abweichungen vom optimalen Betriebsverhalten unter Berücksichtigung entsprechender Toleranzen erkannt werden. Die Herausforderung besteht dabei in der Eingrenzung der möglichen Fehlerursachen innerhalb der Systemstruktur. Dies ist gerade bei komplexen anlagentechnischen Systemen mit einem sehr hohen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden. Neben der detaillierten Systemkenntnis ist eine breite Wissensbasis über mögliche Fehlerzustände einzelner technischer Komponenten sowie deren Auswirkung auf das Gesamtsystem erforderlich.

Das Forschungsvorhaben im Projektverbund – gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – verfolgt die Zielstellung, Fehlerdiagnosealgorithmen für typische Komponenten eines Kälteverbundes im Kontext der Gesamtanlage bis zum Jahr 2022 zu entwickeln.

Die ILK-spezifischen Aufgaben umfassen dabei für den Projektteil Kältetechnik:

- die wissenschaftlich-technische Unterstützung bei Herrichtung der Anlagen, besonders dabei die Komponenten zur automatisierten Betriebsführung sowie dem Anlagen- und Energiemonitoring des Verbundes,
- System – FMEA,
- Aufbau und Inbetriebnahme der Versuchsstände,

- Implementierung und Erprobung der Algorithmen,
- Erprobung Algorithmen Gesamtsystem Gebäude und
- Dokumentation.

Bereits während der Projektlaufzeit ist vorgesehen, auf potenzielle Anwender zuzugehen, um konkrete Wege der möglichen Zusammenarbeit

zu suchen und herzustellen. Projektbekleidend wird Vermarktungsförderung durchgeführt. Basierend auf den bisherigen Erfahrungen kann abgeschätzt werden, dass im Rahmen der frei finanzierten Auftragsforschung durch Methodenanwendung aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens die Refinanzierung der eingesetzten Forschungsmittel erfolgt.

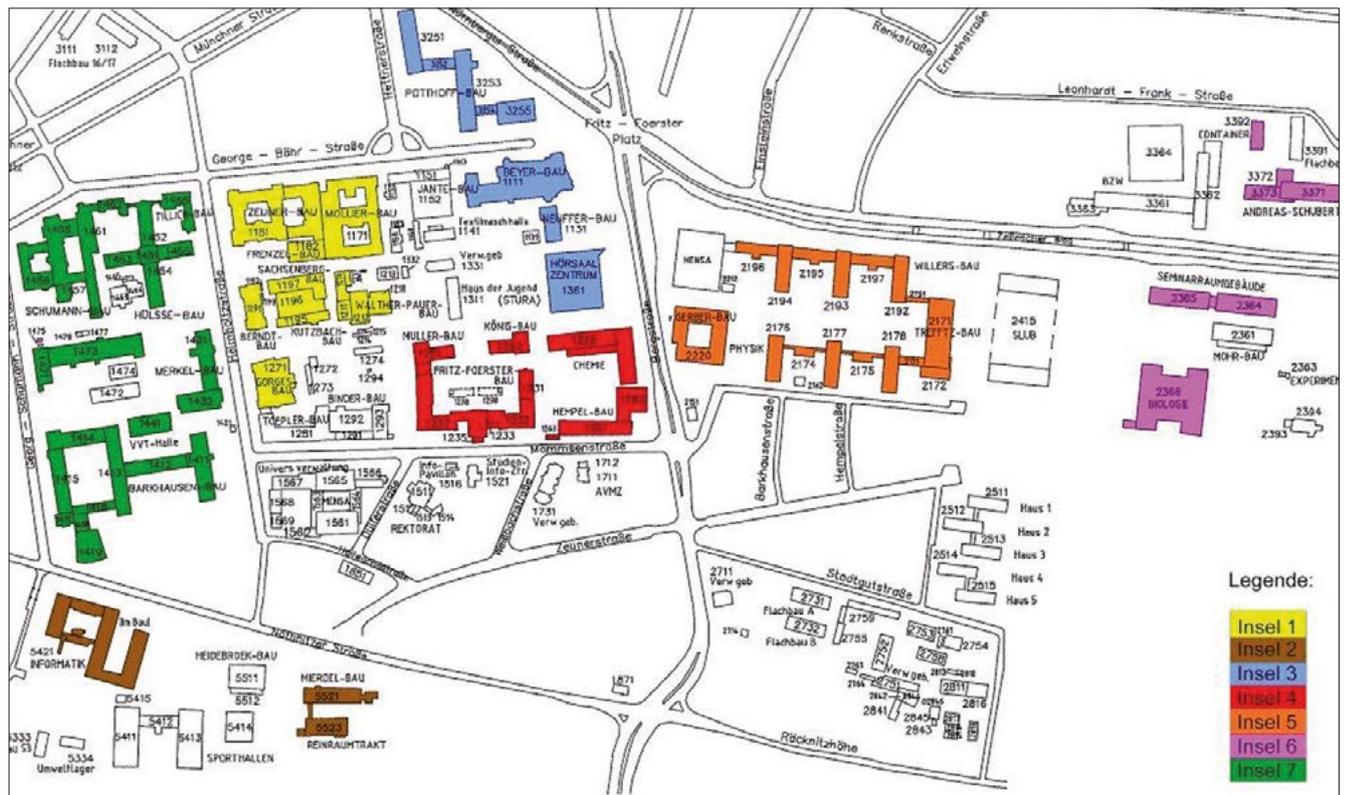


Abbildung 1: Umfang des Kälteverbundes – Insel 4 (rot markiert)

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Normungsarbeit

Die Mitarbeit in verschiedensten Normungsgremien ist ein signifikanter Bestandteil des Technologietransfers aus verschiedenen Forschungsprojekten. Konkret konnten im abgeschlossenen Geschäftsjahr die Erkenntnisse zur Leistungsbewertung von Ventilatoren aus dem Projekt „Gegenläufiger Radialventilator“ und von Haushaltsdunstabzugshauben aus den Projekt „Energieeffiziente Dunstabzugshaube“ in die internationale Norm „IEC 61591:2019 Cooking fume extractors – Methods for measuring performance“ transferiert werden.

Das ILK Dresden ist aktives Mitglied der nationalen Normarbeitsgruppe DKE AK 513.2.5. Zudem ist auch ein Mitarbeiter des ILK Dresden als offizieller Vertreter Deutschlands in das übergeordnete internationale Normgremium IEC TC 59/SC 59K/MT 3 berufen worden.

Einen Schwerpunkt des Transfers bildet die Normierung der Luftleistung von Dunstabzugshauben im Zusammenhang mit der Charakteristik des Ventilators und der jeweiligen Filterelemente bei unterschiedlichsten Luftzustandsbedingungen. Im Ergebnis ist erstmals eine international gültige Norm entstanden, die es ermöglicht, Messergebnisse zu generieren, um verschiedenste Varianten der Dunstabzugshauben orts- und luftzustandsunabhängig miteinander vergleichen zu können. Im Rahmen der

Setting Measured Data Volume Flow (Recirculation Mode) Working Point (Extraction Mode) Best Efficiency Point (Extraction Mode)

Device Specification
 Wall range hood
 Manufacturer / Brand
 Sample
 Type / Modell
 Testdevice
 Productname / Description
 Range hood
 Serial Number / Production Year
 none

Device Configuration
 Extraction mode with installed grease filter

Control Type
 Manually Boost setting available
 Low setting available

Airflow setting
 Highest continuous setting for normal use

Mains [V] 230 Frequency [Hz] 50 Warmup Time [min] 30

Install Description

Test room conditions Outside of standard requirements

Electrical power off state P_o [W] 0
 Electrical power standby P_s [W] 0
 Nominal lighting power input W_L [W] 5
 Measured lighting power input P_L [W] 7.5

EU Reg. 66/2014 Nominal input power lighting = W_L
 IEC 61591-2019 Measured input power lighting = P_L

Reset Test Start Measurement Calculate Airflow Setting

Assessment

Air Outlet Diameter [mm] 150 Outlet Type 150 to 160 mm

The purpose of this test is to determine the volumetric airflow at the working point and at the best efficiency point.

a 5 times the diameter of the duct, which shall be sealed

- 1 Cooking fume extractor
- 2 Pressure compensation chamber
- 3 Pressure differential device for airflow measurement
- 4 Auxiliary fan
- 5 Baffle
- 6 Static pressure gauge

Tested Airflow Settings
 Boost position
 Highest continuous
 Lowest
 Test complete

Bild 1: Software zur Berechnung der Leistungs- und Energieeffizienzparameter von Haushaltsdunstabzugshauben

Normungsarbeit wurden durch das ILK Dresden die in IEC 61591:2019 beschriebenen Berechnungsverfahren in einer Software (siehe Bild 1) umgesetzt, um den Normentwurf validieren zu können.

Aktuell wird diese Software weltweit von namenhaften Dunstabzugshaubenherstellern und Prüfinstituten in Lizenz genutzt.

Für eine zukünftige Version der IEC 61591 werden durch das ILK Dresden innovative Lösungsansätze zur Bewertung der Dunstabzugshauben in die Norm eingebracht. Angestrebt ist die Qualifizierung der Dunstabzugshauben, basierend auf dem Erfassungsgrad und dem Abscheidegrad unter praxisnahen Bedingungen. Dazu wurde für die spezifischen Anforderungen von Dunstabzugshauben ein Prüfkonzept ent-

wickelt und erste Versuchsreihen zur Bewertung verschiedener Lösungsansätze durchgeführt. Der zugehörige Prüfaufbau ist nachfolgend in Bild 2 dargestellt. —

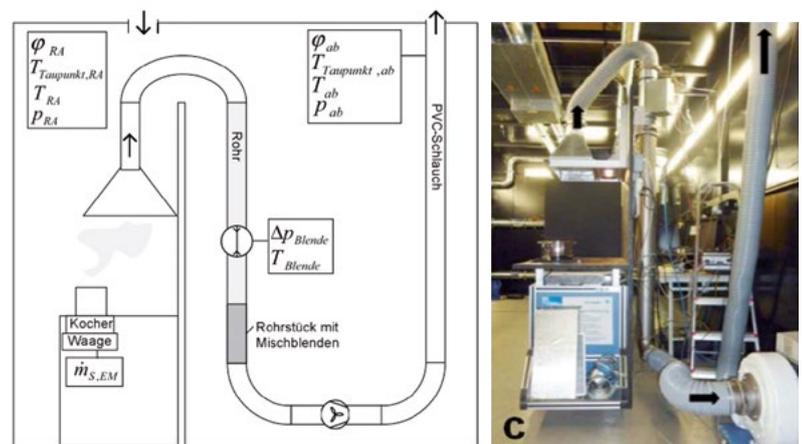


Bild 2: Prüfaufbau zur Bestimmung des Erfassungsgrades von Dunstabzugshauben

ADDIFIL – Filtrationsverfahren Additive Fertigung

Neben den konventionellen subtraktiven Verfahren zur Materialbearbeitung etablieren sich vermehrt additive Fertigungsverfahren, welche die Herstellung hochkomplexer Bauteile aus metallischen und keramischen Werkstoffen sowie aus Kunststoffen ermöglichen. Dem Vorteil, bisher nicht produzierbare Werkstücke mit innenliegenden Kanälen oder Wabenstrukturen sowie variablen Wandstärken herstellen zu können, stehen Gefahren für die Gesundheit durch die Freisetzung von Nanopartikeln und gasförmigen Substanzen sowie eine erhöhte Brandgefahr gegenüber.



Im Rahmen des Vorhabens wird ein Filtrationsverfahren für die additive Fertigung entwickelt, welches durch die Entfernung von Sauerstoff, Wasserdampf und ggf. Stickstoff aus dem Inertgasstrom Brand- und Explosionsgefahren deutlich reduziert. Bestandteil der Verfahrensstufe ist zudem ein Abscheideelement, welches Nanopartikel, die bei Laserprozessen der additiven Fertigung in das Inertgas freigesetzt werden, effektiv abtrennt, abreinigbar ist, den Staub speichert und ohne Staubfreisetzung gewechselt werden kann. Diese modulare Prozessstufe zur Abtrennung gasförmiger und partikelförmiger Kontaminanten aus dem Prozessgas soll zudem als Flammendurchschlagsicherung wirken und durch ihren Einsatz eine gleichbleibende Produktqualität sicherstellen. Die Wirksamkeit der Prozessstufe hinsichtlich der Sauerstoff- und Wasserdampfabtrennung soll kontinuierlich mit autark arbeitenden Sensoren erfolgen. Integriert wird zudem eine Funktion zur Prüfung des Filterdichtesitzes auf Basis eines Streulichtensors.

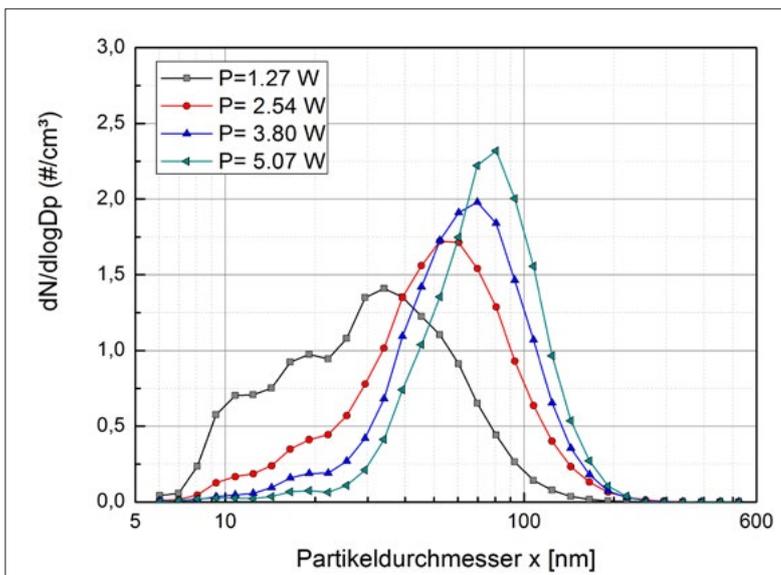


Bild 1: Arbeitsplatzmessung an einer Anlage zum selektiven Laserstrahlschmelzen (oben), Korrelation zwischen Laserleistung und freigesetztem Partikelspektrum (unten)

Um ein Anforderungsprofil für das Filtrationsverfahren für Maschinen der additiven Fertigung erstellen zu können, wurden unter anderem Arbeitsplatzmessungen (Bild 1, unten) im Umfeld einer solchen Maschine durchgeführt. Auf Basis der Untersuchungen konnten die Freisetzungsweg für Nanopartikel, die resultierenden Konzentrationsniveaus sowie die Partikelgrößenverteilungen für unterschiedliche metallische Werkstoffe bestimmt werden.

Zudem wurde an einem Laserbearbeitungsprozess der Einfluss von Laserleistung und Scangeschwindigkeit sowie der Art des Schutzgases auf das Partikelspektrum untersucht. Hier konnte gezeigt werden, dass das Partikelspektrum mit zunehmender Laserleistung in Richtung größeren Partikeln verschoben wird (Bild 1, oben). Außer-

dem wurde für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Filtrationsverfahrens ein Prüfaufbau konstruiert. Die eigentliche Prüfung wird mittels unterschiedlichster Metalloxide im submikronen Bereich erfolgen, die durch einen neuartigen Aerosolgenerator mittels Pyrolyse in einer Wasserstoff-Flamme generiert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

PVA – Prüfverfahren für Außenluftfilter

Die Luftqualität in urbanen Bereichen und speziell die Feinstaubbelastung in deutschen Innenstädten führt zu öffentlichen Diskussionen und der Suche nach Lösungen zur Reduzierung der Verunreinigungen. Unter anderem werden Ansätze entwickelt, die biologische Filter nutzen und damit verschiedene positive Effekte erzielen wollen. Die Außenluft durch Moose zu fördern führt nicht nur zur teilweisen Abscheidung des Feinstaubes, sondern auch zu einer Kühlung und Befeuchtung der Luft. Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, eine Prüfmethodik zur Bewertung solcher Außenluftfilter mit biologischen Materialien zu erarbeiten, um die Wirksamkeit dieser Systeme einschätzen und verlässlich bewerten zu können, da bisher keine geeigneten Prüfstandards existieren.

Das Vorhaben wird durch den Projektträger EuroNorm vom BMWi gefördert. Die erforderlichen Eigenmittel des ILK werden durch die Firma Green City Solutions GmbH zu finanziert, die „City Trees“ als Komplettsysteme mit Moos als biologischem Filtermedium entwickelt und Prüflinge für die Erprobung der Prüfmethoden bereitstellt. Das Projekt läuft von Februar 2019 bis Februar 2021.

Ausgehend von bestehenden Prüfverfahren für technische Filtermedien wurden am Prüfstand für Kfz-Innenraumfilter diverse Voruntersuchungen an Funktionsmustern durchgeführt (vgl. Abbildung 1), um die Anwendbarkeit bekannter Methoden bei biologischen Medien zu überprüfen. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Messung von Feinstaub- und Rußpartikel-Abscheidegraden. Aus diesen Untersuchungen wurden Herausforderungen in Bezug auf die Aerosol-Probenahme und die heterogene Verteilung der Abströmung identifiziert sowie spezielle Anforderungen wie die Vitalitätserhaltung



Abbildung 1: Funktionsmuster für Voruntersuchungen



Abbildung 2: Konstruktion und Aufbau des Versuchsstand-Prototyps

der Pflanzen und eine regelmäßige Bewässerung formuliert. Weitere Kenngrößen, für die Methoden getestet und entwickelt wurden, sind die Abscheiderate von Stickoxiden sowie die Kühlungs- und Befeuchtungsleistung der Pflanzen. Für letztere wurden Feuchte- und Temperaturfeld im Abströmbereich der Funktionsmuster bzw. Modulsysteme gemessen und eine erste Bilanzierung im Vergleich zur angesaugten Luft aufgestellt.

Mit der Auswertung der Voruntersuchungen wurden die gewählten Verfahren zur Bewertung biologischer Außenluftfilter ergänzt und konkretisiert. So soll beispielsweise auch eine gravimetrische Messung des Feinstaubabscheidegrads erfolgen, um bei geringen Partikelkonzentrationen (Außenluftaerosol ohne dosierten Prüfstaub) verlässliche Ergebnisse zu erzielen.

Die Umsetzung der konzipierten Prüfmethodik erfolgt an einem eigens konstruierten Prüfkanal, der die realen Einsatzbedingungen besser abbildet als der Laborprüfstand und die formulierten Anforderungen einbezieht. Dieser wurde in Form eines modularen Prototyps gefertigt (siehe Abbildung 2), der für die Außenaufstellung geeignet ist und der verschiedene Entwicklungsstadien von biologischen Filtern oder fertigen Modulsystemen aufnehmen kann. Diverse Messtechnik zur Erfassung der Strömung und Partikelbeladung kann roh- und reingasseitig installiert und durch eine Sondenverstellvorrichtung traversiert werden, um abströmseitig das heterogene Strömungsfeld abzuscannen. Es können außerdem Langzeituntersuchungen an den selbsttätig bewässernden Moosmodulen durchgeführt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

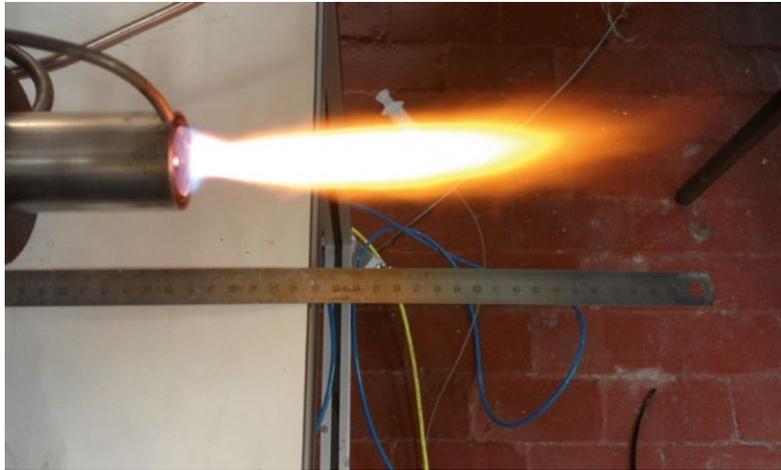
AMEKA – Abscheide-Mechanismen für Kohlenstoff-Aerosole

Das Kohlenstoff-Aerosol spielt eine einzigartige und wichtige Rolle im Klimasystem der Erde. Kohlenstoff ist eine Art von kohlenstoffhaltigem Material mit einer einzigartigen Kombination von physikalischen Eigenschaften. Vorherrschende Quellen für die Entstehung von Kohlenstoff-Aerosol sind verbrennungsrelevante Quellen, wie fossile Brennstoffe für den Transport, feste Brennstoffe für industrielle und private Zwecke sowie die offene Verbrennung von Biomasse. Die globalen Emissionen von schwarzem Kohlenstoff betragen im Jahr 2000 ca. 7.500 Gg/Jahr. In Abhängigkeit der Partikelquellen und

Partikelgrößen können Aerosole den Menschen sowie die Biosphäre direkt oder indirekt betreffen. Dabei haben Partikel, die einen Durchmesser von $< 2,5 \mu\text{m}$ haben den größten direkten Einfluss auf den Menschen. Diese können während des Atmungsvorganges bis in die Lunge vordringen, sich dort ablagern und abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung Erkrankungen, wie z.B. Lungenkrebs oder Entzündungen auslösen. Dabei stehen Partikel, die aus Verbrennungsprozessen resultieren, in Verdacht, ein besonders hohes Gefahrenpotential für den Menschen darzustellen. Um Kohlenstoff-Aerosole aus der Ab-

luft verschiedenster industrieller Prozesse sicher abscheiden zu können, ist es möglicherweise auch energetisch und technisch sinnvoll, diese aus dem Verbund mit anderen Partikelmaterialien herauszulösen und selektiv abzuscheiden oder sie definiert zu agglomerieren bzw. an Oberflächen anderer größerer Partikel zu fixieren und nachfolgend abzuscheiden. Dies bedarf allerdings einer umfassenden Untersuchung der Partikel in Bezug auf deren möglichen Partikelgrößen, ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften und Wechselwirkung. Gelingt es diese zu systematisie-

Butanol-Flamme



Silizium-Flamme

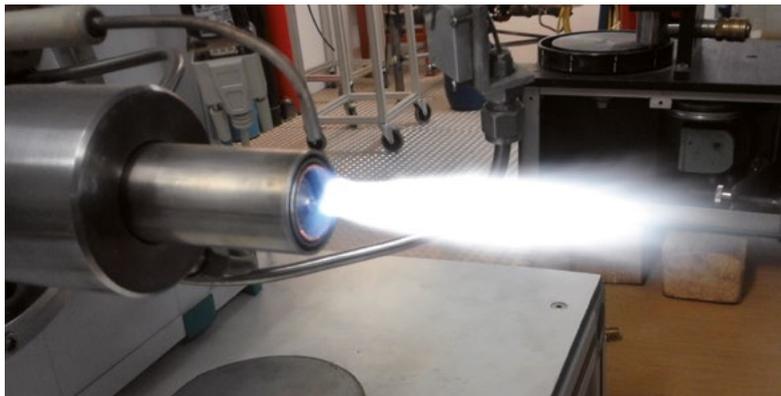


Bild 1: Messaufbau zur Untersuchung von unterschiedlich zusammengesetzten Flammen-Aerosolen

ren, können Mechanismen entwickelt werden, Black Carbons energetisch günstig aus der Abluft zu eliminieren.

