



**MIT WISSENSCHAFT
DER ZEIT VORAUS**



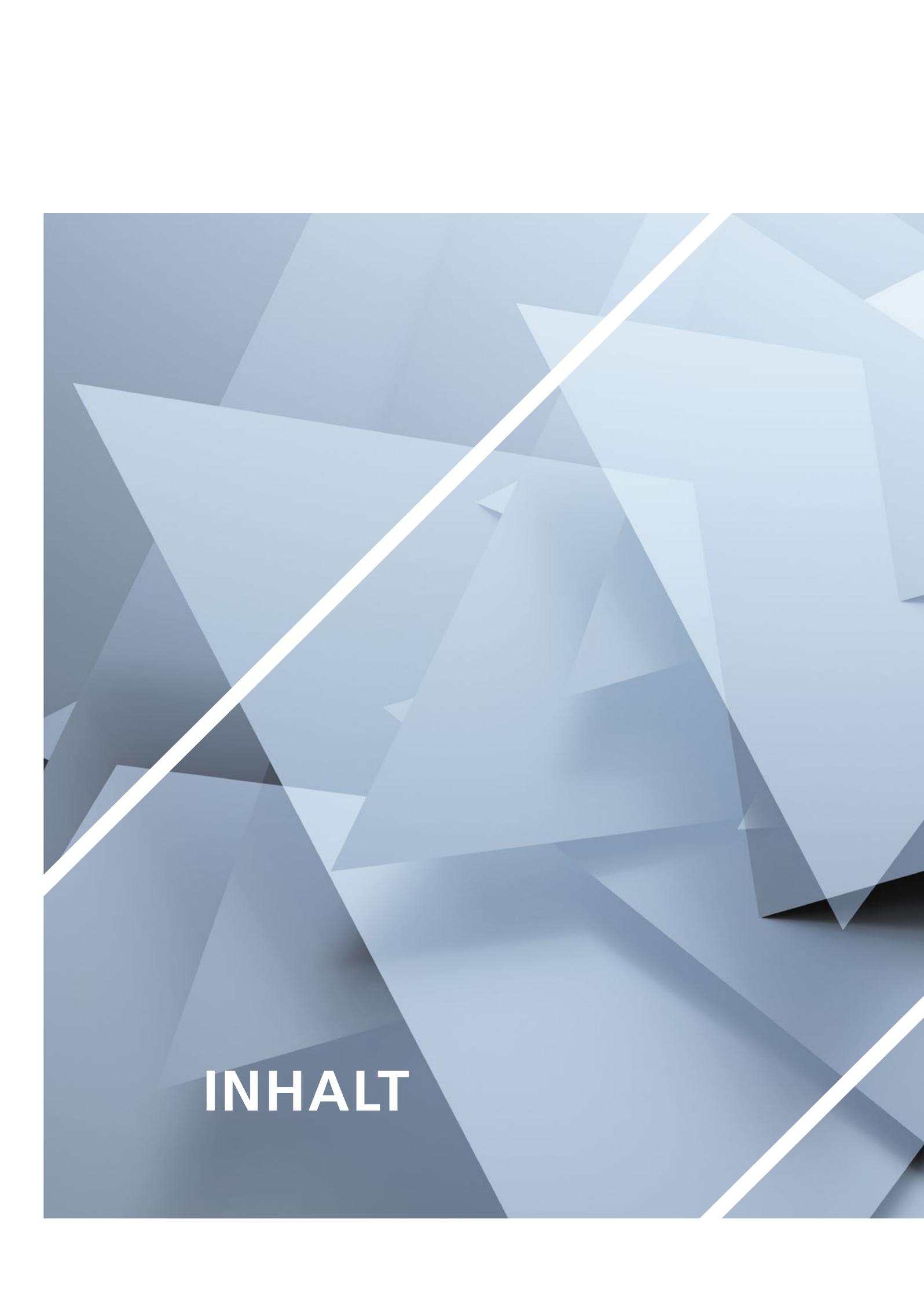
**FORSCHUNGSBERICHT
2020**



FORSCHUNGSBERICHT

2020

MIT WISSENSCHAFT
DER ZEIT VORAUS



INHALT

Inhalt

6 Vorwort

Institut

10 Philosophie

11 Organisation

12 Neue Lösungen auf den Weg bringen

13 Geschäftsfelder des ILK Dresden

Hauptbereiche

15 Kryotechnik- und Tieftemperaturphysik

35 Kälte- und Wärmepumpentechnik

57 Luft- und Klimatechnik

89 Angewandte Werkstofftechnik

101 Angewandte Energietechnik

Wissenswertes

116 Verbände und Organisationen

117 Veranstaltungen

118 Publikationen

120 Vorträge

MIT WISSENSCHAFT DER ZEIT VORAUS

Das Jahr 2020 war für die Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH das 30. Geschäftsjahr als freies, unabhängiges, gemeinnütziges Forschungs- und Technologieunternehmen. Mit 144 Mitarbeitern (136 VbE) in 5 Technologiebereichen und einem Jahresumsatz von ca. 14,4 Mio. € ist das ILK Dresden eine der größten gemeinnützigen 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 Dresden. Mit seinen Technologien:

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

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

Unser breiter Anspruch zur wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung hat im Jahr 2020 dazu geführt, dass wir viele Beiträge leisten

konnten, um als Gesellschaft durch die Corona-bedingte Pandemie zu kommen. Sowohl bei der Reduzierung der Infektionsgefahr in Räumen als auch bei der Verteilung und kältetechnischen Handhabung der Impfstoffe war die Expertise der Beschäftigten des ILK Dresden gefragt.

Im Jahr 2020 wurden 78 öffentlich geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben am ILK Dresden 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 Dresden für das Jahr 2020 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 2020 und bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ILK Dresden 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
- 12 Neue Lösungen auf den Weg bringen
- 13 Geschäftsfelder des ILK Dresden

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 Dresden 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 Technologien des ILK Dresden dar.

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

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

Mit der Dresdner Wissenschaftstradition, langjährigen Erfahrungen des ILK Dresden und der Dynamik des Aufbruchs in Sachsen schaffen wir Innovationen und Leistungen für die Wirtschaft und Gesellschaft. Jeder Mitarbeiter des ILK Dresden sucht nach neuartigen Lösungen und nutzt das Potential des gesamten Unternehmens. Jeder einzelne Mitarbeiter und alle gemeinsam stehen für das ILK Dresden, 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.

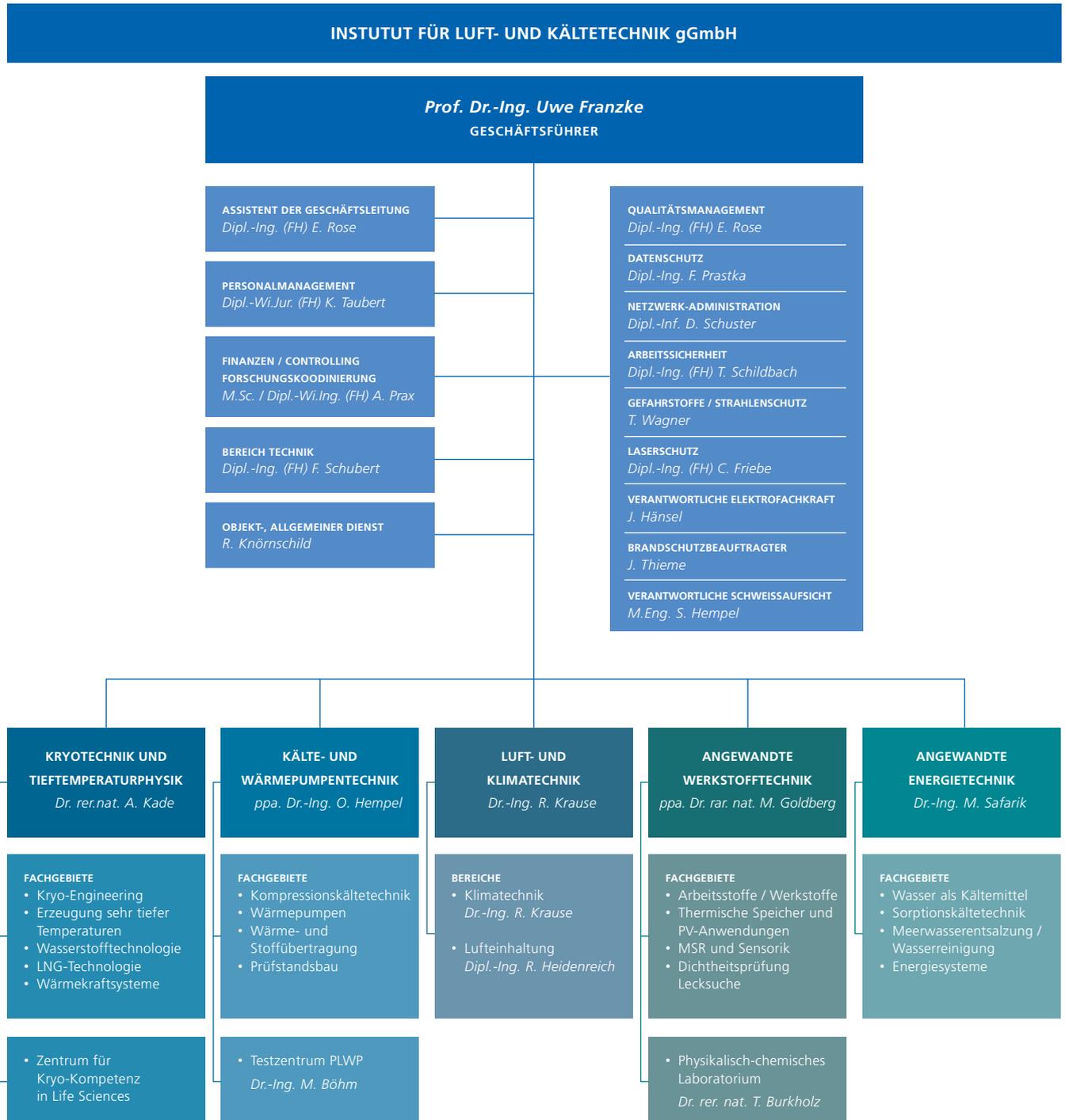
„Ein Weg entsteht, indem man ihn geht.“

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 Dresden entlastet die Technologiebereiche und senkt die Kosten.

MIT WISSENSCHAFT DER ZEIT VORAUSS.

Organisation



Neue Lösungen auf den Weg bringen

Als Partner der Industrie orientiert sich das ILK Dresden an den Bedürfnissen der Kunden und leistet einen Beitrag zu deren wirtschaftlichen Wertschöpfung.

*Kreativität und
Interdisziplinarität
sind die Basis
erfolgreicher
Projektbearbeitung.*

Durch seine Forschungsaktivitäten entwickelt das ILK Dresden neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen oder optimiert Bestehendes. Dafür findet das ILK Dresden zukunftsweisende technische Lösungen bzw. transferiert Technologien aus den öffentlichen Projektforschungen in Wirtschaft und Gesellschaft.

Das ILK Dresden setzt Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf unterschiedlichen Stufen im Lebenszyklus von Technologien um. Je nach Auftrag und Bedarf des Partners oder dem Reifegrad einer Technologie bietet das ILK Dresden unterschiedliche Leistungen an.

Das ILK Dresden unterstützt seine Partner mit der Erfahrung von mehr als 150 Wissenschaftlern und Mitarbeitern in einem breit gefächerten Bereich.

Unsere Arbeit ist auf die praktischen Bedürfnisse der Kunden ausgerichtet. Individualität und Professionalität der Projektbearbeitung sind die Basis unseres Handelns.

AKKREDITIERTE LABORE

In Ergänzung zu unseren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bieten wir Unternehmen und Forschungseinrichtungen verschiedene Mess-, Prüf- und Zertifizierungsverfahren an. Dazu betreiben wir zwei Prüflaboratorien nach DIN EN 17025:218.

UNSERE INFRASTRUKTUR

Wir verfügen über eine hervorragende technische Infrastruktur. Über 3.000 m² Versuchsfläche und 25 physikalisch-chemische Labore sowie hochmoderne Geräte und Anlagen sind Grundlage unserer Kompetenz. Beispiele dafür sind:

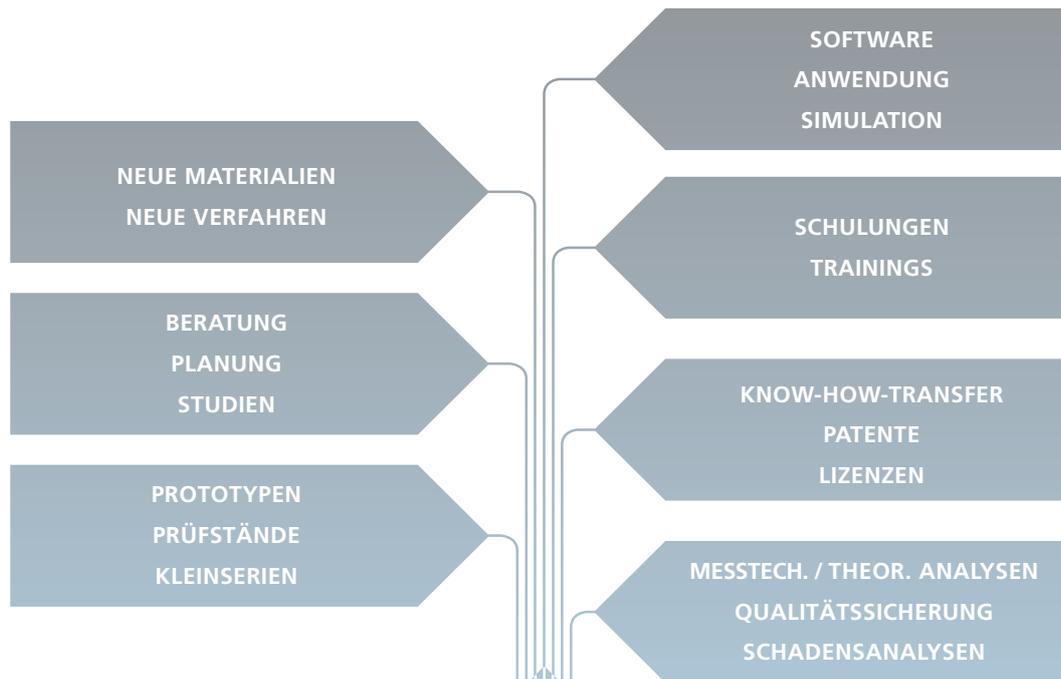
- Wasserstofflabor
- Helium-Infrastruktur – 100 W@4,5 K
- S1-Labor für biologische Arbeiten inkl. Histologie
- Wärmeübertragerprüfstände
- Kalibrierprüfstand für Temperatursensoren
- 21 m² Reinraum Klasse ISO 7
- Leistungsprüfstände Kältetechnik
- Ventilatorprüfstände
- Akustiklabor mit Hall- und reflexionsarmem Raum
- Raumströmungslabor
- Laserlabor zur Strömungsmechanik
- Filtertestlabor
- Flüssigeis-Versuchsfeld (Ice-Slurry)

WISSEN WEITERGEBEN

Das ILK fühlt sich insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen verbunden. Der Transfer von Forschungsinhalten und Know-how erfolgt sowohl durch Kooperationsprojekte, Workshops nach Kundenanforderung als auch im Rahmen von wissenschaftlichen Veranstaltungen.

Mitarbeiter des ILK Dresden beteiligen sich aktiv in Normungsgremien des DIN und VDI.

Geschäftsfelder des ILK Dresden



- Erzeugung sehr tiefer Temperaturen
- Wasserstoff- und LNG-Technologie
- Kryokühler und Wärmekraftsysteme
- Autonome Energiesysteme, PV-Anwendungen
- Komplexe Energiesysteme, Abwärmenutzung, Sektorenkopplung
- Wärme- / Kältespeicherung
- Wärmepumpen
- Kompressions- und Absorptionskältetechnik
- Arbeitsstoffe der Kälte- und Klimatechnik (Kältemittel, Öle, Glykole, Solen)
- Komponenten der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik (Wärme- u. Stoffübertrager, Ventilatoren, Filter, u.a.)

- Energieeffiziente Gebäude
- Betriebsführung gebäudetechnischer Anlagen
- Komponenten der Weißen Ware
- Automotive-Bereich
- Luftreinhaltung, Emissionen und Immissionen
- Meerwasserentsalzung und Wasserreinigung
- Tiefe Temperaturen im Bereich der Biologie und Medizin
- Industrie- und Gewerbekälte
- Sportstätten (Eislaufen, Ski, Bob, u.a.)

Ihren direkten Ansprechpartner finden Sie auf www.ilkdresden.de/kontakte.

A woman with blonde hair tied back, wearing safety glasses and a white lab coat with blue accents, is looking intently at something off-camera. She is in a laboratory or industrial setting. A man in a similar lab coat is partially visible next to her. The image is framed by a white diagonal line.

**KRYOTECHNIK UND
TIEFTEMPERATUR-
PHYSIK**



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 16 **Nachweis der Lagerbeständigkeit von Primärpackmitteln für das Kryobanking**
- 18 **Zertifizierbare Verbindungsarten – Untersuchungen zu lösbaren und nichtlösbaren Füge-technologien**
- 20 **Innovative Fertigungstechnologien für Kryosorptionspumpen**
- 22 **Apparatur und Verfahren zur Degradationsprüfung (AVeD)**
- 24 **Neue Wege zur ^3He -Extraktion aus natürlichem Helium**
- 26 **Abwärmerecycling mit einem mehrzyklischen Fluidyne-Motor zur Erzeugung elektrischer Energie**
- 28 **Entwicklungen kryotechnischer Anlagen**
- 30 **FuE-Dienstleistungen 2020 im Bereich tiefer Temperaturen**
- 32 **Normungsarbeit 2020**

Nachweis der Lagerbeständigkeit von Primärpackmitteln für das Kryobanking

Einsatzbereich

- Biobanking
(Langzeitlagerung biologischer Proben)
- Materialprüfung
- Thermische Wechselbeanspruchung

ZIELSTELLUNG

Während des Forschungsvorhabens wird die Eignung verschiedener Packmittel (beispielsweise Kryoröhrchen) für die Langzeitlagerung biologischer Proben untersucht. Dabei werden Zugfestigkeit und Glasübergangstemperatur von echtzeitgelagerten Packmitteln untersucht. Zusätzlich soll durch Temperaturwechselbelastung eine künstliche Alterung hervorgerufen werden. An diesen Proben werden Dichtheitsuntersuchungen durchgeführt, um die Relevanz der Materialveränderungen einzuschätzen. Durch die Auswertung der Daten von frischen, unter realen Bedingungen gelagerten und künstlich gealterten Packmitteln soll ein Zusammenhang zwischen dem Verlust der Dichtheit und der Lagerdauer dargestellt werden. Dadurch könnten verlässliche Aussagen über das nachlassende Dichtverhalten bei Langzeitlagerung ohne eine zeitintensive Echtzeitprüfung getroffen werden.

VORGEHEN

Zunächst wurden durch verschiedene Biobanken Prüflinge bereitgestellt, die unter dokumentierten Temperaturen bis zu 30 Jahren gelagert wurden. Dazu gehörten neben Röhrchen mit Schraubverschluss auch sogenannte Straws. Diese trinkhalmähnlichen Hohlrohre werden mit Probenmaterial befüllt und an den Enden verschweißt. Beide Packmitteltypen wurden mittels Zugprüfung (vgl. Bild 1) und kalorimetrischen Untersuchungen systematisch charakterisiert und bilden die Basis der Arbeit. Beispielsweise sinkt die Zugfestigkeit der geprüften Straws von 16,4 N auf 14,5 N nach 25 Jahren Lagerdauer bei -80 °C.

Parallel zu den Untersuchungen wurde eine Zyklierkammer ausgelegt und konstruiert, um eine beschleunigte künstliche Alterung zu simulieren. Ähnlich wie bei der Prüfung der Langzeitstabilität von Kunststoffen gegen Wärme oder UV-Strahlung werden härtere Prüfbedingungen gewählt, um im Vergleich zum realen Einsatz eine schnellere Veränderung der Eigenschaften zu erreichen. In diesem Fall wurden die Packmittel (Röhrchen und Straws) durch eine Vielzahl von Temperaturwechsel in einem Bereich zwischen +37 °C und -180 °C mit definierten Abkühl- und Heizraten sowie unkontrollierten Raten zwischen +20 °C und -80 °C beansprucht. Die Kammer (vgl. Bild 2) ist doppelwandig ausgeführt und verfügt über eine Vakuuminolation, eine pyramidenförmige Strömungsführung zur gleichmäßigen Temperierung aller Proben auf der Stellfläche und eine Versorgung mit flüssigem Stickstoff, um die geforderte tiefe Temperatur und entsprechende Abkühlraten von bis zu 60 K/min zu erreichen.

Um eine Korrelation zwischen Materialeigenschaften und Dichtheit zu finden, wurden frische und thermisch beanspruchte Packmittel verschie-

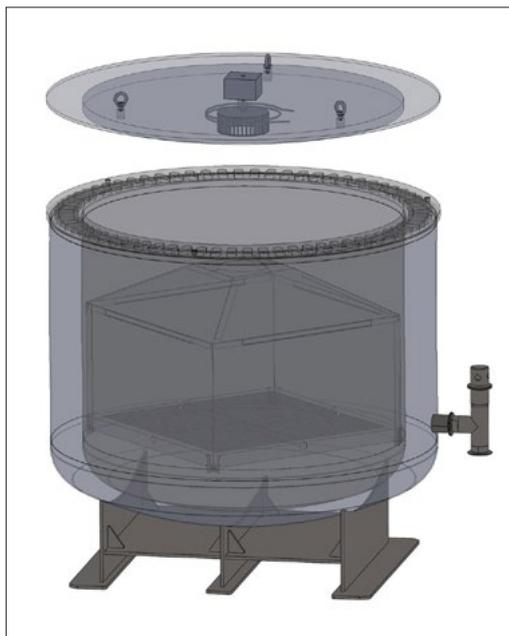


Bild 1: 3D-Darstellung der Zyklierkammer in doppelwandiger Ausführung mit Isolationsvakuum, strömungsführenden Elementen (Pyramide) und großem Zugang durch abnehmbaren Deckel

Projektleitung

M. Sc. René Kretschmer

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

denen Dichtheitsprüfmethoden unterzogen. Dazu gehören unter anderem die Prüfung auf Dichtheit gegen CO_2 , der den Transport gefrorener Proben auf Trockeneis nachbilden soll. Die Prüfung auf Dichtheit bei mehr als 95 kPa Unterdruck im Temperaturbereich zwischen -40 °C und $+50\text{ °C}$, wie sie für den Transport gefährlicher Güter auf der Straße oder per Flugzeug vorgeschrieben ist, wurde gravimetrisch ausgewertet und dient ebenfalls der Dichtheitsbewertung der Packmittel. Dabei zeigte sich, dass bereits im fabrikneuen Zustand nicht alle verwendeten Packmittel die Dichtheitskriterien erfüllen. Weiterhin konnte abhängig vom Hersteller, eine Zunahme undichter Prüflinge nach der Temperaturwechselbeanspruchung nachgewiesen werden.

Zur Visualisierung möglicher Schäden (Risse, Löcher) wurden projektbegleitend rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen an verschiedenen Positionen des Korpus der Röhrcen angefertigt und ausgewertet. Dabei konnten keine besonderen Auffälligkeiten ermittelt werden. Dies deutet darauf hin, dass das Dichtverhalten maßgeblich von der Dichtwirkung zwischen Deckel und Korpus am Gewinde der Röhrcen beeinflusst wird.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Die Langzeitlagerung der Packmittel führt zu einer Verminderung der Zugfestigkeit und zu einer Veränderung des Verhaltens am Glasübergang. Durch die künstliche Alterung lassen sich die genannten Effekte ebenfalls beobachten. Ein nachlassendes Dichtverhalten konnte nachgewiesen werden.

Nunmehr muss anhand der Daten ermittelt werden, ob eine Korrelation zwischen den Daten nach Echtzeitlagerung und beschleunigter Alterung durch Temperaturwechselbelastung



Bild 2: Röhrcen während der Zugprüfung zur Bestimmung der Zugfestigkeit

besteht. Bisher deuten die Ergebnisse darauf hin, dass eine potentielle Gefahr für die Integrität der Proben durch nachlassende Dichtheit gegeben ist.