Im Rahmen des Vorlaufforschungsprojektes wurden Untersuchungen zum Entstehungs- und Ausbereitungsverhalten von unterschiedlichen Flammen-Aerosolen durchgeführt. Dabei wurde spezielle Brennertechnik (vgl. Bild 1) eingesetzt. Damit können neben dem Entstehungsverhalten, der Zusammensetzung und der Partikelgrößenverteilung auch Oberflächeneffekte an Materialien charakterisiert werden.

Mit der Kenntnis der Wirkprinzipien der Partikelabscheidung können perspektivisch eine gezielte Agglomeration der Kohlenstoff-Aerosole durch physikalische Einflüsse und nachfolgende Abscheidung eine Fraktionierung der Kohlenstoff-Aerosole im Abluftstrom durch elektrostatische Wechselwirkungen und eine örtlich definierte Absaugung im Abluftstrom zur selektiven Erfassung realisiert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

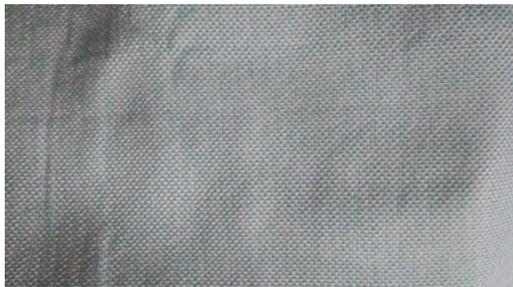
Filterlösung mit rundgewebten Filtrationsmaterialien für hygiene-relevante Anwendungen

Bei der Abscheidung von Produkten in der Lebensmittelindustrie, der Pharmazie und der Papier- und Keramikindustrie sind aus dem Prozessgasstrom stets Partikelsysteme abzuscheiden, die danach bereits das eigentliche Produkt darstellen oder wieder- bzw. weiterverarbeitet werden sollen. Dazu müssen die Produkte so rein wie möglich belassen werden. Hierfür ist verfahrenstechnisch die Filtration als Abscheidemethode das Mittel der Wahl, um die Produktgewinnung aus dem Prozessstrom zu realisieren. Durch den Filtrationsprozess dürfen keine Stoffe abgegeben oder adsorbiert werden. Weiterhin soll natürlich der Produktverlust so gering wie möglich sein. Daher kommt dem Filtrationsmaterial und dessen Eigenschaften eine große Bedeutung zu. Bisher werden für diese Anwendungen vor allem Filterschläuche aus Filz- und Vliesstoffen eingesetzt. Dabei ist die Abscheideleistung meist zufriedenstellend. Schwierigkeiten gibt es aber zum einen durch Faserbruchstücke, die sich dann teilweise im Produkt wiederfinden. Bei aufkommendem überhöhten Druckverlust des Filters z.B. durch Verkleben des Filters wegen zu hoher Restfeuchte des Abscheidegutes wird es teils nötig, den Produktionsablauf zu unterbrechen und die Filterelemente zu reinigen. Dazu werden die Filterelemente ausgebaut, um gesondert gewaschen zu werden. Alternativ gibt es Lösungen, die Filter im eingebauten Zustand

mittels einer prozessintegrierten Wascheinrichtung zu regenerieren. Im Mittelpunkt des Forschungsprojektes stand die Entwicklung einer neuartigen Filterklasse, die aus einem durch Rundweben wirtschaftlich herzustellenden Trägertextil mit oberflächlich fest eingebrachten Mikroschichten bestehen.

Nach Fertigstellung der industriellen Muster-Schläuche (Bild 1) aus TROL-Fasern wurden diese zunächst materialtechnisch untersucht (vgl. Bild 2). Die Ergebnisse zeigen, dass relativ geringe Luftdurchlässigkeiten erreicht werden, was wiederum für die Abscheideleistung günstig erscheint. Bauartgemäß haben Gewebeschläuche ein besseres Abreinigungs- und Energieverhalten – der Druckverlust steigt mit dem Betrieb nicht in der Weise an, wie bei Vlies-Schläuchen; allerdings ist der Reingasstaubgehalt auf Grund der offenen Struktur oft höher. Die hier erzielten Muster sind mit diesem Hintergrund als sehr erfolgversprechend. Die Messungen zur Reingastaubkonzentration haben gezeigt, dass bei moderaten Filterflächenbelastungen Reingastaubkonzentrationen unterhalb von 2 mg/Nm^3 erzielt werden können.

Gewebe 59,1 10 cm



Gewebe 64,4 10 cm

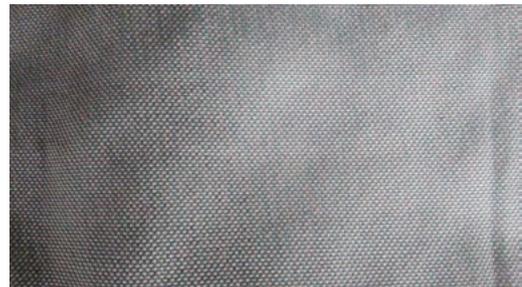


Bild 1: Versuchsmuster der rundgewebten Filtermaterialien

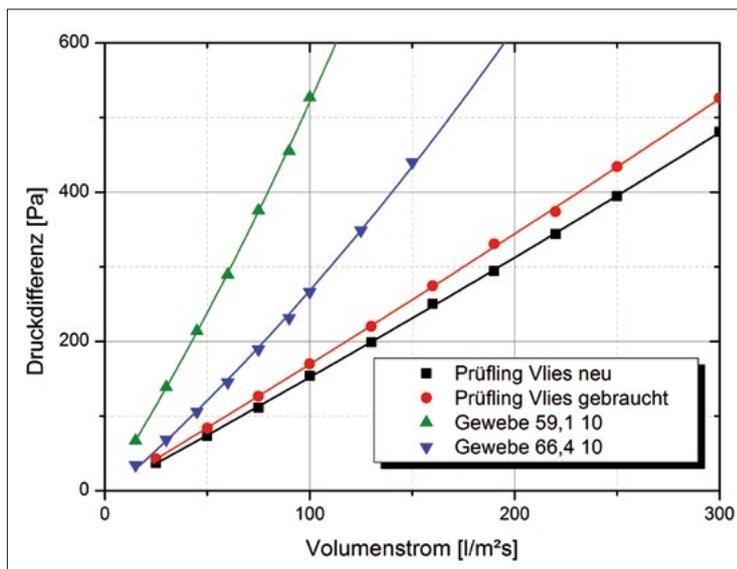


Bild 2: Ergebnisse zur Luftdurchlässigkeit der hergestellten Versuchsmuster

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

EMA-Emulsionsnebelabscheider

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines kompakten, elektrostatischen Abscheiders, welcher mittels eines hohen Ionisationsgrades und Effekten wie die Agglomeration feinsten Partikel und optimierter Strömungsführung in der Lage ist, Industrieabluft effizient und langzeitstabil zu reinigen. Der zu entwickelnde Abscheider soll insbesondere in Lage sein, auch wässrige Emulsionen aus der Abluft abzuscheiden, wie sie häufig in der verarbeitenden Industrie durch Kühl- und Reinigungsvorgänge freigesetzt werden. Derzeit verfügbare elektrostatische Abscheider versagen hier auf Grund von elektrischen Kurzschlüssen. Das Kernstück dieses Abscheiders sind die einzusetzenden Sprühelektroden, welche zum einem für eine intensive Oberflächenladung der abzuscheidenden Partikel und zum anderen für die Abscheidung dieser Partikel zuständig sind. Zu ihrer Entwicklung wird ein umfassendes Untersuchungsprogramm durchgeführt, mit dem Ziel, die elektrostatischen Abscheideeffekte durch strömungstechnische Parameter und durch agglomerationsfördernde Einbauten zu unterstützen und somit eine hohe Abscheideleistung auch für feinste Partikel zu erreichen.

Mit dem im Projekt entwickelten Versuchsaufbauten (siehe auch Abbildung 1) für strömungs- und funktionstechnische Untersuchungen mit unterschiedlichen Elektrodenbauformen und der Ausrichtung derer Ionisationsspitzen wurde eine geeignete Ionisationselektrode entwickelt.

Die neue Elektrode kombiniert eine optimale Anordnung der Ionisationsspitzen mit einer Strömungsführung, welche zu einer Agglomeration der feinen Partikel führt und so die Abscheideleistung insbesondere im feinen Partikelgrößenbereich anhebt (siehe auch Abbildung 2). Im Betriebspunkt von $-11,5$ kV ist die Leistungsaufnahme der neuen Elektrode um 17% niedriger im Vergleich zu der einfachen Elektrode (siehe Abbildung 3).

In einem weiteren Schritt wird nun die Elektrode 2020 noch um 5 cm in ihrem Kollektorbereich verlängert und für den Einsatz in dem hierfür aufgebauten Wellenionisator 24-fach gefertigt und nachfolgend in Kombination mit einem Plattenkollektor im Prüffeld die Abscheideleistung, die Leistungsaufnahme und die Ozongenerierung ermittelt. Die bisher gewonnenen Ergebnisse mit der Einzelelektrode sind sehr erfolgsversprechend.

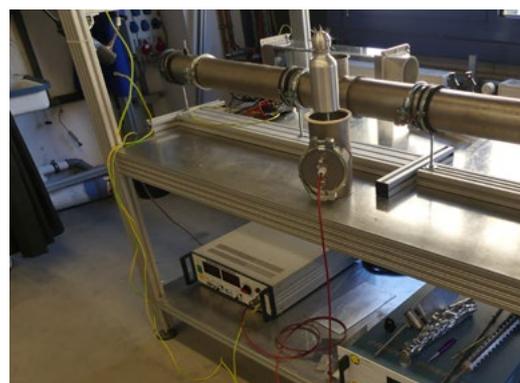
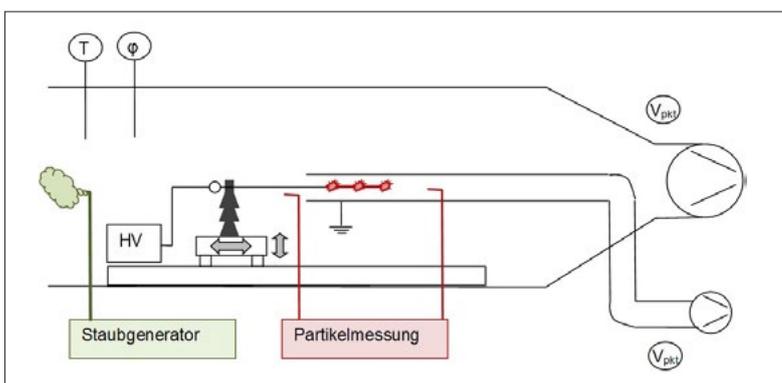
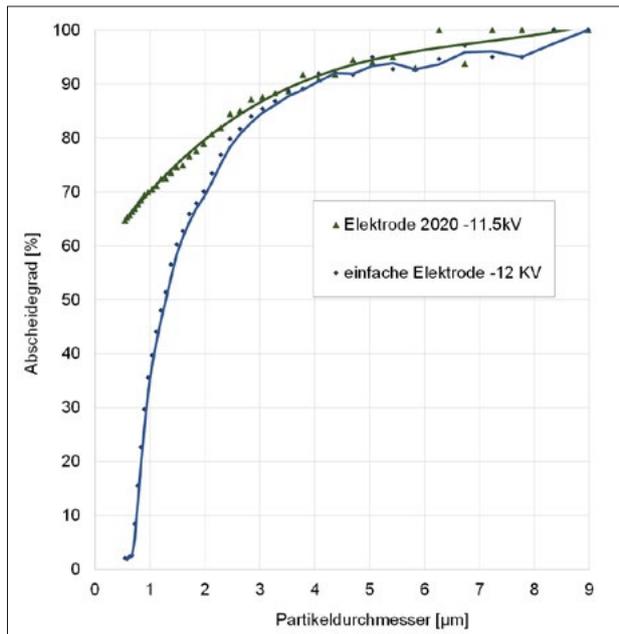
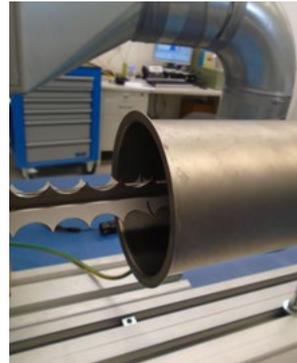


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Untersuchung verschiedener Elektrodenaufbauten



Einfache Elektrode



Aktive Elektrode 2020

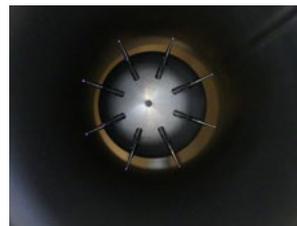


Abbildung 2: Fraktionsabscheidegrade einer einfachen Ionisationselektrode im Vergleich zu der neuen Elektrode 2020

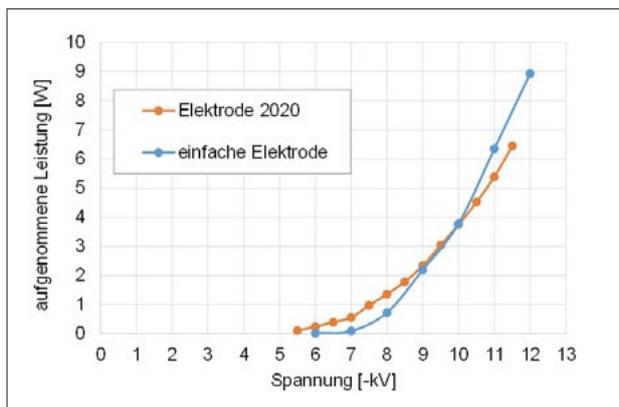


Abbildung 3: Leistungsaufnahme einer einfachen Ionisationselektrode im Vergleich zu der neuen Elektrode 2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Untersuchungen zur Rauchgaszusammensetzung an Biomassefeuerungen

Mit der neuen Öko-Design-Richtlinie werden auch die Anforderungen an Feuerungsanlagen schärfer in Bezug auf die spezifische Emission und den Eigenenergieverbrauch. Gleichzeitig steigen auf Grund fehlender Fördermaßnahmen auch die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit. Im Ergebnis sollen oft möglichst preiswerte Brennstoffe eingesetzt werden, welche wiederum oft auch zu höheren Emissionen führen. Unter diesem Hintergrund werden verstärkt auch Evaluierungen von Feuerungs- und Filteranlagen beim Endkunden nachgefragt.

Maßgebend für eine Beurteilung sind dann meist folgende Kriterien:

- Gaszusammensetzung
- Abscheideleistung von Filtern und Vorabscheidern
- Ascheanalysen

Diese Leistungen werden durch das ILK Dresden als Messstelle nach §29 BImSchG und akkreditierte Prüfstelle für Kessel nach EN 303-5 vor Ort beim Kunden durchgeführt.

Für die Bewertung der Abscheidecharakteristik von Abscheidern können auch Aerosolspektrometer eingesetzt werden. Allerdings reicht der Messbereich nur von 0,2 bis 17 µm. Bild 1 zeigt die ermittelte Partikelgrößenverteilung an einer Schreinereirestholz-Feuerung. Weiterhin dargestellt sind auch die gravimetrischen Staubkonzentrationen im Rohgas, nach dem Vorabscheider und im Reingas. Die Darstellung zeigt, dass mit modernen Filtermaterialien geringe Emissionen möglich sind.

Für die Abschätzung der Beständigkeit von Filtermedien in der Rauchgas-Filtration ist die Zusammensetzung der Rauchgase immer wichtig und interessant. Neben Wasser- und Sauerstoffanteil ist es auch immer wichtig, den Gehalt an Säuren zu kennen. In Bild 2 und Bild 3 sind beispielhafte Ergebnisse für Schreinereirestholz und die wichtigsten Rauchgas-Komponenten zusammengestellt.

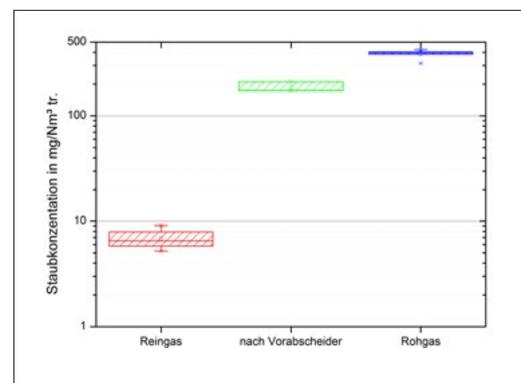
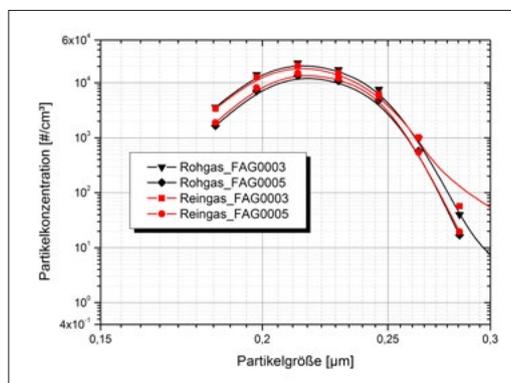


Bild 1: Partikelgrößenverteilung und Staubkonzentrationen

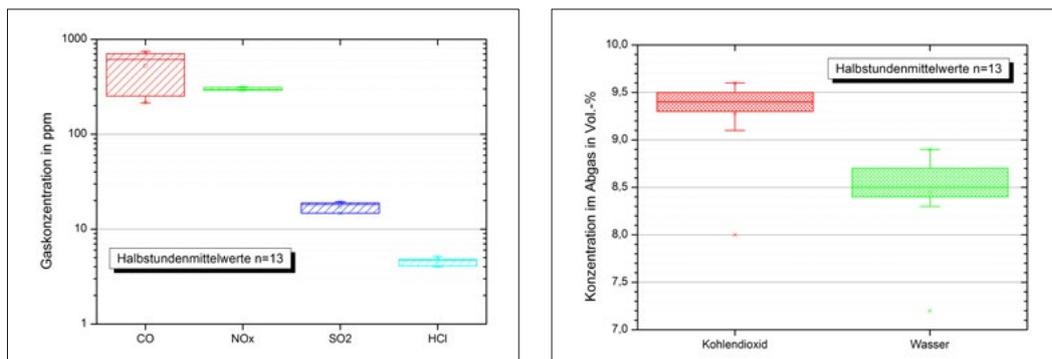


Bild 2: Gaskonzentrationen im Abgas der Industriefeuerung mit Schreinerestholz



Bild 3: Messaufbau an einem Filter mit FTIR-Spektrometer

Normungsarbeit

Der Bereich Luftreinhaltung beteiligte sich auch im Jahr 2019 an verschiedenen Normungsaktivitäten. Besonders wichtig war dabei die Verabschiedung der VDI 3803 Blatt 4, welche Hinweise für den Einsatz von Filtern in der Raumlufttechnik gibt. Seit Erscheinen der neuen Filterprüfnorm DIN EN ISO 16890 war bei Nutzern eine Verunsicherung hinsichtlich der richtigen Wahl der Luftfilter zu beobachten. Die VDI 3803 Blatt 4 schließt nun diese Lücke und sorgt für mehr Entscheidungssicherheit.

Auch im Bereich der Reinhaltung der Luft am Arbeitsplatz steht eine wichtige VDI-Richtlinienreihe zur Überarbeitung an – die VDI 2262 Blatt 1 - 4. Mit dem Blatt 4 wurde in 2019 der besonders wichtige Teil der „Erfassung“ überarbeitet. Im Jahr 2020 folgen dann die übrigen Teile. Durch die Verschärfung des Gefahrstoffrechtes sind besonders die Erfassung der Schadstoffe – insbesondere beim Schweißen – zurecht im Focus der Betrachtung.





**ANGEWANDTE
WERKSTOFFTECHNIK**

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 96 Prolatent – Innovative Prozesswärmespeicher mit organischen Latentmaterialien
- 98 ReLiA – Initiierung eines Lithiumkreislaufes – Recycling von Lithiumbromidlösungen aus Absorptionskälteanlagen
- 100 Prädiktor – Entwicklung eines Systems zur prädiktiven Fehlererkennung in PV-Anlagen
- 102 InkSens – Entwicklung schadstoffresistenter SMD-Feuchtelemente auf Basis des Ink Jet Drucks
- 104 DynaTest – Prüfverfahren zur dynamischen Alterung von Werkstoffen
- 106 Hybrid-Fluid für CO₂-Sublimations-Kältekreislauf
- 108 EDeKo – Elektrochemische Dekontamination elektrisch leitfähiger Oberflächen
- 110 FuE-Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik

Prolatent – Innovative Prozesswärmespeicher mit organischen Latentmaterialien



Abbildung 1: HD-PE nach Auslagerungsversuch (Reihe 1 - 3 mit, Reihe 4 ohne Antioxidans)

Die Energiespeicherung und insbesondere auch die Speicherung thermischer Energie erlangt in der Energiewirtschaft mit zunehmendem Stromanteil aus fluktuierenden Quellen z.B. Solarwärme immer mehr an Bedeutung. Thermische Speicher unterscheidet man nach der Art des zugrunde liegenden physikalischen Prinzips in sensible, latente und chemische Speicher. Augenmerk lag bei diesem Forschungsvorhaben auf latenten Speichern mit organischen PCM-Materialien, deren großer Vorteil ist, dass thermische Energie in Form von Wärme auf einem relativ konstanten Temperaturniveau mit einer vergleichsweise hohen Speicherdichte in einem reversiblen Phasenübergang gespeichert wird. Im Rahmen des Projektes wurde hochdichtes Polyethylen (HD-PE) hinsichtlich der Verbesserung der Kristallinität (erhöhte Wärmespeicherdichte) und der Verringerung des oxydativen Abbaus (verbesserte Langzeitstabilität) untersucht. Weiterhin wurden Arbeiten hinsichtlich eines effizienteren Wärmeübergangs innerhalb

des PCM-Materials im Rahmen der Entwicklung eines Alternativspeichermaterials durchgeführt. Nach einer umfangreichen Recherche wurden verschiedene Keimbildner aus dem FuE- und industriellen Bereich ausgewählt und auf ihre Wirksamkeit hin getestet. Die mit Hilfe eines Microcompounders homogen und reproduzierbar hergestellten Proben für die Analyse wiesen allerdings keine signifikante Erhöhung der Kristallinität und somit Verbesserung der Wärmespeicherdichte auf.

Zur Unterbindung der chemischen Abbaureaktion des HD-PE wurden unterschiedliche Antioxidantien, die bereits im industriellen Einsatz genutzt werden, in das HD-PE eingebracht mit dem Ziel, die chemischen und physikalischen Eigenschaften des HD-PE über einen langen Einsatzzeitraum konstant zu halten. Bereits die ersten Untersuchungen zeigten einen positiven Effekt der eingesetzten Antioxidantien (siehe Abbildung 1). In weiteren umfangreichen Versuchsreihen konnte eine empirische mathematische Funktion ermittelt werden, mit deren Hilfe die für eine gewünschte Lebensdauer des HD-PE notwendige Additivkonzentration abgeschätzt werden kann.

Für eine hohe Wärmetransportleistung und damit verbunden eine breite, kommerzielle Nutzung der PCM-Systeme ist es notwendig, kurze Wärmetransportwege innerhalb des PCM-Materials zu realisieren, z.B. durch kleine, schüttfähige Körper und die damit verbundene Erhöhung der spezifischen Oberfläche der PCM-Materialien. Als schüttfähiges Material wurden mesopore Füllkörper identifiziert, welche erfolgreich mit PCM infiltriert werden konnten (Abbildung 2). Anschließend erfolgte eine Verkapselung der infiltrierten Füllkörper mit einer Polyurethanhülle. Die Dichtheit der Hülle konnte experimentell

bestätigt werden. Somit konnte die prinzipielle Machbarkeit der Infiltrierung und Verkapslung gezeigt werden.

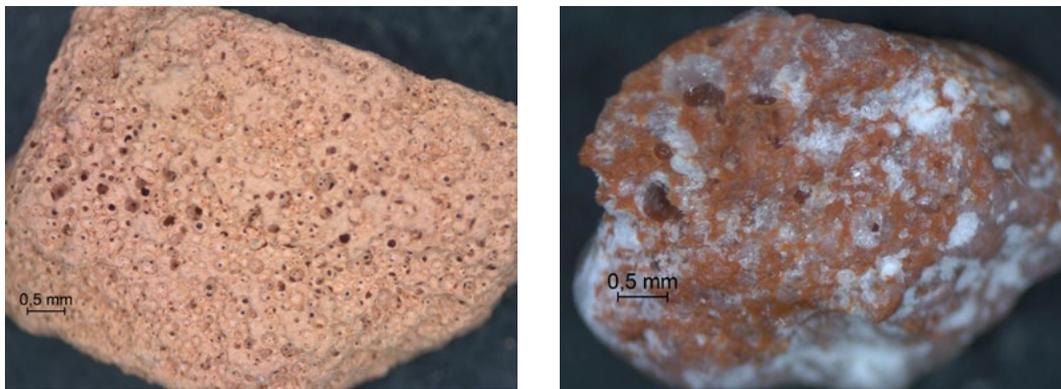


Abbildung 2: Mesoporöser Füllkörper ohne (links) und mit (rechts) Infiltrierung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ReLiA – Initiierung eines Lithiumkreislaufes – Recycling von Lithiumbromidlösungen aus Absorptionskälteanlagen

Absorptionskälteanlagen sind für viele Anwendungen in der Kälte- und Klimatechnik die ökologisch und ökonomisch beste Lösung. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn bisher ungenutzte Wärmequellen verwendet werden können.

Für die Erzeugung der Absorptionskälte wird die Temperaturabhängigkeit der physikalischen Löslichkeit zweier Stoffe genutzt. Sehr weit verbreitet ist das Arbeitsstoffpaar Wasser/Lithiumbromid. Dabei sind in jeder Anlage Füllmengen von wenigen 100 kg bis zu mehreren Tonnen einer 54%igen Lithiumbromidlösung üblich. Die Anlagen bestehen vorrangig aus den Metallen Stahl und Kupfer, welche in direktem Kontakt mit dieser Lösung stehen. Um das dadurch entstehende Problem der Korrosion an den metallischen Werkstoffen zu unterdrücken, werden der Absorptionslösung Korrosionsinhibitoren zugesetzt. Da eine Korrosion auch mit zugesetztem Inhibitor nicht vollständig unterbunden werden kann, befinden sich in der Lösung mit der Zeit auch Korrosionsprodukte.

Bisher werden die gebrauchten Arbeitsstoffe nach dem Lebensende solcher Anlagen bzw. nach Havarien der Entsorgung zugeführt; der Rohstoff Lithiumbromid wird dem Kreislauf

entzogen. Damit geht auch das für verschiedene Zukunftstechnologien strategisch wertvolle Metall Lithium verloren. Verschärfend kommt hinzu, dass der Bedarf an Lithiumbromidlösung in Deutschland derzeit komplett durch Importe gedeckt werden muss.

Ziel dieses Projektes ist es, ein umweltfreundliches und ökonomisch tragfähiges, einsatzbereites Verfahren zur Aufarbeitung von gebrauchten, hochkonzentrierten Lithiumbromidlösungen zu entwickeln, um einen Kreislauf des Lithiums aus Lithiumbromidlösungen aus Absorptionskälteanlagen zu initiieren und somit einen Beitrag zur Ressourceneffizienz zu leisten. Mit dem zu entwickelnden Verfahren soll eine selektive Entfernung nur von bestimmten Stoffen (Ionen) aus der Lösung erfolgen, während bei den meisten bekannten Verfahren die Entfernung aller Komponenten aus Wasser im Fokus steht. Die Analyse der Konzentration der zu entfernenden Stoffe, welche im ppm-Bereich liegen, wird durch die hohen Salzkonzentrationen erschwert und erfordert eine innovative Adaption der Probenvorbereitungs- und Analysetechniken.

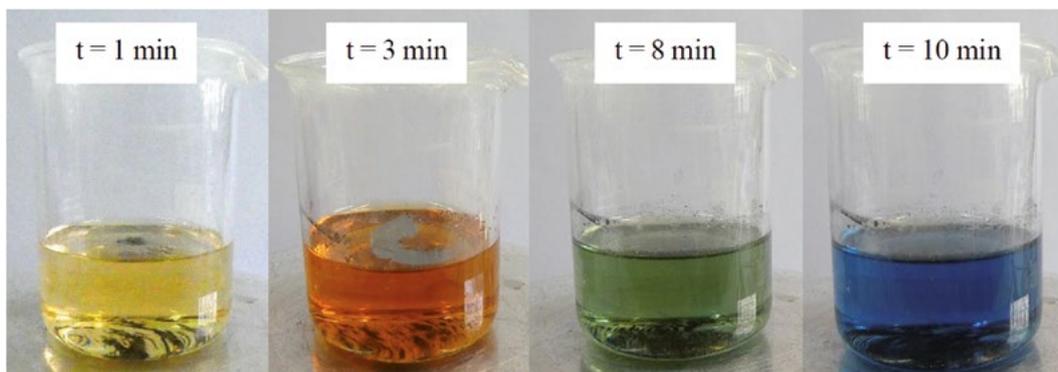


Abb. Farbverlauf der Reduktion des Inhibitors



Im Rahmen des Projektes soll eine einsatzbereite Pilotanlage aufgebaut werden, die eine LiBr-Lösung, welche mit Inhibitoren versetzt und mit Korrosionsprodukten behaftet ist, in eine regenerierte LiBr-Stammlösung überführt. Diese Anlage soll als Batch-Prozess ca. 1 m³ der Lösung pro Tag in einen verkaufsfähigen Zustand entsprechend der am Markt verfügbaren neuen Lithiumbromidlösungen versetzen.

PROJEKTPARTNER

LuxChemtech GmbH (ehem. Loser Chemie GmbH),
Johnson Controls Systems & Service GmbH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Prädiktor – Entwicklung eines Systems zur prädiktiven Fehlererkennung in PV-Anlagen



Abbildung 1: Sensor mit teilweiser Schneebedeckung

Damit das Anlagenmanagement bei kleineren und mittelgroßen Photovoltaik-(PV)-Anlagen, wie sie z.B. in der Landwirtschaft häufig betrieben werden, verbessert wird, wurde in dem Vorhaben gemeinsam mit einem Industriepartner eine sensorbasierte, intelligente Überwachungslösung entwickelt. Insbesondere die Detektion von Verschmutzungen bei prädestinierten Anlagen stand im Fokus. Mit dem Entwicklungsergebnis können Monitoringsysteme erstellt werden, die Oberflächenverschmutzungen erkennen und Veränderungen in Photovoltaikanlagen, die auf Fehler hindeuten, frühzeitig aufdecken.

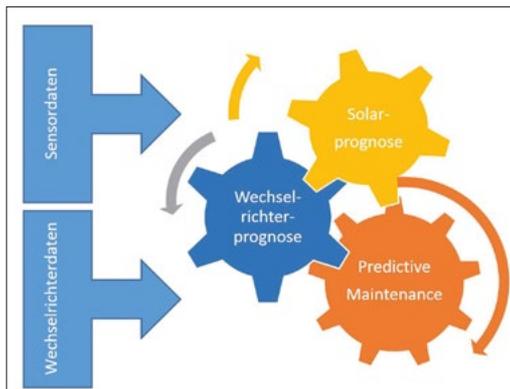


Abbildung 2: Schema

In dem Teilprojekt des ILK wurde ein erweiterter Sensor als Basis für die Fehlererkennung an PV-Anlagen entwickelt. Dieser Sensor ermöglicht die direkte Messung der Verschmutzung, der Sonneneinstrahlung, der PV-Modultemperatur und – über einen externen Anschluss – der Windgeschwindigkeit. Integrierte Solarzellen werden für ein Energy Harvesting und die Einstrahlungsmessung genutzt. Als Energiespeicher dienen spezielle Kondensatoren, die bei den hohen Betriebstemperaturen durch die Sonneneinstrahlung eine höhere Lebensdauer als Akkumulatoren aufweisen. Die Nutzung energieeffizienter Elektronik und ein abgestimmtes Energiemanagement ermöglichen die konsequente Energieeinsparung für einen autarken Betrieb des Sensors. Über wählbare digitale oder analoge Schnittstellen erfolgt der Datentransfer zu übergeordneten Systemen.

Der Sensor ist mit einer variablen Referenzoberfläche ausgestattet, die entsprechend der PV-Moduloberfläche gewählt werden kann, um die tatsächlichen Verschmutzungseigenschaften ab-

zubilden. Die Überwachung der Referenzoberfläche erfolgt durch zwei unabhängige optische Sensoren. Diese messen die Reflexion durch Beläge auf der Referenzoberfläche. Ein weiteres Sensorelement zur kapazitiven Messung dient der Erkennung von Wasser auf dieser Fläche. Mit dieser kombinierten optischen und kapazitiven Verschmutzungsdetektion kann eine Unterscheidung hinsichtlich Staub, Schnee und Regen erfolgen. Ein Algorithmus, hinterlegt in einem Low-power Mikrocontroller, wertet dafür die Sensorsignale bezüglich absoluter Pegel und Änderungsgeschwindigkeiten aus. Mit einem integrierten Temperatursensor werden die Sensordaten temperaturkompensiert und durch eine Kalibrierung kann dieser auch zur indirekten Ermittlung der PV-Modultemperatur genutzt werden. Alternativ kann ein externer Temperaturfühler direkt an einem PV-Modul montiert werden.

Durch die direkte Detektion der Verschmutzung kann eine vorausschauende Warnung zu Ertrags-einbußen generiert und eine bedarfsgerechte Reinigung der PV-Anlage nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten veranlasst werden.

Darüber hinaus wurden im Vorhaben auch Verfahrensalgorithmen für ein übergeordnetes Auswertesystem entwickelt, mit denen viele weitere Probleme in PV-Anlagen detektiert werden können. Unter Anwendung maschinellen Lernens werden die Sensordaten zur Prognose und Überwachung der Anlagenleistung genutzt. Durch einen nachfolgenden Online-Vergleich der prognostizierten Leistungen mit aktuellen Wechselrichter- oder Zählerdaten können Abweichungen erkannt und signalisiert werden. Die direkte Messung der Verschmutzung dient dabei zur Korrektur der wirksamen Sonnenein-

strahlung, wodurch eine detailliertere Verlustanalyse ermöglicht wird. Ertragsverluste durch Moduldefekte, Teilverschattungen sowie String- und Wechselrichterprobleme können mit dem Sensor und den Algorithmen frühzeitig erkannt werden.

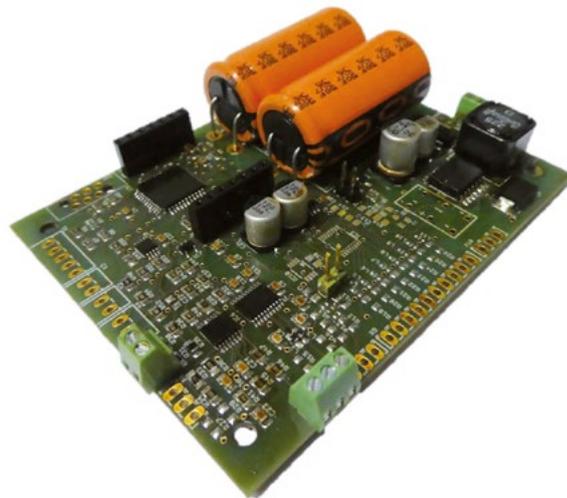


Abbildung 3: Sensor-Elektronik

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

InkSens – Entwicklung schadstoffresistenter SMD- Feuchtelemente auf Basis des Ink Jet Drucks

Feuchtesensoren finden vielfältige Anwendungen in Industrie, Klimatechnik und Laboren. Dabei werden an die Feuchtesensoren sehr unterschiedliche Anforderungen gestellt, abhängig von den zu messenden Gasen, vom Feuchte- und Temperaturbereich und von den Gegebenheiten der Messstellen. Die Anforderungen an die Sensoren sind in den letzten Jahren gestiegen, z.B. in Bezug auf die Einsatzgrenzen und Medienstabilität. Hohe Luftfeuchten bei relativ hohen Umgebungstemperaturen sind die Forderung des Marktes und der aktuellen Prüfbestimmungen für diverse Industriezweige, 85 °C bei 85 % relative Feuchte sind mittlerweile (nahezu) Standard. Neben den zunehmenden Temperatur- und Feuchtebelastungen spielen auch die Umweltbedingungen eine entscheidende Rolle. Die meisten heutzutage erhältlichen Feuchtesensoren basieren auf einer kapazitiven oder resistiven Auswertung eines feuchteempfindlichen Films, welcher meist aus Polyimid bzw. Polyimiderivaten besteht. Diese Filme zeigen gegenüber normaler Raumluft eine exzellente Stabilität. Für Anwendungen in aggressiveren Umgebungen kommt es dagegen sehr leicht zu einer Schädigung der sensitiven Polymerschicht. Diese Schädigungen können reversibel sein, aber den Sensor auch dauerhaft schädigen. Dies tritt vor allem bei basischen Verunreinigungen auf (z.B. Ammoniakgas in Stallungen). Auch basische Reinigungsmittel können

den Sensor schädigen, wodurch ein erhöhter Feuchtwert registriert wird, der dann zu einer falschen Steuerung der Luftfeuchte führen kann. Daraus kann z.B. ein Verderben von Obst und Gemüse resultieren, eine schadhafte Charge bei der Herstellung von Papier entstehen oder eine fehlerhaften Befeuchtung der Luft in Krankenhäusern oder Stallungen, was zu nachfolgenden, weitreichenden Konsequenzen führen kann.

Im Rahmen des Projektes soll ein additives Verfahren zur Herstellung von feuchtesensitiven Schichten für die Verwendung in einem Feuchtesensor entwickelt werden. Dazu soll die feuchtesensitive Schicht nicht wie bisher üblich mit einem spin-on Verfahren auf strukturierter Oberfläche aufgebracht werden, sondern mit Hilfe eines Ink Jet Druckers lokal auf dem jeweiligen Sensorelement platziert werden.

Durch die additive, lokale Aufbringung kann ein erheblicher Anteil des feuchtesensitiven Polymers gespart und auch die Lösungsmittlemissionen drastisch reduziert werden. Im Vergleich zum spin-on Verfahren wird somit erheblich Material eingespart. Damit ist das Verfahren sowohl ressourcenschonender und umweltfreundlicher als auch kostengünstiger.

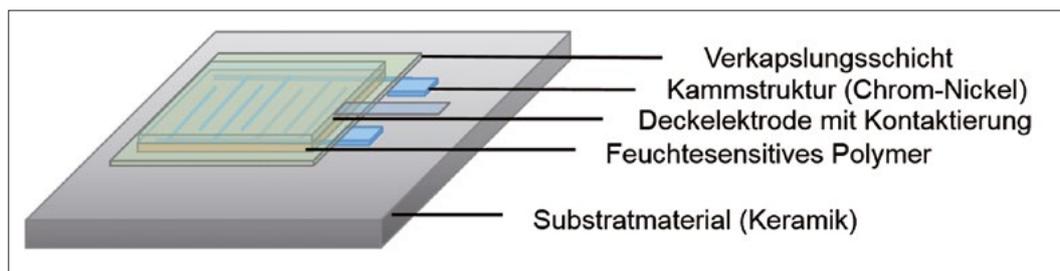


Abbildung 1: Aufbau des Feuchtesensorelementes

Im ersten Schritt wurde eine druckbare Polymer-tinte für den Ink-Jet Druck hergestellt. Die Druck-eigenschaften wurden auf das Substratmaterial (Keramik) angepasst. Dazu musste eine flache Substratheizung mit einer homogenen Tempera-turverteilung hergestellt werden, welche zusätz-lich auf den Substrattisch des Druckers installiert werden konnte. Damit konnte der Materialauf-trag der feuchtesensitiven Schicht optimiert werden. Anschließend wurde die Deckelektrode ebenfalls mit Hilfe des Ink Jet Druckers auf die Oberfläche gedruckt. Nach dem anschließenden Sintern der Keramik wurde die Verkapslungs-schicht wiederum mit dem Ink Jet Drucker ap- pliziert. Die so hergestellten Sensorelemente müssen noch hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegenüber den obengenannten Umweltbedin- gungen getestet werden.