FAZIT / AUSBLICK

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass nicht alle Packmittel den thermischen Belastungen standhalten. Bei einzelnen Röhrcen sind Risse wahrnehmbar. Durch physikalische Prüfverfahren und Dichtheitsprüfungen lassen sich teilweise signifikante Unterschiede zwischen frischen und gealterten Prüflingen erkennen. Eine daraus resultierende Schädigung des eingelagerten Materials soll durch weitere Prüfungen untersucht werden.

Zertifizierbare Verbindungsarten – Untersuchungen zu lösbaren und nichtlösbaren Fügetechnologien

Einsatzbereich

- Kryotechnische Anlagen und Versuchsaufbauten
- Fertigung, Prüfung, Montage und Inbetriebnahme

ZIELSTELLUNG

Die Anwendungen der Kryo- und Vakuumtechnik stellen besondere Anforderungen an die Fügetechnologien. Zur Ermittlung der geeigneten Verbindungstechnologie müssen die Anwendungsparameter wie Temperatur, Druck (Über- und Unterdruck), Leckrate, Werkstoffe, Oberflächenbeschaffenheit, Strahlungsbeständigkeit, magnetische Permeabilität usw. berücksichtigt werden. Aufgrund steigender Qualitätsanforderungen, auch im nicht durch Normen geregelten Bereich, müssen die Fügetechnologien immer mehr einer Zertifizierung bzw. Qualifizierung unterzogen werden, z.B. nach Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU. Dies erfordert hinreichende Auslegung und Prüfung. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse führen zu einer Erhöhung der Prozess- und Produktqualität von Forschungsanlagen und tragen somit zum sicheren und langfristigen Betrieb bei.

VORGEHEN

Im Industriesektor werden Anforderungen an das Endprodukt klar definiert und mit Hilfe von diversen Vorschriften umgesetzt. Dabei wird, um teure Anlagenausfälle zu vermeiden, auf ein „Baukastensystem“ mit bewährten Verbindungstechnologien zurückgegriffen. In der Forschung und Entwicklung hingegen stehen Studien zur Machbarkeit im Vordergrund. Naturwissenschaftliche Grundlagen stehen vor ingenieurtechnischer Umsetzung. Die Umsetzung gestaltet sich dementsprechend anspruchsvoll und kann nicht immer mit bewährten Methoden realisiert werden. Die daraus entstandenen Verbindungstechnologien sollen evaluiert und einer Baumusterzertifizierung unterzogen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens besteht in der Erforschung neuer Ansätze für Fügeverfahren. Im Fokus stehen stoff-, form- und kraftschlüssige Verbindungen. Zu nennen wären

Projektleitung

M.Eng. Sebastian Hempel

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

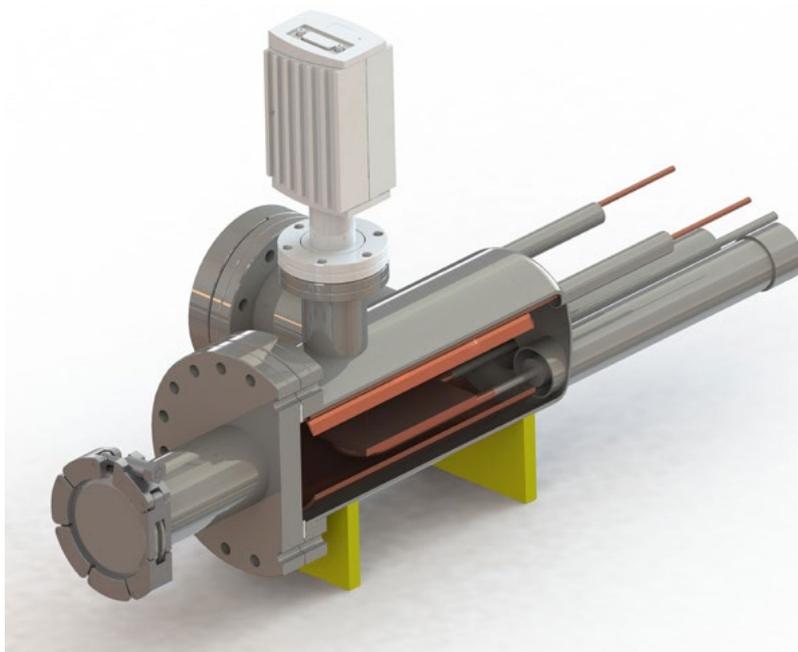


Bild 1: Versuchsaufbau zur Untersuchung von Materialien und Verbindungen

hier beispielsweise Schweiß- und Lötverbindungen oder Klemmring- und Flanschschnittstellen.

Um die Forschungsziele zu erreichen, sind mehrere Schritte notwendig. Am Anfang stehen theoretische Betrachtungen, auch zu Werkstoffen und Werkstoffkombinationen (Stahl - Kupfer - Aluminium). So soll beispielsweise geklärt werden, welchen Einfluss spezielle Bauteilgeometrien bei zyklischer Temperaturbeanspruchung auf die Dichtheit haben. Hierbei kommen softwaregestützte Berechnungs- und Auslegungsprogramme (z.B. Ansys FEM) zur Anwendung. Des Weiteren sind Vorüberlegungen zu Schweiß- und Lötzusätzen erforderlich. Besonders der Lötprozess ist nicht so formal geregelt wie der Schweißprozess. Prozessparameter und Anwendungsgrenzen basieren oftmals auf Erfahrungen und Versuchen. Der nächste Schritt ist die Herstellung der Fügeverbindungen im ILK Dresden selbst oder bei externen Fachfirmen (z.B. Laserschweißen). Hier werden die Fertigungsprozesse überwacht (z.B. Messung des Ferritgehaltes zur Ermittlung magnetischer Eigenschaften) und dokumentiert. Die Reproduzierbarkeit qualitätsgerechter Verbindungen steht im Fokus. Anschließend erfolgt die zerstörungsfreie und zerstörende Prüfung der vielversprechendsten Fügeverbindungen. Zu nennen sind hier Durchstrahlungsprüfungen oder Makroschliffe. Da für die Sonderfälle der Kryotechnik oft keine Normen und Regelwerke vorhanden sind, müssen ebenfalls sinnvolle Prüfparameter definiert werden. Der letzte Schritt ist die Herstellung eines Baumusters mit zertifizierten Verbindungen unter Mitwirkung eines qualifizierten Fertigungsbetriebes und einer benannten Prüfstelle. Dadurch wird der Kreis, beginnend bei der Berechnung und Auslegung, über die Herstellung bis hin zur Prüfung und Zertifizierung einer Verbindungstechnologie geschlossen.



Bild 2: Lasergeschweißte Proben unterschiedlicher Materialien

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Bisher wurden theoretische Untersuchungen durchgeführt, Fügeverbindungen angefertigt und Konzepte zu neuen Fügetechnologien erstellt. Hervorzuheben wären Ansätze mit Rotorichtungen in Heliumtransferleitungen in Kombination mit Kupferdichtungen. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend, die Untersuchungen zum Langzeitverhalten stehen noch aus. Eine Herausforderung, welche durch die Einstellung des Fügeprozesses gelöst werden konnte, war das manuelle Lötten verschiedener Werkstoffkombinationen.

FAZIT / AUSBLICK

Das Forschungsvorhaben wird, nach derzeitiger Einschätzung, einen großen Beitrag zur Prozess- und Produktsicherheit beitragen. Des Weiteren erschließen sich auch neue Forschungsideen wie z.B. der Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Kryo- und Vakuumtechnik.

Innovative Fertigungstechnologien für Kryosorptionspumpen

Einsatzbereich

Kryotechnische (Groß-)Anlagen und Versuchsaufbauten im Hochvakuum

ZIELSTELLUNG

Durch Wechselwirkung von Gasmolekülen mit hinreichend tiefkalten Flächen verlieren Moleküle einen Großteil ihrer kinetischen Energie, wodurch sie beispielsweise durch Kondensation und / oder Adsorption gebunden werden. Dieses Verhalten wird u. a. in sogenannten Kryosorptionspumpen zur Erzeugung niedriger Vakuumdrücke genutzt. Bei der Kühlung solcher Kryosorptionsysteme kommt es auf ein sehr gutes Wärmeübertragungsverhalten an. Die Ausführung der Verbindung zwischen Rezipient und Kühlmedium wird gegenwärtig mit einem aufwändigen, kostenintensiven und risikobehafteten Fertigungsverfahren realisiert. Ziel des FuE-Vorhabens ist die Entwicklung einer neuen Fertigungstechnologie, die diesen Nachteil nicht aufweist. Kryosorptionspumpen werden insbesondere zur Erhöhung der UHV-Pumpleistung eingesetzt. Eine typische Anwendung stellen Speicherringe von Großforschungsanlagen dar, welche einen extrem geringen, statischen Restgasdruck während ihres Langzeitbetriebs benötigen.

VORGEHEN

Innerhalb des Forschungsvorhabens soll für Kryosorptionsysteme eine Edelstahlverbindung zwischen Rezipient und Kühlmedium entwickelt werden, die zumindest die gleiche Wärmeübertragungsleistung bietet wie die derzeitige Ausführung mit Kupferbeschichtung und zugleich wesentlich einfacher und damit schneller sowie kostengünstiger zu fertigen ist.

Wesentliche Aufgabe ist dabei die experimentelle Bestimmung der unbekanntenen inneren Wärmeübergangswiderstände und die Entwicklung eines Verfahrens, um den Wert dieser signifikant zu verringern.

Edelstahl ist gegenüber Kupfer insbesondere durch seine schlechtere Wärmeleitfähigkeit hinsichtlich thermisch gut leitender Verbindungen benachteiligt. Diesem Umstand soll innerhalb des Vorhabens mit der gezielten Kaltverschweißung, und damit der teilweisen Herstellung eines Stoffschlusses in der Verbindung, Rechnung getragen werden. Der geringen thermischen Leitfähigkeit des Edelstahls soll mit möglichst geringen Wandstärken begegnet werden. Hier ist die größere Festigkeit von Edelstahl gegenüber Kupfer von Vorteil.

Um das Wärmeübertragungsverhalten der zu entwickelnden Edelstahlverbindung gegenüber der gegenwärtigen Ausführung in Kupfer bewerten zu können, sind zwei verschiedene Szenarien zu unterscheiden: Zum einen der zeitabhängige Fall der Einkühlung des Kryosorptionsystems auf Betriebstemperatur und zum anderen der stationäre Zustand, bei dem lediglich thermische Isolationsverluste und die Sorptionswärme kompensiert werden müssen. Während im stationären Zustand die übertragbare Leistung nur vom Wärmedurchgang und der Temperaturdifferenz abhängt, ist im Einkühlfall die dafür zur Verfügung stehende Zeit von Interesse. Wird die Anlage beispielsweise nur einmal jährlich auf Betriebstemperatur gebracht, ist

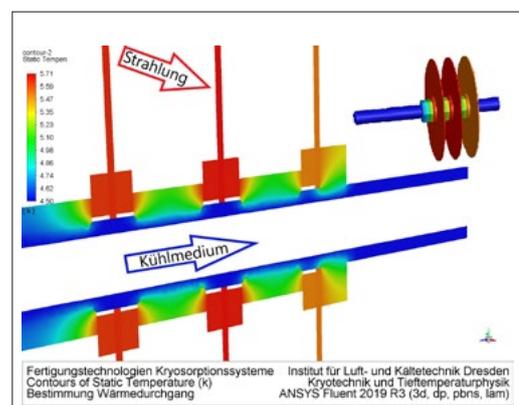


Bild 1: Numerisches Modell der Temperaturverteilung im Versuchsmuster

Projektleitung

Dipl.-Ing. Sandra Tippmann

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

eine lange Einkühlzeit eher akzeptabel als bei einer täglichen Einkühlung.

Innerhalb des Forschungsprojektes sollen die inneren Wärmeübergangswiderstände durch Messungen bestimmt werden, um die Ausführung des Kryosorptionssystems in Edelstahl zu garantieren. Dabei werden die Anzugsmomente an den einzelnen Schraubverbindungen soweit erhöht, bis es zur Kaltverschweißung kommt. Es ist beabsichtigt, auch gezielt den Zustand der Kaltverschweißung herbeizuführen. Die Messungen werden für den stationären Zustand durchgeführt. Sind die Wärmeübergangswiderstände bestimmt, lassen sich diese in ein numerisches Modell integrieren, mit dem dann auch ein zeitabhängiges Abkühlverhalten bzw. der Ausheizvorgang simuliert werden kann.

Im Vorhaben soll ein Versuchsmuster insbesondere hinsichtlich der Wärmeübergänge charakterisiert werden, wobei ergänzend auch numerische Berechnungen eingesetzt werden.

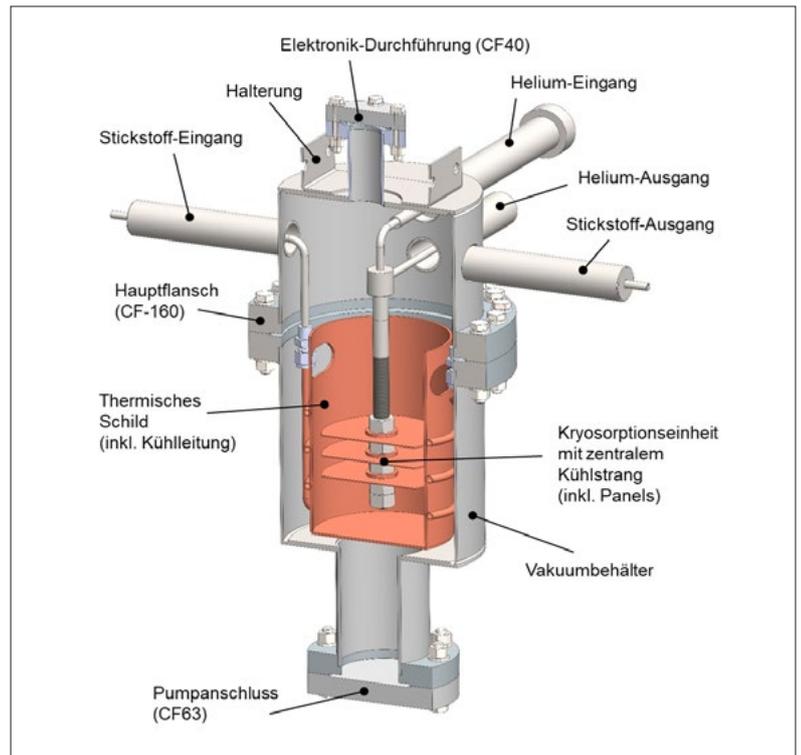


Bild 2: CAD-Modell des Versuchsmusters des Kryosorptionssystems mit Anschlüssen

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Zunächst erfolgte die Berechnung der Sorptionswärmen, bevor im Anschluss die Untersuchungen zur Kaltverschweißung / Rohrwanddicke durchgeführt wurden. Die Versuche mit ausgewählten Standardbauteilen (V2A und V4A) zeigten bis zu einem Anzugsmoment von 100 Nm keinerlei Kaltverschweißung. Als entscheidender und alleiniger Einflussfaktor konnten hier die Fertigungstoleranzen der Standardbauteile identifiziert werden. Zur Bestimmung des Wärmedurchgangs und der Temperaturverteilung an den kryogenen Bauteilen wurde ein numerisches Modell erstellt (Bild 1). Zudem erfolgte die Konstruktion eines CAD-Modells des Versuchsmusters des Kryosorptionssystems (Bild 2), das sich derzeit in der Fertigung befindet.

FAZIT / AUSBLICK

Das Forschungsvorhaben wird einen wesentlichen Erkenntnisgewinn auf diesem spezifischen Gebiet der Kryo- und Vakuumtechnik liefern. Daraus resultiert eine Markteintrittschance insbesondere für Großforschungsanlagen weltweit beziehungsweise die Möglichkeit zum Ausbau bestehender Kooperationen.

Die Erkenntnisse tragen dazu bei, z.B. Speicherringe von Großforschungsanlagen, im Hinblick auf die Qualität des Vakuums, funktionssicherer auslegen und herstellen zu können.

Apparatur und Verfahren zur Degradationsprüfung (AVeD)

Einsatzbereich
Entwicklung von
Medizinprodukten

ZIELSTELLUNG

Die primäre Zielstellung des Forschungsprojektes ist die Entwicklung einer Prüfapparatur und eines zugehörigen Prüfverfahrens zur quantitativen Ermittlung der Degradationskinetik biologisch abbaubarer Medizinprodukte.

Apparatur und Verfahren sollen dazu geeignet sein, das natürliche Abbauverhalten resorbierbarer Materialien unter festgelegten produktspezifischen Applikationsbedingungen in der Zellkulturforschung und im menschlichen Körper genau und reproduzierbar nachzustellen. Eine hohe Flexibilität von Apparatur und Prüfverfahren soll die Entwicklung standardisierter Prüfmethode auf Basis frei implementierbarer und skalierbarer Prüfbedingungen ermöglichen.

VORGEHEN

Applikationsort resorbierbarer Medizinprodukte ist meist ein mehr oder minder gut vaskularisiertes Gewebeareal des menschlichen Organismus, vorzugsweise im Bereich des Knochens, Knorpels oder Bindegewebes. Die dort herrschenden Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Gewebedichte und Durchblutung lassen sich meist gut im Tiermodell abbilden. Tierversuche sind jedoch aufwendig, teuer und genehmigungspflichtig. Sie lassen sich daher im Rahmen einer Produktentwicklung nur in sehr begrenztem Umfang durchführen. Auch aus ethischer Sicht ist es wünschenswert, auf Tierversuche zu verzichten und notwendige Abbauprüfungen mit Hilfe geeigneter Technik und Verfahren im Labor durchzuführen. Die hinreichende Abbildung der komplexen Abbaumechanismen am Applikationsort stellt dabei eine große Herausforderung dar. Gelöst wird das Problem durch eine modulare Prüfapparatur. Es

handelt sich um einen mehrteiligen apparativen Aufbau, in welchem ein flüssiges Prüfmedium unter definierten Bedingungen im Kreislaufverfahren über das zu prüfende Medizinprodukt geleitet wird. Zu Beginn der Degradationsprüfung ist ein definiertes Volumen an Prüfmedium in einem Vorlaufgefäß gespeichert. Von dort wird es über eine Dosierpumpe auf einen Düsenkopf geführt, der sich in einer geschlossenen Prüfkammer befindet. Die Prüfkammer ist ein mehrteiliges zylindrisches Reaktionsgefäß, in welchem ein austauschbarer Probenhalter montiert ist, auf dem ein Prüfkörper (definierte Probe des Medizinproduktes) appliziert ist. In der Prüfkammer treten Prüfmedium und Prüfmaterial in Kontakt, so dass degradierbare Bestandteile des Prüfkörpers in das Prüfmedium übergehen und mit diesem in einen Sammelbehälter übertreten. Von dort wird das Prüfmedium in das Vorlaufge-

Projektleitung
Dipl.-Ing. Holger Reinsch

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Bild 1: Funktionsmuster einer Prüfeinheit zur Degradationsprüfung biologisch abbaubarer Medizinprodukte

fäß zurückgeführt. In der Prüfkammer stellt sich ein Fließgewicht zwischen zugeführtem und abfließendem Prüfmedium ein, welches das Massenverhältnis und die Kontaktdauer zwischen Prüfkörper und Prüfmedium definiert. Aus dem Sammelgefäß werden in festgelegten Intervallen Proben entnommen und mit einem geeigneten Testverfahren auf die Konzentration der interessierenden Degradationsprodukte untersucht, um eine Degradationskinetik abzuleiten. Durch die Variation von Prüfmedium und Prüfbedingungen (Temperatur, pH-Wert, Diffusionsrate, Probenapplikation) wird das natürliche Abbauverhalten resorbierbarer Materialien unter festgelegten produktspezifischen Applikationsbedingungen genau und reproduzierbar nachgestellt. Eine hohe Flexibilität von Prüfaufbau und Prüfbedingungen soll die Entwicklung zeit- und kosteneffizienter, standardisierter Prüfmethoden ermöglichen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Nach der Erarbeitung des Prüfkonzpts wurde eine frei erweiterbare Prüfapparatur mit blockmodularem Aufbau konstruiert. Sie besteht aus sechs automatisierten Prüfeinheiten, die in drei separaten Prüfblöcken organisiert sind. Für den Nachweis des technischen Konzeptes wurde ein Funktionsmuster der Prüfeinheit gefertigt (siehe Bild 1) und technischen Funktionstests unterzogen. Parallel zur Entwicklung der Prüfapparatur wurde ein Freezing-Rack (siehe Bild 2) für die Prüfkörperherstellung entwickelt, konstruiert und gefertigt.

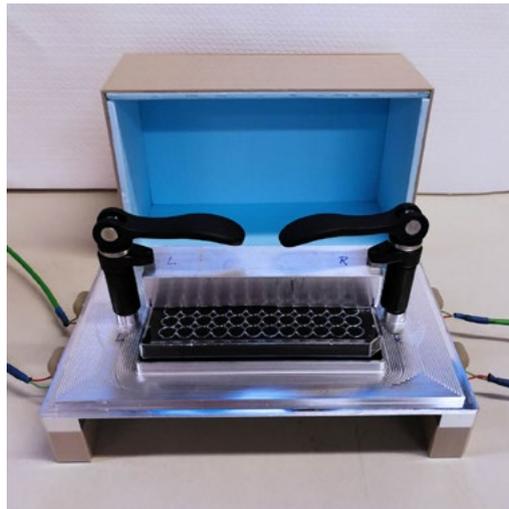


Bild 2: Freezing-Rack für die Fertigung variabler Prüfkörper durch kontrollierte Einfrierung von Biopolymer-Suspensionen und anschließende Luft- oder Gefriertrocknung

FAZIT / AUSBLICK

Nach Inbetriebnahme der Prüfhardware ist eine Entwicklung von Prüfverfahren zur Degradationsprüfung verschiedenartiger Medizinprodukte auf Kollagenbasis (antibiotische Wundeinlagen, GBR-Membranen und mineralisierte Scaffolds für die Knochenregeneration) geplant, die im Life-Science Labor des ILK Dresden entwickelt und gefertigt werden.

Neue Wege zur ^3He -Extraktion aus natürlichem Helium

Einsatzbereich

Prozess- und Komponentenentwicklung zur Gasanreicherung für Medizin, Kryotechnik etc.

ZIELSTELLUNG

Das Isotop ^3He (Helium-3) ist auf der Erde eines der seltensten stabilen sowie am schwersten zu gewinnenden Elemente, welches zugleich in zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Anwendungen genutzt wird. Aufgrund seiner irdischen Knappheit gilt ^3He sogar als mutmaßlich wertvollster Rohstoff auf dem Mond. Die Konzentration von ^3He in natürlichem Helium (Isotopengemisch) beträgt nur 1,4 ppm (Parts per Million), ist aber etwa zehnmal höher als die Konzentration von ^3He in Helium aus Erdgasfeldern. Der Einsatz traditioneller Technologien zur Anreicherung von ^3He mit hohen Konzentrationen ist aufgrund der extrem niedrigen Konzentration von ^3He in der Anfangsphase praktisch unmöglich. Das Hauptziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Untersuchung eines technischen Prozesses zur Anreicherung von ^3He aus natürlichem Helium hinsichtlich seiner industriellen Nutzbarkeit. Wesentliche Schritte dafür sind die Untersuchung verschiedener Filtermaterialien und Füllkörper, die Programmierung eines Auslegungsalgorithmus und die Bestimmung von Indikatoren für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Projektleitung

Dr. rer. nat. Matthias Schneider

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kooperationen

Ingar, Mariupol

VORGEHEN

Das Isotop ^3He lässt sich nur in einem komplexen System bestehend aus Rekuperator-Wärmetauschern, einer Joule-Thomson-Drossel und einem Lambda-Leck-Filter separieren. Das System muss soweit gekühlt werden, dass eine stabile Temperatur auf einem Niveau von ca. 2 K erreicht wird. Als Kältemittel wird herkömmliches flüssiges Helium verwendet, alternativ kann auch ein Kryokühler eingesetzt werden.

Erst nach der aufwendigen Kühlung auf eine Temperatur von etwa 2,0 K wird das Rohhelium an die Unterseite des Lambda-Leck-Filters weitergeleitet. Bei dieser Temperatur kann supraflüide ^4He diesen Filter passieren, das normalfluide ^3He jedoch nicht. Somit wird ^3He im unteren Teil des Kryostaten, unter dem Filter, angesammelt. Damit soll die Anfangskonzentration von ^3He auf bis zu 0,1 Volumenprozent erhöht werden.