Abbildung 2: Ink Jet Drucker DIMATIX DMP 2850 © FUJIFILM

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DynaTest – Prüfverfahren zur dynamischen Alterung von Werkstoffen

Werkstoffe (insbesondere Elastomere), die im Bereich Kälte- und Klimatechnik eingesetzt werden, sind während ihres Gebrauchs kritischen Umgebungseinflüssen ausgesetzt z.B. einem chemischen Angriff durch Kältemittel und Öl sowie Druck- und Temperaturschwankungen. Im Laufe des Einsatzes kann es deshalb zu Veränderungen der Werkstoffeigenschaften kommen (Alterung). Unerwünschte Alterungseffekte können bei Elastomeren zum (langsamen) Verlust der Dichtungseigenschaft und somit zu Kältemittelverlusten oder zur Abgabe von Zersetzungsprodukten aus dem Elastomer in den Kältekreislauf führen.

Resultierend aus dem verstärkten Einsatz von natürlichen Kältemitteln und von neuen reaktiveren HFO-Kältemitteln und Kältemittel-Gemischen ergibt sich für die im Bereich der Kälte- und Klimatechnik eingesetzten Werkstoffe in den nächsten Jahren bezüglich der Vorhersage der Langzeitstabilität ein erhöhter Bedarf. Daten zur Beständigkeit der Werkstoffe (u.a. Elastomere für Dichtungen) mit den neuen Kältemitteln und Kältemaschinenölen sind kaum vorhanden bzw. nicht zugänglich. Häufig wird auf Basis von tabellierten Kunststoffdaten eine Verträglichkeit bzw. Beständigkeit nur abgeschätzt, da detaillierte Untersuchungen zeitaufwendig und kostenintensiv sind.

Es werden daher Methoden benötigt, die den Alterungsprozess im Labor beschleunigt nachstellen. Das Ziel des Projektes ist es daher, die bestehenden Methoden zur Beständigkeitsprüfung von Werkstoffen für den Einsatz in Kälteanlagen durch Methoden mit dynamischer Belastung der Proben nach dem Soxhlet-Prinzip (Extraktion) zu ergänzen. Die Methode soll eine Prüfung der Werkstoffe mit umlaufendem Kältemittel und mit Öl ermöglichen mit dem Ziel,

Aussagen zur Eignung oder Nicht-Eignung von Werkstoffen bereits in wenigen Tagen (3 bis max. 7 Tage) zu erhalten.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Extraktionsapparatur auf Basis eines Edelstahlautoklaven konzeptioniert und aufgebaut (Abbildung 1). Am Kopf der Apparatur befindet sich eine Kühlschlange, die eine Kondensation des Kältemittels ermöglicht. Das Kältemittel kondensiert in einen Auffangbehälter mit seitlichem Heberohr, welcher die Werkstoffproben enthält. Erreicht der Flüssigkeitsspiegel des Kältemittels die Höhe des seitlichen Heberohrs (Überlauf), setzt die Saugheberwirkung ein und die gesamte Flüssigkeit läuft zurück auf den Boden des Autoklaven. Das Füllen des Auffangbehälters mit frischem Kältemittel beginnt nun erneut.



Abbildung 1: Extraktionsapparatur zur dynamischen Alterung von Werkstoffen

Die Zyklanzahl (Füllen und Leeren des Auf-fangbehälters pro Zeit) wird mittels Drucksensor am Deckel überwacht (Abbildung 1) und kann durch die Temperaturdifferenz zwischen Bad- und Kopf / Kühltemperatur gesteuert werden (Abbildung 2).

Auslagerungen von Werkstoffen in der Extraktionsapparatur haben bereits gezeigt, dass die dynamische Belastung der Proben zu einem schnelleren Eigenschaftsverlust führt (Abbildung 3). Für einen FKM-Werkstoff wurde eine Reduzierung der Bruchdehnung um 50% bereits nach 20 Stunden in der Extraktionsapparatur bei moderaten Temperaturen (ca. 80 °C) erreicht. Im Vergleich dazu sind bei klassischen statischen Auslagerungen ohne Soxhlet-Prinzip 168 Stunden bei 150 °C bzw. deutlich mehr als 336 Stunden bei 100 °C notwendig.

Der noch in der Entwicklung befindliche Ölumlauflauf soll das in Kältekreisläufen stattfindende Mitreißen des Kältemaschinenöls abbilden. Für Hersteller und Anwender von Werkstoffen bietet sich dadurch ein Verfahren zur Beständigkeitsuntersuchung an, welches einerseits eine deutlich realere Materialbelastung abbildet und andererseits deutlich kürzere Versuchszeiten erlaubt.

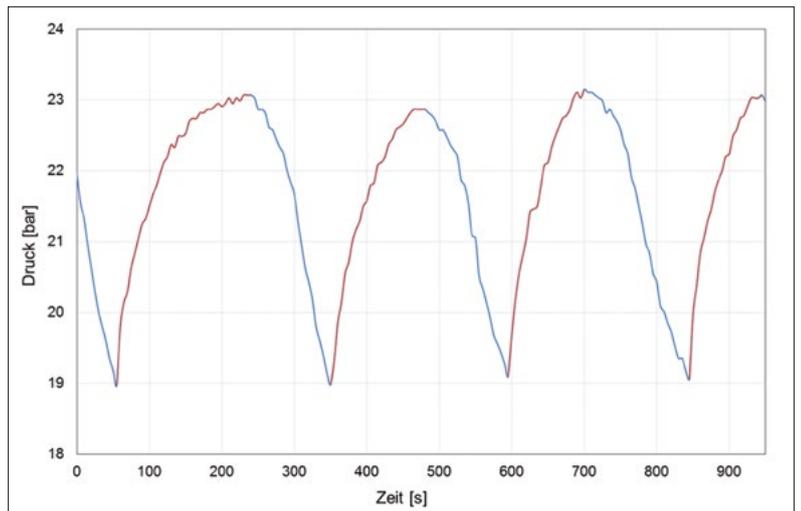


Abbildung 2: Beispiel für den Druckverlauf während der Extraktion mit R1234yf; Wechsel zwischen Kondensation und Verdampfung

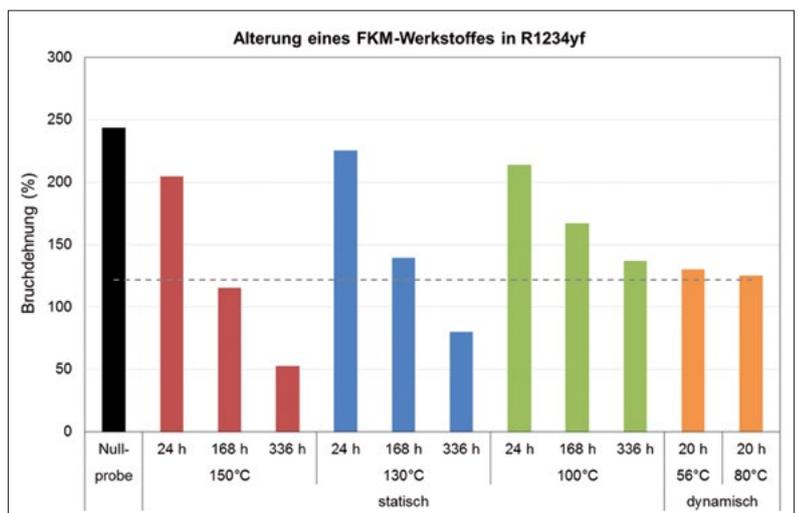


Abbildung 3: Bruchdehnung in Abhängigkeit der Auslagerungsbedingungen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Hybrid-Fluid für CO₂-Sublimations-Kältekreislauf

Wie schon vor mehreren Jahren angekündigt und nunmehr bereits in Teilen umgesetzt, führt das Phase-Down von HFKW-Kältemitteln zu spürbaren Auswirkungen. Damit ist verbunden, dass pro Jahr nur noch ein bestimmtes Kontingent an CO₂-Äquivalent bzgl. fluorierter Kältemittel in der EU in Verkehr gebracht werden darf. Diese Kontingente werden sich in mehreren Schritten auch in den nächsten Jahren immer weiter verringern. Davon sind besonders auch nichtbrennbare Tieftemperaturkältemittel (für Anwendungstemperaturen < -50 °C) betroffen, die zwar einer Ausnahmebestimmung zur weiteren Nutzung unterliegen, jedoch wegen ihrer extrem hohen GWP-Werte das Gesamt-CO₂-Äquivalent-Kontingent stark belasten. Dies hat schon in den letzten Jahren zu starken Preisanstiegen und zur Verknappung derartiger Kältemittel geführt. Eine Änderung dieser Entwicklung wird es auch in den kommenden Jahren nicht geben. Somit besteht die zwingende Notwendigkeit darin, neue Lösungswege zu finden, die ohne derartige Kältemittel auskommen.

Eine aussichtsreiche Alternative zur bisherigen Kühlung mit nichtbrennbaren fluorierten Kältemitteln mit hohen GWP-Werten könnte die Sublimation von reinem CO₂ als Kältemittel sein. Damit ließen sich Kühltemperaturen in der Nähe von -80 °C erzielen und es könnte ein natürliches Kältemittel mit einem GWP-Wert von 1 angewendet werden, welches quasi keine negativen Einflüsse auf die Umwelt hat.

Das Forschungsprojekt ist Bestandteil einer Reihe von Forschungsaktivitäten am ILK, deren Bearbeitung mit einem Vorlaufforschungsprojekt „Tieftemperaturkühlung durch Sublimation von Trockeneis“ (VF140052) im Jahr 2015 begann.

Bei Verwendung von CO₂ als Kältemittel bei derart niedrigen Temperaturen besteht eine erhebliche Schwierigkeit jedoch darin, einen geschlossenen Kältekreislauf aufzubauen, der eine Rückverflüssigung des sublimierten CO₂ aus einer Wärmeträger-Fluidphase (diese ist für einen effektiven Wärmeübergang zur effizienten Kühlung notwendig) ermöglicht, ohne dass die Verdichterschmierung negativ beeinflusst wird. Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, ein neues kältetechnisches Fluid für den kombinierten Einsatz als Schmiermittel zur Verdichterschmierung sowie zur besseren Wärmeübertragung als Wärmeträgerfluid in einem CO₂-Sublimator zu eruiieren und zu qualifizieren.

Wesentliche Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts haben zu zwei organischen Verbindungen geführt, die Viskositäten bei Raumtemperatur aufweisen, welche zwischen 5 und 10 cSt liegen und sich somit im Grenzbereich der erforderlichen Viskositäten befinden, die zur Schmierung von Verdichtern gerade noch ausreichend sind. Für den Einsatz als Wärmeträgerfluide im Tem-

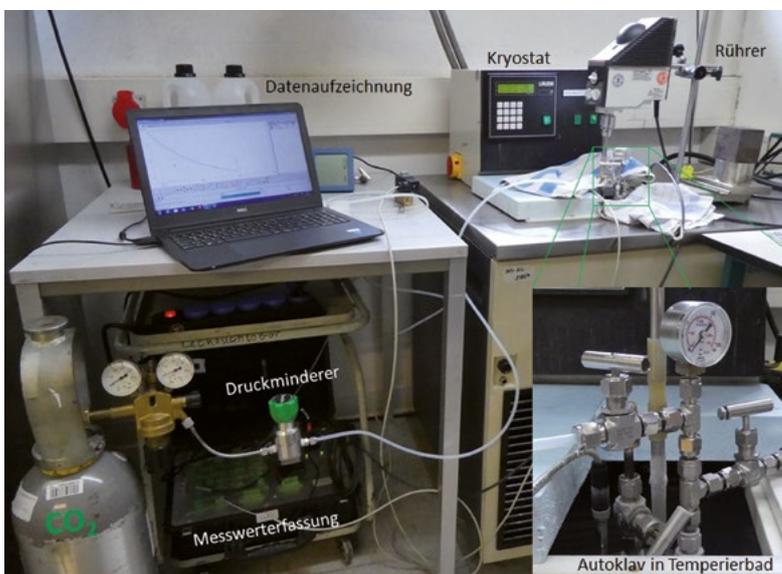


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Gaslöslichkeitsmessung bis -75 °C

peraturbereich bis etwa 75 °C besitzen diese Verbindungen zudem hohe CO₂-Löslichkeiten bei Atmosphärendruck, die sie als vorteilhafte Fluide mit geringer Viskosität für den Anwendungsfall erscheinen lassen, in denen eine CO₂-Sublimation erfolgen könnte.

Messungen zu Gaslöslichkeiten erfolgten zunächst gravimetrisch und wurden mit dem in Abbildung 1 dargestellten Versuchsaufbau vorgenommen. Dampfdruckmessungen im Temperaturbereich zwischen -75 °C und +50 °C verifizierten die gravimetrisch gemessenen Gaslöslichkeiten im Nachgang. Daneben erfolgten Stoffwertmessungen zur Viskosität, Dichte und dem Mischungsverhalten der Öl-CO₂-Gemische. Zur tribologischen Charakterisierung, der für weitere Untersuchungen vorgesehenen Öle, erfolgten Umbauarbeiten an einer Almen-Wie-land-Prüfmaschine für Messtemperaturen unterhalb von 10 °C.

Mit der Bearbeitung des Themas konnte am ILK eine Reihe von neuen experimentellen Messmöglichkeiten aufgebaut werden, die eine direkte Messung von Gaslöslichkeiten bis zu Temperaturen von ca. -80 °C ermöglichen. Darüber hinaus ist es gelungen zwei geeignete Fluide (Öl 3 und Öl 4) zu identifizieren (siehe Abbildung 2), die für die weitere Untersuchung in Hinblick auf die Zielstellung des Projekts geeignet erscheinen und einer weiteren Qualifizierung unterzogen werden. Nach abschließenden Untersuchungen zur Materialverträglichkeit, soll ein Testkreislauf mit CO₂-Verdichter aufgebaut werden, in dem das am besten geeignete Öl, Langzeittests unterzogen werden soll.

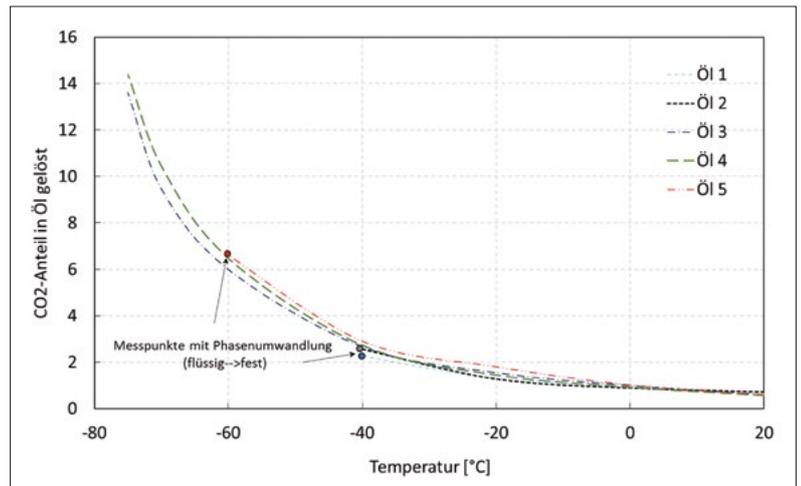


Abbildung 2: Gaslöslichkeiten von CO₂ in verschiedenen Ölen bei 1 bar (absolut)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

EDeKo – Elektrochemische Dekontamination elektrisch leitfähiger Oberflächen

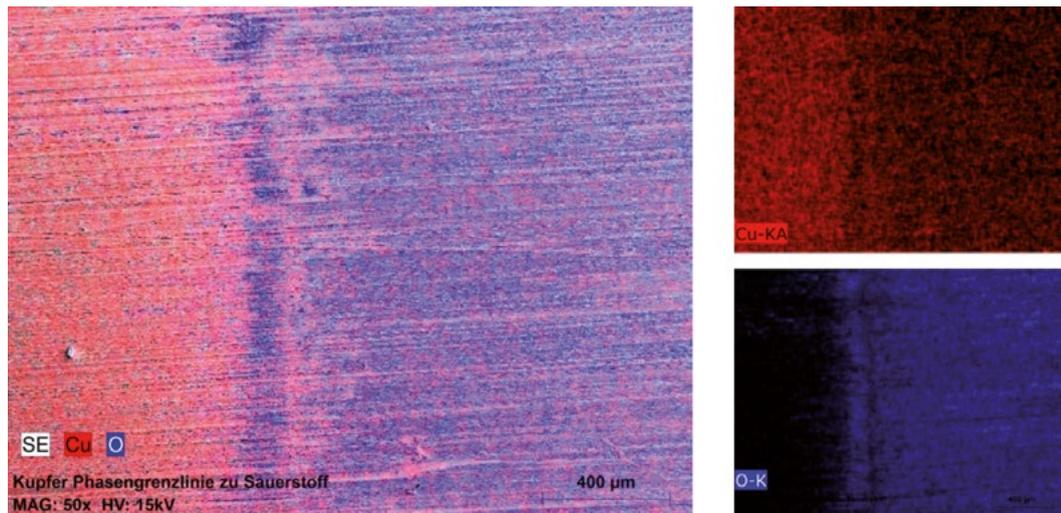


Abbildung 2: REM/EDX Aufnahmen der Element-Verteilung der Kupfer-Elektrode im Phasenübergangsbereich von Elektrolyt zur Sauerstoffatmosphäre, hämoglobinbelastet, Kupfer (rot) und Sauerstoff (blau).

Das Thema Hygiene ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden und nimmt mittlerweile eine bedeutende Stellung in der öffentlichen Wahrnehmung ein. Aufgrund der Gefahr sich immer schneller und großflächiger ausbreitender Krankheiten und Seuchen (z. B. Ebola in Westafrika, Corona-Virus und Schweinegrippe in Asien), mit teilweiser globaler Bedeutung (Pandemien), wird es auch in Zukunft immer mehr um die grundsätzliche Prävention und die Vermeidung solcher Krankheitsausbrüche gehen.

Dabei spielen verschiedene Bereiche wichtige Rollen im Gesamtbild Hygiene, z. B. die Trinkwasserversorgung (insbesondere Rohrleitungen) und biologisch-sensitive kältetechnische Anlagen (vor allem großtechnische Verdunstungskühlanlagen wegen erhöhter Legionellen-Gefahr). Im sensiblen Bereich der Krankenhaushygiene, vom einfachen Händewaschen und Desinfizieren, bis hin zur hochkomplexen Reinigung und Sterilisation von feingliedrigen und multifunktionalen Instrumenten und Gerätschaften, spielen immer öfter zeitliche und ökonomische

Gründe eine Rolle. Ein weiteres Problem der modernen Hygiene besteht darin, hitzeresistente Krankheitserreger, wie z. B. Protein- (Stichwort Prionen und BSE) und DNA-Fragmente (z. B. aus Bakterien / Viren) sowie (oft hochkomplexe) Biofilme (schleimige Beläge aus Bakterien und anderen Mikroorganismen, die teils sehr gefährliche Infektionen auslösen können) unschädlich zu machen und kontaminierte Krankenhausmaterialien (Mehrweg-OP-Instrumente und Gerätschaften) wieder vollständig aufzureinigen und zu sterilisieren.

Eine kostengünstige, aber sehr effektive Methode zur qualitativen Erweiterung und Verbesserung bestehender Reinigungs- und Sterilisationsprozesse stellt die elektrochemische Dekontamination dar. Grundlage dieser Dekontaminationsmethode bildet die elektrochemische Erzeugung von reaktiven Sauerstoffspezies (englisch reactive oxygen species, ROS) und die dadurch einhergehende Zerstörung biologischen Materials an der Oberseite der Kathode (negativ geladene Elektrode, hier z. B. medizi-

nische Gerätschaften). In den bisherigen Arbeiten und Veröffentlichungen konnte nur gezeigt werden, dass sich ROS unter bestimmten Bedingungen an der Oberfläche der Kathode bilden können (s. Abbildung 1), nicht jedoch, wie sie sich an unterschiedlichen geometrischen Körpern (feingliedrige Instrumente) verhalten und wie sich der Einfluss von veränderten Außenbedingungen (Temperatur, Druck) auf die Entstehung auswirkt.

Das ILK verfügt über eine Reihe von analytischen Gerätschaften, wie z.B. HPLC, GC-MS, UV-Vis, und dem dazugehörigen Know-how, um die Wirkung der ROS auf einfache biologische Moleküle mit Relevanz zur medizinischen und kältetechnischen Hygiene, wie z. B. verschiedene Proteine (Hämoglobin, Myoglobin, etc.) nachweisen zu können (s. Abbildung 2).

Das INNO-KOM-Ost-Vorlaufforschung-Verbundprojekt EDeKo, welches sowohl am ILK als auch am Institut für Korrosionsschutz (IKS) parallel bearbeitet wird, soll hierbei erste Lösungsansätze bis hin zu einer allgemein gültigen Dekontaminationsmethode für elektrisch leitfähige Oberflächen liefern. Grundlegende Fragestellungen der Kathoden-Halbzelle (Kathodenmaterial, Elektrolyt, pH-Wert der Pufferlösung, etc.) wurden in dem Projekt erfolgreich beantwortet. Ebenso wurden passende Materialien gefunden, die als inerte Anode Verwendung finden können. Weitere Anwendungsparameter, wie z.B. der Einfluss des Druckes und von Wasserdampf auf die Erzeugung von ROS sind jedoch noch weiterhin Gegenstand weiterführender Forschung.

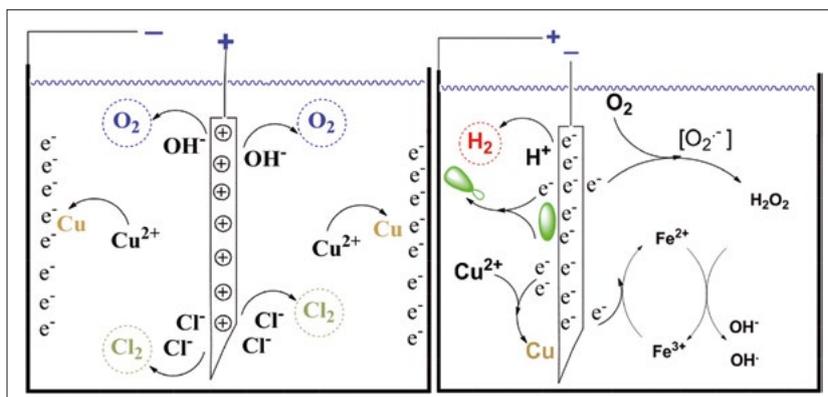


Abbildung 1: (Mögliche) Elektroden-Prozesse abhängig vom verwendeten Leitsalz (Elektrolyt, hier NaCl), des pH-Wertes (hier pH 7,4) und des eingesetzten Kathodenmaterials (hier Kupfer).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FuE-Dienstleistungen im Bereich Analytik und Werkstofftechnik

Der Hauptbereich 4 „Angewandte Werkstofftechnik“ verfügt über physikalisch-chemische Laboratorien, welche sich schwerpunktmäßig mit der Erforschung und Optimierung neuer Werkstoffe (u.a. Elastomere, Polymere, PCM, Klebstoffe) und Arbeitsfluide für die stationäre und mobile Kältetechnik beschäftigen. Dazu gehören neben neuen Low-GWP Kältemitteln (HFOs und deren Gemische) vor allem natürliche Kältemittel (Propan, Kohlenstoffdioxid, Ammoniak) und die zugehörigen Schmierstoffe. Angeboten werden dabei angepasste Analysemethoden für die ganze Bandbreite der physikalischen (z.B. Dichte, Viskosität, Wärmeleitfähigkeit) und chemischen (z.B. pH-Wert, Säure-/Basengehalt, Reinheit, Inertgasgehalt) Eigenschaften der Kältemittel, Öle und deren Gemische.



Abbildung 1: Feuchte- und Temperaturgenerator Rotronic HG 2-S mit Messkammer-Abschlussvorrichtung © Rotronic

Neue Werkstoffe für den Kälteanlagenbau werden auf ihre Materialverträglichkeit mit Kältemittel-Öl-Gemischen unter extremeren (sowohl sehr hohe als auch sehr tiefe Temperaturen, Druck) Bedingungen geprüft und anschließend umfassend analysiert. Nach der Auslagerung der Werkstoffe in speziellen Autoklaven-Systemen unter Kältemittel-Öl-Atmosphäre werden sowohl die Änderungen der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe als auch die häufig auftretenden Veränderungen des Öls und des Kältemittels analysiert. Die für Dichtung- und Schlauchmaterialien wichtigen Permeationseigenschaften lassen sich in speziell dafür angefertigten Messzellen bestimmen. Spezielle Prüfmethode und Apparaturen für Sensoren (z.B. Feuchtesensoren), zur Qualifizierung der Dichtheit von Bauteilen und Verbindungen in Kälteanlagen und Wärmepumpen (sog. Pressure-Temperature-Vibration Test, PTV) und zur Prüfung der Koronafestigkeit von Lackdrähten in der Kältetechnik runden die sehr umfassenden Analysemöglichkeiten ab. Alle Analysemethoden werden ständig verifiziert und entsprechend den Anforderungen und Kundenwünschen angepasst sowie innerhalb von öffentlichen Ringversuchen überprüft und weiterentwickelt.

Mitte 2019 wurde ein tragbarer Feuchte- und Temperaturgenerator zur Kalibrierung von Feuchte- und Temperaturmessgeräten (Mehrpunkt-Kalibrierung) erstanden, um die sehr hohe Qualität der Sensorprüfung und -zertifizierung weiterhin aufrecht erhalten zu können. Eine hochgenaue Feuchtemessung ist für die Durchführung vieler Forschungsprojekte essentiell.

Zu den Neuanschaffungen 2019 gehörte auch ein Motorwicklungsprüfplatz zur Unterstützung der Entwicklung und Qualifizierung von langzeitstabilen Lackdraht-Isolationssystemen und

Motorwicklungen für Hermetikverdichter. Dieser Prüfplatz ermöglicht es, Teilentladungen genau zu messen und Einflussgrößen auf das Teilentladungsverhalten zu ermitteln. Da der Fokus der FuE-Arbeiten auf den Untersuchungen des Einflusses des Frequenzumrichterbetriebs mit seinen sehr kurzen Spannungsanstiegszeiten liegen soll, wurde Wert auf eine entsprechend schnelle Teilentladungs-Messtechnik gelegt.



Abbildung 2: Motorwicklungsprüfplatz



**ANGEWANDTE
ENERGIETECHNIK**



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 115 KWK-ORC-Bioenergie-System Pilot-
und Demonstrationsanlage zur dezentralen
Strom- und Wärmeerzeugung
- 116 COOL_ME
- 118 KristOut – Kristallisationsvermeidung in
Absorptionsanlagen

KWK-ORC-Bioenergie-System

Pilot- und Demonstrationsanlage zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung



Das Ziel dieses Verbundprojektes mit der Firma Lange & Typky KG ist die Entwicklung, der Bau und der Test eines Systems aus Biomasseheizkessel und ORC-Anlage.

Insbesondere im kleinen Leistungsbereich werden feste Biomassen bisher kaum in besonders effizienter Kraft-Wärmekopplung genutzt. Vor dem Hintergrund des begrenzten nachhaltigen Biomassepotentials stellen Neuentwicklungen zur emissionsarmen dezentralen Elektroenergieerzeugung aus fester Biomasse einen wichtigen Beitrag zur ökologischen sinnvollen Nutzung dieser regenerativen Ressource dar. Anwendungsgebiete entsprechender Techniken sind beispielweise landwirtschaftlich geprägte Regionen. Hier besteht sowohl der Bedarf an Elektroenergie als auch Heizenergie. Mit der dezentralen Nutzung fester Biomassen wird nicht nur ein Beitrag

zur CO₂-Einsparung sondern auch zur Stärkung der lokalen Wertschöpfung und damit des ländlichen Raumes insgesamt geleistet.

Mit dem Projektstart im Sommer 2019 erfolgte zunächst die Konzeption, Auslegung und Konstruktion des ORC-Moduls für eine Antriebswärmeleistung von 270 kW und einer Temperatur von 190 °C bei einer Nutzheiztemperatur am Kondensator von 75 °C. Vergleichsrechnungen wurden für die Arbeitsmedien R245fa, R1233zd, R1336mzz und Novec649 durchgeführt. Als Entspannungsmaschine wird eine Turbine und als Flüssigkeitspumpe eine Kreiselpumpe eingesetzt. Als Wärmeübertrager (Vorwärmer-Verdampfer, Rekuperator, Kondensator) werden Plattenwärmeübertrager verwendet.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

COOL_ME



Außenansicht der Energiezentrale mit Rückkühlern auf dem Dach

COOL_ME ist ein Projekt im Rahmen der internationalen Klimaschutzinitiative der BMU. Im Jahr 2019 fand die 6-monatige sogenannte „Appraisal Phase“ statt. Diese diente der Vorbereitung des Projektes und der Erarbeitung des finalen Projektantrages. Das Hauptprojekt wird voraussichtlich im Laufe des Jahres 2020 starten und hat eine Laufzeit von sechs Jahren.

Ziel des Projektes COOL_ME ist die Unterstützung und Förderung einer stärkeren Verbreitung von nachhaltiger Kühlung in vier Ländern der MENA-Region. Konkret sind dies Türkei, Libanon, Jordanien und Ägypten. Das Projekt wird geleitet von Navigant. Darüber hinaus arbeiten mehrere Institutionen aus Deutschland mit jeweils unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten und weitere lokale Umsetzungspartner

in den vier Projektländern mit. Im Rahmen der Appraisal Phase fanden ca. einwöchige „Country Missions“ in drei der Zielländer statt. Die Reise nach Ägypten musste bislang immer wieder verschoben werden.

Vertreter des ILK nahmen an den „Country Missions“ in Libanon und Jordanien teil.

Neben zahlreichen Gesprächen mit Vertretern aus der Politik, Gesellschaft und der Fachcommunity wurden in Jordanien einzelne herausragende Projekte besucht. Die nachfolgenden Bilder zeigen die Energiezentrale des Abdali District Energy. Es versorgt einen neu errichteten Stadtteil mit Fernwärme und Fernkälte. Da einerseits kein Wasser für die Rückkühlung verbraucht und andererseits der Betrieb der Kälte-

maschinen zu Zeiten hoher Außentemperaturen vermieden werden soll, wurde die Anlage so konzipiert, dass zwischen 22 Uhr und 10 Uhr die gesamte benötigte Kältearbeit erzeugt und in einem riesigen Kaltwasserspeicher eingespeichert wird.



Kältemaschinen mit Kältemittel R717

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

KristOut – Kristallisationsvermeidung in Absorptionsanlagen



Abbildung 1: Kristallisation von Lithiumbromid aus wässriger Lösung

Wasser-Lithiumbromid-Absorptionsanlagen besitzen innerhalb von Energieverbundsystemen gegenüber Kompressionskälteanlagen energetische und ökologische Vorteile. Restriktiv bei der Anwendung von Wasser-Lithiumbromid-Absorptionsanlagen wirkt jedoch die Kristallisationsneigung von Lithiumbromid in wässriger Lithiumbromidlösung. Abbildung 1 zeigt die Kristallisation von Lithiumbromid aus einer

wässrigen Lösung. Eine Kristallisation in einer Anlage führt zum Anlagenausfall. Insbesondere Hochtemperatur-Absorptionskälteanlagen, direkt luftgekühlte bzw. solar beheizte Absorptionskälteanlagen, die Thermische Flüssigerzeugung und Resorptionskälteanlagen für Kältenutztemperaturen unter 0° C sind davon betroffen. Die Betriebsbereiche dieser Anwendungen sind durch die Kristallisationsneigung stark eingeschränkt. Aus Abbildung 2 ist ersichtlich, dass bei hohen Austreibungstemperaturen (Generatortemperatur) die Kondensationstemperatur begrenzt werden muss. Damit kann beispielsweise das thermodynamische Potential höherer Antriebstemperaturen oder tieferer Rückkühltemperaturen (Rückkühlpotential der Außenluft) oft nicht genutzt werden.

Durch die Verwendung eines wirksamen Kristallisationsinhibitors besteht die Möglichkeit, die Kristallisationskurve so zu verschieben, dass die Anwendungsmöglichkeiten von Wasser-Lithiumbromid-Absorptionsanlagen erheblich erweitert werden können. Eine Kristallisationsverschiebung eines wässrigen Mehrkomponentensalzgemisches gegenüber einer wässrigen Lithiumbromidlösung kann beispielhaft Abbildung 3 entnommen werden. Bisherige Anstrengungen zur Kristallisationsverschiebung durch Zugabe von Inhibitoren oder Additiven scheiterten jedoch durch ungünstige Nebenwirkungen wie zum Beispiel der Erhöhung der Korrosionsneigung, der Unverträglichkeit mit den Korrosionsinhibitoren oder der Reduzierung der Lösungsstabilität.

Laboruntersuchungen einer Ionischen Flüssigkeit ergaben, dass die Kristallisation von Lithiumbromid in wässriger Lithiumbromidlösung durch Zugabe der Ionischen Flüssigkeit stark unterbunden werden kann. Es liegen jedoch

keine Untersuchungen in Anlagen inklusive der Wechselwirkungen mit Korrosionsinhibitoren, den Materialverträglichkeiten und eventuellen thermodynamischen bzw. wärmetechnischen Auswirkungen vor.

Daher ist Inhalt des Projektes, diesen Kristallisationsinhibitor zu untersuchen und in einer ausgeführten Absorptionskälteanlage zu testen sowie gegebenenfalls hinsichtlich der Anlage zu optimieren. Die Wirkung und Effektivität des Kristallisationsinhibitors hinsichtlich der Verschiebung bzw. Beeinflussung der Kristallisation wird untersucht. Die Auswirkung auf die Leistung, Effizienz und Erweiterung der Betriebsbereiche der Absorptionskälteanlagen wird ermittelt sowie die Korrosionsauswirkungen und Wechselwirkungen mit Korrosionsinhibitoren analysiert.

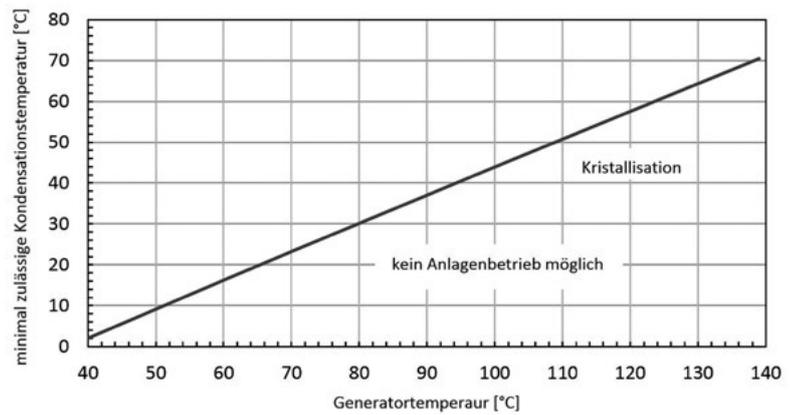


Abbildung 2: Minimal zulässige Kondensationstemperatur einer Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlage in Abhängigkeit der Austreibungstemperatur

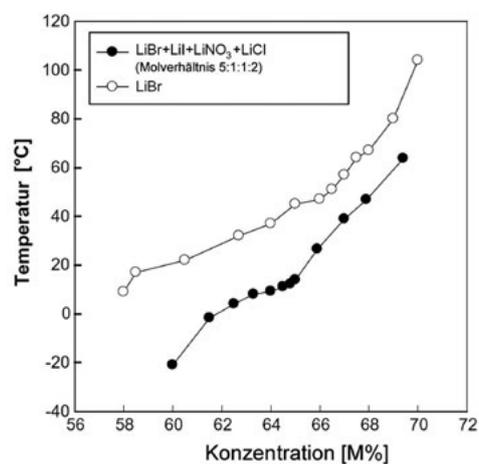


Abbildung 3: Vergleich der Kristallisationstemperaturen von Wasser-Lithiumbromid-Lösung und einem Mehrkomponentensalzgemisch in Abhängigkeit der Salzkonzentration

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



WISSENSWERTES



Ausgewählte Veranstaltungen und Publikationen

122 **Veranstaltungen**

122 Internationale wissenschaftliche Veranstaltungen

122 Kolloquien, Seminare, Veranstaltungen und Gäste

122 ILK-interne Kick-off-Meetings

123 Messebeteiligungen

123 **Verbände und Organisationen**

124 **Ausgewählte Veranstaltungen**

124 12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung – Luftverschmutzung – immer noch ein Thema?!

125 ILK gemeinsam mit BMWi auf der

125 Hannover Messe

126 BMWi Innovationstag – ILK zeigt Prototyp eines leisen gegenläufigen Axialrads

127 FILTECH 2019 – Internationale Fachmesse für Filtration und Trenntechnik

128 ISH – ILK zeigt Realflow-Simulation

129 15th Cryogenics IIR International Conference

130 **Vorträge**

138 **Publikationen**

140 **Ausgewählte Fachberichte**

Internationale wissenschaftliche Veranstaltungen

24. bis 30.8.2019, Montreal
ICR 2019, 25th IIR International Congress of Refrigeration

7. bis 11.4.2019, Prag
15th CRYOGENICS 2019, IIR International Conference & Exhibition

Kolloquien, Seminare, Veranstaltungen und Gäste

9.5.2019, Berlin
Innovationstag Mittelstand des BMWi

20.9.2019, Dresden
Dresdner Kolloquium der Kältetechnik:
Natürliche Kältemittel – für jedes Problem eine Lösung?

15. bis 16.5.2019, Dresden
8. Wiederholungsaudit, TÜV Management Süd

8.10.2019, Leipzig
Sächsischer Innovationstag der SIG

15. bis 16.5.2019, Dresden
Sachkundequalifikation Lecksuche und Dichtheitsprüfung

20. bis 22.11.2019, Ulm
DKV-Tagung

16.8.2019, Dresden
Gemeinsamer Feierabend-Ausklang im Elbgarten Dresden

4. bis 5.12.2019, Dresden
Sachkundequalifikation Lecksuche und Dichtheitsprüfung

17.9.2019, Dresden
12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung: Luftverschmutzung – immer noch ein Thema?!

13.12.2019, Coswig
ILK-Jahresabschlussveranstaltung in der Börse Coswig

ILK-interne Kick-off-Meetings

19.3.2019 | 25.3.2019 | 26.3.2019 | 23.4.2019 |
24.4.2019 | 1.7.2019 | 2.7.2019 | 9.12.2019 |

Kick-off-Meetings zur Vorstellung (neu) bewilligter ILK-Forschungsvorhaben

Messebeteiligungen

11. bis 15.3.2019, Frankfurt
 ISH – Weltleitmesse Erlebniswelt Bad,
 Gebäude-, Energie-, Klimatechnik,
 Erneuerbare Energien

1. bis 5.4.2019, Hannover
 ILK gemeinsam mit BMWi auf der
 Hannover Messe

22. bis 24.10.2019, Köln
 Filtech – Internationale Messe und
 Konferenz für Filter- und Trenntechnik

Verbände und Organisationen

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

Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie
 Prüfung e.V.

Deutsche Industriegemeinschaft Konrad
 Zuse e.V.

Deutsches ITER Industrie Forum e.V.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DKV Deutsche Kälte- und Klimatechnischer
 Verein e.V.

European Heat Pump Association

European Solar Thermal Technology
 Plattform

Fachverband Gebäude-Klima e.V.

Forschungsrat Kältetechnik e.V.

Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.

Gesellschaft für Aerosolforschung e.V.

Gesellschaft für Thermische Analyse e.V.

Green Chiller Association für Sorption
 Cooling e.V.

International Institute of Refrigeration

Sächsische Industrieforschungs-
 gemeinschaft e.V.

Verband Beratende Ingenieure

Verband Deutscher
 Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V.

Verband innovativer Unternehmen

ZVKKW Zentralverband Kälte Klima
 Wärmepumpen e.V.

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung – Luftverschmutzung – immer noch ein Thema?!

Am 17. September 2019 veranstaltet das Institut für Luft- und Kältetechnik in Kooperation mit dem VDI-Bezirksverein Dresden das 12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung. Der Veranstaltungsort ist in diesem Jahr wieder das zentral in Dresden gelegene Deutsche Hygiene Museum.



Begrüßung und Eröffnung durch Geschäftsführer Dr. Ralf Herzog

Im Fokus des 12. Dresdner Kolloquiums stehen neue Erkenntnisse zum Wirkpotential von Schadstoffen, wie auch die Anwendung dieser Erkenntnisse in der täglichen Praxis. Dies betrifft sowohl die Umsetzung von gesetzlichen Vorgaben, als auch die Zertifizierung von Gebäuden sowie die Prüfung von Filtern.

Auf dem 12. Dresdner Kolloquium werden auch die neuesten Entwicklungen zu Filtern und Filtermedien in einem breiten Anwendungsspektrum vorgestellt. Nicht zuletzt ist die Entstehung einer neuen Klasse von Schadstoffen bei modernen Fertigungsverfahren, wie dem 3D-Druck, wieder ein Thema. Zu diesem breiten Themenspektrum tragen u.a. Entwicklungsingenieure sowie Her-

steller von Filtermaterialien, -systemen und anderer wichtiger Komponenten bei. Es bietet als Fachkonferenz ein Forum für den Erfahrungsaustausch zwischen Entwicklern aus der Filter- und Zulieferindustrie, Anbietern von Messtechnik, Mitarbeitern aus Forschungseinrichtungen, Vertretern der Gesetzgeber, Fachverbänden und Berufsgenossenschaften, die sich der Herausforderung und Verantwortung einer nachhaltigen Entwicklung stellen. Dies schafft neue Chancen zur Vernetzung und die Nutzung von Synergien. Erstmals findet in diesem Jahr parallel zum Kolloquium am Nachmittag ein Workshop statt. Im Rahmen dieser Veranstaltung stellt das ILK Dresden in vier Fachvorträgen aktuelle Forschungsvorhaben vor, die beispielhaft interessante Ansätze für eine Zusammenarbeit mit Industriepartnern aufzeigen werden. Mit einem Abschlussvortrag, welcher diese Fachvorträge abrundet, präsentiert das ILK Dresden Möglichkeiten und Chancen einer Beteiligung von Industriepartnern an den Forschungsarbeiten.