In einer zweiten Stufe erfolgt die Niedertemperatur-Gleichrichtung, die bei einer Temperatur von ca. 1,3 bis 3 K stattfindet. Je nach Typ der Rektifikationskolonne soll angereichertes ^3He bis zu hohen Konzentrationen von ca. 60 bis 99 Volumenprozent gebracht werden.

Die zu ermittelnden experimentellen und berechneten Daten sollen es ermöglichen, mit Kenntnis verfügbarer ^3He Konzentrationen aus Industrieanlagen für flüssiges und / oder gasförmiges ^4He die mögliche Prozessführung und somit Werte für exakte Investitionskosten und aufbereitete ^3He -Volumina und -Konzentrationen zu bestimmen, um dann diese innovative Technologie dort zum Einsatz zu bringen.

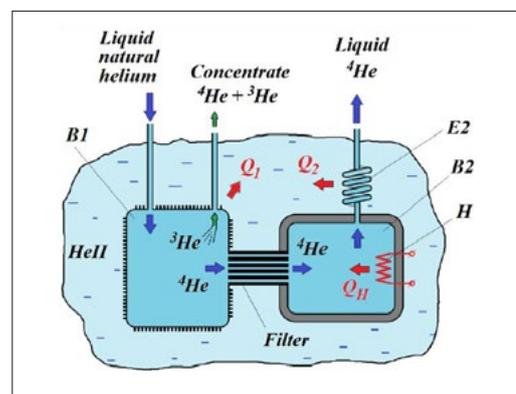


Bild 1: Vereinfachte Übersicht über die Anreicherung von Helium-3 in natürlichem Helium unter Nutzung eines Lambda-Leck-Filters, erstellt durch die Fa. Ingar, Mariupol

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Zu Beginn des Vorlaufforschungs-Vorhabens wurde der Filtrations- und der Rektifikationsprozess mittels geeigneter numerischer Methoden in Kooperation mit einem externen Partner berechnet und ausgelegt. Als dafür geeignet hat sich die Firma Ingas aus Mariupol in der Ukraine erwiesen, welche langjährige Erfahrungen in verschiedenartigen Prozessen zur Gasreinigung aufweist. Das grundlegende Schema der ersten Stufe des Prozesses ist in Bild 1 dargestellt, wobei das Filterelement zwischen den beiden inneren Behältern als Schlüsselkomponente Gegenstand umfangreicher Analysen ist. Parallel zu diesen abgestimmten Arbeiten haben die Vorbereitungen für die Fertigung des Kryostaten zum Test der Filtrationseinheit begonnen.

FAZIT / AUSBLICK

Im ersten Bearbeitungsjahr konnten wichtige Ergebnisse zum Prozessverständnis und zu Schlüsselkomponenten erarbeitet werden. Diese sollen nun einerseits durch experimentelle Arbeiten und andererseits durch Fortsetzung und Vertiefung der Kooperation mit Ingas Mariupol erweitert werden. Die vorgeschlagene Technologie der ^3He -Extraktion beschreibt ein universelles kontinuierliches Strömungsschema, das zusammen mit bestehenden Heliumverflüssigungsanlagen wirtschaftlich eingesetzt werden kann und keine eigenständige große Investition erfordert.

Angestrebt werden je Zyklus 100 W elektrische Ausgangsleistung. Darauf angepasst ist ein Generator auszuwählen, wobei die Drehzahl der Turbine auf den Generator abgestimmt sein muss. Gleichzeitig ist aber darauf zu achten, dass die Turbine in einem Arbeitsbereich mit möglichst hohem Wirkungsgrad betrieben wird. Die Fluidkolben müssen den für die Turbinen notwendigen Gasstrom mit ausreichender Druckdifferenz erzeugen. Dabei sind die Größe, speziell Durchmesser und Hub, so zu wählen, dass das verdrängte Volumen und erzeugte Druckdifferenz maximal werden und die Flüssigkeitskolben nicht an der Oberfläche zum Arbeitsgas hin aufreißen. Die Arbeitsfrequenz und Beschleunigungskräfte in dem Fluid der Kolben ist ebenso wie der Arbeitsbereich der Turbine limitiert. Daher ist das Abstimmen der Hauptkomponenten aufeinander besonders anspruchsvoll. Die Auslegung der Komponenten erfolgt dementsprechend iterativ und unter Beachtung des gesamten Systems.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Bisher wurde ein numerisches Modell mit der Simulationssoftware SAGE™ erstellt, welches die detaillierte Auslegung des gesamten thermodynamischen Prozesses sowie auch eine spätere Optimierung ermöglicht. Physikalische Limitierungen, wie z.B. die Hubfrequenz der Fluidkolben, können in diesem Modell nur unzureichend abgebildet werden, weswegen die Abstimmung der Systemkomponenten aufeinander iterativ gelöst wurde. Für die Turbine wurde daher eine Startlösung basierend auf Parametern aus der Literatur gewählt. Anschließend erfolgten eine analytische Auslegung der Fluidkolben sowie iterativ die Skalierung der Turbine, angepasst auf die Baugrößen der Fluidkolben.



Bild 2: CAD-Modell des geplanten Systems in 4-zyklischer Ausführung (links) und Detailsicht eines Zylinders ohne Flüssigkeitskolben mit Wells-Turbine und Regenerator (rechts)

FAZIT / AUSBLICK

Die Turbine wird im nächsten Schritt einer detaillierteren numerischen Strömungssimulation mittels CFD (Software zur Strömungssimulation) unterzogen. Hierbei sollen der prinzipielle Drehzahl- und Drehmomentenverlauf ermittelt sowie die Geometrie der Schaufelprofile optimiert werden. Mit dem Ergebnis der Strömungssimulation kann die Turbine fertig konstruiert und anschließend gefertigt werden.

Entwicklungen kryotechnischer Anlagen



Bild 1: Kryogene Prototyp-Quadrupolkammer im Versuchsfeld der GSI

Einen wesentlichen Teil des kryotechnischen Anlagenbaus 2020 stellten Entwicklungsaufgaben für Großforschungszentren, welche auch die Entwicklungen der Vorjahre weiterführen, dar.

Ein Beispiel für die Anwendung einer erfolgreich abgeschlossenen Thematik war die Entwicklung eines Versuchsstands zur Durchführung von Experimenten zur Aufnahme von Restgasen, die sich an den Quadrupolkammern des bestehenden Schwerionensynchrotron SIS18 des GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt orientieren. Das Schwerionensynchrotron SIS18 soll zukünftig zur Beschleunigung niedrig geladener Schwerionenstrahlen im Verbund mit dem geplanten SIS100 eingesetzt werden. Die Beschleunigung solcher Ionen erfordert einen extrem geringen, statischen Restgasdruck. Insbesondere der Partialdruck von schweren Restgasbestandteilen (z.B. Ar) muss minimal sein. Hintergrund ist die Störung der Qualität der Schwerionenstrahlen bei Kollision mit Restgasteilchen. Diese führt unmittelbar zu Strahlverlusten und ist, bedingt

durch hohe Wirkungsquerschnitte, bei schweren Restgaskomponenten besonders effektiv. Ziel ist, durch die Integration von Kaltflächen in Module der Vakuumkammern des SIS18 die räumlich verteilte Hochvakuumleistung für schwere Restgasionen zu erhöhen. Dafür wurde am ILK Dresden eine kryogene Prototyp-Quadrupolkammer entwickelt, gefertigt und getestet. Der Aufbau ist in Bild 1 dargestellt. Als wesentliches Ergebnis kann festgehalten werden, dass durch die Integration von symmetrisch angeordneten Kühlröhrchen in die Quadrupolkammer die Performance des Vakuumsystems deutlich verbessert werden kann, wenn diese mittels 50 K kaltem Heliumgas gekühlt werden.

In einem weiteren Schritt soll nun untersucht werden, ob die am SIS18 integrierten Teilchenadsorber (Kollimatoren¹) auch mit kryogenen Oberflächen ausgestattet werden können. Die Kaltflächen müssen im Kollimator praktisch so angeordnet werden, dass diese den Schwerionenstrahl nicht behindern und möglichst viele

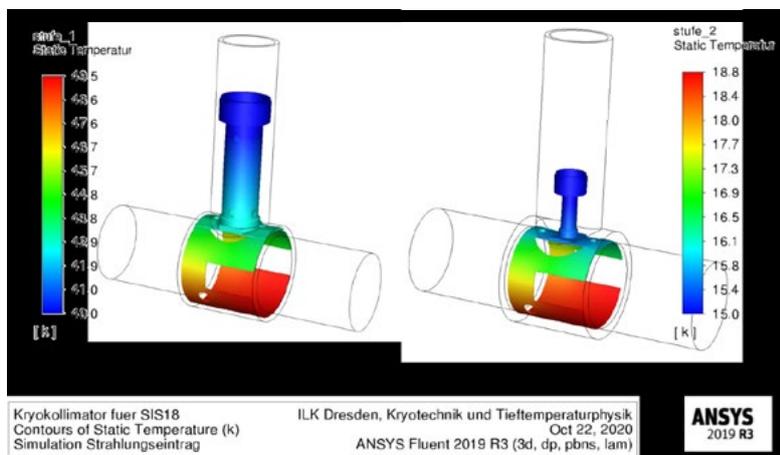


Bild 2: Ergebnis der numerischen Simulation der Temperaturverteilung an den Kaltflächen

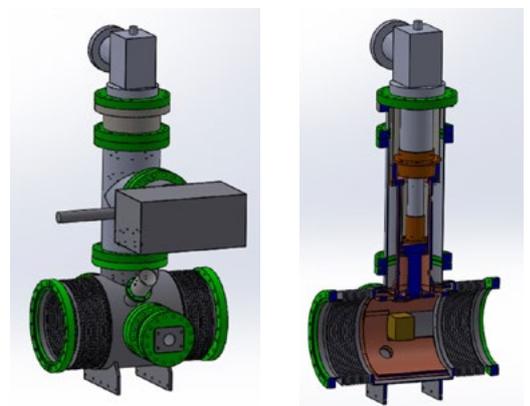


Bild 3: Modell des Kryokollimators mit Kaltflächen

der an den Kollimatorblöcken desorbierten Gas-moleküle binden. Die erreichbaren Temperaturen an den Kaltflächen sind hauptsächlich abhängig von dem verwendeten Kühlsystem bzw. vom Typ des verwendeten Kryokühlers. Eine theoretisch mögliche Temperaturverteilung an den Kaltflächen ist in Bild 2 dargestellt. Eine entsprechende Versuchsanlage wird derzeit am ILK Dresden aufgebaut.

Das 3D-Modell des modifizierten Kollimators ist in Bild 3 dargestellt.

¹ <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1225/>

FuE-Dienstleistungen 2020 im Bereich tiefer Temperaturen

Im Hauptbereich „Kryotechnik und Tieftemperaturphysik“ wurde im Jahr 2020 vor allem die Infrastruktur für Hochstrom-Anwendungen und -Untersuchungen erweitert. Während der Aufbau einer Kondensatorbank aktuell noch vervollständigt wird, sind Komponenten davon bereits für Messungen im Einsatz.

Hochstrom-Anwendungen spielen insbesondere bei supraleitenden Magneten eine wichtige Rolle. Haupteinsatzfeld sind Speicherringe wie am GSI in Darmstadt. Dort wird für die Gesamtheit aller Magnete eine Vielzahl lokaler Stromzuführungen benötigt. Neben der Stromtragfähigkeit ist auch das thermische Verhalten eine wesentliche Kenngröße, weil unterschiedliche Temperaturniveaus berücksichtigt werden müssen. Insbesondere kommen mehrere supraleitende Materialien zum Einsatz, so metallische, konventionelle Supraleiter im Magneten und keramische, Hochtemperatursupraleiter in den von außen kommenden Stromzuführungen.

Am ILK Dresden werden derartige lokale Stromzuführungen gebaut und getestet, siehe Bild 1. Wesentliche Parameter für die Untersuchungen, auch bei tiefen Temperaturen, sind Stromstärken bis zu 300 A, das Quenchverhalten (Übergang vom supraleitenden zum normalleitenden Zustand) und geringe thermische Widerstände. Aufgrund der sorgfältigen Charakterisierung unter Einsatzbedingungen können die Bauteile optimal für die Anwendung, hier für den Einbau im Speicherring, konfiguriert werden.

Weitere Schwerpunkte für kryogene Messdienstleistungen bildeten 2020 erneut Untersuchungen an biologischen Materialien und Komponenten für derartige kryogene Anwendungen im Cryo Competence Center in Life Sciences, Messungen thermischer Eigenschaften beispielsweise an CFK-Proben sowie Sensorkalibrierungen. Zum letztgenannten Thema soll an dieser Stelle ein Beispiel gezeigt werden.

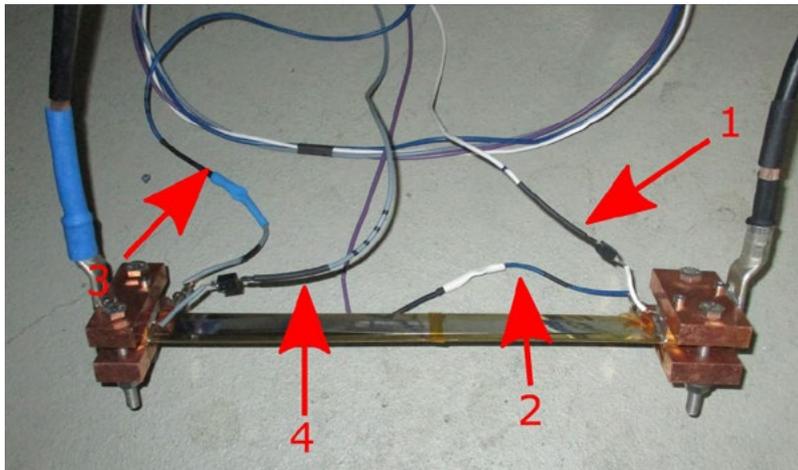


Bild 1: Stromzuführung mit supraleitendem Material für Magnete, hier mit Messkontakten

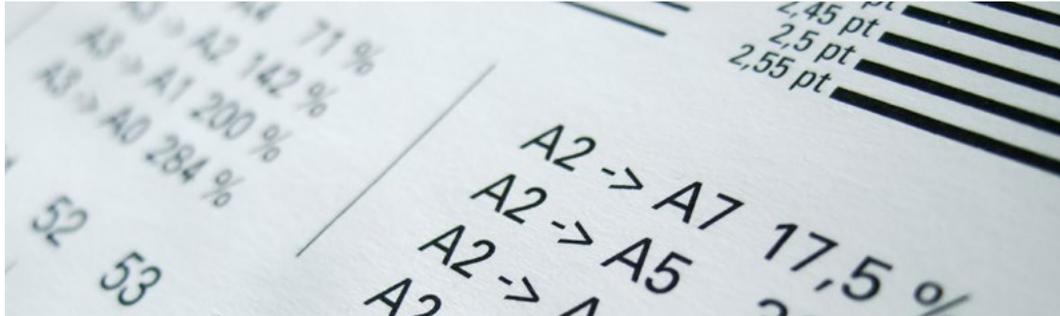
Neu aufgebaut wurde insbesondere eine Versuchseinrichtung zur Kalibrierung von Temperatursensoren, welche für den Einbau in den üblicherweise dafür genutzten Kryostaten mit Gaskältemaschine zu lang sind. Stattdessen wird nun ein Glasdewar verwendet. Wesentliche Bestandteile sind eine lange thermische Entkopplung hin zum Deckel des Dewargefäßes (in Bild 2 nur teilweise dargestellt), der abgeschirmte Raum zur Kalibrierung in der Gasphase und der gut wärmeleitende Kaltfinger, welcher mit der Kryoflüssigkeit in Kontakt ist.

Die Kalibrierung erfolgte entsprechend der geplanten Anwendung im Temperaturbereich zwischen 68 K und 110 K unter Verwendung von flüssigem, teilweise unterkühltem Stickstoff. Dabei war eine Regeltechnik zu implementieren, welche unter anderem auch den Wärmeeintrag in das Flüssigkeitsbad und die Füllstands-Abhängigkeit berücksichtigt. Es konnten stabile Bedingungen für die Sensorkalibrierung im gesamten Bereich bereitgestellt werden. Die Anwendung dieser Versuchseinrichtung im Temperaturbereich von flüssigem Helium ist prinzipiell möglich, wurde allerdings noch nicht erprobt.



Bild 2: Versuchsaufbau zur Kalibrierung von Tieftemperatursensoren langer Bauform, am unten befindlichen Kaltfinger zur thermischen Kontaktierung mit flüssigem Stickstoff ist ein Regelheizer angebracht.

Normungsarbeit 2020



Seit vielen Jahren werden am ILK Dresden neuartige Methoden, Verfahren und Komponenten entwickelt und umgesetzt. Das interdisziplinäre Team aus Wissenschaftlern, Ingenieuren, Technikern und Laboranten in der Arbeitsgruppe „Cryo-Competence Center in Life Sciences“ im Hauptbereich für Kryotechnik und Tieftemperaturphysik hat sich in den vergangenen Jahren unter anderem intensiv mit dem Thema Biobanking befasst. Dies umfasst im Speziellen die Prüfung, Bewertung und stetige Verbesserung der Packmittel, die für die Lagerung von biologischem Material wie Gewebe, Blut und anderen Körperflüssigkeiten verwendet werden. Da die Proben als Basis für die biomedizinische Forschung verwendet werden, ist die Integrität der Proben von entscheidender Bedeutung. Unter den gängigen Lagerbedingungen bei -80 °C in der Tiefkühltruhe oder bei ca. -170 °C in der Gasphase über flüssigem Stickstoff in großen Lagertanks werden die biologischen Abbauprozesse in den Proben stark verlangsamt. Die Lagerbedingungen bergen jedoch auch Gefahren für die Probe. Die verwendeten Packmittel bestehen meist aus Polypropylen und dessen Mischungen, die mit steigender Lagerdauer einer Materialermüdung erliegen. Dadurch können Undichtigkeiten entstehen, die zu einer Kontamination der Probe durch das Eindringen von Fremdpartikeln (z.B. Mykoplasmen oder Bestandteile anderer Proben) oder zu chemischen Veränderungen (z.B. Oxidation) führen können.

Neben den am Center of Cryo Competence in Life Sciences entwickelten Prüfmethoden zur Quantifizierung der Dichtheit der Packmittel werden aktuell auch Methoden und Apparaturen zur Permeationsprüfung bei tiefen Temperaturen und zur künstlichen Alterung ohne zeitaufwendige Echtzeitlagerversuche entwickelt. Diese Expertise wird in die Arbeit des Deutschen Instituts für Normung (DIN) eingebracht.

In regelmäßigen Sitzungen des Normenausschusses Medizin, Fachbereich Biotechnologie (NA 063-09-02 AA Biotechnologie), wird das Expertengremium aus Industrie und Forschung durch einen Mitarbeiter des ILK Dresden unterstützt, um eine Norm mit den Anforderungen an Probenbehältnisse für die Lagerung von biologischen Proben in Biobanken zu erarbeiten.

Neben allgemeinen Anforderungen an die Behältnisse befasst sich der Arbeitskreis „Biobanken / Bioressourcen“ (NA 06309-02-02 AK Biobanken / Bioressourcen) im Speziellen mit den Anforderungen an die Dichtheit und geeignete Prüfmethoden. An dieser Stelle wird aus den Erfahrungen und Erkenntnissen der bearbeiteten und aktuell öffentlich geförderten Forschungsprojekte profitiert. Dadurch kann ein wichtiger Beitrag für die Veröffentlichung der Norm, insbesondere zur Verbesserung der Sicherheit bei der Lagerung von biologischem Material in Biobanken, im Verlauf des kommenden Jahres geleistet werden.



KÄLTE- UND WÄRME- PUMPENTECHNIK



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 36 Effiziente E-Commerce-Kühlboxen für den Online-Lebensmittelhandel
- 38 Wasserdampfverdichter für Hochtemperatur-Wärmepumpen
- 40 Elektrische Leistungsauskopplung aus einer Expansionsturbine mit CO₂ als Kältemittel
- 42 MiEvap – Mikroverdampfer
- 44 Propan-Chiller mit 100 kW Kälteleistung und innovativem Wärmeübertrager mit neuartigem Einspritzverteiler
- 46 Heat2Power – Veredlung der Abwärme von Brennstoffzellen in Schienenfahrzeugen – Effizienzsteigerung und Abwärme
- 48 Prüfstände Kältetechnik, Wärmepumpen
- 50 FuE-Dienstleistungen 2020
- 55 Normungsarbeit 2020

Effiziente E-Commerce-Kühlboxen für den Online-Lebensmittelhandel

Einsatzbereich

Die Kühlboxen werden für die Lieferung von frischen, gekühlten Lebensmitteln zum Endkunden entwickelt.

ZIELSTELLUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer energieeffizienten Mehrwegkühlbox für den Online-Lebensmittelhandel, welche eine sichere Temperaturführung der Lebensmittel bis zur Übergabe an den Kunden gewährleistet. Die Kühlbox soll passiv durch Kühlakkus gekühlt werden. Durch die Anordnung der Kühlelemente und eine entsprechende Gestaltung des Innenraumes soll eine gleichmäßige Temperatur im gesamten Nutzvolumen gewährleistet werden. Ziel ist, die durch Deckel und Kühlbox eindringende Wärme direkt an dieser Stelle in die Kühlakkus abzuführen. Damit soll eine lokale Erwärmung des Kühlgutes, wie sie bei einfachen Kühlboxen zum Beispiel durch Boden- oder Wandkontakt auftritt, vermieden werden.

VORGEHEN

Der Umsatz mit Lebensmitteln im Onlinehandel ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Vermehrt werden auch frische Lebensmittel, die der Kühlung bedürfen, versandt. Die Sicherstellung der durchgängigen Kühlkette stellt einen wesentlichen Qualitätsaspekt dar. Von Verbraucherschutzorganisationen durchgeführte Testeinkäufe zeigten, dass die Einhaltung der zulässigen Höchsttemperatur von kühlungsbedürftigen Produkten eine Schwierigkeit darstellt.

Bei einfachen Kühlboxen kommt es zumindest lokal häufig zur Nichteinhaltung der erforderlichen Lagertemperaturen. Ein weiteres Problem ist, dass häufig auch Einwegsysteme genutzt werden, welche ein hohes Müllaufkommen nach sich ziehen.

Die Herausforderung in der Gestaltung einer thermisch zufriedenstellenden Kühlbox liegt darin, dass die meisten der sonstigen Anforderungen einen negativen Einfluss auf das Isolationsvermögen der Kühlbox und die realisierbare Kühldauer haben. Genannt seien hier das Verhältnis von Nutzvolumen zum Gesamtvolumen, die Gesamtmasse, maximale Außenabmessungen, aber auch Fragen der Reinigung und Hygiene.

Bei Verwendung von ungekühlten Lieferfahrzeugen wird eine Kühldauer über 48 Stunden auch für den Sommerfall angestrebt. Im Winterfall oder bei kürzeren Lieferzeiten soll eine geringere Anzahl von Eisakkus zum Einsatz kommen.

Eine wesentliche Anforderung ist also eine flexible Ausstattung der Kühlbox mit Kühlakkus zur Gewährleistung einer vorgegebenen Kühldauer in Abhängigkeit der aktuellen Witterungsbedingungen und des konkreten Logistikprozesses.

Um diese Anforderungen bei den verschiedenen Randbedingungen zu definieren, wurden zunächst eine Literaturrecherche und Normenauswertung bezüglich Logistik (äußere Abmessungen, Palettierung), Arbeitsschutz (zulässige Maximalmasse), Reinigungsfähigkeit und Hygiene durchgeführt. Der daraus resultierende Anforderungsprofil

wurden zu definieren, wurden zunächst eine Literaturrecherche und Normenauswertung bezüglich Logistik (äußere Abmessungen, Palettierung), Arbeitsschutz (zulässige Maximalmasse), Reinigungsfähigkeit und Hygiene durchgeführt. Der daraus resultierende Anforderungsprofil



Bild 1: Messung der Temperaturverteilung in einer Kühlbox

Projektleitung

Dipl.-Ing. André Illgen

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

rungskatalog und eine Materialrecherche bilden die Grundlage für die Gestaltung der Kühlbox.

Ausgehend von diesen Eingangsbedingungen wurden mögliche Materialien für die Kühlbox ausgewählt und die Geometrie und erforderliche Wandstärke festgelegt.