Das 12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung ist eine Gemeinschaftsveranstaltung des ILK Dresden und des VDI-Bezirksvereins Dresden. Diese Veranstaltung wird vom Verein zur Förderung der Luft- und Kältetechnik e.V. unterstützt. ─



v.l.n.r. Stefan Herrmann, Ralf Heidenreich

ILK gemeinsam mit BMWi auf der Hannover Messe

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) präsentiert sich auch 2019 auf der Hannover Messe. Die Weltleitmesse der Industrie steht dieses Jahr unter dem Motto „Integrated Industry – Industrial Intelligence“. Damit widmet sich die Messe Themen, die bereits heute in nahezu allen Lebensbereichen gegenwärtig sind und zukünftig an Bedeutung gewinnen: Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen.

Unter dem Motto „Aus Ideen werden Innovationen“ präsentieren sich am BMWi-Messestand Projekte in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

Das ILK präsentiert sich mit seiner Vakuum-Flüssigeis-Technologie im Segment Marktplatz in Halle 2 | Stand C28.

Die am ILK entwickelte effiziente und besonders flexible Kältespeichertechnologie mit pumpfähigem Eis bei einer Schmelztemperatur von minus 5 °C verdeutlicht den Einsatz des kostengünstigen Speichermaterials in Großkälteanwendungen. Vakuum-Flüssigeis kann zur Kältespeicherung in Klima- und Prozesskühlanlagen eingesetzt werden. Es eignet sich auch zur Kälteverteilung („district cooling“), zur Wärme-Kälte-Kopplung, zum „Heizen mit Eis“ und zur Erschließung von Gewässern als Wärmequelle.

Weltweit verbrauchen Klima- und Kälteanlagen viel Strom und verursachen hohe Spitzenlasten, v.a. in warmen Regionen. Eis ist ein hervorragender und nachhaltiger Kältespeicher. Bisherige Verfahren zur Eis-Erzeugung sind jedoch zu ineffizient und unflexibel.

Beim Vakumeis-Verfahren wird auf höchst effiziente Weise ein pumpfähiges Eis erzeugt – immer dann, wenn Energie aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung steht („power-to-cold“).



Vakuum-Flüssigeis-Technologien auf dem Messestand

Die so großformatig gespeicherte Energie ist flexibel verfügbar. So kann die Kälte immer dann erzeugt werden, wenn Sonne und Wind genügend Strom liefern.

Im Zuge des BMWi-Verbundprojekts WindNODE wird der Einsatz von Power-to-Cold (PtC) im industriellen Umfeld erprobt und demonstriert. „WindNODE – das Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands“ ist ein wichtiger Beitrag wie die Energiewende gelingen kann. —



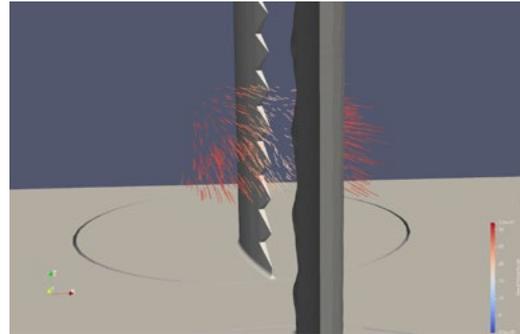
Peter Altmaier, Bundesminister für Wirtschaft und Energie, zu Gast auf der Hannover Messe

BMW Innovationstag – ILK zeigt Prototyp eines leisen gegenläufigen Axialrads

Beim BMWi Innovationstag 2019 in Berlin-Pankow, eröffnete Christian Hirte, (Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie und Beauftragter der Bundesregierung für Mittelstand und die neuen Bundesländer) die jährliche Leistungsschau des Mittelstands.

Auf dem Innovationstag Mittelstand präsentieren rund 300 Unternehmen und Forschungseinrichtungen den rund 2.000 Besuchern mehr als 200 technologische Neuheiten, die sie mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) realisiert haben.

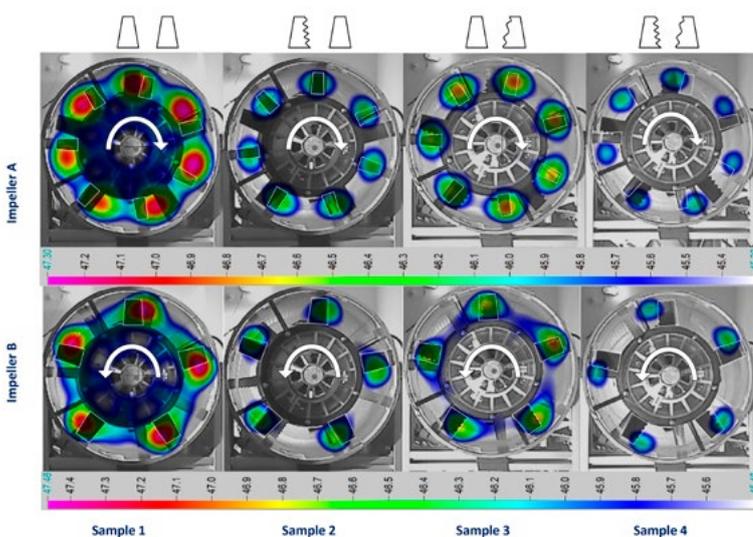
Das ILK konnte einen Prototyp aus einem erfolgreichen Euronorm MF-Projekt präsentieren, welches die Entwicklung eines lärmreduzierten Laufradpaares für einen kompakten gegenläufigen Axialventilator zum Gegenstand hatte.



Strömung zwischen einer Ventilatorschaufel mit gezackter Hinterkante und sinusförmiger Hinterkante

Gegenläufige Axialventilatoren erreichen bauartbedingt eine sehr hohe Leistungsdichte. Allerdings steigt auch die Geräuscherzeugung aufgrund der mit geringem Abstand gegenläufig aneinander vorbei rotierenden Laufräder an. Im Forschungsvorhaben wurden verschiedene Modifikationen an den Schaufeln durchgeführt und deren Einfluss mit Hilfe einer akustischen Kamera bewertet. Zur Lokalisierung der rotierenden Schallquellen wurde ein spezieller Algorithmus entwickelt und getestet. Im Ergebnis konnten in Abhängigkeit der Frequenz verschiedene Schallquellen nachgewiesen werden.

Durch diese primäre Lärmreduktion bleibt die sehr hohe Leistungsdichte dieser Bauart von Turbomaschinen auch bei akustisch anspruchsvollen Einsatzbedingungen erhalten. Die Lärmreduktion erfolgt durch eine besondere Gestaltung sowohl der Ventilatorschaufeln als auch der in der Strömung befindlichen Verstrebungen. ■



Mittels akustischer Kamera gemessene Schallquellen am Laufrad A und Laufrad B bei unterschiedlichen Konfigurationen

FILTECH 2019 – Internationale Fachmesse für Filtration und Trenntechnik

Das ILK Dresden war mit seinem Bereich Luftreinhaltung vom 22. bis 24.10.2019 auf der FILTECH, der weltweit größten Fachmesse für Filtrations- und Separationstechnologien, als Ansprechpartner für bestehende Geschäfts- und Forschungspartner und zur Knüpfung neuer Kontakte präsent. Herr Heidenreich und Herr Holfeld vertraten uns bei dem gleichzeitig durchgeführten Kongress mit den Vorträgen:

- „New test method for bag house filters“
Vortrag: Heidenreich
- „Test of cabin gas filters“
Vortrag: Holfeld
- „Controlling specific properties of paper wet lays for air filtration by means of hydro-entanglement“
Posterpräsentation: Heidenreich

Als Gäste waren auch Kollegen von unserem Projektpartner Green City Solution mit auf dem Stand. Insgesamt wurden über 50 neue Kunden akquiriert. —

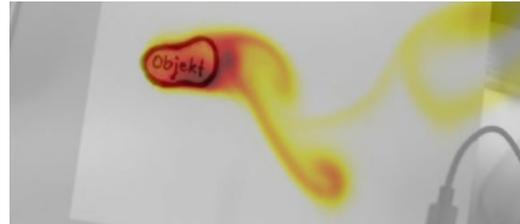


ILK Messestand

ISH – ILK zeigt Realflow-Simulation

Mit über 2.500 nationalen und internationalen Ausstellern ist die ISH eine wichtige Bühne für Innovationen in Sachen Klimaschutz, Design und Smart Building. Vom 11. bis 15. März konnte auf der Ausstellungsfläche von 275.000 m² zukunftsweisende Gebäudetechnik betrachtet werden, die Antworten sucht auf drängende Herausforderungen der gesamten Branche z.B. bei ökologischen Themen wie „Nachhaltigkeit vs. Komfort“. Das ILK zeigte seine Expertise auf dem Gebiet der Realflow Echtzeitsimulation. Für viele technische Aufgaben müssen Strömungen von Luft, Wasser oder anderen Fluiden angepasst und optimiert werden. Mit Hilfe von Berechnungen lassen sich diese Aufgaben oft schneller und effizienter meistern als im Experiment. Gerade für die Auslegung von klimatechnischen Systemen hat sich die numerische Simulation von Strömungen (engl.: Computational Fluid Dynamics, CFD) zu einem unverzichtbaren Werkzeug entwickelt.

Mit Hilfe eines numerischen Strömungslösers zur Interaktiven Strömungssimulation können Objekte im Sichtfeld einer handelsüblichen Webcam aufgenommen und detektiert werden. Am Messe-



Strömungsbild

stand wurde der Besucher kurzerhand von oben mit einer Kamera aufgenommen und detektiert, Strömung + Temperatur berechnet und auf einem Flatscreen angezeigt.

Die aus der Simulation vom ILK Dresden bestimmten dreidimensionalen Geschwindigkeits- und Temperaturverteilungen können so optimal für die Steuerung der Luftzufuhr in Gebäuden bzw. Räumen eingesetzt werden. So lässt sich die Temperatur dann beispielsweise im Aufenthaltsbereich von Personen behaglich einstellen, während sich der Betrieb der Klimaanlage in anderen Räumen an der energetischen Optimierung ausrichtet.

Das ILK Dresden nutzte vor diesem Hintergrund spezielle Optimierungsalgorithmen. Das ist innovativ, weil der aktuelle Zustand der Raumluft nicht mehr allein durch Messungen über einzelne Sensoren erfasst wird, sondern durch die gleichzeitig erfolgende rechnerische Simulation über den gesamten Raum. Durch dieses Vorgehen lässt sich der Energiebedarf der Klimaanlage signifikant verringern, bei gleichzeitig angenehmen Temperaturen.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Verfahren zur schnellen Simulation und Optimierung von Strömungen lassen sich laut ILK Dresden in vielen Bereichen einsetzen. Aktuell ist das Berechnungsprogramm ein firmeninternes Werkzeug, das jedoch in weiteren Schritten an verschiedene Nutzer und deren Anforderungen angepasst wird. —



ILK Messestand

15th Cryogenics IIR International Conference



Blick in den Tagungsraum

Die 15. IIR Konferenz Cryogenics 2019 fand vom 7. bis 11.5.2019 in Prag, Tschechische Republik, statt. Gemeinsam mit den Partnern aus der Tschechischen Republik organisierte und gestaltete das ILK Dresden die internationale Konferenz zur Kryotechnik und Tieftemperaturphysik.

Auch in diesem Jahr erzielte die Cryogenics mit insgesamt 119 Teilnehmern aus 22 Ländern eine breite internationale Resonanz. In zehn themenspezifischen Sitzungen wurden insgesamt 68 Vorträge gehalten. Ein reger Wissensaustausch zwischen den Teilnehmern erfolgte bei den gut besuchten Posterpräsentationen und der begleiteten Industrieausstellung mit 9 Ausstellern.

In seiner Einführung verwies Dr. Ralf Herzog einmal mehr insbesondere auf die globalen Herausforderungen für neue Anwendungen der Kryotechnik in den Bereichen der Energietechnik- und -speicherung, Medizin und Biotechnologie sowie in internationalen Vorhaben zur Partikelphysik und Kernfusion.



v.l.n.r.: Dr. Ralf Herzog, Moritz Kuhn, Dr. Andreas Kade, Gregor Trommler

Die wissenschaftlichen Schwerpunkte der Konferenz waren:

- Kryotechnik für die Partikelphysik
- Angewandte Supraleitung
- Kühlsysteme für HTC-Anwendungen
- Kryotechnik in der Raumfahrt
- Heliumverflüssigung, Luftzerlegung und CO₂
- Edelgase
- Kryostate, -kühler und kryogene Kühlsysteme
- Verflüssigung von Erdgas
- Kryobiologie und -medizin
- Energiespeicherung und Wasserstoffverflüssigung

Zum Abschluss der erfolgreichen Tagung traf man sich gemeinsam zum „Conference Dinner“ im Restaurant „Manes“. Traditionell beendeten die „Technical Tours“ zum ELI Beamlines, Chart Ferox, Low Temperature Labs der Karlsuniversität und zur Cryochamber Praha die Veranstaltung.

Die 15th Cryogenics 2019 in Prag wurde damit erneut zu einer sehr erfolgreichen Konferenz und zu einem gelungenen IIR-Ereignis. IIR-Generaldirektor, Didier Coulomb, bedankte sich bei den Teilnehmern und insbesondere bei den Veranstaltern für die erfolgreiche Veranstaltung. Die nächste 16th Cryogenics IIR-Konferenz wird vom 2. bis 6. Mai 2021 in Dresden stattfinden. —

Vorträge

Trommler, G.; Klupsch, M.; Eggers, D.; Bobsin, P.; Wendt, C.; Bohne, N.

Cold storage solutions for a Liquid Air Energy Storage System,

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Trommler, G.; Böhm, U.; Schneider, M.; Spörl, G.; Kade, A.

New aspects in the design of Non-Metallic Cryostats for liquid helium and nitrogen

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Zerweck, U.; Schroeder, G.; Schoepe, F.; Gust, N.; Klupsch, M.; Klier, J.; Kuhn, M.; Richter, S.

Development and Test Results of Cryogenic High-Pressure Pumping Systems,

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Dalakov, P.; Rozhentsev, A.; Klier, J.

Cold storage solutions for a liquid air energy storage system

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Gust, N.; Fischer, E.; Datskov, V.

Multichannel temperature regulator for SIS100 HTS current leads

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Tippmann, S.; Jande, T.; Hempel, S.; Kade, A.; Klier, J.; Wilfert, S.; Pongrac, I.

Adaptable cryosorption pump system for SIS100

15th Cryogenics 2019 in Prag, 8. bis 11.4.2019

Trommler, G.; Klupsch, M.; Eggers, D.; Bobsin, P.; Wendt, C.; Bohne, N.

Innovative elements for a liquid air energy storage system,

25th IIR International Congress of Refrigeration in Montréal, 24. bis 30.8.2019

Kretschmer, R.; Reinsch, H.; Spörl, G.; Klier, J.; Herzog, R.

The Dresden Cryo Competence Center in Life Sciences – Developments and Investigations in Cryobiology and Cryomedicine

20th world congress of the International Society of Cryosurgery in Haifa, 4. bis 5.9.2019

Wendt, C.; Bohne, N.; Bobsin, P.; Eggers, D.; Trommler, G.; Klupsch, M.

Cryogenic Cold Stores for Liquid Air Energy Storages

Deutsche Kälte- und Klimatagung in Ulm, 20. bis 22.11.2019

Kade, A.; Klier, J.

Latest developments: Power supply, Quenchedetection, Energy storage, Cryostats

Joint Institute for Nuclear Research in Dubna, 30.10.2019

Dalakov, P.; Neuber, E.; Klier, J.; Herzog, R.

Innovative neon refrigeration unit operating down to 30 K

3rd International Conference Refrigeration and Cryogenic Engineering, Air Conditioning and Life Support Systems in Moskau, 19. bis 20.11.2019

Tzscheutschler, A.; Leupolt, H.

Entwicklung eines Prüfstands für Propanverdichter

Dresdner Kolloquium „Natürliche Kältemittel – für jedes Problem eine Lösung?“, 22.9.2019, Dresden

Noack, R.; Paatzsch, R.

Aktuelle Entwicklungen bei Wärmepumpen

Dresdner Kolloquium „Natürliche Kältemittel – für jedes Problem eine Lösung?“, 22.9.2019, Dresden



Steinjan, K.

Expansionsmaschine für CO₂ Kälteanlagen
DKV-Jahrestagung 20. bis 22.11.2019 in Ulm

Steinjan, K.

Expansionsmaschine für CO₂ Kälteanlagen
DKV-Bezirksverein Sachsen, 12/2019

Röllig, P.

**Kältemittel-Umstellung in der Industrie
veranlasst durch F-Gase-Verordnung EU
517/2014**

6. Workshop Energieeffizienznetzwerk
2018/19, Dresden, 16.5.2019

Röllig, P.

F-Gase-Verordnung EU 517/2014

2. Workshop Brandenburgischer Landesbetrieb
für Liegenschaften und Bauen (BLB), Potsdam,
22.10.2019

Röllig, P.

Vorlesungsreihe Kältetechnik

Staatliche Studienakademie Riesa, Frühjahrs-
und Herbstsemester 2019, Riesa

Müller, M.

**„Klimawandel im Kontext zwischen Papst-
Schreiben, globaler Politik und eigenem
Handeln“**

DKV-Bezirksverein Sachsen, 11/2019

Friebe, C.

**Visualisierung und Messung von Raumströ-
mungen mit optischen Methoden**

Vortragsreihe DKV Sachsen, 5/2019

Friebe, C.

**SOUND SOURCE LOCALISATION AT AN
AXIAL CONTRA- ROTATING FAN BY MEANS
OF PIV AND ROTATIONAL BEAMFORMING**

13th ETC, Lausanne, Schweiz, 8. bis 12.4.2019

Friebe, C.; Hantsch, A.; Döge, S.; Krause,

**Caloric method for the energetic evaluation
of decentralised domestic ventilation Devices**

13th Clima World Congres, REHVA, Bukarest,
Rumänien, 26. bis 29.5.2019

Krause, R.; Friebe, C.; Kerscher, M.; Puhle, C.
Investigations on noise sources on a contra-rotating axial fan with different modifications
 13th Clima World Congres, REHVA, Bukarest, Rumänien, 26. bis 29.5.2019

Mai, R.; Krause, R.; Friebe, C.
Conference-Poster: Enhancement of ventilation efficiency in residential buildings by pulsating air-flow
 13th Clima World Congres, REHVA, Bukarest, Rumänien, 26. bis 29.5.2019

Friebe, C.; Oppelt, T.; Döge, S.; Hantsch, A.
Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens zur Bewertung des Risikos von Keimwachstum in Filtern
 12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, 17.9.2019, Dresden

Hantsch, A.; Döge, S.
Assessment of micro-organism growth risk on filters with machine learning
 13th Clima World Congres, REHVA, Bukarest, Rumänien, 26. bis 29.5.2019

Herfert, H.; Braun, M.; Hantsch, A.
Untersuchungen des instationären Wärme- und Stoffdurchgangs durch textile Strukturen
 Melliand Textilberichte, 2019, 40

Ullrich, S.; Buder, R.; Boughanmi, N.; Friebe, C.; Wagner, C.
Numerical Study of the Airflow Distribution in a Passenger Car Cabin validated with PIV
 19. STAB-Workshop, Göttingen, 5. bis 6.11.2019

Heinrich, M.; Khaleghi, H.; Friebe, C.
Numerical Investigation of Circumferential Groove Casing Treatment on a Low Speed Contra-Rotating Fan
 Conference: ASME Turbo Expo 2019: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, Juni 2019

Mai, R.
Raumklimatisierung und -kühlung
 Effizienztisch der Energieagentur Region Göttingen e.V.; Göttingen, 14.5.2019

Mai, R.
Was kann der neue Effizienzrechner Klima-Lüftung?
 Bafa Energietag, Frankfurt Main, 1.10.2019

Krause, R.
Akustik
 Übung zur im Rahmen der Vorlesungsreihe Klimatechnik an der HTW Dresden

Friebe, C.
Wärmerückgewinnung
 Vorlesung und Übung im Rahmen der Vorlesungsreihe Klimatechnik an der HTW Dresden

Friebe, C.
Gegenläufige Ventilatoren-Vorteile, Nachteile, Auslegung, Strömung, Akustik
 Vorlesung an der Hochschule Zittau Görlitz Dresden

Oppelt, T.
Kühllastberechnung
 Vorlesung und Seminar im Rahmen der Vorlesungsreihe Klimatechnik an der HTW Dresden

Ziller, F.

On the issue of calculating energy efficiency

Conference: IEC 61591 / MT3 Meeting, Wien, 6/2019

Hackeschmidt, K.

Strömungstechnik

Übung Strömungslehre 1 an der TU Dresden, Frühjahrssemester 2019

Rosenbaum, H.

Einsatz textiler Materialien zum Feuchte-transport

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019

Rosenbaum, H.

Exkurs: Wärme- und Stofftransport über Membranen

FGK Sitzung der Arbeitsgruppe 08 Luftbefeuchtung, Zirndorf, 5.12.2019

Krause, R.; Herzog, R.; Rosenbaum, H.

Applications with semipermeable membranes for humidity recovery in HVAC systems

3rd International Conference
REFRIGERATION AND CRYOGENIC ENGINEERING,
AIR CONDITIONING AND LIFE SUPPORT SYSTEMS
Cryogenics & Refrigeration – Challenges for
international cooperation, 19. bis 20.11.2019,
BMSTU Moskau, Russland

Krause, R.; Oppelt, T.; Friebe, C.; Döge, S.;
Herzog, R.

Machine learning for filter pollution control

3rd International Conference
REFRIGERATION AND CRYOGENIC ENGINEERING,
AIR CONDITIONING AND LIFE SUPPORT SYSTEMS
Dedicated to the centenary of the Department
„Refrigeration and Cryogenic Engineering, Air
Conditioning and Life Support Systems“ of
MSTU n.a. N.E. Bauman
19. bis 20.11.2019 Moscow, Moscow State Tech-
nical University n.a. N.E. Bauman (Bauman MSTU)

Heidenreich, R.

Gesamtheitlicher Ansatz für Energieeffizienz der Lufttechnik in Produktionshallen, Partikelabscheideverfahren und Lösungen, Effiziente Schadstoff- und Geruchsabscheidung

VDI-Wissensforum Seminarreihe „Lufttechnik in der Industrie“
Nürnberg, 16.1.2019;
Düsseldorf, 8.5.2019;
Hamburg, 18.9.2019

Birnbaum, T; Kopp, M.

Hocheffektive Abgasreinigung an Biomassefeuerungen

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019

Heidenreich, R.

Evaluation of filtration performance by using particle spectrometers in bag-house filtration – practical and theoretical experiences, Palas® air filtration seminar

Karlsruhe, 24.9.2019

Holfeld, S.; Heidenreich, R.
Test of cabin filters, Filtech conference 2019
Köln, 22.10.2019

Heidenreich, R.; Böhme, A.; Herrmann, S.
New test method for bag house filters, Filtech conference 2019
Köln, 23.10.2019

Heidenreich, R.; Schulze, T.; Gebauer, F.
Controlling specific properties of paper wet lays for air filtration by means of hydro-entanglements, Filtech conference 2019
Köln, 23.10.2019

Heidenreich, R.
Partikelabscheidungsverfahren und Lösungen, Gesamtheitlicher Ansatz für Energieeffizienz der Lufttechnik in Produktionshallen, effiziente Schadstoff- und Geruchsabscheidung, Berufsgenossenschaft Holz und Metall – Schulung Arbeitsplatzlüftung
Hannover, 22.11.2019

Heidenreich, R.; Schulze, T.; Gebauer, F.
Controlling specific properties of paper wet lays for air filtration by means of hydro-entanglements

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019

Holfeld, S.
Moose – Prüfverfahren und Prüfvorrichtungen für die Klassifizierung von Außenluftfiltern

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019

Holfeld, S.
Entwicklung eines Prüfverfahrens und einer Prüfvorrichtung für die Klassifizierung von Filterelementen für Schutzkabinen

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019



Keßlau, D.

Kombinierter Prallplattenabscheider zur Öl- und Emulsionsnebelabscheidung

12. Dresdner Kolloquium zur Luftreinhaltung, Dresden, 17.9.2019

Birnbaum, T.; Burandt, B.; Kopp, M.

KWK-ORC-Bioenergie – Pilot- und Demonstrationsanlage zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung durch energetische Biomassennutzung, DBFZ

8. Statuskonferenz Energetische Biomassennutzung, Leipzig, 18.9.2019

Zuber, S., Feja, S.

Auswahl von Schmierstoffen für NH₃-Hochtemperaturwärmepumpen

Dresdner Kolloquium der Kältetechnik, Dresden, 29.9.2019

Feja, S.

Initiierung eines Lithiumkreislaufes – Aufarbeitung von Lithiumbromidlösungen aus Absorptionskälteanlagen

Deutsche Kälte- und Klimatagung, Ulm, 20. bis 22.11.2019

Schnerr, Th.

Dichtheitsprüfung: Kombinierte Wasserbad-Hüllen-Dichtheitsprüfung,

8. Fachseminar der DGZfP, Dortmund, 24. bis 25.9.2019

Göhler, H.; Seidel, R.; Quadbeck, P.; Kieback, B.

Korrosion von Stählen in Nitrat-Schmelzen

Werkstoffwoche, MESSE DRESDEN, 18. bis 20.9.2019

Schnerr, Th.; Seidel, R.

Dichtheitsprüfung: kombiniertes Wasserbad-Haubenprüfverfahren

Dresdner Kolloquium der Kältetechnik, Dresden, 29.9.2019

Feja, S., Hanzelmann, C., Zuber, S.

Thermodynamic properties of ammonia-oil-mixtures that influence the efficiency of an evaporator

8th IIR Ammonia and CO₂ Refrigeration Conference Ohrid 2019, 11. bis 13.4.2019

Richter, L.; Heinrich, C.; Kemmerzehl, C.;

Safarik, M.; Otto, M.; Weidner, G.; Burandt, B.; Herzog, R.

Development of water-lithium bromide absorptions chillers based on asymmetric plate heat exchangers

25th IIR Int. Congress of Refrigeration, Montreal, 24. bis 30.8.2019

Heinrich, C.; Richter M.; Franzky T.; Steltzer F.;

Safarik, M., Herzog, R.

Development of an ice storage integrated into a mono-split air conditioning system for increase of photovoltaic self-consumption

25th IIR Int. Congress of Refrigeration, Montreal, 24. bis 30.8.2019



Heinrich, C.; Richter, M.; Franzky, T.; Voss, M.;
Zimmer, M.; Dr. Safarik, M.

**Integrationsvarianten von Eisspeichern in
Mono-Split-Geräten zur Steigerung des PV-
Eigenverbrauchs mit Blick auf den Einsatz
brennbarer Kältemittel**

Dresdner Kolloquium der Kältetechnik,
20.9.2019, Dresden

Dr. Safarik, M.

**Unterschiedliche Einsatzfälle für Wasser als
Kältemittel**

Dresdner Kolloquium der Kältetechnik,
20.9.2019, Dresden

Dr. Safarik, M.

**Wasser zu Eis – Wärmeversorgung aus
Gewässern und Eisspeichern**

Arbeitskreis Energieeffizienz der CLEANTECH
Initiative Ostdeutschland „Kälte Netze für eine
energieeffiziente Wärmeversorgung“,
Elsterheide 2019

Dr. Safarik, M.

**Adaptation options of thermally driven
cooling and ice slurry for energy and cost
efficient district cooling**

CBE Polska – Seminar “Prospects for District
Cooling”, Chorzów, Polen 2019

Dr. Safarik, M.

**Wärmequelle Eisspeicher – Potentiale von
Flüssigeis in regenerativen und effizienten
Wärmekonzepten**

VDI – Energieeffizienz in Unternehmen – Chan-
cen und Fördermöglichkeiten,
Technischen Universität Dresden, 3/2019

Dr. Safarik, M.

**Flüssigeis zur Kältespeicherung (Power-to-
Cold) und als leistungsfähige Quelle für nach-
haltige Wärmepumpenlösungen**

2. Branchentreff des FV Gebäudeenergie Dres-
den, 5.11.2019

Dr. Safarik, M.

Flüssigeis zur Kälte- und Wärmeversorgung

HTI Kältetag, München, 3/2019

Dr. Safarik, M.; Honke, M., Steffan, C.;
Burandt, B.; Nebauer, J.

**Flüssigeisaktivitäten am ILK Dresden
Power-to-Cold mit Vakuum-Flüssigeis-Kälte-
speicherung in WindNODE**

IG Karlsruhe, 2019

Dr. Safarik, M.

**Überblick über die bevorzugten Einsatzbe-
reiche der Kältetechnologie und Vorstellung
der Innovationen des ILK Dresden**

Netzwerktreffen Gicon, Dresden 2019

Dr. Safarik, M.

**Wärmequelle Eisspeicher und Gewässer –
Potentiale von Flüssigeis in regenerativen und
effizienten Wärmekonzepten**

SAENA Fachsymposium Energie, Dresden,
11/2019

Dr. Safarik, M.; Honke, M.; Steffan, C.;

Burandt, B.; Nebauer, J.

**Kältespeicherung mit Flüssigeis für Power-to-
Cold in großen Kälteanlagen**

WindNODE Konsortial, Zwickau, 2019

Dr. Safarik, M.

**Wärmegewinnung aus Grubenwässern durch
Direktverdampfung ohne Wärmeübertrager**

Workshop Möglichkeiten und Herausforderungen
bei der Nutzung von Grubenwässern, Freiberg,
4/2019

Steffan, C.

**Rheologische Eigenschaften von Flüssigeis –
Untersuchung und Visualisierung von Einfluss-
faktoren**

DKV-Tagung, Ulm, 20. bis 22.11.2019

Honke, M.

Wasser als Kältemittel

**Flüssigeis zur Kälte- und Wärmeversorgung
Workshop „Dekarbonisierung Komponente“**

VW Werke Braunschweig, 4/2019

Publikationen

Dalakov, P.; Kupriyanov, M.; Klier, J.

The Technological Chain of Enrichment of ³He

Progress of Cryogenics and Isotopes Separation, Volume 21, S. 5 - 10, issue 2/2018

Trommler, G.; Böhm, U.; Schneider, M.; Spörl, G.; Kade, A.

New aspects in the design of Non-Metallic Cryostats for liquid helium and nitrogen

15th Cryogenics 2019, PAPER ID: 0027, S. 186 - 191

Tippmann, S.; Jande, T.; Hempel, S.; Kade, A.; Klier, J.; Wilfert, S.; Pongrac, I.

Adaptable cryosorption pump system for SIS100

15th Cryogenics 2019, PAPER ID: 0050, S. 26 - 31

Gust, N.; Kozłowski, K.; Datskov, V.; Fischer, E.

Multichannel Temperature Regulator for SIS100 HTS Current Leads

15th Cryogenics 2019, PAPER ID: 0039, S. 70 - 74

Trommler, G.; Klupsch, M.; Eggers, D.; Bobsin, P.; Wendt, C.; Bohne, N.

Cold Storage Solutions for a Liquid Air Energy Storage System

15th Cryogenics 2019, PAPER ID: 0011, S. 306 - 310

Dalakov, P.; Klier, J.; Rozhentsev, A.

Refrigeration Linde-Hampson Machine at 90K Operation by Use of Ozone Friendly Refrigerants

15th Cryogenics 2019, PAPER ID: 0022, S. 45 - 52

Trommler, G.; Klupsch, M.; Eggers, D.; Bobsin, P.; Wendt, C.; Bohne, N.

Innovative Elements for a Liquid Air Energy Storage System

ICR2019 Book of Proceedings V1 2019, ID 1405, S. 422 - 428

Avigni, P.; Battistin, M.; Calviani, M.;

Dalakov, P.; Kershaw, K.; Klier, J.; Lopez Sola, E.

Design of a Helium Passivation System for the Target

Vessel of the Beam Dump Facility at CERN

Journal of Instrumentation 2019, Volume 14, Technical Report T12001

Hernaiz, M.; Alonso, V.; Estellé, P.; Wu, Z.;

Sundén, B.; Doretti, L.; Mancin, S.; Çobano lu, N.;

Karadeniz, Z.H.; Garmendia, N.; Lasheras-

Zubiate, M.; Hernández López, L.; Mondragón, R.;

Martínez-Cuenca, R.; Barison, S.; Kujawska, A.;

Turgut, A.; Amigo, A.; Huminc, G.; Huminc, A.;

Kalus, M.-R.; Schroth, K.-G.; Buschmann, M.H.

The contact angle of nanofluids as thermo-physical property

Journal of Colloid and Interface Science 547 (2019) S. 393 - 406

Hernaiz, M.; Alonso, V.; Estellé, P.; Wu, Z.;

Sundén, B.; Doretti, L.; Mancin, S.; Çobano lu, N.;

Karadeniz, Z.H.; Garmendia, N.; Lasheras-

Zubiate, M.; Hernández López, L.; Mondragón, R.;

Martínez-Cuenca, R.; Barison, S.; Kujawska, A.;

Turgut, A.; Amigo, A.; Huminc, G.; Huminc, A.;

Kalus, M.-R.; Schroth, K.-G.; Buschmann, M.H.

The contact angle of nanofluids as thermo-physical property

Journal of Colloid and Interface Science 547 (2019) S. 393 - 406

Kujawska, A.; Zajackowski, B.; Wilde, L.M.;

Buschmann M.H.

Geyser boiling in a thermosyphon with nanofluids and surfactant solution

International Journal of Thermal Sciences 139 (2019) S. 195 - 216

*Buschmann, M.H.; Huminic, A.; Mancin, S.;
Riehl, R.R.; Huminic, G.*

**State of the art of heat transfer of heat
pipes and thermosyphons employing
nanofluids as working fluid**

Journal of Nanofluids 8 (2019) S. 1 - 14

*Gimeno-Furió, A.; Juliá, E.; S. Barison, S.;
Agresti, F.; Friebe, C.; Buschmann, M.H.*

Nanofluids as Direct Solar Energy Absorbers

Journal of Nanofluids 8 (2019) S. 1 - 13

*Kujawska, A.; Zajackowski, B.; Woluntarski, M.;
Buschmann M.H.*

**Influence of graphene oxide nanofluids
and surfactant on thermal behaviour of the
thermosyphon**

Journal of Thermal Analysis and Calorimetry
136 (2019) S. 843 - 855



Ausgewählte Fachberichte

Kryotechnik und Tieftemperaturphysik

SPÖRL, G.

2. Zwischenbericht: Untersuchungen an zellbasierten Sphäroiden – ist Kryobanking möglich?; *Second Interim report: Investigations on cellbased spheroids – is cryobanking possible?*
Nr. ILK-B-1-19-452, 2019

ZERWECK-TROGISCH, U.; NEUBER, E.

2. Zwischenbericht: DaGMaR – Direkt angetriebener Gifford-McMahon Regenerator
Nr. ILK-B-1-19-453, 2019

GUST, N.; KADE, A.

2. Zwischenbericht: Elektronische Multifunktionsmodule für kryogene Anwendungen; *Second Interim report: Electronic multifunctional modules for cryogenic applications*
Nr. ILK-B-1-19-455, 2019

RELNSCH, H.

Zwischenbericht: Controlled Rate Freezing-Gerät für Multiwellplatten; *Interim report: Controlled rate freezing device for multiwell plates*
Nr. ILK-B-1-19-456, 2019

KRETSCHMER, R.

3. Zwischenbericht: Innovativer Prüfstand für die Sicherheitsbewertung von KryoVials; *Third Interim report; Innovative test bench for the safety assessment of cryovials*
Nr. ILK-B-1-19-457, 2019

KRETSCHMER, R.

1. Zwischenbericht: Nachweis der Lagerfähigkeit von Primärpackmitteln; *Interim report: Proof of the shelf life of primary packaging materials*
Nr. ILK-B-1-19-458, 2019

KUHN, M.

Abschlussbericht: Innovativer Hochleistungskryokühler: Öl-freies Kaltteil und wartungsarmes System
Nr. ILK-B-1-19-463, 2019

KLEIN, F.

1. Zwischenbericht: Kohlenstoff-Nanostrukturen als innovativer Wasserstoff-Sorbent zur Ultrahoch-Reinigung von Helium (UltraHe); *1. Interim report Carbon nanostructures as innovative Hydrogen sorbent for ultrahigh purification of helium*
Nr. ILK-B-1-2019-459, 2019



Kälte- und Wärmepumpentechnik

MÜLLER, M.

Hicodry – Hochtemperatur-Wärmepumpenmodul für Gewerbetrockner; final report: Hicodry – high-temperature heat pump for commercial dryers

Nr. ILK-B-2-19-1922, 2019

STEINJAN, K.

Abschlussbericht: „Reduzierung der Expansionsverluste von Kälteanlage“; Final Report: Reduction of losses at expansion in cooling devices

Nr. ILK-B-2-19-1923, 2019

MÜLLER, M.

Berechnungen und Beratungsleistungen für die FKT-Studie „Energiebedarf in der Kälte-technik“ Modul 2; Calculations and Consulting Services for the FKT study „Energy demand in refrigeration“ Module 2

Nr. ILK-B-2-18-1851, 2019

PAATZSCH, R.

RackSiphon: Entwicklung einer Serverraumkühlung für mittelständische Unternehmen mittels Thermosiphonsystem, das durch ein Kältemittel in zwei Phasen – jedoch ohne Pumpe – betrieben wird; RackSiphon: Development of Server room cooling for medium-sized Companies by means of a thermosyphon System, which is operated by a refrigerant in two phases, but without a pump

Nr. ILK-B-2-19-1859, 2019

HEMPEL, O.; STANGL, R.

Schlussbericht: „Zwanzig20 AGENT-3D_FunGeoS, Teilprojekt 2 Fluidführungsstruktur – FunGeoS-Fluid; Additive Fertigung von Mikrowärmetauschern und deren Anbindung an etablierte Kühlsysteme; Finalreport: Zwanzig20; AGENT-3D, FunGeoS: TP2

Nr. ILK-B-2-19-1866, 2019

PAATZSCH, R.

Begutachtung Kälteanlage Tücher Bräu; Appraisal refrigeration plant Tücher Bräu

Nr. ILK-B-2-19-1868, 2019

BÖHM, M.; HAUPTMANN, J.

Untersuchungen an einem Scrollverdichter SIAM Compressor Ind, ANB52FKPMT; Evaluation compressor SIAM Compressor Ind, ANB52FKPMT

Nr. ILK-B-2-19-1869, 2019

RÖLLIG, P.

Zwischenbericht: HERAM (Hermetisierung von Verdichtern für das Kältemittel Ammoniak)

Nr. ILK-B-2-19-1878, 2019

STANGL, R.

Konstruktion des Mikro-Wärmeübertragers ILK1; Construction of the micro-heat exchanger ILK1

Nr. ILK-B-2-19-1882, 2019

NOACK, R.; PEUSCH, A.

Teildynamische Untersuchungen des Leistungsverhaltens einer Daikin Luft/Wasser Wärmepumpe; Partial dynamic studies of the performance of an air/water heat pump

Nr. ILK-B-2-19-1884, 2019

PAATZSCH, R.; HANTSCH, A.

Abschlussbericht: EKA – Kompressionskälteanlage mit Ejektor; Final report: Compression refrigeration System with ejector

Nr. ILK-B-2-19-1886, 2019

BRATANITSCH, K.; HANZELMANN, C.

Abschlussbericht: Gemisch-Joule-Thomson-Verfahren zur Erzeugung von Tieftemperaturen im Bereich -70 °C bis -150 °C; Final report: Mixture-Joule-Thomson process for the production of low temperatures in the range of -70 °C to -150 °C

Nr. ILK-B-2-19-1888, 2019

RÖLLIG, P.

Machbarkeitsstudie Kühlung Luftfahrtcontainer; Feasibility Study on Cooling of an Aerospace Containers

Nr. ILK-B-2-19-1889, 2019

LANGNER, P.

Zwischenbericht zum ZIM-Projekt „KoLoR, Kompressorlose Rechenzentrums Kühlung mit innovativer zweistufiger Adiabatik und integriertem regenerativem Tag-Nacht-Speicher zur Realisierung einer erstmalig kompressorlosen Kühlung von Rechenzentren mit einer Kühlleistung von 100 - 500 kW

Nr. ILK-B-2-19-1905, 2019

STEINJAN, K.

Erprobung eines Dampfqualitätssensors

Nr. ILK-B-2-19-1906, 2019

PAATZSCH, R.

Energetischer Vergleich und Kostenvergleich zwischen überdachter Eislauffläche und Eissporthalle in Dachau; Energetic comparison and cost comparison between roofed ice rink and ice rink in Dachau

Nr. ILK-B-2-19-1913, 2019

BÖHM, M.; HAUPTMANN, J.

Untersuchungen an einem Schraubenverdichter FUSHENG BSR 324; Evaluation compressor FUSHENG BSR 324 (Screw)

Nr. ILK-B-2-19-1918, 2019

NOACK, R.; PEUSCH, A.