Die Auswertung von Messungen zeigte, dass bei herkömmlichen Kühlboxen die Temperaturverteilung das Hauptproblem ist. Häufig sind die Oberflächen der Eisakkus im Verhältnis zur inneren Oberfläche der Kühlbox zu klein. Dadurch kann die zur Verfügung stehende „Kälteleistung“ in der Kühlbox nicht gleichmäßig wirksam werden. Es kommt lokal zu erhöhten Temperaturen, obwohl noch ausreichend Eis zur Verfügung steht. Gleichzeitig kann es am Beginn des Kühlprozesses aufgrund der Unterkühlung der Kühlakkus zu lokalen Gefrierungen kommen.

Anhand von Berechnungen und Simulationen wurden verschiedene Anordnungen von Kühlakkus zur Erreichung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung untersucht. Die Ergebnisse wurden durch Messungen in einer Temperaturkammer validiert. Dazu wurde eine Kühlbox mit einer Testbeladung, gefrorenen Kühlakkus sowie Mehrkanaltemperaturdatenloggern bestückt. Anschließend wurde die verschlossene Kühlbox in der Temperaturkammer vorgegebenen Temperaturprofilen ausgesetzt.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Anhand der bisherigen Arbeiten wird ein Funktionsmuster der Kühlbox konstruiert und gefertigt. Durch Messungen in der Temperaturkammer wird geprüft, ob die gewünschten Parameter erreicht werden.

Ein Katalog für die Ausstattung mit Kühlakkus in Abhängigkeit der Kühldauer und den verschiedenen klimatischen Randbedingungen soll erstellt werden. Damit erhält der Anwender eine Handreichung zur Sicherstellung der Kühldauer entsprechend der zu transportierenden Masse.

Wasserdampfverdichter für Hochtemperatur-Wärmepumpen

Einsatzbereich

Verdichter für Hochtemperatur-Wärmepumpen (Nutztemperatur > 150 °C) mit Wasserdampf als natürlichem Kältemittel

ZIELSTELLUNG

Die Bereitstellung industrieller Prozesswärme zwischen 150 und 200 °C durch Hochtemperatur-Wärmepumpen forciert die Abwärmenutzung in der Industrie. In diesem Temperaturbereich ist Wasser ein interessantes Kältemittel, jedoch sind kostengünstige Wasserdampfverdichter nicht verfügbar.

Die verfahrenstechnische Prozessführung und damit die thermischen Betriebsbedingungen für den Verdichter unterscheiden sich von konventionellen Kältemitteln erheblich. Die thermisch notwendigen Lasten im Verdichter beim Start als auch im Betriebszustand sind sehr hoch, die Drucklagen dagegen sehr moderat.

Die Zielstellung des Vorhabens besteht in der Identifizierung / Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung der Verdichtungsendtemperatur von Wasserdampf im Verdichter.

VORGEHEN

Die Einsatzfähigkeit von kältetechnischen Verdichtern in Wasserdampfanlagen wird u.a. durch folgende Merkmale bestimmt:

- Anlauf des Verdichters und Gewährleistung der Betriebseigenschaften auch bei niedrigen Drücken (Sättigungsdruck bei Umgebungstemperatur 20 °C bei 20 mbar)
- Sicherstellung der Verdichtung des Wasserdampfes im Startvorgang in die Heißgasleitung und den Verflüssiger (minimaler Massestrom, Druckverluste, Rückexpansion)
- Transportfähigkeit des Gemisches Wasser-Schmiermittel bei unterschiedlichen Betriebszuständen im Verdichter (Mischungsverhalten Öl-Wasser, Schichtungen, Position Ölpumpe)
- Beherrschung der sehr hohen Verdichtungs-End-Temperaturen von 240 °C im Verdichter.



Bild 1: Parameter für Wasserdampf-Verdichter

Infolge der angestrebten hohen Sauggastemperatur > 100 °C (Abwärme-Quelle), der Verflüssigungstemperatur von > 150 °C (Zielwert) und des hohen Isentropenexponenten steigt die Verdichtungsendtemperatur ohne zusätzliche Rückkühlung auf stark überhitzte Werte von > 240 °C an. Beide Temperaturen sind für die üblichen Konstruktionen, die eingesetzten Werkstoffe, Dichtungsmaterialien und Schmieröle der Kältemittelverdichter i.d.R. zu hoch.

Ein kältetechnischer Verdichter (Bauart Hubkolben oder Scroll) mit variabler Drehzahl soll mit differenzierten Maßnahmen zur Begrenzung der Verdichtungsendtemperatur ausgerüstet und die Wirksamkeit der Verfahren analysiert werden.

Es werden mehrere Kühlvarianten untersucht:

1. Nasse Kühlung der Zylinderköpfe mit Kühlwasser
2. Ansaugung aus dem 2-Phasen-Gebiet des Wassers
3. Einspritzung von flüssigem Wasser in die Saugkammer
4. Einspritzung von flüssigem Wasser unter die Kolben

Die experimentellen Untersuchungen sollen am Basis-Prüfstand für Wasserdampf-Verdichter erfolgen.

Modifizierungen am Prüfstand zur Einstellung verschiedener Kältemittelzustände am Verdichter

Projektleitung

Dr.-Ing. Matthias Böhm

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

werden realisiert. Die Integration zusätzlicher Massestrom-, Temperatur- und Druckmesstechnik liefert die Datengrundlage für den Vergleich mit theoretisch erarbeiteten Prozessparametern.

Beide Versuchskomplexe (sowohl Prüfstands- als auch Verdichtertests) sind mit erheblichen funktionellen Risiken belastet.

Vorteilhafte technische Varianten sowohl für Verdichter als auch für die Prozessführung sollen basierend auf dieser Methodik herausgearbeitet werden.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Am Verdichterprüfstand erfolgen die notwendigen Modifikationen. Nach Abschluss sollen an handelsüblichen Kälteverdichtern die Funktionalität und Wirksamkeit der unterschiedlichen Kühlungsvarianten getestet werden. Die Limitierungen der Testverdichter, Erfordernisse zur Anpassung problematischer Bauteile und verfahrenstechnische Hemmnisse werden aufgezeigt.

Realisierungschancen hoher Verflüssigungs- bei kontrollierbaren Verdichtungsendtemperaturen in Hochtemperatur-Wärmepumpen werden geprüft.



Bild 2: Prüfstand für Wasserdampf-Verdichter

Elektrische Leistungsauskopplung aus einer Expansionsturbine mit CO₂ als Kältemittel

Einsatzbereich

Nutzung der Expansionsenergie von Kältekreisläufen als elektrische Leistung.

ZIELSTELLUNG

Bedingt durch die F-Gasverordnung gibt es aktuell bei den Kälteanlagen in Europa einen Wechsel hin zu natürlichen Kältemitteln. CO₂ bietet auf Grund seiner Stoffeigenschaften gute Voraussetzungen, um die bei der Expansion im Kältekreis anfallende Energie zu nutzen. Expansionsventile vernichten diese vollständig. Alternativ zum Ejektor können Expansionsmaschinen zur Nutzung dieser Energie eingesetzt werden. Im Rahmen des Vorlaufforschungsprojektes „Reduzierung der Expansionsverluste von Kälteanlagen“ wurden die Potentiale einer solchen Expansionsmaschine bereits am ILK Dresden untersucht. In diesem Projekt soll die elektrische Auskopplung als Teil des Projektclusters zur Nutzung der Energie der Turbine mittels Generator als elektrischer Strom detailliert untersucht werden.

VORGEHEN

Expansionsturbinen werden nach aktuellem Stand der Technik zur Nutzung der Leistung mit mechanischer Auskopplung an einem Verdichter betrieben. Diese Verdichter mit Turbinenwelle (Expander-Kompressoren) sind aufgrund ihrer mechanischen Kopplung auf den Betrieb in einem fixen Drehzahlpunkt festgelegt. Die Welle bedingt die hermetisch-offene Bauweise mit aufwändiger und kritischer Dichtung sowohl am Expander wie auch am Verdichter.

Typische Anwendungen für wellengekoppelte Expansionsturbinen sind nach dem Stand der Technik Heliumverflüssigungssysteme, Kaltluftmaschinen zur Lagerung von Blutkonserven oder Turboexpander für die Petrochemiekühlung.

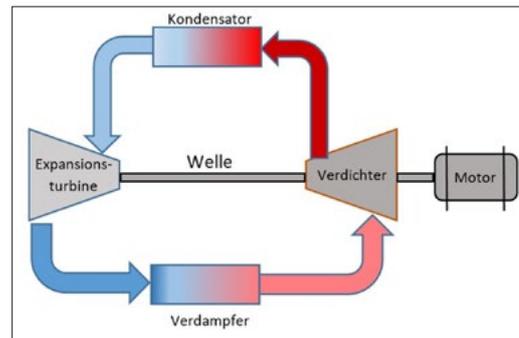


Bild 1: Parameter für Wasserdampf-Verdichter

Innerhalb dieses Projektes wird ein elektrisches Auskopplungsverfahren entwickelt, das den Betrieb der Expansionsturbine für allgemeine Kälteanwendungen (Fokus Supermarktkälte) ermöglicht. Die unabhängige Betriebsführung von Expander und Verdichter ohne mechanische Welle steht hier im Vordergrund. Synchron zum Kühllastprofil wird im Projekt ein variabler Drehzahlbereich vom Expander realisiert. Bautechnisch vorteilhaft ist die halbhermetische Bauweise für Expander und Verdichter.

Die im Steuerungsverfahren anfallende Bremsleistung soll unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte effektiv zur Steigerung der Leistungszahl der Kälteanlage genutzt werden. Dabei sollen folgende Aspekte untersucht werden:

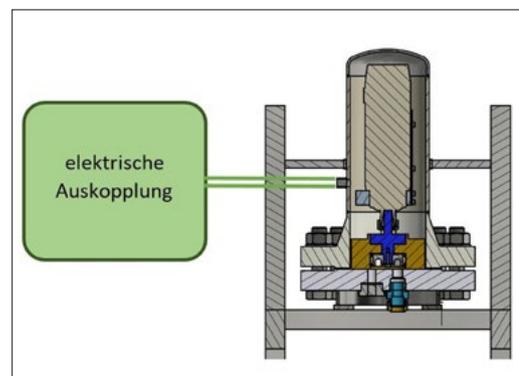


Bild 2: Expansionsturbine mit elektrischer Leistungsauskopplung

Projektleitung

Dipl.-Ing. (FH) Herbert Leupolt

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

- Die Ermittlung einer zuverlässigen und kostengünstigen Regelung des Generators und die Vermessung der dynamischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Drehzahl unter den gegebenen Randbedingungen insbesondere der CO₂ Atmosphäre.
- Die Hermetisierung der Expansionsturbine mit technisch-dichter Elektroschnittstelle sowie die universelle Nutzung des ausgekoppelten Leistungsanteils.

FAZIT / AUSBLICK

Das Forschungsergebnis ermöglicht die Verbesserung der Leistungszahl speziell für Kälteanlagen mit kleiner bis mittlerer Leistung.

Im Fokus dieses Projektes steht speziell der Ansatz, auch für geringe Leistungen von einigen 100 Watt effiziente, kostengünstige und speziell kälteleistungsvariable Auskopplungslösungen zu finden. Ein wichtiger Aspekt dabei stellt auch der hohe Drehzahlbereich für den Generator dar. Der Entwicklungsprozess im Projekt zeigt, dass permanenterregte Gleichspannungsgeneratoren grundsätzlich als Leistungsquelle vorteilhaft sein können. Offen ist hier noch die Fragestellung, ob diese zum einen den hohen Drehzahlbereich von 10.000 - 30.000 U/min und zum anderen eine bidirektional übertragende Leistungselektronik verfügbar ist. Gegebenenfalls wird die Lösung in einer Kombination aus Startelektronik und Wechselrichter zu finden sein.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Im Ergebnis soll mit dem Zusatzverfahren zur elektrischen Leistungsauskopplung der Einsatz von CO₂-Expansionsturbinen in allgemeinen Kälte- oder auch Wärmepumpenanwendungen ermöglicht werden. Der Prüfstands Aufbau wird nach Abschluss der notwendigen Planungsphasen Untersuchungen an unterschiedlichen Leistungsauskopplungskombinationen ermöglichen.

MiEvap – Mikroverdampfer

Einsatzbereich

Verdampfer in Kälteanlagen

ZIELSTELLUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines mit Flüssigkeit beaufschlagten Kältemittel-Verdampfers in Mikro-Bauweise („Mikroverdampfer“). Diese sind durch kleine Abmessungen der Strömungskanäle und Wandstärken im Bereich von 200 µm gekennzeichnet. Dadurch werden hohe Wärmeübergangskoeffizienten und eine sehr kompakte Bauweise erreicht. Ein geringer Platzbedarf und ein geringer Materialeinsatz sind weitere Vorteile.

Für die Herstellung der teilweise komplizierten Geometrien werden insbesondere additiv-generative Fertigungsverfahren (3D-Verfahren) für Metall eingesetzt. Die dafür erforderlichen Technologien sind im Projekt vom Industriepartner zu entwickeln. Es erfolgt auch eine Kombination mit anderen Fertigungsverfahren und Füge-technologien.

VORGEHEN

Das Projekt baut auf den Ergebnissen vorangegangener Forschungsprojekte zur Entwicklung von Mikrowärmeübertragern auf. Ein wesentliches Problem war bisher die ungenügende Dichtheit der 3D-gefertigten Metallstrukturen. Dadurch kam es zu äußeren Leckagen und einer Vermischung der beiden Stoffströme.

Im Projekt ist deshalb geplant, 2 Grundvarianten zu entwickeln, um die Chancen zu erhöhen. Die Entwicklung von Grundvariante 1 basiert auf der technologischen Umsetzung durch eine rein additive Fertigungstechnologie (SLM-Verfahren). Die Grundvariante 2 basiert auf der technologischen Umsetzung einer hybriden Fertigungstechnologie. Hier sollen additive Fertigungsverfahren, wie das SLM-Verfahren und das LLM-Verfahren, mit klassischen subtraktiven

Mikrobearbeitungsverfahren, wie das Mikroschneiden (z.B. mit Laser oder Wasserstrahl), Mikrofräsen und Mikrostrukturieren, kombiniert werden.

Für die Grundvariante 1 kommt es insbesondere darauf an, die Konstruktion laufend an die Resultate der Fertigungsversuche im „trial and error“-Verfahren anzupassen. Das SLM-Verfahren gestattet einerseits die Herstellung sehr komplizierter, räumlicher Strukturen, andererseits erfolgt der Aufbau nur in einer Richtung von unten nach oben. Dadurch kommt es unabhängig von der Lage des Bauteils immer zu sogenannten Überhängen, die Schwierigkeiten bereiten. Die fertigungsgerechte Gestaltung erfordert somit auch bei diesem universellen Verfahren immer Kompromisse bei den wärmetechnischen Eigenschaften.

Bei der Grundvariante 2 konnte auf kleinen Musterwärmeübertragern aus einem Vorgängerprojekt aufgebaut werden. Bei der Weiterentwicklung geht es in erster Linie um die Leistungserhöhung bis zu 1.000 W. Dafür wird die Wärmeübertragerfläche durch eine höhere Anzahl von Ebenen, eine größere Breite oder Länge der Bleche erhöht. Durch die höhere Anzahl an Fügstellen steigt aber die Wahrscheinlichkeit von Fehlern und somit auch von Leckagen. Grundsätzlich verspricht diese Hybridbauweise aber günstigere Fertigungskosten. Beim Projektpartner werden dafür bereits erste Überlegungen angestellt, diese unterschiedlichen Fertigungsverfahren in nur einer Maschine zu integrieren. Das ist die Voraussetzung für eine hoch automatisierte Fertigung.

Die Wärmeübertrager nach beiden Grundvarianten werden zuerst auf Dichtheit und Druckfestigkeit geprüft. Danach erfolgt die Messung von Druckverlust und Wärmeleistung auf einem Prüfstand mit Wasser. Aus diesen Versuchen werden Berechnungsmodelle für Flüssig-

Projektleitung

Dr.-Ing. Olaf Hempel

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

keiten erstellt. Danach erfolgt die Messung mit verdampfendem Kältemittel gegen Wasser. Aus diesen Messungen und den Berechnungsmodellen für die Flüssigkeiten können die Modelle für die Verdampfung erstellt werden.

Mit diesen experimentellen Daten kann abgeschätzt werden, ob in der weiteren Entwicklung der Mikrowärmeübertrager die angestrebten Parameter der Leistung und Kompaktheit erreichbar sind.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Bei der Grundvariante 1, Herstellung durch SLM, wurden unterschiedliche Konstruktionen (Bild 1 und 2) erprobt. Die Fertigung erfolgt bei einem Dienstleistungsunternehmen und beim Industriepartner. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnten nur Wandstärken von $400\ \mu\text{m}$ realisiert werden, die dicht sind. Das ist trotzdem ein wesentlicher Fortschritt bei der Realisierung der Mikrowärmeübertrager, da erste Messungen der Druckverluste und Wärmeleistungen als Verdampfer möglich sind.

FAZIT / AUSBLICK

Es ist erstmals gelungen, einen komplett in 3D-Druck hergestellten Verdampfer zu entwickeln, der auch im Inneren und nach außen dicht ist. Damit steht für die weitere Entwicklung der Mikrowärmeübertrager eine zweite Basistechnologie neben dem Hybridtyp zur Verfügung. Die weitere Miniaturisierung der Kanalgeometrie und die Hochskalierung zu größeren Leistungen sind die nächsten Aufgaben.



Bild 1: Mikrowärmeübertrager – Variante DMG Mori

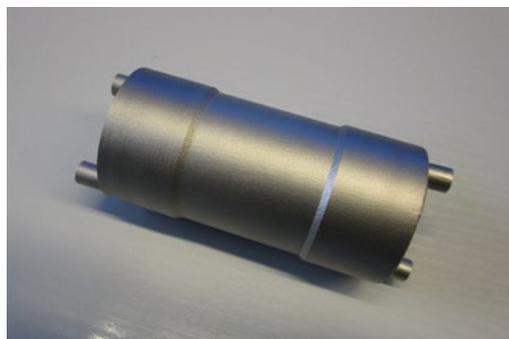


Bild 2: Mikrowärmeübertrager – Variante rund

Propan-Chiller mit 100 kW Kälteleistung und innovativem Wärmeübertrager mit neuartigem Einspritzverteiler

Einsatzbereich

Kälte- und Wärmepumpenanwendungen in Industrie, Gewerbe und im Gebäudebereich (Heizen und Kühlen).



Bild 1: Beispiel eines Chillers mit kleiner bis mittlerer Leistung

ZIELSTELLUNG

Kaltwassersätze bzw. auch so genannte Chiller sind eine wichtige Anwendung in der Kälte-technik. Sie dienen dazu, kaltes Wasser für die verschiedensten Anwendungsfälle zu erzeugen, so z.B. für Prozesskühlung, Klimatisierung oder auch unter Nutzung der warmen Seite als Wärmepumpe. Die Wärmeabgabe erfolgt entweder über (Umgebungs-)Luft oder über einen Kühlwasserkreislauf.

Im Projekt soll ein Chiller mit einem natürlichen Kältemittel (Kohlenwasserstoff, brennbar aber umweltfreundlich) für die Innenaufstellung (besondere Sicherheitsaspekte, begrenzte Füllmenge) für gewerbliche, industrielle und gebäudetechnische Anwendungen entwickelt werden.

VORGEHEN

Im Fokus des Projektes steht die Entwicklung eines Chillers mit 100 kW Kälteleistung, der sowohl auf der Wärmequellenseite (Verdampfer – Kälteleistung) als auch auf der Wärmesenken-seite (Verflüssiger – Nutzung Wärmeleistung

oder Wärmeabgabe an Umgebung) flüssigkeitsbeaufschlagt ist. Hierbei ist vor allem ein innovativer Wärmeübertrager mit neuem Einspritzverteiler zu entwickeln, der sowohl an die warme als auch an die kalte Seite der externen Medien angeschlossen ist. Der Chiller soll die zukünftigen gesetzlichen Auflagen (ErP-Richtlinie für 2021) und die aktuellen Förderbedingungen (Kälte-Klima-Richtlinie) erfüllen. Hierzu sind unterschiedliche Entwicklungen notwendig. Das Bild 1 zeigt ein Beispielprodukt einer kleineren Chillerbaureihe.

Die speziellen thermodynamischen Eigenschaften von Propan und Propen machen den Einsatz eines inneren Wärmeübertragers sinnvoll. Dies hat vor allem etwas mit den höheren Ansaugtemperaturen für den Verdichter zu tun. Weiterer Vorteil kann sein, dass auch bei sinkender Überhitzung bzw. durchschießender Flüssigkeit durch die Verdampfungszone keine unmittelbare Gefahr für den Verdichter durch Flüssigkeitsschläge droht.

Diese Bauweise und Prozessführung ist prinzipiell bekannt, es sollen im laufenden Projekt durch signifikante Verbesserungen und innovative Details eine deutlich höhere Performance

Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Müller

Fördermittel

(Projekträger AiF)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kooperationen

Futron GmbH Netzschkau

und Energieeffizienz sowie eine verbesserte Betriebssicherheit und Teillast bei geringeren Füllmengen erreicht werden. Wichtigste Entwicklungen dazu sollen der / die neu designten Wärmeübertrager und der für den Verdampfer zu entwickelnde Kältemittelverteiler sein.

Die Entwicklung eines neuartigen Kältemittelverteilers ist notwendig, weil Fehlverteilungen des Kältemittels zu einer deutlich geminderten Leistung des Verdampfers führen. Diese sind gerade im großen Leistungsbereich, also bei großer Plattenanzahl, ein bekanntes Problem. Das Bild 2 zeigt beispielhaft, wie die Kältemittelströmung ohne zielgerichtete Verteilung in einem großen Plattenpaket verlaufen kann.

Ungleiche Verteilungen hingegen führen zu insgesamt höheren Überhitzungen und zu sogenannten „Totgebieten“, das heißt ungenutzten Flächen im Verdampfer. Diese führen zu einer deutlich schlechteren Energieeffizienz als bei einer optimalen Kältemittelverteilung im Verdampfer.

Aus der Literatur sind verschiedene Konzepte für Einspritzverteiler bekannt. Entsprechend der speziellen Randbedingungen in diesem Projekt (konkretes Kältemittel, Abstufung der Plattenanzahl, Teillastbedingungen) sollen der bzw. die verschiedenen Verteiler entwickelt werden. Momentan werden Kombinationen aus Mistern (Zerstäubern), Lanzen mit Loch- bzw. Düsenreihen und oder Querschnittsänderungen in die engere Wahl gezogen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Nach Voruntersuchungen zur Verteilung der Medien über den Plattenspalt im neuen Wärmeübertrager und Detailuntersuchungen bezüglich der Wärmeströme befindet sich das Plattendesign der Wärmeübertrager in der finalen Phase.

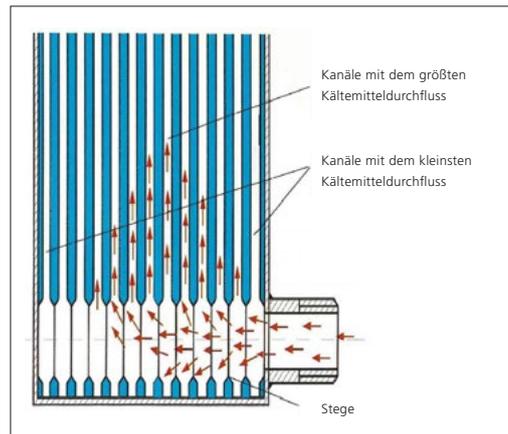


Bild 2: Darstellung der Kältemittelverteilung auf die einzelnen Kanäle bei Plattenverdampfern mit großer Plattenanzahl ohne Kältemittelverteiler. [aus: Krusche, K.; Osthues, J.: Verhalten von Plattenverdampfer, Kältemittelverteiler und Expansionsventil im Kältemittelkreislauf, DIE KÄLTE und Klimatechnik, 5/1997, Seite 314-320]

Parallel dazu wird an der Gestaltung des neuen Verteilers gearbeitet und werden die messtechnischen Untersuchungen am Wärmeübertrager und am gesamten Chiller vorbereitet.

FAZIT / AUSBLICK

Am Jahresende 2021 soll ein erstes Versuchsmuster für den neuen Propanchiller messtechnisch untersucht werden. Dieser Chiller soll etwa die 2- bis 2 1/2-fache Leistung bisheriger Chiller erreichen und damit im mittleren Leistungsbereich größere Kaskaden an parallelen Chillern ersetzen bzw. die Anzahl deutlich reduzieren. Dies führt zu großen Kosteneinsparungen.

Heat2Power – Veredlung der Abwärme von Brennstoffzellen in Schienenfahrzeugen – Effizienzsteigerung und Abwärme

Einsatzbereich

Schienenfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb

ZIELSTELLUNG

Die Energiewende erfordert neue Konzepte in Industrie und Transport. Die Brennstoffzellentechnologie könnte eine Antriebsalternative zum Dieselmotor sein. Ein hoher Energieausnutzungsgrad wird dabei unabdingbare Voraussetzung sein, um marktfähig zu sein.

Im Projekt soll das Potential der Brennstoffzellenabwärme analysiert und technische Möglichkeiten zur Einkopplung im Schienenfahrzeug aufgezeigt werden.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines Fahrzeugkonzeptes für ein Schienenfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb, welches zusätzlich die Abwärme der Brennstoffzelle in das Klimatisierungskonzept des Zuges einbindet.

Fokus des Fahrzeugkonzeptes ist der Ersatz von

Diesel-Triebwagen in Regionen, die für eine Voll-Elektrifizierung wirtschaftlich nicht geeignet sind.

Durch effektive Nutzung der Abwärmepotentiale kann eine Reichweitensteigerung des Schienenfahrzeuges erreicht werden.

VORGEHEN

Der Fokus im Projekt liegt auf der Erschließung von Rekuperationspotentialen aus den Abwärmeströmen innerhalb des Schienenfahrzeuges und dort speziell des Brennstoffzellenantriebes. Die nicht direkt nutzbare Abwärme soll vorzugsweise in elektrische Energie gewandelt werden. Durch die teilweise Substitution der Antriebsenergie für Klimaanlage (Lüfter, Kältemittelverdichter) soll die Reichweite der Fahrzeuge erhöht werden.

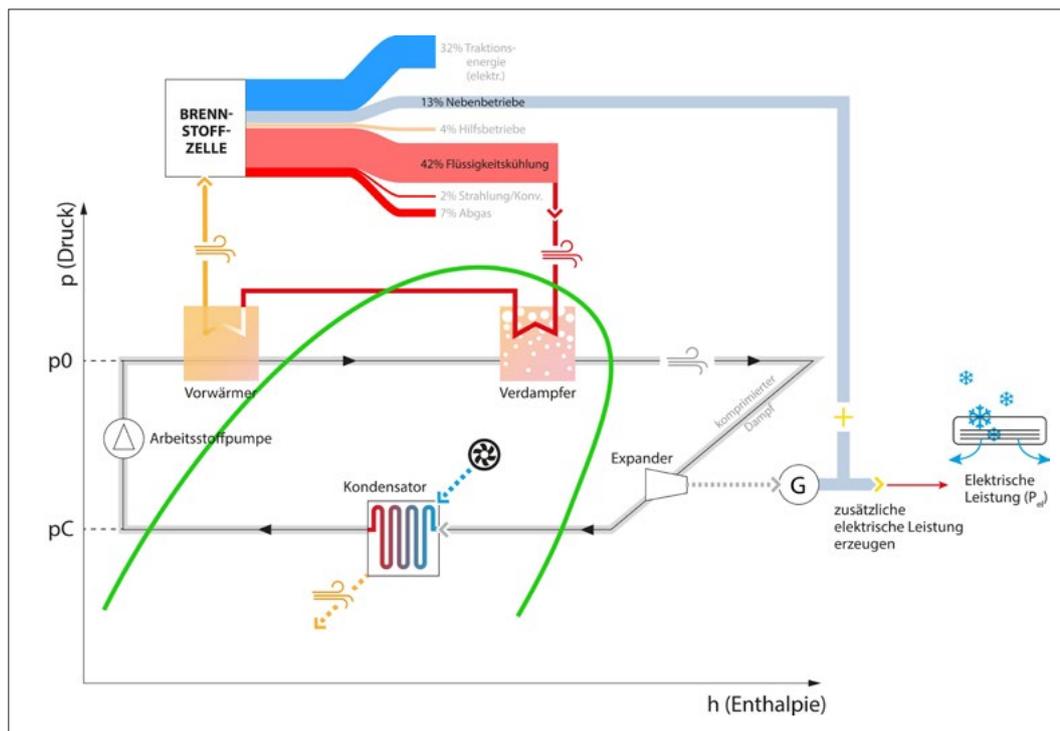


Bild 1: Prinzipielle Darstellung einer möglichen Kreislaufvariante zur Rückgewinnung von Elektroenergie aus Abwärme

Projektleitung

Dipl. Ing. Ralf Noack

Fördermittel

SAB Clusternummer 3893



Folgende Arbeitsschritte werden ausgeführt:

- Aus vorhandenen ungenutzten Abwärmquellen (Brennstoffzelle, Bremse u. a.) im Fahrzeug werden Potentiale zur Elektroenergieumwandlung analysiert und deren wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft.
- Vorhandene Abwärmepotentiale sollen über einen ORC- bzw. Kalina-Prozess umgewandelt werden.
- Die umgewandelte Elektroenergie wird zum Antrieb von Sekundärsystemen, beispielsweise Klimageräte, genutzt. Überschüssige niedertemperaturierte Abwärme könnte zudem noch in das Klimatisierungskonzept des Fahrzeuges eingeleitet werden.
- Eine Kombination von ORC und Klima in einem Kältekreislauf wird geprüft.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Als Hauptwärmequelle für die Rekuperation wurde erwartungsgemäß die Abwärme der Brennstoffzelle ermittelt. Die Energieeffizienz

der Brennstoffzelle ist aufgrund der niedrigen Temperatur am Austritt der Brennstoffzelle nicht ausreichend, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Zur Verbesserung des Energieausnutzungsgrades wird deshalb der Prozess zusätzlich mit der Klimaanlage direkt gekoppelt und die Kühlkreisläufe auf dem Fahrzeug miteinander verbunden. Die technische Umsetzbarkeit auf dem Schienenfahrzeug wird aktuell geprüft.

FAZIT / AUSBLICK

Trotz des geringen Temperaturniveaus kann ein ORC-Prozess im Schienenfahrzeug durch Einkopplung in vorhandene Systeme positive Effekte zur Steigerung der Reichweite und Erhöhung des Komforts führen. Durch die Verwendung eines zukunftsfähigen natürlichen Kältemittels im ORC- und Klimaprozess könnte die Anwendung zusätzlich Vorbildcharakter haben.

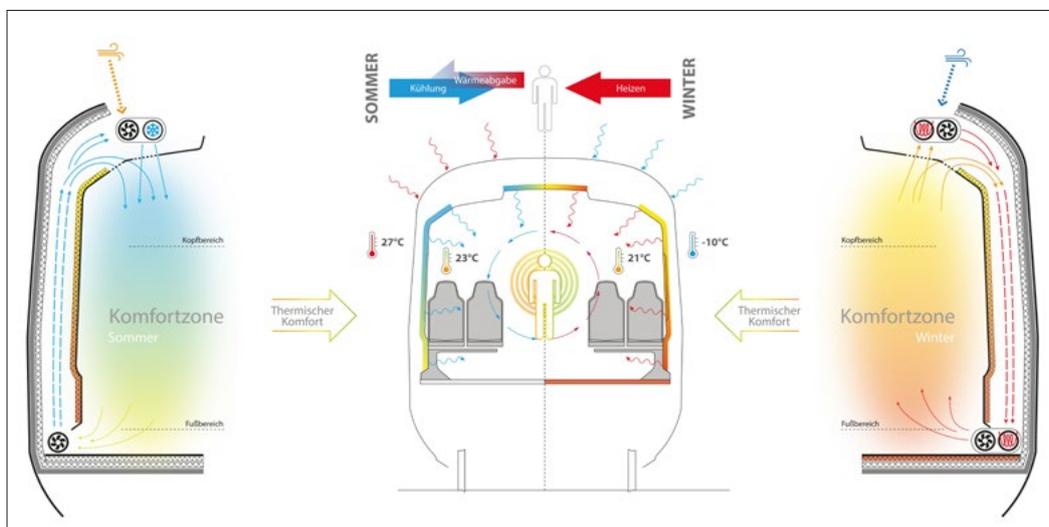


Bild 2: Schematische Darstellung der Klimatisierungszonen in einem Fahrgastraum eines Schienenfahrzeuges

Prüfstände Kältetechnik, Wärmepumpen

Moderne Wäschetrockner sind mit einem Wärmepumpenmodul ausgerüstet. Die Luft aus der Wäschetrommel wird am Verdampfer abgekühlt. Dadurch kondensiert der Wasserdampf und die Luft wird entfeuchtet. Das Tauwasser wird abgeführt. Die trockene Luft wird anschließend zum Verflüssiger der Wärmepumpe geführt und dort stark erwärmt. Diese warme, trockene Luft wird in die Wäschetrommel eingeblasen und kann sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen. Damit ist der Luftkreislauf innerhalb des Wäschetrockners geschlossen.

Da bei diesem Prozess sowohl die Kälteleistung zur Entfeuchtung und die Wärmeleistung zur Heizung der Luft genutzt wird, ist es eine Kälte-Wärme-Kopplung. Beide thermische Leistungen stellen einen Nutzen dar. Derartige Anwendungen sind in der Regel sehr energieeffizient und haben auch eine hohe Wirtschaftlichkeit.

Für die richtige Dimensionierung der beiden Luftwärmeübertrager, Verdampfer und Verflüssiger, ist die Kenntnis der im Kreislauf um-

laufenden Luftmenge wichtig. Mit Hilfe der vom ILK Dresden entwickelten und gebauten Messstrecke kann der Volumenstrom direkt am Wäschetrockner exakt gemessen werden. Die Besonderheit dieser Messeinrichtung für den Wäschetrocknerprüfstand eines Herstellers in China besteht darin, dass der Druckverlust der Messstrecke selbst über einen Stützventilator exakt auf Null kompensiert werden muss. Diese Grundmethode der Volumenstrommessung wurde in verschiedenen Forschungsprojekten entwickelt und für eigene Messungen an Luftwärmeübertragern bereits mehrfach erfolgreich eingesetzt.

Die Energiewende in Deutschland erfordert in den nächsten Jahren insbesondere eine Umstellung des Wärmesektors auf strombasierte Verfahren. Dabei kann die Anwendung von Wärmepumpen für die Beheizung von Gebäuden einen wesentlichen Beitrag liefern. Die Nutztemperaturen liegen relativ niedrig im Bereich von 20 - 25 °C. Auf der anderen Seite stehen verschiedene Um-



Bild 1: Volumenstrommessstrecke für Luft

welt-Wärmequellen mit einem ausreichend hohen Temperaturniveau zur Verfügung. Dabei hat sich in den letzten Jahren die Wärmequelle Außenluft mehr und mehr durchgesetzt, wie die steigenden Absatzzahlen des Bundesverbandes Wärmepumpen zeigen. Der Vorteil der Wärmequelle Luft ist, dass sie universell an jedem Standort zur Verfügung steht und direkt ohne zusätzliche Wärmequellanlage genutzt werden kann.

Durch steigende Produktionszahlen Luft-Wasser-Wärmepumpen besteht ein erhöhter Bedarf an Prüfeinrichtungen zur Entwicklung dieser Wärmepumpen in einem größeren Leistungsbereich. Somit konnte das ILK einen weiteren Wärmepumpenprüfstand für einen Hersteller in Deutschland entwickeln und ausliefern. Die Kommunikation der MSR-Software mit allen Messgeräten unterschiedlicher Hersteller erfolgt über einen MODBUS. Damit erfolgt die Datenübertragung digital und die Messunsicherheit verringert sich nochmals. Diese Lösung wurde schrittweise für die Messgeräte innerhalb von Forschungsprojekten entwickelt, insbesondere im Projekt „Automatisierte Gasschleife“.



Bild 2: Inbetriebnahme des Prüfstandes im ILK-Versuchsfeld

FuE-Dienstleistungen 2020

Die europäische F-Gase-Verordnung erzwingt den zunehmenden Einsatz von neuen Kältemitteln mit einem niedrigen Treibhauspotential. Für das Jahr 2021 ist wieder eine größere Reduzierung auf nur noch 45 % der Ausgangsmenge der alten Kältemittel erforderlich. Die Industrie stellt deshalb gegenwärtig eine Anzahl von Produkten auf neue Kältemittel um bzw. die Produkte sind komplette Neuentwicklungen.

Das Jahr 2020 war deshalb geprägt von einer größeren Anzahl von Anfragen zur Unterstützung bei der Entwicklung dieser neuen Produkte.

Für das Kältemittel Kohlendioxid wurde ein Hersteller bei der Konstruktion des Kältekreislaufes und bei Sicherheitsaspekten eines Verflüssigungssatzes beraten.

Das Kältemittel Propan spielt zunehmend eine Rolle bei den Neuentwicklungen. Das ist einerseits nicht unerwartet, ist es doch hinsichtlich seiner thermodynamischen Eigenschaften dem alten FCKW R22 ähnlich. Andererseits fehlt den Herstellern und insbesondere den Betreibern noch die Erfahrung mit diesem hochentzündlichen Kältemittel, so dass noch erhebliche Vorbehalte wegen des Explosionsrisikos bestehen. So wurde ein Hersteller von Wärmepumpen bei der Entwicklung seiner neuen Propan-Wärmepumpe bei der Risikoanalyse unterstützt.

Diese Expertise des ILK Dresden wurde im Forschungsprojekt „Automatische Gasschleife“ erarbeitet. In diesem Projekt wurde ein Prüfstand für Propan-Verdichter entwickelt und in einem Maschinenraum aufgestellt, so dass alle Arbeitsschritte eines Herstellers und eines Betreibers einer Kälteanlage mit brennbaren Kältemitteln durchlaufen würden. Auf diesem Prüfstand erfolgten auch bereits Lebensdaueruntersuchungen an Kältemittelverdichtern mit Propan. Diese Verdichterqualifizierung dient bei dem Hersteller für Klimageräte der Vorauswahl



Bild 1: Scrollverdichter beim Lebensdauertest

für ein neues Produkt. Ziel ist die Vermeidung von Serienschäden, wie sie in der Vergangenheit öfter vorkamen.

Eine Reihe messtechnischer Untersuchungen von neuen kältetechnischen Komponenten wurden auf den Prüfständen des ILK Dresden erbracht. Das betraf die Neuentwicklung von Wärmeübertragern für eine Autoklimaanlage und die experimentelle Erprobung von neuen elektronischen Expansionsventilen für größere Kälteanlagen.

Für eine Papierfabrik wurde ein Konzept entwickelt, die Energie aus dem Wasserdampf der Abluft zurückzugewinnen und wieder in den Kreislauf der Produktion zurückzuführen. Dafür wäre der Einsatz einer Hochtemperaturwärme-

pumpe, wie sie in einem Forschungsprojekt des ILK Dresden als Prototyp kleiner Leistung entwickelt wurde, sehr attraktiv. Dieses Konzept soll schrittweise über Planungsleistungen in der Praxis realisiert werden.



Bild 2: „Wasserdampffahne“ über einer Papierfabrik

Normungsarbeit 2020

Nummer:	prEN 16440-2:2020 Prüfung von Kühleinrichtungen für wärmegeämmte Transportmittel – Teil 2: Eutektische Kühleinrichtungen; Deutsche und Englische Fassung prEN 16440-2:2020
Normungsausschuss:	NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) NA 044-00-10 AA Arbeitsausschuss Fahrzeugkühlung
Normenziel:	Dieses Dokument gilt für eutektische Kühlvorrichtungen, die zur Verwendung mit wärmegeämmten Transporteinrichtungen bestimmt sind. Innerhalb dieses Dokuments finden die folgenden Anwendungen Berücksichtigung. Eutektische Kühleinrichtungen mit oder ohne Kompressor / Kondensatoreinheit, die zum Einbau in wärmegeämmte Transportmittel (zum Beispiel Lastkraftwagen, Anhänger, Waggon) bestimmt sind.
Förderprojekt:	921205 – „Effiziente E-Commerce-Kühlboxen (EECKBOX); FKZ: 49MF190083

Nummer:	VDMA-Einheitsblätter 24020-3 und 24020-5 Betriebliche Anforderungen an Kälteanlagen – Teil 3: Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln der Sicherheitsklasse A3 gemäß DIN EN 378 und Teil 5: Kälteanlagen mit Kältemitteln geringerer Brennbarkeit (Sicherheitsklassen A2 und A2L gemäß DIN EN 378) Deutsche Fassung VDMA 24020-3 und -5: XX/2021
Normungsausschuss:	Arbeitskreis unter Federführung der Fachabteilung Kälte- und Wärmepumpentechnik im VDMA in Zusammenarbeit mit Betreibern, Berufsgenossenschaften, Bundesfachschulen, dem Handwerk, der Industrie, wissenschaftlichen Einrichtungen, Behörden und Technischen Überwachungsvereinen
Normenziel:	Die VDMA-Einheitsblätter 24020-3 und -5 beziehen sich auf den Betrieb von Kälteanlagen und Wärmepumpen (im weiteren Kälteanlagen genannt) mit brennbaren Kältemitteln der Sicherheitsklasse A3 gemäß DIN EN 378-1 (Teil 3) bzw. mit brennbaren Kältemitteln der Sicherheitsklassen A2 bzw. A2L gemäß DIN EN 378-1 (Teil 5), unabhängig vom Zeitpunkt ihrer Inbetriebnahme. Bei Einsatz weiterer Kältemittel (z. B. Kaskade) gelten die anderen Teile des VDMA-Einheitsblattes 24020 entsprechend zusätzlich. Diese VDMA-Einheitsblätter geben Empfehlungen für einen sicheren Betrieb der Kälteanlagen und Hinweise zum Umgang mit brennbaren Kältemitteln der Sicherheitsklasse A3, A2 bzw. A2L.

Förderprojekt: 621017 – Propanchiller
FKZ: ZF4079122CL9

Nummer: prEN 17432:2019-11
Kälteaggregate für begehbare Kühlräume – Klassifikation, Prüfung der Leistung und des Energieverbrauchs; Deutsche und Englische Fassung
prEN 17432:2019

Normungsausschuss: NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä)
NA 044-00-01 AA Arbeitsausschuss Sicherheit und Umweltschutz

Normenziel: 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 Dampfkomppressionszyklus arbeiten, und die werkseitig entweder in kompakter oder geteilter Ausführung hergestellt werden.



-
- Nummer: DIN EN 378-1:2020-12
Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien; Deutsche Fassung EN 378-1:2016+A1:2020
- Normungsausschuss: NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä)
NA 044-00-01 AA Arbeitsausschuss Sicherheit und Umweltschutz
- Normenziel: Diese Europäische Norm legt die Anforderungen an die Sicherheit von Personen und Eigentum fest, liefert eine Anleitung in Hinblick auf den Schutz der Umwelt und enthält Vorgehensweisen für Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung von Kälteanlagen und die Rückgewinnung von Kältemitteln. Der in dieser Europäischen Norm verwendete Begriff „Kälteanlage“ schließt Wärmepumpen mit ein. Der vorliegende Teil der EN 378 legt die auf Kälteanlagen anwendbare(n) Klassifikation und Auswahlkriterien fest. Die Klassifikation und Auswahlkriterien werden in den Teilen 2, 3 und 4 angewendet. Anhang C legt fest, wie die in einem gegebenen Raum zulässige Kältemittel-Füllmenge zu bestimmen ist, bei deren Überschreitung zusätzliche Schutzmaßnahmen zur Risikominderung erforderlich sind. Anhang E legt Kriterien für sicherheits- und umweltbezogene Überlegungen in Bezug auf verschiedene bei Kühlung und Klimatisierung eingesetzte Kältemittel fest.
-
- Nummer: DIN EN 378-2:2018-04
Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation; Deutsche Fassung EN 378-2:2016
- Normungsausschuss: NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä)
NA 044-00-01 AA Arbeitsausschuss Sicherheit und Umweltschutz
- Normenziel: Diese Europäische Norm legt die Anforderungen an die Sicherheit von Personen und Eigentum fest, liefert eine Anleitung in Hinblick auf den Schutz der Umwelt und enthält Vorgehensweisen für Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung von Kälteanlagen und die Rückgewinnung von Kältemitteln. Die in dieser Europäischen Norm verwendete Benennung „Kälteanlage“ schließt Wärmepumpen mit ein. Der vorliegende Teil 2 dieser Norm gilt für die Konstruktion, Herstellung und Aufstellung von Kälteanlagen, einschließlich Rohrleitungen, Komponenten und Werkstoffen. Diese Norm legt außer-

dem Anforderungen an die Prüfung, Inbetriebnahme, Kennzeichnung und Dokumentation fest. Anforderungen an sekundäre Wärmeträgerkreisläufe mit Ausnahme jeglicher mit der Kälteanlage verbundener Schutzanforderungen sind ausgeschlossen.

- Nummer: DIN EN 378-3:2020-12
Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen; Deutsche Fassung EN 378-3:2016+A1:2020
- Normungsausschuss: NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä)
NA 044-00-01 AA Arbeitsausschuss Sicherheit und Umweltschutz
- Normenziel: Diese Europäische Norm legt die Anforderungen an die Sicherheit von Personen und Eigentum fest, liefert eine Anleitung in Hinblick auf den Schutz der Umwelt und enthält Vorgehensweisen für Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung von Kälteanlagen und die Rückgewinnung von Kältemitteln. Die in dieser Europäischen Norm verwendete Benennung „Kälteanlage“ schließt Wärmepumpen mit ein. Dieser Teil 3 der Europäischen Norm gilt für den Aufstellungsort (Aufstellungsraum und Versorgungseinrichtungen). Sie legt die Anforderungen fest, die aufgrund der Kälteanlage und von deren Bauteilen für die Sicherheit vor Ort erforderlich sein können, die jedoch nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Kälteanlage und deren Bauteilen stehen.
-

- Nummer: DIN EN 378-4:2019-12
Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung; Deutsche Fassung EN 378-4:2016+A1:2019
- Normungsausschuss: NA 044 DIN-Normenausschuss Kältetechnik (FNKä)
NA 044-00-01 AA Arbeitsausschuss Sicherheit und Umweltschutz
- Normenziel: Die Änderung berücksichtigt die Anpassung des Anhangs D „Wiederkehrende Prüfungen“ an die F-Gase-Verordnung (EU) Nr. 517/2014.



**LUFT- UND
KLIMATECHNIK**

Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 58 **Klimatechnik-Betriebsoptimierung
mittels maschinellem Lernen**
- 60 **Gegenläufiger Radialventilator**
- 62 **Aktives Schichtladesystem für Kaltwasserpufferspeicher**
- 64 **Numerische und experimentelle Analyse des
Wärmeübergangs in turbulenten Nanofluiden**
- 66 **Wärmeübergang laminarer Strömungen
unter dem Einfluss von Magnetfeldern**
- 68 **Cl.Ai.Co – Clever Air Components
Entwicklung eines innovativen Systems für
eine energieeffiziente Gebäudeklimatisierung**
- 70 **Entwicklung klimatechnischer Anlagen**
- 72 **Numerische Strömungssimulation**
- 74 **Erhöhung der Energieeffizienz Kälteverbund**
- 76 **Entwicklung eines Prüfverfahrens für
biologische Luftfilter**
- 78 **Entwicklung eines Biomasseheizkessels mit
neuartiger Abscheidung für NO_x**
- 80 **Neue Generation von Nadelfilzvliesstoffen
für die Luft- und Gasfiltration**
- 82 **ADDIFIL – Filtrationsverfahren Additive Fertigung**
- 84 **FuE-Dienstleistungen
Aerosolmessungen und Untersuchungen zur
Wirksamkeit von Raumluftreinigern**
- 86 **Normungsarbeit 2020**

Klimatechnik-Betriebsoptimierung mittels maschinellem Lernen

Einsatzbereich

Klimatechnische Systeme in
Gebäuden



Bild 1: Anwendung von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) für einen optimalen Betrieb klimatechnischer Systeme

ZIELSTELLUNG

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird ein Betriebsoptimierungs-Tool entwickelt, mit dem sich klimatechnische Systeme in Gebäuden intelligent regeln lassen. Ziel der Optimierung ist ein hoher Komfort für die Gebäudenutzer bei gleichzeitig niedrigem Energiebedarf. Bisher ist die Effizienz klimatechnischer Systeme im Betrieb oft niedriger, als in der Planung prognostiziert wurde. Durch die Verknüpfung von Daten des digitalen Gebäudemodells (BIM) mit Methoden des maschinellen Lernens (ML, Bild 1) soll mit dem entwickelten Tool ein optimaler Betrieb erreicht werden. Die Effizienzsteigerung führt zur Einsparung von Betriebskosten, Energie und Kohlendioxidemissionen.

VORGEHEN

Wie Bild 2 zeigt, bilden Messdaten des Systems in Verbindung mit Daten aus dem digitalen Gebäudemodell (BIM) die Grundlage des Tools. Methoden des maschinellen Lernens (ML) kommen zum Einsatz, um verschiedene zeitliche Prognosen zu erstellen. Diese Prognosen fließen in einen Optimierungsalgorithmus ein, der für den Optimierungshorizont die optimalen Regelparameter (z.B. Zulufttemperatur) ermittelt und der Gebäudeleittechnik vorgibt.

Für die Betriebsoptimierung ist es relevant, ob / wann Personen im Raum oder Gebäude sind (Anwesenheits- / Belegungsprognose). Wird beispielsweise die Solltemperatur in einem Büro morgens zu früh erreicht, kann ein unnötiger Energieverbrauch auftreten. Ist hingegen bei Ankunft der Nutzer noch nicht die gewünschte Temperatur erreicht, kommt es zu Unzufriedenheit. Die Anzahl der Personen korreliert mit thermischen Lasten durch die Personen selbst sowie z.B. durch genutzte Geräte.

Ebenfalls von Bedeutung sind äußere thermische Lasten, die auf den Raum wirken. Die Wetterprognose, insbesondere Außentemperatur und solare Strahlung, wird von Wetteranbietern bereitgestellt. Daraus sind für das klimatechnische System relevante Daten, z.B. der Wärmeeintrag durch Wände und Fenster, vorauszusagen. Wenn beispielsweise eine starke solare Einstrahlung durch die Fenster erwartet wird, kann die Heizleistung vorausschauend reduziert werden.

Basierend auf den Lasten sowie dem Betrieb des klimatechnischen Systems wird die Raumreaktion, d.h. die zeitliche Entwicklung der Raumlufttemperatur, prognostiziert. Nicht zuletzt ist das Verhalten der raumlufttechnischen Anlage vorherzusehen, um z.B. den Energiebedarf bei einer bestimmten Betriebsweise zu ermitteln. Für die einzelnen Prognosen ist zu erforschen,

Projektleitung

Dr.-Ing. Thomas Oppelt

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

welches ML-Verfahren am besten geeignet ist und welche Einflussparameter (Features) jeweils einbezogen werden. Für die Anwesenheits- / Belegungsprognose können beispielsweise folgende Features relevant sein:

- Monat (gibt es jahreszeitliche Muster?)
- Arbeitstag / Nicht-Arbeitstag (z.B. Wochenende, Feiertag)
- Wochentag (z.B. freitags früher Feierabend?)
- Uhrzeit
- Brückentag ja / nein (signifikante Abwesenheit an Brückentagen?)
- Schulferien ja / nein (Häufung von Urlaub?)
- Belegung aktuell / vorher

Ziel ist es, eine sinnvolle Feature-Kombination zu finden – so viele wie nötig, so wenige wie möglich. Werden zu wenige oder nicht die richtigen Features für die Prognose herangezogen, ist die Prognosegüte gering. Unnötig viele Features ziehen hingegen einen übermäßig hohen Modell- aufwand nach sich, außerdem besteht die Gefahr schlechter Generalisierung des Prognosemodells: es lernt Trainingsdaten „auswendig“ und arbeitet schlecht mit unbekanntem Daten.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Für die beschriebenen Prognosen wird die Vielfalt verfügbarer ML-Verfahren intensiv untersucht. Dabei zeigte sich, dass beispielsweise für die Anwesenheits- / Belegungsprognose das Verfahren „Random Forest“ besonders geeignet ist. Dabei wird ein „Wald“ aus Entscheidungsbäumen (Decision Trees) aufgebaut. Die erreichte Prognosegüte entspricht der mit einem künstlichen neuronalen Netz (KNN) realisierbaren, wobei das Random-Forest-Modell rechen- technisch deutlich weniger aufwendig ist. Für die Prognose des Raumverhaltens sind jedoch KNN notwendig, da aufgrund der Speicherwirkung die zeitliche Entwicklung eine Rolle spielt. LSTM-Techniken (long short-term memory) er- scheinen vielversprechend.

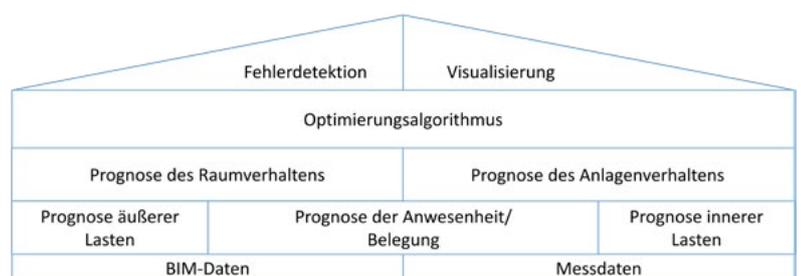


Bild 2: Bausteine des Betriebsoptimierungs-Tools

Gegenläufiger Radialventilator

Einsatzbereich

- Klimatechnik
- Lüftung
- Kühlung

ZIELSTELLUNG

In vielen Bereichen werden Radialventilatoren für die Förderung von Luft eingesetzt. Je nach Einbausituation und Anforderung, z.B. in einem Klimagerät, kann der Einsatz eines gehäuselosen Ventilators (auch „freilaufendes Rad“) sinnvoll sein. Nachteilig ist die drallbehaftete Abströmung aus dem Laufrad, die bei nachfolgenden Bauteilen wie z.B. Filtern, Schalldämpfern oder Wärmeübertragern zu einer schlechteren Akustik, mehr Druckverlust und geringerer Leistung führen kann. In diesem Projekt wird daher ein Radialventilator mit zwei gegenläufig rotierenden Laufrädern entwickelt, der folgende Vorteile aufweist:

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

VORGEHEN

In den ersten Projektphasen wurde der Ventilator ausgelegt. Die Auslegung erfolgte mit Unterstützung der Firma CFturbo und deren gleichnamigem Auslegungsprogramm. Auslegungsdaten des Ventilators sind ein Druckaufbau von 200 Pa über beide Stufen bei einem Volumenstrom von 150 m³/h und einem Durchmesser von 150 mm für das äußere Laufrad (B). Die Drehzahlen des Ventilators liegen bei 3.000 U/min für das Laufrad A und 1.500 U/min für das Laufrad B.

Mittels einer numerischen Strömungssimulation (CFD) wurde das Zusammenspiel der beiden Laufräder untersucht. Dabei wurden insbesondere unterschiedliche Drehzahlverhältnisse zwischen den beiden Laufrädern angenommen.

Aufgrund der Funktionsweise dieses Prinzips während der strömungsmechanischen Berechnung wurden die beiden Laufräder mittels FDM-Verfahren auf 3D-Druckern des ILK Dresden gefertigt. Mit Hilfe dieses Verfahrens können schnell und effizient unterschiedliche Modelle gefertigt werden, an

denen neue Strukturen untersucht werden können.

Daran anschließend konnte der Ventilator auf dem Prüfstand nach DIN EN ISO 5801 vermessen und die Strömungsverhältnisse am Windkanal untersucht werden. Bei den Messungen an der Ventilatorprüfkammer wird der erreichte statische Druckaufbau in Abhängigkeit des Volumenstromes aufgenommen.

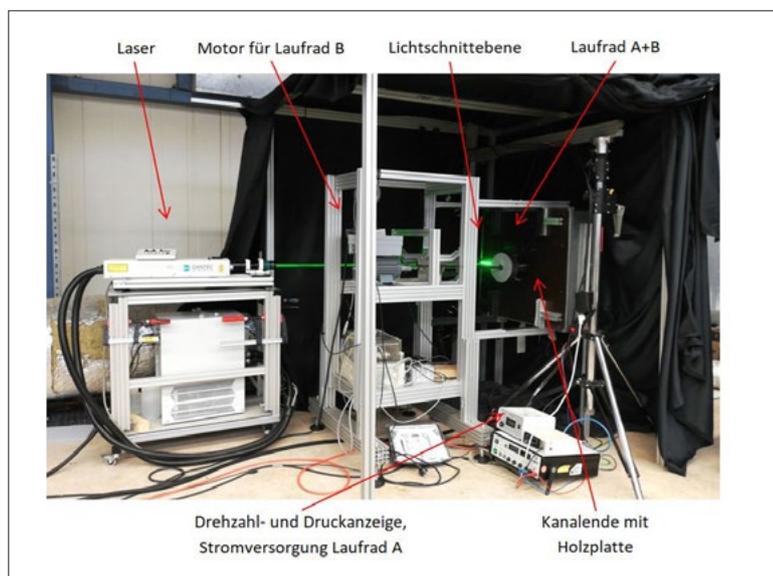


Bild 1: Prüfstand für die Bestimmung der Strömungsverhältnisse am Austritt des Ventilators

Projektleitung

Dipl.-Ing. (FH) Christian Friebe

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kooperationen

CFturbo GmbH

Parallel dazu erfolgt die Bestimmung der Drehzahlen und der Leistungen. Die Volumenstrommessung erfolgt mit einer Messblende nach DIN EN ISO 5167. An diesem Kammerprüfstand wurden unterschiedliche Dichtungsvarianten des Radialspaltes zwischen den beiden Laufrädern untersucht.

Das Bild 1 zeigt den Prüfstand für die laser-optischen Geschwindigkeitsmessungen. Mittels Laser wird ein Lichtschnitt erzeugt, der den Austritt des Ventilators (Laufrad A+B) in der Horizontalen belichtet. Auf diesen Lichtschnitt schauen zwei perspektivisch ausgerichtete Kameras mit bekannter Ausrichtung und Sichtfeld. Die Kameras erfassen Partikel, die der Strömung vor der Ansaugkammer des Ventilators zugegeben werden. Aus den Aufnahmen dieser Partikel können die dreidimensionalen Geschwindigkeitsvektoren in der belichteten Ebene berechnet werden. Der Ventilator wird über zwei Motoren angetrieben. Der Antrieb des Laufrades A befindet sich in der Ansaugkammer, der Antrieb des Laufrades B außerhalb.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Die Strömungssimulationen weisen darauf hin, dass ein Drehzahlverhältnis von 0,4 zu einem optimalen Abströmwinkel, d.h. radial aus dem Laufrad strömend, führt.

Die Variation der Dichtungen zeigt einen deutlichen Einfluss auf die Leistung und den Wirkungsgrad des Ventilators. Unter Beachtung der Fertigbarkeit und der Montage konnte eine optimale Dichtung entwickelt werden.

Die Messungen der Geschwindigkeitsvektoren am Austritt des Ventilators zeigt das Bild 2. Die Ergebnisse zeigen, dass eine deutliche Reduktion der Geschwindigkeitskomponenten in Umfangsrichtung erreicht werden konnte.

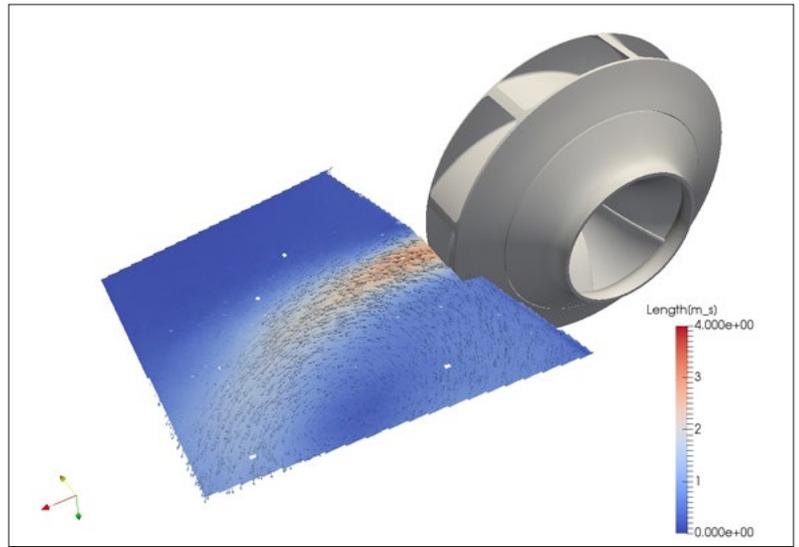


Bild 2: 3D-Geschwindigkeitsvektoren am Austritt des gegenläufigen Ventilators in der Schnittebene

FAZIT / AUSBLICK

Alle bisherigen Untersuchungen beweisen die Anwendbarkeit des gegenläufigen Laufradprinzips auch bei Radialventilatoren. Nach dem Kenntnisstand sollte das Drehzahlverhältnis optimiert werden und eine Dichtung im Radialspalt verwendet werden.

Diese sind in einem weiteren Optimierungsschritt umzusetzen und deren Einfluss akustisch zu bewerten.

Aktives Schichtladesystem für Kaltwasserpufferspeicher

Einsatzbereich

- Kaltwasserversorgung
- Kaltwassersätze
- hydraulische Kaltwasserkreise mit Pufferspeicher

ZIELSTELLUNG

Ziel ist die Entwicklung eines aktiven Be- und Entladesystems für Kaltwasserpufferspeicher, das durch eine temperaturgesteuerte Ein- und Ausschichtung des Kaltwassers konvektive Mischungsverluste reduziert. Eine integrale Temperaturmessung im Speicherinneren ermittelt die Temperaturverteilung und die Belade- und Entnahmeleistung. Diese Informationen werden neben der gezielten Einschichtung des Kaltwassers auch für die Ansteuerung des Kälteerzeugers aufbereitet und verfügbar gemacht. Damit soll eine deutliche Effizienzsteigerung bei der Kälteerzeugung erreicht werden.

VORGEHEN

Mit Hilfe von Jahressimulationsrechnungen wurden zunächst Kühllastprofile typischer Nutzungsarten erstellt und die Potentiale für die

Freie Kühlung ermittelt. Dabei zeigte sich, dass nur an sehr wenigen Jahresstunden die maximale Kälteleistung erforderlich ist. Die meisten Betriebsstunden liegen im Teillastbereich unterhalb 70 %. Eine Auswertung der Teillasteffizienz verschiedener Kältemaschinen hingegen zeigt, dass gerade in diesem Teillastbereich sehr große Effizienzunterschiede auftreten, die durch eine gezielte Schaltzeitbeeinflussung zur Effizienzerhöhung genutzt werden können.

Anschließend wurden für den Belader Konstruktionsentwürfe erstellt und die konstruktiven Eigenschaften für die numerische Berechnung aufbereitet. Dabei wurde in Varianten mit einseitiger Ausströmung aus dem Hauptrohr und vierseitiger Ausströmung unterschieden. Im Ergebnis der numerischen Untersuchungen wird der vierseitigen Ausströmung der Vorzug gegeben, da eine mittige Anordnung des Hauptrohrs neben der gleichmäßigen Einbringung an allen über der Höhe verteilten Öffnungen auch Vorteile bei der Einbringung des Hauptrohres in den Speicher und bei Revision und Wartung im Betrieb bietet.

Um den Einfluss der Bewegung einer ortveränderlichen Beladetasse zu erfassen, wurde der höhenveränderliche Belader mit verschiedenen Geschwindigkeiten und unterschiedlicher Anzahl an Profildurchfahrten durch einen zuvor thermisch geschichteten Speicherbehälter bewegt. Die messtechnischen Untersuchungen zeigten, dass

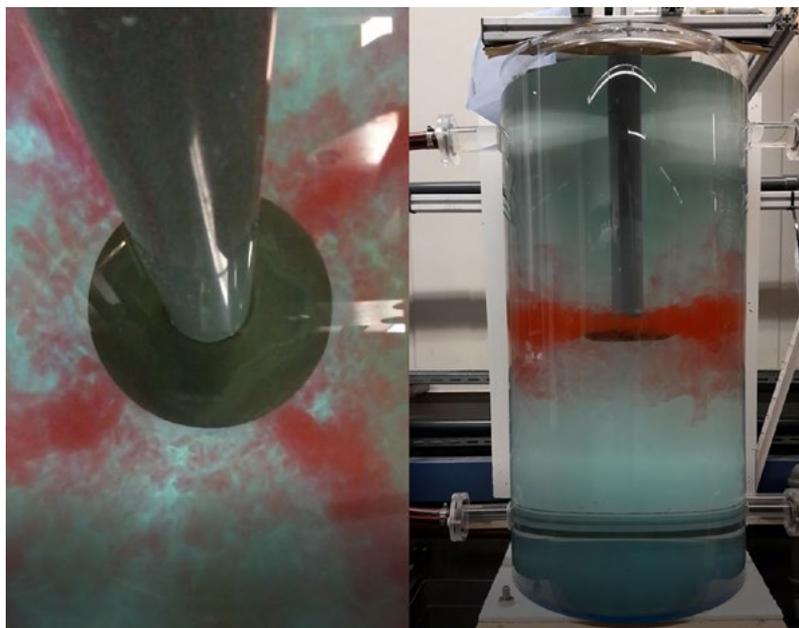


Bild 1: Untersuchungen zum Ausströmverhalten am ortsfesten Belader (Draufsicht und Ansicht)

Projektleitung

Dipl.-Ing. Ronny Mai

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

durch die Bewegung des Beladers innerhalb des Speichers Konvektionsströmungen ausgelöst werden, die auch bei großen Geschwindigkeiten nicht zu einer Zerstörung der Schichtung führen. Nach der Durchfahrt durch die Temperaturgrenzschicht (Gleitzone) stellen sich die Schichtung und die Gleitzone wieder ein, es kommt aber zu einer geschwindigkeitsabhängigen Annäherung der mittleren Temperatur der warmen und kalten Schicht. Der Abbau der Temperaturdifferenz korreliert dabei mit der Geschwindigkeit der Auf- oder Abbewegung der Beladetasche. Eine vollständige Durchmischung des Behälters wurde erst nach mehr als 10 vollständigen Durchfahrten bei maximaler Geschwindigkeit erreicht.

Das Ausströmverhalten des ortsfesten Beladers wurde ebenfalls messtechnisch untersucht. Dazu wurde das Strömungsprofil am Austritt des Beladers durch die Zugabe von Lebensmittelfarbe in den Strömungsweg visualisiert. Anhand der Messergebnisse bei verschiedenen Austrittsgeschwindigkeiten und Temperaturdifferenzen wurde die Beladerkontur entsprechend modifiziert und konstruktiv optimiert.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Für die messtechnischen Untersuchungen wurde in der Versuchswerkstatt ein Versuchsstand errichtet, der auch das Messsystem zur hochgenauen Erfassung der Temperaturverteilung im Speicherbehälter enthält. Mit dem Versuchsstand können für die Be- und Entladung des Speicherbehälters verschiedene Temperaturniveaus erzeugt werden und die Zu- und Abströmung über verschiedene Ein- und Austrittsöffnungen mengengeregelt organisiert werden.

Im Ergebnis der bisherigen Untersuchungen wurde eine Fokussierung auf den ortsfesten



Bild 2: Versuchsstand

Mehrfachbelader mit internem Drehrohr erreicht. Durch die Austrittskonturoptimierung wurde zudem eine technische Lösung gefunden, die eine sehr homogene Verteilung der austretenden Strömung erreicht, welche dem Ausströmverhalten des Ringspaltbeladers des parallel untersuchten höhenveränderlichen Systems sehr nahe kommt. Diese gefundene Lösung soll vervielfältigt werden und an allen Austrittsöffnungen des ortsfesten Beladers zum Einsatz kommen. Im nächsten Schritt ist die Ansteuerung der einzelnen Austrittsebenen des ortsfesten Mehrfachbeladers zu konstruieren und in den Versuchsaufbau zu integrieren, damit die messtechnischen Untersuchungen weitergeführt werden können.

Numerische und experimentelle Analyse des Wärmeübergangs in turbulenten Nanofluiden

Einsatzbereich

- Wärmeübergang
- Nanofluide
- Rohr- und Kanalströmungen

ZIELSTELLUNG

Der Gegenstand des Projektes ist die Analyse der Mechanismen des Wärmeübergangs in turbulenten Nanofluiden mit Hilfe numerischer Simulationen, experimenteller Untersuchungen und analytischer Ansätze. Nanofluide sind Suspensionen, bestehend aus einem Trägerfluid und Partikeln (z.B. Gold, Aluminiumoxid oder Diamant) mit einem Durchmesser zwischen 10 und 100 nm. Wissenschaftliche Veröffentlichungen zeigen eine deutliche Erhöhung des Wärmeübergangs gegenüber undotierten Fluiden.

VORGEHEN

Durch den Einsatz von hochauflösenden numerischen Simulationen werden alle physikalischen Effekte beim Wärmeübergang in turbulenten Nanofluiden erfasst, wie z.B. Thermophorese aufgrund der Brownschen Molekularbewegung. Zusätzliche experimentelle und analytische Untersuchungen dienen der Identifikation relevanter Mechanismen im Nanofluid sowie zur Entwicklung von neuartigen Berechnungsmodellen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Betrachtungen haben gezeigt, dass sich die Nanopartikel bei turbulenter Strömung vorzugsweise räumlich gleich verteilen und keine Relativbewegung zum Fluid aufweisen. Aus diesem Grund wurde ein neues Konzept zur Simulation von Nanofluiden erstellt. Es basiert auf einer geschlossenen Simulationsmethodik für verhältnismäßig grobe Rechengitter, ausgehend von den Navier-Stokes-Gleichungen für das Basisfluid und den Bewegungsgleichungen für die Einzelpartikel.

Anhand der gewonnenen Simulationsdaten (Bild 1 und 2) wurde festgestellt, dass eine Zugabe von Nanopartikeln in das Fluid zwei konkurrierende physikalische Mechanismen bewirkt. Zum einen erfolgt eine Veränderung der thermophysikalischen Eigenschaften der Suspension, die den Wärmeübergang erhöht. Zum anderen erfolgt bei konstant gehaltener Pumpleistung eine Verringerung des Turbulenzgrades, was wiederum den gegenteiligen Effekt bewirkt. Der zweite Effekt dominiert in der Regel, so dass sich der konvektive Wärmeübergang im Vergleich zu den

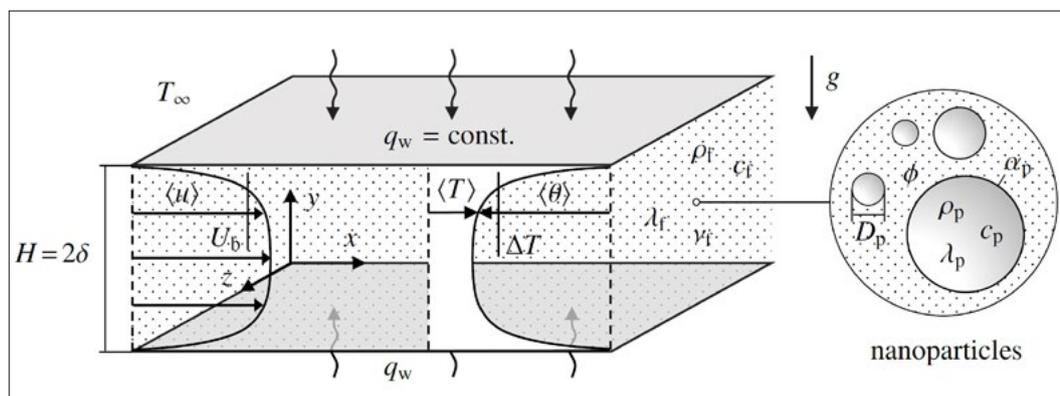


Bild 1: Schematische Darstellung einer vollständig entwickelten turbulenten Kanalströmung mit frei beweglichen Partikeln, erwärmt durch einen gleichmäßigen Wärmestrom q_w , welcher an der oberen und unteren Wand eingebracht wird.

Projektleitung

Dr.-Ing. Silvio Tschisgale,
Prof. Dr.-Ing. Tobias Kempe

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Werten, die für die Trägerflüssigkeit ohne Partikel gelten, insgesamt verringert. Dies bedeutet, dass die Erhöhung der Turbulenzintensität des Trägerfluids in der Regel den Wärmeübergang effizienter erhöht, als es mit Einsatz von Nanofluiden möglich wäre.

FAZIT / AUSBLICK

Die gewonnenen Ergebnisse zur Verbesserung des Wärmeübergangs sind gültig für Kanal- und Rohrströmungen, da die geometrischen Eigenschaften des jeweiligen Kanals / Rohres bei der Berechnung entfallen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse auch auf andere Nanofluide übertragbar, sofern ein inkompressibles Trägerfluid mit einer moderaten Konzentration an Nanopartikeln verwendet wird und solange moderate Temperaturgradienten existieren, so dass thermophoretische Konvektion ausgeschlossen werden kann.

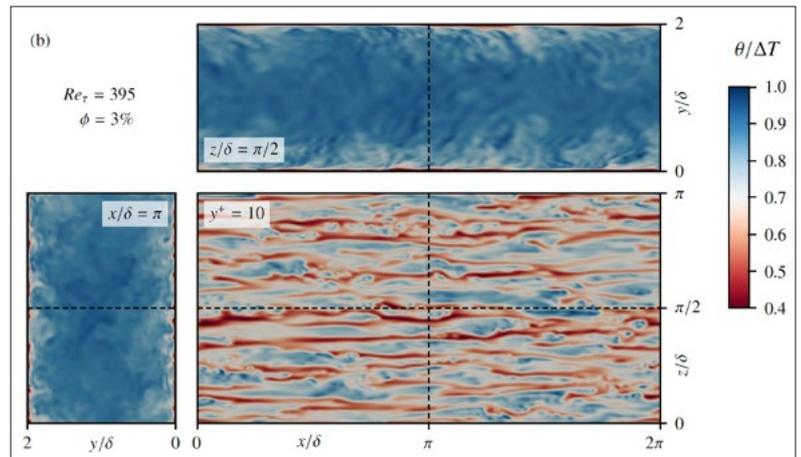


Bild 2: Temperaturverteilung in einem Nanofluid bei der Strömung in einem Kanal mit geheizten Wänden bei $Re_{\tau} = 395$.

Wärmeübergang laminarer Strömungen unter dem Einfluss von Magnetfeldern

Einsatzbereich

- Beeinflussung – Steigerung / Senkung – des lokalen Wärmeübergangs
- Externe Kontrolle des Wärmeübergangs in geschlossenen Systemen

ZIELSTELLUNG

Die magnetische Beeinflussung von Strömung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Hintergrund ist die Möglichkeit, den Wärmeübergang durch magnetische Kräfte sowohl zu steigern als auch zu mindern. Diese Studie präsentiert Experimente, welche die Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Magnetfeldern und einer laminaren Rohrströmung aufzeigen. Es werden vier verschiedene Konfigurationen von Permanentmagneten untersucht. Als Strömungsmedium wird eine ferromagnetische Suspension, bestehend aus Wasser und Magnetitpartikeln (Fe_3O_4) eingesetzt. Ziel des Projektes ist es, die örtlichen Wärmeübertragungskoeffizienten mittels Magnetfeldern zu schalten.

VORGEHEN

Die Experimente vergleichen die Strömung ohne magnetischen Einfluss mit Strömungssituationen, bei denen ein bzw. zwei Magnete in vier unterschiedlichen Konfigurationen angeordnet sind (Bild 1). Bei konstanter Eintrittstemperatur sowie konstantem Wärmestrom wird die von dem Fluid aufgenommene Wärmemenge bestimmt. Die Strömung ist in allen Experimenten am Eingang der Teststrecke vollständig laminar und in Richtung der axialen Koordinate orientiert. Die Reynoldszahlen variieren zwischen 127, 237, 750 und 1.234. Bild 2 zeigt die Ergebnisse der Messungen in Form der lokalen Nusseltzahlen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Je nach Position der Permanentmagnete – über oder unter dem Rohr – wird die sich im Rohr nach einer gewissen Lauflänge ausbildende Sekundärströmung verstärkt bzw. unterdrückt. Bild 2 zeigt, dass bei Positionierung des Magneten unterhalb des Rohres der Wärmeübergang angefacht wird. Die lokale Nusseltzahl steigt. Befindet sich der Magnet oberhalb des Rohres, tritt der umgekehrte Fall ein. In beiden Fällen wird die Wechselwirkung zwischen externem Magnetfeld und Strömung innerhalb des Rohres sichtbar.

FAZIT / AUSBLICK

Im Rahmen eines Folgeprojektes sollen die Versuche mittels Elektromagneten auf ein direktes zeitliches Schalten erweitert werden. Die experimentellen Arbeiten werden dann auch durch numerische Simulationen ergänzt.

Projektleitung

PD Dr.-Ing. habil.
Matthias H. Buschmann

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

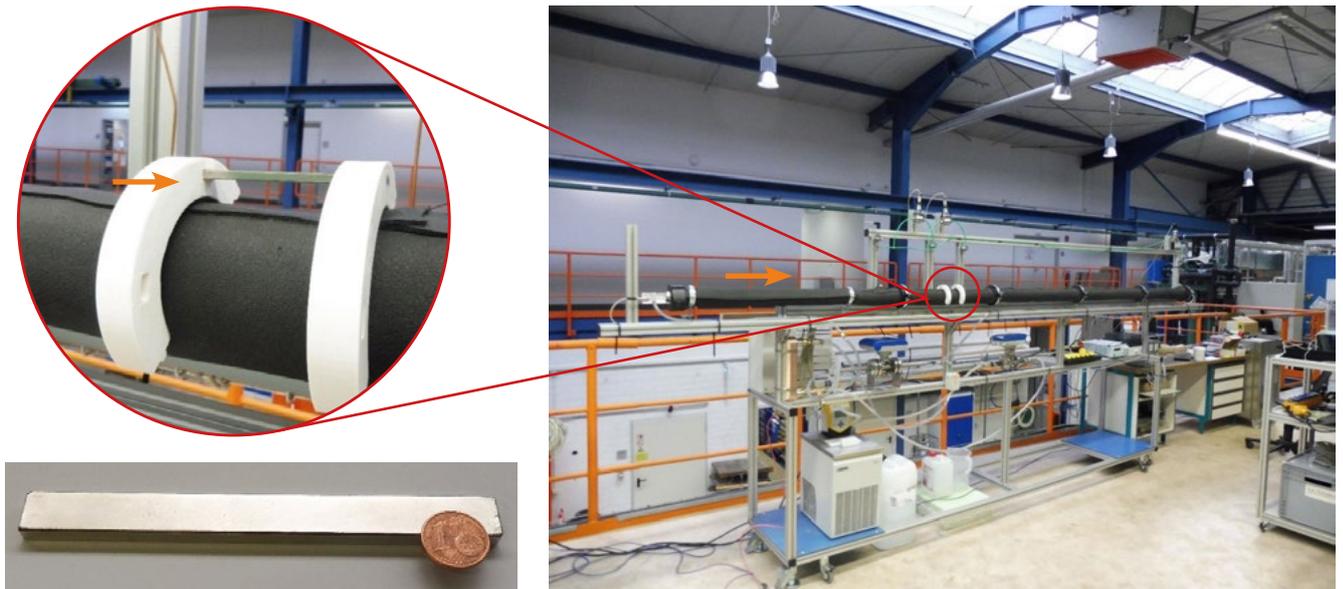


Bild 1: Versuchsstand mit Position des Permanentmagneten und Magnet im Größenvergleich. Der orangefarbene Pfeil gibt jeweils die Strömungsrichtung im isolierten Rohr (schwarz) an.

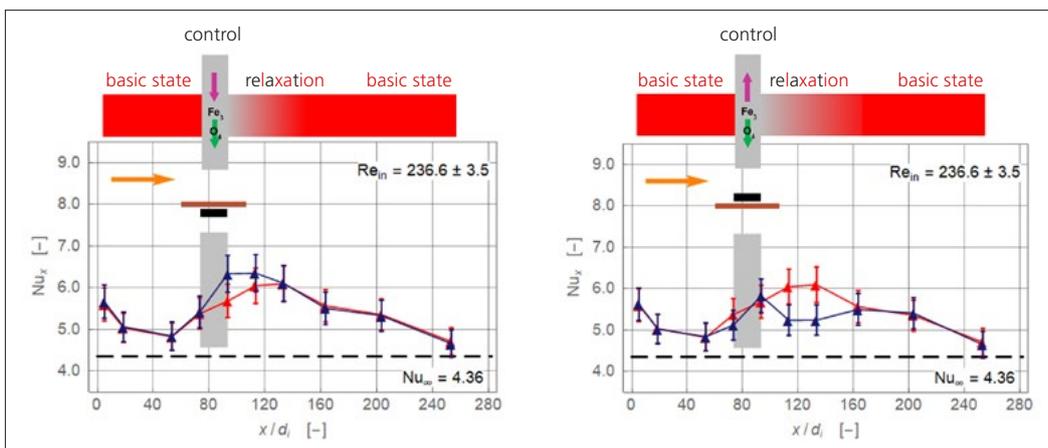


Bild 2: Wirkung unterschiedlicher Positionierung von Magneten – links unterhalb und rechts oberhalb des Rohres – auf den lokalen Wärmeübergang. Rot ist jeweils der Wärmeübergang ohne und blau mit Magnetfeld dargestellt. Die Strömung verläuft in Richtung der orangefarbenen Pfeile. Der Magnet ist als schwarzes Rechteck dargestellt.

Cl.Ai.Co – Clever Air Components

Entwicklung eines innovativen Systems für eine energieeffiziente Gebäudeklimatisierung

Einsatzbereich

Gebäude, die sowohl Heiz- als auch Kühlanforderungen gleichzeitig haben können.

ZIELSTELLUNG

Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer energieeffizienten Gebäudeklimatisierung unter Verwendung von Methoden des maschinellen Lernens und Daten aus dem digitalen Gebäudemodell (Building-Information-Model). Die Basis des innovativen Lösungsansatzes bildet ein neuartiges Anlagenkonzept der Firma ZLT, wodurch ein Höchstmaß an Flexibilität und Energieeffizienz hinsichtlich des Heizens und Kühlens einzelner Räume ermöglicht wird.

VORGEHEN

Zur Schaffung einer experimentellen Basis wurde beim Kooperationspartner eine Musterinstallation mit drei Räumen mit unterschiedlichen Anforderungen aufgebaut, Bild 1. Die Installation ist mit allen notwendigen Systemen zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe ausgestattet. Die Datenerfassung / Steuerung und Regelung ist Cloud-basiert ausgerichtet, so dass für die experimentellen Untersuchungen, insbesondere für den Test und die Validierung der Regelalgorithmen, alle Möglichkeiten offen gehalten werden.

Herzstück des neuartigen Cl.Ai.Co-Systems ist die intelligente Steuerung, welche in Abhängigkeit der Last- und Nutzeranforderungen aus dem Gebäude, der äußeren Temperaturbedingung und der Wetterprognose u.a. eine umschaltbare Wärmepumpe mit mehreren thermischen Speichern bedient. Ein Anspruch an die intelligente und selbstlernende Steuerung ist dabei, dass bei allen Betriebsanforderungen aus dem Gebäude unter Einbeziehung der Umgebungsbedingungen, der aktuellen Lastanforderung und deren Prognose (z.B. aus den Wetterprognosen und den

„erlernten“ typischen Lastabläufen) die Klimakomponenten im Verbund optimal miteinander funktionieren.

Die Kenntnis der momentanen Stoff- und Energieströme im Hydrauliksystem ist für die Steuerung eine wichtige Voraussetzung. Ein im Rahmen des Vorhabens entwickelter Simulationscode für die Hydraulik liefert die entsprechenden Daten. Basis des Codes sind numerische Methoden aus dem wissenschaftlichen Rechnen, die zu einem Rechenverfahren für hydraulische Netzwerke angepasst wurden, Bild 2.



Bild 1: Versuchsaufbau der Musterinstallation

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist der Aufbau der Musterinstallation abgeschlossen und es erfolgt die Inbetriebnahme. Nächster Schritt ist die Implementierung des digitalen Zwillings. Zu diesem Zweck wird die Programmiersprache Modelica verwendet, welche sich bereits in der Automotive- und Aerospace-Industrie durchgesetzt hat. Nach der Co-Validierung mit Musterinstallation erfolgt die Erzeugung von Datensätzen zum Trainieren des ML-Systems und zur Optimierung der Regelalgorithmen.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Adamiak

Fördermittel

SAB Sächsische Aufbaubank



Kooperationen

ZLT Lüftungs- und Brandschutztechnik GmbH

```

1 while  $\varepsilon > \text{tolerance}$  do
2    $u \leftarrow u + \omega r$ 
3   solve  $L \cdot \phi = D \cdot u$ 
4    $u \leftarrow u - G \cdot \phi$ 
5    $p \leftarrow p + \phi / \omega$ 
6   update  $r(u, p)$ 
7    $\varepsilon \leftarrow \|r\|$ 
8 end
                
```

element	$f(u)$	remarks
pump*	$\Delta p_0 - \frac{\partial p}{\partial u} u $	$\Delta p_0 > 0, \frac{\partial p}{\partial u} \geq 0$
pipe	$-\lambda \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} u u + \rho g \Delta h$	λ according to (10)
valve	$-\zeta \frac{\rho}{2} u u$	$\zeta = \text{const.}$

*Tschisgale, Oppelt, Friebe: A fractional-step projection method for hydraulic networks, 2020, submitted to Journal of Hydraulic Research

Bild 2: Simulation Hydraulik

FAZIT / AUSBLICK

Unter dem Blickpunkt, dass fast 40 % des Energieverbrauchs in Deutschland auf das Konto des Gebäudesektors gehen, wird mit dem neuen Klimasystem ein wichtiger Beitrag zur Einsparung von Betriebskosten, Energie und Kohlendioxidemission geleistet. Die Bundesregierung strebt an, dass der Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral wird. Dafür muss der Bedarf an Primärenergie um 80 % gesenkt werden. Für diese ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung ist es notwendig, neue Impulse im Gebäudebereich zu setzen. Einen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele wird das CI.Ai.Co-System leisten können.

Entwicklung klimatechnischer Anlagen

Einsatzbereich

Klimatechnische Prüfstände können zur Produkt- und Verfahrensentwicklung eingesetzt werden. Aber auch zur Qualitätssicherung von z.B. Lebensmittel-Rohstoffen, wie im konkreten Fall.

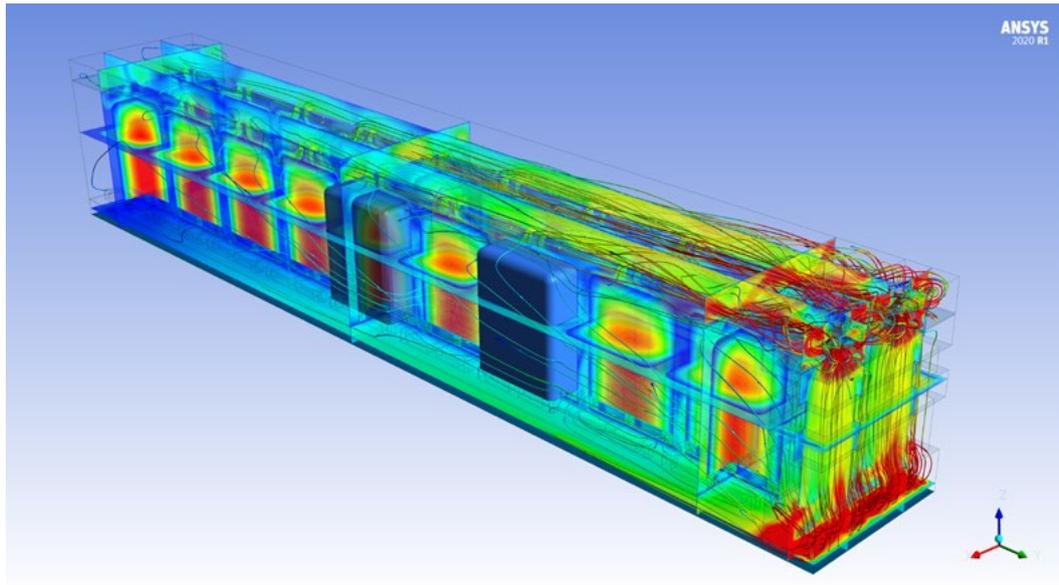


Bild 1: Darstellung einer CFD-Berechnung für die Temperaturverteilung in den Palettenvolumina sowie die Strömungsverhältnisse mit Geschwindigkeitsverteilung und Stromlinien

ZIELSTELLUNG

Für eine Kältebehandlungskammer wurden thermodynamische Berechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse dienen als Basis für den Systemaufbau der Prüfkammer.

VORGEHEN

In eine geplante Kältebehandlungskammer (KBK) in einem wärmedämmten Container werden Paletten mit Lebensmittel-Rohstoffen mit Abstand der Paletten zueinander eingebracht. Anschließend wird das Gut auf eine Kerntemperatur von mind. -18 °C abgekühlt und für eine bestimmte Zeit auf dieser Temperatur gehalten. Nach Ablauf der Haltezeit wird das Gut programmgesteuert wieder in dieser Kammer auf Raumtemperatur von ca. $+15\text{ °C}$ aufgewärmt, möglichst ohne das Auftreten einer Kondensatbildung.

Es bestand nunmehr die Aufgabe, die strömungstechnischen und thermischen Verhältnisse in dieser KBK numerisch zu simulieren. Ziel der Simulationen war es, für die vom Auftraggeber definierten Nutzungsfälle die Funktionalität des Anlagensystems aufzuzeigen. Die Ausführung der Decken- bzw. Fußbodenkanäle war vor der eigentlichen CFD-Simulation zu dimensionieren und hinsichtlich notwendiger Einbauten und Spezifikationen grundsätzlich zu konzipieren. Hierfür wurden die vorliegenden Planungsunterlagen zu Grunde gelegt. Strömungstechnisch relevante Systemkomponenten wurden in die Simulationsdomäne mit eingebunden.

Das Strömungsverhalten wurde mit einem wissenschaftlich anerkannten CFD-Programm bewertet. Grundlage für die Untersuchungen war ein auf Basis vorliegender Anlagendaten erstelltes numerisches 3D-Modell. Die Simulationen erfolgten für (quasi-)stationäre Zustände. Die Anzahl und Position der Quellen und Senken, die ggf. thermische Lasten bzw. weitere

Projektleitung

Dipl.-Ing. Donald Stubbe

Veränderungen im System erzeugen, mussten definiert werden. Mit Variation von Parametern bzw. konstruktiver (geometrischer) Veränderungen mussten weitere Rechnungen erfolgen.

Eine Simulation umfasste jeweils das Erstellen des Berechnungsmodells, die Definition und das Einpflegen aller erforderlichen Rand- und Lastbedingungen, die numerische Berechnung und die grafische sowie quantitative Auswertung der Ergebnisse in relevanten Ebenen bzw. Raumvolumina.

Für die Berechnungen wurde das Programmpaket ANSYS® 2020 R1 verwendet.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Ausgehend von den untersuchten Varianten wurde konstatiert, dass das gewählte Kälteanlagenkonzept im Kontext mit der einzusetzenden Containerkonstruktion den Anforderungen gerecht wird. Grundsätzlich werden alle Produktpaletten mit kalter Zuluft zielführend beaufschlagt, wobei die Menge in Abhängigkeit von der Höhe der Produktpalette und der Porosität der einzelnen Deckendurchlässe variiert, Bild 1.

Die Abkühlzeit (und ebenso die Aufheizzeit) wird maßgeblich beeinflusst durch die Produkteigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, volumenbezogene Wärmekapazität und Feuchtegehalt) sowie durch die Prozessführung ((Zu-)Lufttemperatur, Strömungsgeschwindigkeit der Luft am Produkt und der Start- und Zieltemperatur).

Numerische Strömungssimulation

Einsatzbereich

Die problemorientierte Anwendung der thermofluidodynamischen Simulation diente der Bewertung zu erwartender Raumklimasituationen.

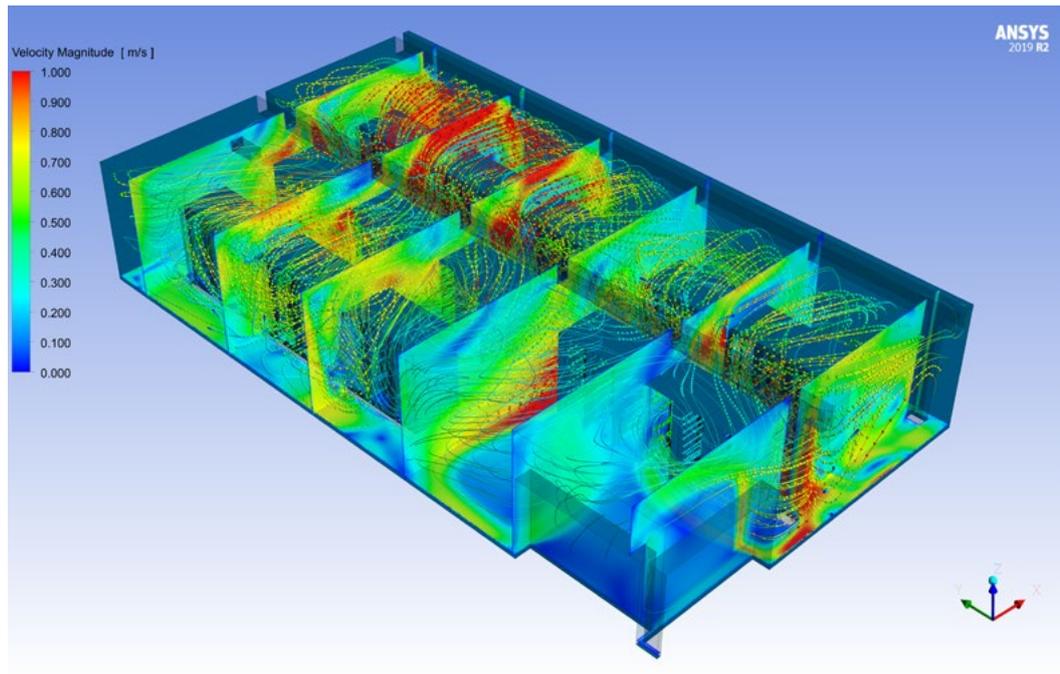


Bild 1: Ergebnisbild CFD für Variante Istzustand mit Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung und Stromlinienverlauf

ZIELSTELLUNG

Ziel der Untersuchungen war es, Defizite bezüglich der IT-RACK bzw. Clusterkühlung in einem Rechenzentrum zu analysieren und Lösungsvorschläge abzuleiten und zu bewerten.

VORGEHEN

Mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation (CFD) sollten die Luftgeschwindigkeit und die Temperaturverteilung für vorgegebene Szenarien berechnet werden. Auf Basis dieser Untersuchungen erfolgten eine Analyse des derzeitigen Klimatisierungskonzepts und die Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen.

Das komplette Luftführungskonzept, die Art- und Weise der Kühllast, die Verteilung von Luftströmen, und die Positionen thermischer Lasten

wurden vom AG bzw. Nutzer vorgegeben. Mit Variation von Geometrie und / oder Parametern mussten weitere Rechnungen erfolgen.

Eine Simulation umfasste jeweils das Erstellen des Berechnungsmodells, die Definition und das Einpflegen aller erforderlichen Rand- und Lastbedingungen, die numerische Berechnung und die grafische sowie quantitative Auswertung der Ergebnisse in relevanten Ebenen bzw. Raumvolumina.

Für die Berechnungen wurde das Programmpaket ANSYS® 2019 R2 verwendet. Die Simulationen wurden dreidimensional und stationär durchgeführt.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Donald Stubbe

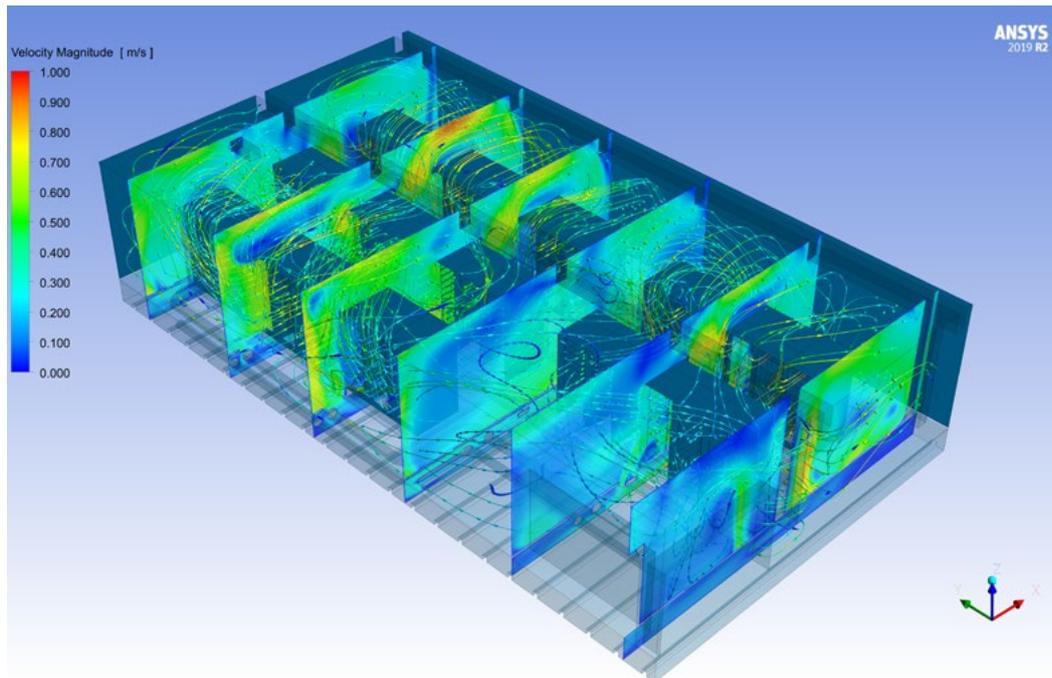


Bild 2: Ergebnisbild CFD für Variante Sollzustand

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse sind charakteristische Ebenen definiert worden, welche parallel zu den Wänden und Fußböden verlaufen. Sie vermitteln einen dreidimensionalen Eindruck der dargestellten Größen. Weiterhin wurden sogenannte Volume Renderings für die variantengebundenen Geschwindigkeitsverteilungen im Rechenzentrum erzeugt, die eine 3D-Ansicht der Ergebnisdaten erzeugen, Bild 1 und 2.

Die Simulationen dienen grundsätzlich der Bewertung der Strömungsverhältnisse im Rechenzentrum in Abhängigkeit verschiedener konstruktiver Parameter und variabler Leistungsdaten der vorhandenen IT-Racks. Die Wirksamkeit der empfohlenen Maßnahme(n) wurde mit weiteren Simulationen beurteilt.

Innovative TGA-Planung

Erhöhung der Energieeffizienz Kälteverbund Insel 4 (Chemiegebäude)

Einsatzbereich

Der Anspruch des Auftraggebers, Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) Niederlassung Dresden II, war, eine neuartige und ressourcenschonende Kälteversorgung des Universitäts-campus zu realisieren. Dazu sind die Erkenntnisse aus den öffentlich geförderten Projektforschungen mit den theoretischen Simulationmöglichkeiten, wie sie aufgrund der fachlichen Expertise und instrumentellen Ausstattung am ILK Dresden gegeben sind, zu nutzen.

ZIELSTELLUNG

Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden folgende Vorteile eines Nahkältenetzes an der TU Dresden herausgearbeitet:

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

Innerhalb des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsauftrages mit dem SIB sind diese Vorteile weiter herauszuarbeiten. Zugleich sind die im Rahmen der öffentlich geförderten Projektforschung entstandenen neuen Erkenntnisse zum prinzipiellen Leistungsverhalten von Absorptions- und Kompressionskälteanlagen und deren Zusammenwirken in den neuen Kälteverbund einzuarbeiten.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete der Einsatz der Plattenwärmeübertrager zur stofflichen Trennung der einzelnen Kältekreisläufe. Diese Wärmeübertrager bieten die Möglichkeit, mit einer geringen Temperaturdifferenz arbeiten zu können. Das ILK hat im Rahmen des Forschungsprojektes „Optimierung Plattenverdampfer“ (BMW: 356/04; ILK: 423001) theoretische Er-



Bild 2: Absorptionskältemaschine Maral 1

kenntnisse zur Auslegung und konstruktiven Gestaltung entwickelt, die im Kälteverbund einer ersten praktischen Überprüfung unterzogen werden sollen.

VORGEHEN

Insofern ist es zwingend erforderlich, die für die neu entwickelte Planung zugrunde gelegten, zunächst wissenschaftlich-theoretisch entwickelten Annahmen sowohl im Rahmen der Auftragsvergabe an kompetente Ausführungsunternehmer als auch im Rahmen der Bauüberwachung exakt auf die Einhaltung der Planungsdetails zu überprüfen. Nur dadurch ist sicherzustellen, dass die Überprüfung der theoretisch entwickelten Erkenntnisse nicht durch Ausführungsfehler beeinträchtigt oder verfälscht wird.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Uwe Ritscher

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Das Bild 1 zeigt das Gelände der TU Dresden mit den einzelnen Kälteinseln. Der Forschungs- und Entwicklungsauftrag des ILK Dresden bezieht sich auf die Kälteinsel 4, welche das Chemiegebäude und den Fritz-Foerster-Bau umfasst. Speziell im Chemiegebäude ist eine Absorptionskälteanlage im Einsatz, die mit den Kompressionskälteanlagen des Verbundes abgeglichen werden muss. Absorptionskälteanlagen sind für die Grundlast-Kälteerzeugung gedacht.

Das ILK Dresden hat gemeinsam mit der Fa. EAW/Wegra eine Baureihe von Wasser/lithiumbromid-AKM entwickelt, die durch die Verwendung asymmetrischer Plattenwärmeübertrager als Verdampfer, Kondensator, Absorber und Generator in Wasserdampfkälteanlagen einzigartig auf der Welt ist. Diese Anlagen sind insbesondere für den Antrieb mit Solarwärme bzw. BHKW-Abwärme geeignet (niedriges Temperaturniveau der Antriebswärme) und sind durch ihre Kompaktheit erheblich besser in Energiezentralen einzubringen und zu installieren. Bild 2 zeigt eine Anlage der Baureihe vom Typ Maral 1 (15 kW Kälteleistung). Unbekannt war bisher das dynamische Verhalten von Absorptionsanlagen. Auch wenn es im Rahmen des Kälteverbundes nicht gelungen ist, dieses Produkt umzusetzen, so konnte aus den messtechnischen Untersuchungen der eingesetzten Absorptionskälteanlage eine Reihe neuer Erkenntnisse gewonnen werden, die wieder direkt in die öffentlich geförderten Forschungsprojekte zur Absorption eingeflossen sind. Dabei geht es vor allem um das Anfahrverhalten und die Gefahr der Kristallisation im Austreiber bei plötzlicher Nichtabnahme der Kälte.

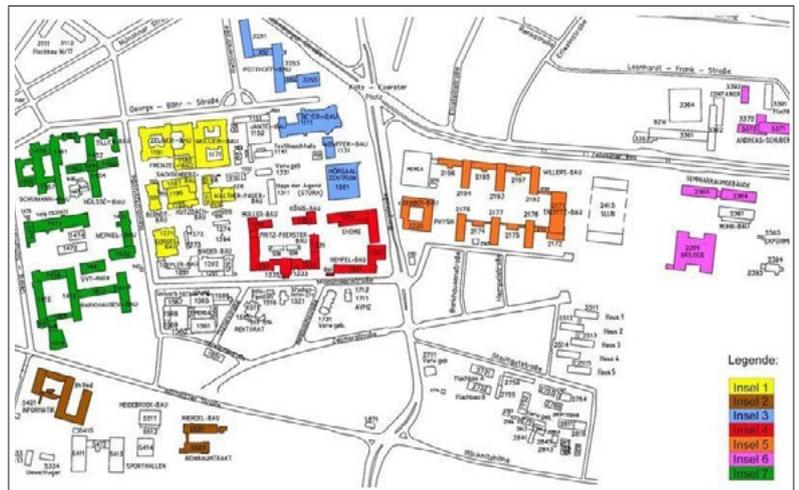


Bild 1: Umfang des Kälteverbundes

Entwicklung eines Prüfverfahrens für biologische Luftfilter

Einsatzbereich

Stadtplanung und Stadtentwicklung in Bezug auf die Begrünung von urbanen Flächen oder Installation „grüner“ Filter, wie zum Beispiel aktiv durchlüfteter Moosmodule.



Bild1: Laborversuche im ILK Dresden mit verschiedenen biologischen Materialien

ZIELSTELLUNG

In dem Entwicklungsprojekt wird ein Prüfverfahren erarbeitet, welches es ermöglicht, biologische Luftfilter reproduzierbar und anwendungsnah zu qualifizieren. Dabei werden unter biologischen Filtern lebende Organismen wie Pflanzen / Bakterien / Pilze sowie Symbiosen derer verstanden, welche durch ihre Lebensweise und ihrer Gestalt in der Lage sind, Stäube und / oder gasförmige Luftschadstoffe aus der Luft abzuscheiden. Einsatzgebiete dieser Außenluftfilter sollen zunächst urbane Bereiche sein. Damit soll eine Basis für eine zukünftige Prüfnormenentwicklung geschaffen werden.

im Außenbereich und brachten sehr unterschiedliche Ergebnisse. Im Projekt erfolgten ebenfalls Messkampagnen im Außenbereich, aber auch einem hierfür geschaffenen Prüfstand, in diesem Fall für durchströmte Moosfilter.

Der geschaffene Prüfstand ermöglicht Untersuchungen im Außen- aber auch im Laborbereich. Alle Messungen mit Umgebungsaerosolen zeigten widersprüchliche Ergebnisse. Die Entwicklung der Prüfroutine zielte daher auf die Nutzung von künstlich erzeugten Aerosolen ab und wurde in dieser Hinsicht vorangetrieben. Es wurden geeignete Dosier- und Messtechniken definiert bzw. entwickelt und getestet und eine geeignete Prüfroutine erarbeitet.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Stefan Holfeld

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

VORGEHEN

Bereits die Recherchen zeigten, dass auf dem Gebiet der Bewertung von biologischen Filtern bereits einige Studien und Untersuchungen vorliegen. Diese befassen sich vor allem mit der Wirkung von Stadtbegrünung auf die Luftqualität in urbanen Gebieten. Messungen erfolgten bis dato

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Es wurden im Projekt die Grundsätze der Prüfroutinen erarbeitet. Darin enthalten ist auch die Erkenntnis, dass biologische Luftfilter neben ihrer luftreinigenden Wirkung auch auf ihre Kühl- und Befeuchtungsleistung und auf die entstehende Lärmemission, aber auch auf den

möglichen Eintrag von Keimen in die Luft zu untersuchen sind. Nur so ist ein gesamtheitliches Leistungsspektrum darstellbar. Die Zusammenstellung der gesamten Prüfroutine mit allen Prüfschritten ist derzeit in Arbeit.

FAZIT / AUSBLICK

Die Darstellung der Wirksamkeit biologischer Luftfilter bedarf einer Untersetzung mit ermittelten Parametern. Diese sind Basis für die Argumentation von Stadtplanern, Architekten und Firmen, biologische Lösungen wie Dach- und Fassadenbegrünung bis hin zu aktiven, biologischen Luftfiltern einzusetzen. Entsprechendes Interesse ist vorhanden und weitere Forschungsthemen auf diesem Gebiet werden angestrebt.



Bild 2: Messungen an Moos-Luftfiltern in Berlin und Prüfaufbau im Versuchsfeld des ILK Dresden

Entwicklung eines Biomasseheizkessels mit neuartiger Abscheidung für NO_x

Einsatzbereich

Biomasseheizkessel verwenden regenerative Energieträger und finden als Kleinfeuerungsanlagen ihren Einsatz in Haushalten und Kleinbetrieben.



Bild 1: Thermische Umsetzung von Holz in einem Biomassekessel

ZIELSTELLUNG

Aktuell haben erneuerbare Energien insgesamt einen Anteil von ca. 15 % im Bereich der Energieaufwendung für die Wärmebereitstellung in Deutschland. Aktuelle Daten des Umweltbundesamtes zeigen, dass den biogenen Festbrennstoffen in Haushalten dabei wiederum ein Anteil von über 39 % zukommt. Daher leisten Biomasseheizkessel einen wichtigen Beitrag bei der Erfüllung der Klimaschutzziele. Allerdings emittieren diese Feuerungen, wie auch Verbrennungsmotoren, Stickoxide. Diese wirken sich ökologisch negativ aus und es müssen die Emissionen dieses Schadstoffs reduziert werden. Aus dieser Motivation heraus ist es Ziel des Forschungsprojektes, einen NO_x-reduzierten Biomasse-Spezialheizkessel der neuesten Generation zu entwickeln.

Das von der AiF Berlin geförderte Kooperationsprojekt wird gemeinsam mit dem Industriepartner A.P. Bioenergietechnik GmbH (Hirschau) bearbeitet. Diesem wird nach Projektende der Weg offen stehen, den neu entwickelten Spezialheizkessel als wettbewerbsfähiges Produkt auf dem neuesten Stand der Technik anzubieten.

VORGEHEN

Die Entwicklung stützt sich dabei auf die Säulen der Kesseltechnik und der Abscheidetechnik. Dabei entwickelt das ILK Dresden die verfahrenstechnischen Grundlagen und die Abscheidetechnik, während A.P. Bioenergietechnik an der Entwicklung des Heizkessels arbeitet.

Seitens der Kesseltechnik wird von der bereits etablierten Verbrennungstechnik der wassergekühlten Brennraummulde ausgegangen. Diese Technologie wird als Grundlage genutzt, um darauf den Kessel der neuen Generation aufzubauen. Dabei werden u.a. eine Niedrigst-Sauerstoff-Regelung und eine Abgasrezirkulation umgesetzt. Als primäre Maßnahme soll die Entstehung von Stickoxiden bereits bei der Verbrennung verhindert und der Grundsatz Vermeidung noch vor Abscheidung umgesetzt werden. Der Kessel soll sowohl mit dem Brennstoff Holz als auch holzfremden Biomassen erprobt werden. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, die Schwankungen, welche in der Brennstoffzusammensetzung und des Heizwertes der natürlichen Brennstoffe bestehen, mittels der Kesseltechnik auszugleichen und nicht auf die Verbrennungskinetik und Entstehung der Emissionen wirken zu lassen.



Bild 2: Biomasseheizkessel der Fa. A.P. Bioenergietechnik

Projektleitung

Dipl.-Ing. (FH)
Thomas Birnbaum

Fördermittel

AiF – Projekt GmbH bzw.
BMWf

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Kooperationen

A.P. Bioenergietechnik GmbH

Auf Seiten der Abscheidetechnik wird ein neues Verfahren zum Einsatz kommen. Es basiert darauf, das vom Heizkessel zunächst emittierte Schadgas NO (kaum wasserlöslich) so umzuwandeln, dass eine in Wasser lösliche Verbindung entsteht und diese wirksam abgeschieden werden kann. Der Rauchgasstrom durchläuft eine Ionisationskammer, in welcher Ozon erzeugt wird. Durch dieses wird vorhandenes NO zu NO₂ oxidiert. Gegenüber NO ist NO₂ sehr gut wasserlöslich. Das so umgewandelte NO₂ wird in einer nachfolgenden Abscheideeinheit in Wasser gelöst und damit abgeschieden.

Die neue Abscheidetechnik und der veränderte Heizkesselaufbau werden zusätzlich eine verbesserte Brennwertnutzung und die Reduktion von Stäuben sowie sauren Abgasbestandteilen ermöglichen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Die bisher geleistete Arbeit konzentrierte sich einerseits auf die chemischen Vorgänge der Umwandlung und Abscheidung des NO_x, andererseits auf die Entwicklung der verfahrenstechnischen Umsetzung. In einem weiteren Schritt erfolgte die Entwicklung eines Labormusters für die Versuche und den messtechnischen Nachweis der Funktionalität. Als eines der bisher wichtigsten Ergebnisse gelang es, das Ozon- / Abgasmassenstrom-Verhältnis herauszuarbeiten, bei welchem eine optimale Abscheidung der Stickoxide stattfindet.

FAZIT / AUSBLICK

Die bisherige methodentechnische Entwicklung und Einzelversuche zeigen, dass das neuartige Abscheideverfahren sehr gute Potentiale aufweist. Nun gilt es, die technische Umsetzung zu realisieren und in Verbindung mit der neu entwickelten Kesseltechnik, neue Maßstäbe beim Stickoxid-Ausstoß an Kleinfeuerungsanlagen zu setzen.

Neue Generation von Nadelfilzvliesstoffen für die Luft- und Gasfiltration

Einsatzbereich

Die Entstaubung ist ein wichtiger Teil des Umweltschutzes. Die Emission von Stäuben zu minimieren ist nicht nur im Hinblick auf die Gefahren, die von Feinstaub ausgehen, von enormer Bedeutung. EU-weit gibt es umfangreiche Regelwerke, denen allein in Deutschland 50.000 Anlagenbetreiber zu folgen haben.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Kooperationen

Gebr. Rödgers AG

ZIELSTELLUNG

Das Bundeskabinett hat am 16.12.2020 das neue Regelwerk zum Immissionschutz – die neue TA Luft – verabschiedet. Vorbehaltlich der Zustimmung durch den Bundesrat erfolgen damit mit vielen Jahren Verzögerung die Umsetzung europäischen Rechts sowie eine Anpassung an den Stand der Technik. Die TA Luft orientiert sich an den sogenannten BVT-Merkblättern – dem besten verfügbaren Stand der Technik. Dennoch werden viele Anlagenbetreiber verbesserte Filtermedien benötigen. Ob in jedem Fall die aktuell vorhandenen Produkte bei gegebener Anlagengröße ausreichen, ist fraglich. Meist geht eine verbesserte Staubabscheidung mit verringerter Luftdurchlässigkeit einher, was letztendlich für die aktuelle Absaugleistung eine größere Filteranlage erfordert.

Das Ziel dieses Projektes ist es, eine neue Generation von Filtermedien zu entwickeln, die eine sehr gute Abscheidung mit hoher Luftdurchlässigkeit verbinden.

VORGEHEN

Bei der industriellen Entstaubung von Abgasen sind Filternde Abscheider Stand der Technik. Ver-

fügbare Filtermaterialien, eine hohe Abscheideleistung und ein sicherer Betrieb des filternden Abscheiders auch bei höheren Temperaturen sind hierfür ausschlaggebend. Als Filtermaterialien kommen in den Abscheidern bei Abgastemperaturen bis 180 °C vielfach Nadelvliesstoffe zum Einsatz. Die Vliesstoffe besitzen eine räumliche Struktur. Sie benötigen jedoch für ihre Stabilität und ein gutes Abscheideverhalten im Arbeitsprozess des Filternden Abscheiders eine gewisse Materialdicke und Flächenmasse und damit wiederum einen erheblichen Materialeinsatz. Ausgangsmaterial für die Prozessgasnadelvliesstoffe sind spezielle polymerbasierte Fasern, wie z.B. Polyester (PES), m-Aramid (NOMEX).

Die Anzahl der Filterschläuche in derartigen Großanlagen mit Gasmengen größer 50.000 m³h⁻¹ liegt nicht selten bei über 1.000 Stück. Praxisrelevante Anwendungsbeispiele hierfür sind z.B. die Prozessabluftentstaubung in der Zementindustrie und die Entstaubung von Stahlwerken sowie in der chemischen Industrie.

Durch den Filtrationsprozess sollen keine Schadstoffe und Feinstaub nach dem Prozess an die Umwelt abgegeben werden. Weiter soll natürlich der Einfluss auf den Produktionsprozess so gering wie möglich sein. Daher kommt dem Filtrationsmaterial und dessen Eigenschaften eine große Bedeutung zu.

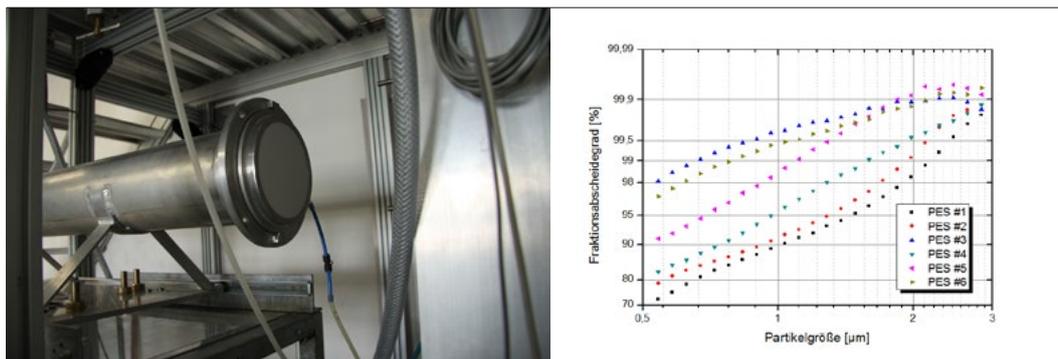


Bild 1: Versuchsstand und erste Ergebnisse für den Fraktionsabscheidegrad; links: Rondenprüfstand; rechts: Erste Ergebnisse

Der bisherige Ansatz der Filtermedienhersteller war, die Oberfläche der Anströmseite mit feinporigen Beschichtungen zu versehen und so die Abscheidung zu verbessern.

In diesem Projekt soll ein anderer Ansatz verfolgt werden, die Struktur der Anströmseite entsprechend anzupassen. Es soll eine Generation von Filtermedien entwickelt werden, die, bedingt durch die hohe Luftdurchlässigkeit, in den bestehenden Filteranlagen eingesetzt werden kann und dennoch die neuen Anforderungen der TA Luft erfüllt. Das Projekt wird gemeinsam mit der Gbr. Röders AG aus Soltau bearbeitet, wobei diese das Design und die Herstellung der neuen Materialien übernimmt. Neben der Erprobung der Materialien auf einen Ronden-Prüfstand erfolgt auch die Qualifizierung mit konfektionierten Filterschläuchen auf einen Prüfstand im ILK Dresden.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Neben zahlreichen Messungen zu Abscheidegraden und Luftdurchlässigkeit für die ersten Versuchsmaterialien werden für weitere Untersuchungen auch die Konfektionierungen vorgenommen. Dabei werden die Filtermaterialien zu Filterschläuchen mit einer Standard-Länge von 2,5 m verarbeitet. Die Messungen erfolgen dann auf dem großen Filterelemente-Prüfstand im ILK. Erste Ergebnisse sind vielversprechende. Ausgehend von diesen Resultaten wurden bereits Kontakte mit Entstaubungsfirmen aufgenommen, welche an neuen Lösungen für die Prozess-Entstaubung von Nichteisen-Hütten interessiert sind.



Bild 2: Filterelemente-Prüfstand im ILK Dresden

ADDIFIL – Filtrationsverfahren Additive Fertigung

Einsatzbereich

Das neu entwickelte Filtrationsverfahren kann in Abscheidern und Absauganlagen an Maschinen der additiven Verarbeitung metallischer Werkstoffe eingesetzt werden, um die Qualität der Prozessumluft aufrecht zu erhalten.

ZIELSTELLUNG

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurde ein Filtrationsverfahren für die additive Fertigung entwickelt. Durch die kontinuierliche Abtrennung der gasförmigen Komponenten Sauerstoff, Wasserdampf und ggf. Stickstoff sollen gleichzeitig mögliche Brand- und Explosionsgefahren reduziert sowie eine gleichbleibende Produktqualität gewährleistet werden. Die Abscheidung der, im Prozess freigesetzten, Nanopartikel erfolgt mittels einer abreinigbaren Filterstufe, welche ohne Staubfreisetzung gewechselt werden kann. Zudem erfolgt eine kontinuierliche Überwachung der in Spuren vorhandenen Komponenten Sauerstoff und Wasserdampf, um die Wirksamkeit der Prozessstufe beurteilen zu können. Der Filterdichtsitz, ein wesentlicher Aspekt zum Erreichen einer wirksamen Partikelabscheidung, wird unter Nutzung eines Streulichtsenors überwacht.

VORGEHEN

In der ersten Phase des Forschungsvorhabens war ein Anforderungsprofil an das Filtrationsverfahren zu formulieren. Hierfür erforderliche Informationen hinsichtlich spezifischer gas- und partikelförmiger Emissionen der additiven Fertigung wurden recherchiert und in Messungen an Prozessen der Lasermaterialbearbeitung ermittelt.

Unter Kenntnis häufig verwandter Prozessparameter sowie von Informationen zur Größe und Morphologie der Partikel in der additiven Fertigung war es möglich, am ILK Dresden einen Versuchstand aufzubauen, um im Labor realitätsnahe Untersuchungen zur Abscheideleistung abreinigbarer Filterstufen durchführen zu können. Neben größeren Stäuben sollte auch die Prüfung mit nanoskaligen Partikeln möglich sein. Hierfür wurde im Rahmen einer FuE-Fremdleistung eine