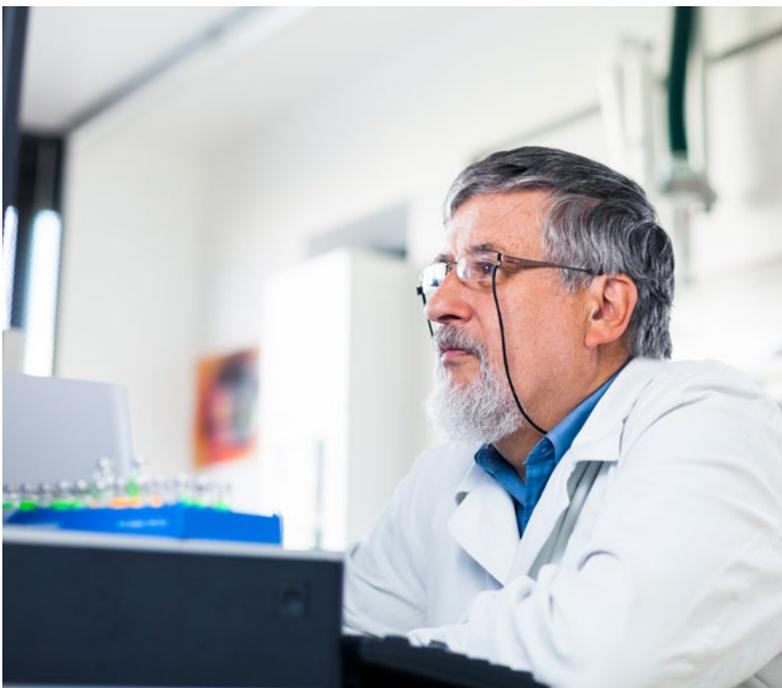
Untersuchungen an einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Frequenzumrichter – Max-Air F12; Investigations on an air water heat pump – WP Max-Air F12

Nr. ILK-B-2-19-1919, 2019

HAUPTMANN, J.; LANGNER, P.; BÖHM, M. B. M.

Schlussbericht: Lifetime-Test LTT 500 am Verdichter COPELAND Scroll R290 YB64K5U

Nr. ILK-B-2-19-1924b, 2019



Luft- und Klimatechnik

KRAUSE, R.

Abschlussbericht: Primäre Lärmreduktion an einem gegenläufigen Axialventilator

Nr. ILK-B-31-18-4242, 2019

KRAUSE, R.; HACKESCHMIDT, K.; HANTSCH, A.

Abschlussbericht: Entwicklung eines Windturbinenventilators

Nr. ILK-B-31-18-4262, 2019

FRIEDRICH, K.; FRIEBE, C.

Bestimmung der Strömungsverhältnisse in einem gegenläufig rotierenden Schaufelgitter für Axialventilatoren

Nr. ILK-B-31-18-4274, 2018, S. 29

SCHRÖDER, S.; BUSCHMANN, M. H.

Modellierung und experimentelle Untersuchungen des Geysirphänomens in einem Thermosyphon

Nr. ILK-B-31-18-4279, 2019

KEMPE, T.

1. Zwischenbericht: NUMNANO Entwicklung von numerischen Methoden zur hochpräzisen Simulation von mit Nanopartikeln beladenen turbulenten Strömungen sowie experimentelle Untersuchungen zur Thematik für die Auslegung von Wärmeübertragern

Nr. ILK-B-31-18-4281, 2019

BUSCHMANN, M. H.

1. Zwischenbericht: Anwendung von Ferrofluiden in Wärmerohren

Nr. ILK-B-31-19-4277, 2019

ROSENBAUM, H.

2. Zwischenbericht: Textiler Wärme- und Feuchteübertrager in KVS-Systemen

Nr. ILK-B-31-19-4284, 2019

BUSCHMANN, M. H.

Abschlussbericht: Anwendung von Ferrofluiden in Wärmerohren

Nr. ILK-B-31-19-4288, 2019

HACKESCHMIDT, K.

Abschlussbericht: Effizienter, kompakter und luftfördernder Wärmeübertrager

Nr. ILK-B-31-19-4290, 2019

STUBBE, D.; FRIEBE, C.; KRAUSE, R.

Abschlussbericht: Induktionsarmer, schallreduzierter Austritt für Luftschleier an Kühlmöbeln

Nr. ILK-B-31-19-4291, 2019

MAI, R.

Abschlussbericht Pulsationsauslass für die Wohnungslüftung

Nr. ILK-B-31-19-4293, 2019

HEGGMANN, L.; FRIEBE, C.

Interdisziplinäre Projektarbeit: Bestimmung der Strömungsverhältnisse im Schaufelkanal eines gegenläufig rotierenden Axialventilators

Nr. ILK-B-31-19-4296, 2019

GRIGOROV, E.; BUSCHMANN, M. H.

Aufbau eines Versuchstandes zur Untersuchung von Diamantanofluiden im Gegenstromwärmeübertrager

Nr. ILK-B-31-19-4306, 2019

QI; CHRISTIAN, F.

Entwurf eines gegenläufig rotierenden Axialrades für einen Diagonalventilator

Nr. ILK-B-31-19-4308, 2019

KALDER, M.; KRAUSE, R.

Großer Beleg: Untersuchungen zu auto-adaptiven Flügelkonturen an Ventilator-schaufeln

Nr. ILK-B-31-19-4309, 2019

KOSEL, F.; KRAUSE, R.

Diplomarbeit: Untersuchungen zu auto-adaptiven Flügelkonturen an Ventilator-schaufeln

Nr. ILK-B-31-19-4310, 2019

KORFMANN, S.; HACKESCHMIDT, K.

Projektarbeit: Untersuchungen am Demonstrator „luftfördernder Wärmerohr Wärmeübertrager“

Nr. ILK-B-31-19-4311, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Jährliche Prüfung eines Staubsaugers der Klasse H auf Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit

Nr. ILK-B-33-19-2288, 2019

HILLEMANN, L.; HEIDENREICH, R.

Charakterisierung des Aerosolbildungspotentials von Hochleistungsschmierstoffen

Nr. ILK-B-33-19-2291, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Untersuchungen zur Beeinflussung miniaturisierter Gas-Sensoren durch mineralische Stäube

Nr. ILK-B-33-19-2292, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Separate determination of penetration rate of filter cartridge for Dust Class „H“ vacuum cleaners

Nr. ILK-B-33-19-2295, 2019

HOLFELD, S.; LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Untersuchungen an einem Filtermedium

Nr. ILK-B-33-19-2296, 2019

HOLFELD, S.; HEIDENREICH, R.

Zwischenbericht: Entwicklung eines Prüfverfahrens und einer Prüfvorrichtung für Klassifizierung von Filterelementen

Nr. ILK-B-33-19-2297, 2019

HOLFELD, S.; LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Untersuchung an einem HEPA Staubsaugerfilter

Nr. ILK-B-33-19-2300, 2019

HEIDENREICH, R.; LAUER, M.

Untersuchung zum Gesamt-Kohlenstoff-Gehalt von Abluftströmungen

Nr. ILK-B-33-19-2301, 2019

HILLEMANN, L.; HEIDENREICH, R.

Prüfung eines Aerosolgenerators nach DIN ISO 16170

Nr. ILK-B-33-19-2304, 2019

HEIDENREICH, R.; MANN, C.

Untersuchungen zur Rauchgaszusammensetzung bei der thermischen Verwertung von Hopfen-Pellets

Nr. ILK-B-33-19-2306, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Bestimmung der Abscheideleistung von 3 Filtermaterialien mit gesengter Oberfläche

Nr. ILK-B-33-19-2308, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Essential filter material test – Determination of penetration rate for quartz dust

Nr. ILK-B-33-19-2296, 2019

HOLFELD, S.; LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Untersuchungen an einem Filtermedium

Nr. ILK-B-33-19-2309, 2019

HEIDENREICH, R.

Stellungnahme zum Zustand der RLT-Anlagen im Gebäudekomplex Sporthallen der Universität Bremen

Nr. ILK-B-33-19-2310, 2019

HEIDENREICH, R.

Langzeitmessungen von Schwefeldioxid-Konzentrationen

Nr. ILK-B-33-19-2311, 2019

MANN, C.; BIRNBAUM, T.

Statistische Untersuchungen zur Partikelbelastung in Reinräumen der TU Freiberg

Nr. ILK-B-33-19-2312, 2019

HERRMANN, S.; HEIDENREICH, R.

Filter characterization of Matifil 75 needlemats

Nr. ILK-B-33-19-2317, 2019

KESSLAU, D.

Strömungstechnische Untersuchung an einem Fräskopf zum Nutzentrennen

Nr. ILK-B-33-19-2318, 2019

HEIDENREICH, R.

Konzeption zur Geruchsabscheidung – Systembeschreibung

Nr. ILK-B-33-19-2319-1, 2019

HEIDENREICH, R.

Stellungnahme zum Zustand der RLT-Anlagen im Gebäudekomplex Sporthallen der Universität Bremen

Nr. ILK-B-33-19-2310, 2019

HEIDENREICH, R.; HERRMANN, S.; MANN, C.

Entwicklung eines modularen Erfassungs- und Abscheidesystems für carbonhaltige Stäube – Zwischenbericht

Nr. ILK-B-33-19-2320, 2019

HILLEMANN, L.; HEIDENREICH, R.

Machbarkeitsstudie zur Bestimmung der Zähl-effizienz eines Partikelspektrometers im A1-Staubfraktionen

Nr. ILK-B-33-19-2310, 2019

HILLEMANN, L.; HEIDENREICH, R.

Bestimmung der Zähl-effizienz eines Partikelspektrometers

Nr. ILK-B-33-19-2323, 2019

BIRNBAUM, T.

Untersuchungen zur Validierung von Messverfahren und Beratung zur Vorbereitung einer Akkreditierung

Nr. ILK-B-33-19-2324, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Bestimmung der Abscheideleistung von 2 kalandrierten Filtermaterialien

Nr. ILK-B-33-19-2325, 2019

HEIDENREICH, R.

Bestimmung des Druckluftverbrauches für ein CIP-Filter-Abreinigungssystem

Nr. ILK-B-33-19-2326, 2019

HOLFELD, S.; LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Investigations at an air inlet filter for a combustion machine

Nr. ILK-B-33-19-2327, 2019

MANN, C.; HEIDENREICH, R.

Materialuntersuchungen bezüglich der Porengrößenverteilung an keramischen Materialien

Nr. ILK-B-33-19-2330, 2019

MANN, C.; BIRNBAUM, T.

Statistische Untersuchungen zur Partikelbelastung in Reinräumen der TU Freiberg

Nr. ILK-B-33-19-2333, 2019

HEIDENREICH, R.

Untersuchungen zu Behaglichkeitskriterien und Luftparametern in einer Fertigungsstätte

Nr. ILK-B-33-19-2335, 2019

KESSLAU, D.

Bestimmung der Abscheideleistung von Filtermaterialien mit gesengter Oberfläche

Nr. ILK-B-33-19-2337, 2019

KESSLAU, D.

Determination of dust loss of a vacuum cleaner for hazardous dusts

Nr. ILK-B-33-19-2341, 2019

HOLFELD, S.; HEIDENREICH, R.

Abschlussbericht: Entwicklung eines Prüfverfahrens und einer Prüfvorrichtung für Klassifizierung von Filterelementen (ABEK-Mehrkomponenten) für Schutzkabinen

Nr. ILK-B-33-19-2342, 2019

HEIDENREICH, R.

Bestimmung der Staubkonzentration an einer Maschinenabsaugung

Nr. ILK-B-33-19-2344, 2019

LAUER, M.; HOLFELD, S.

Untersuchung zur Stabilität einer Filterpatrone

Nr. ILK-B-33-19-2345, 2019

KESSLAU, D.

Determination of dust loss of a vacuum cleaner for hazardous dusts – Penetration rate after equipment with a newly developed filter cartridge

Nr. ILK-B-33-19-2346, 2019

HEIDENREICH, R.

Untersuchung von TENAX-Proben – Spurenanalytik von Sprengölen

Nr. ILK-B-33-19-2347, 2019

HEIDENREICH, R.

Entwicklungsprüfungen für Polfaservliesstoffe zur Abgasreinigung von Biomasse-Verbrennungsanlagen

Nr. ILK-B-33-19-2349, 2019

HOLFELD, S.; LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Untersuchungen zum Differenzdruckverhalten von gesinterten Materialien

Nr. ILK-B-33-19-2352, 2019

HOLFELD, S.; HEIDENREICH, R.

Qualitative und quantitative Bewertung der Partikelemission und der Leitkomponenten aus dem Laserschweißprozess

Nr. ILK-B-33-19-2353, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Untersuchung eines Staubsaugers der Klasse H auf Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit

Nr. ILK-B-33-19-2357, 2019

LAUER, S. H. M.; HEIDENREICH, R.

Determination of separation efficiency of two air filters for compressors against test dust

Nr. ILK-B-33-19-2359, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Externe Prüfung eines Hauptfilterelements für die Abscheidung von Schleifstäuben aus der Fertigung von Rotorblättern

Nr. ILK-B-33-19-2360, 2019

KESSLAU, D.; HEIDENREICH, R.

Prüfung eines Aerosolgenerators nach DIN EN ISO 16170

Nr. ILK-B-33-19-2362, 2019

LAUER, M.; HEIDENREICH, R.

Untersuchung zum Differenzdruckverhalten von gesinterten Materialien

Nr. ILK-B-33-19-2363, 2019

HEIDENREICH, R.

Überprüfung der RLT-Geräte (Anlagen) im Marie-Elisabeth-Lüders-Haus nach einem mehrjährigen Baustopp

Nr. ILK-B-33-19-2368, 2019

Angewandte Werkstofftechnik

SCHNERR, T.

Zwischenbericht: Kombinierte Wasserbad-Hüllen-Dichtheitsprüfung; Interim Report Combined Water Bath-Hood-Leakage Test – 1st Progress Report

Nr. ILK-B-4-18-3624, 2019

GERMANUS, J.

Abschlussbericht: „N₂O (Lachgas) als Ersatzkältemittel für R23“

Nr. ILK-B-4-19-3710, 2019

HANZELMANN, C.

7. Zwischenbericht zum Projekt „Innovative Prozesswärmespeicher mit organischen Latentmaterialien – Prolatent“

Nr. ILK-B-4-19-3729, 2019

GOLDBERG, M.

3. Zwischenbericht zum Verbundprojekt CONTACT-R Gassensor-basiertes Analysesystem zur Bestimmung des Reinheitsgrades von Kältemitteln, Teilvorhaben: Kältemittelbezogene Untersuchungen und Evaluierungen zu Materialien und Komponenten des Analysesystems

Nr. ILK-B-4-19-3736, 2019

HANZELMANN, C.

1. Zwischenbericht: „Herstellung neuartiger Sperrschichten an elastomeren Dichtungsmaterialien zur Verminderung der Permeation des Kältemittels R-744 (CO₂) – PerCO“

Nr. ILK-B-4-19-3745m, 2019

KERKAU, A.

Abschlussbericht: Prüflack für Formiergas-Lecksuchgeräte (Fleck)

Nr. ILK-B-4-19-3764, 2019

HERNSCHIER, W.; RITTSCHKE, A.; TÜRKE, A.; JUNK, M.;
KÜNANZ, R.; SCHUBERT, N.; SCHÜLER, F.

Abschlussbericht zum Projekt „Entwicklung
eines Systems zur prädiktiven Fehlererken-
nung in PV-Anlagen“, Teilprojekt „Entwick-
lung Sensorik und Schnittstellen“

Nr. ILK-B-4-19-3786, 2019

RITTSCHKE, A.

Zwischenbericht: Energieeffizienz und op-
timierte Betriebsführung von gewerblichen
Kälteanlagen (EnBeKa II), Teilprojekt: Metho-
den der Fehlererkennung und Diagnose

Nr. ILK-B-4-19-3791, 2019

Angewandte Energietechnik

RICHTER, L.

Vorbereitung Vermessung Testmodell Riesel-
absorber Projekt LAKA

Nr. ILK-B-5-19-0464, 2019

STEFFAN, C.

4. Zwischenbericht: PTJ-Projekt WÜSST – Ent-
wicklung und Erprobung eines Flüssigeis-
Wärmeübertragers zur Effizienzsteigerung
von Kälteversorgungssystemen

Nr. ILK-B-5-19-0467, 2019

SAFARIK, M.

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

Nr. ILK-B-5-19-0469, 2019

RICHTER, L.

3. Zwischenbericht: Entwicklung und Erpro-
bung einer direkt luftgekühlten Wasser-
Lithiumbromid-Absorptionskälteanlage mit
adiabater Luftvorkühlung und einer Kälte-
leistung von 50 kW

Nr. ILK-B-5-19-0470, 2019



RICHTER, L.

**Abschlussbericht: Asymmetrische Platten-
wärmeübertrager für Wasser-Lithium-
bromid-Absorptionskälteanlagen**

Nr. ILK-B-5-19-0471, 2019

MAURER, M.; STEFFAN, C.

**Entwicklung und Erprobung eines Versuchs-
standes zur Untersuchung von Flüssigeis-
strömungen im Eintrittsbereich von Platten-
wärmeübertragern**

Nr. ILK-B-5-19-0473_Praktikumsbericht, 2019

RICHTER, L.

**Ergebnisse der Vermessung Testmodell
luftgekühlter Rieselfilmwärmeübertrager
für AKM Typ LAKA**

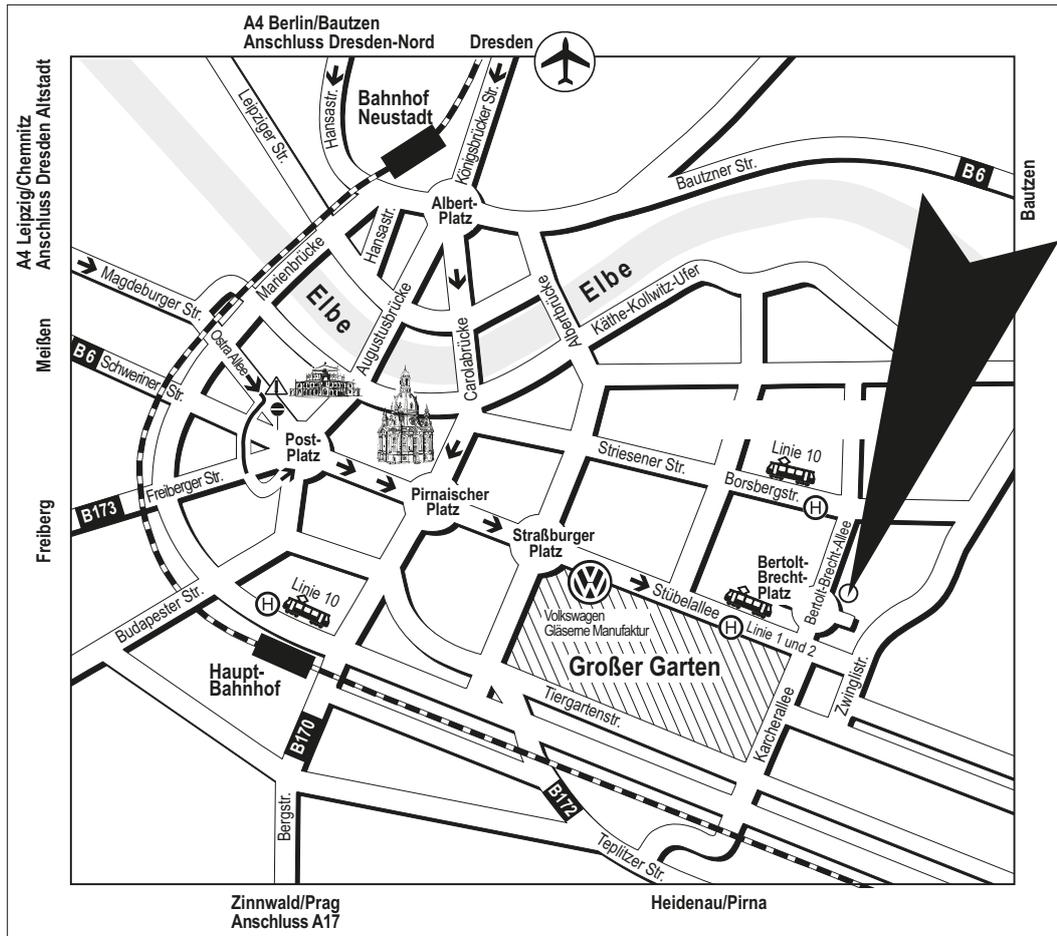
Nr. ILK-B-5-19-0476, 2019

RASCHKE, P.; STEFFAN, C.

**Partikelgrößenabhängige Separation und
Entnahme von Flüssigeis zum prozesssicheren
Betrieb von Kälteverteilsystemen**

Nr. ILK-B-5-19-0480, 2019

Anreise



Bildverzeichnis

Titel © sakura/stock.adobe.com; S. 4 © istock.com/matdesign24; S. 12 © istock.com/colinhui;
 S. 34 © istock.com/tiolo; S. 36 © OlegDoroshin/stock.adobe.com; S. 55 © serjob74/stock.adobe.com;
 S. 59 © faraktinov/stock.adobe.com; S. 93 © istock.com/simpson33; S. 95 © pressmaster/stock.adobe.com;
 S. 113 © Janni/stock.adobe.com; S. 121 © rcfotostock/stock.adobe.com; S. 131 © istock.com/siraanamwong;
 S. 134 © Right 3/stock.adobe.com; S. 137 © CL-Medien/stock.adobe.com; S. 139 © istock.com/blazic27;
 S. 140 © istock.com/nortonrsx; S. 142 © lightpoet/stock.adobe.com; S. 148 © H_Ko/stock.adobe.com

ILK Dresden



Institut für Luft- und Kältetechnik
Gemeinnützige Gesellschaft mbH

Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden
Telefon 0351 / 40 81-510
Telefax 0351 / 40 81-525
www.ilkdresden.de

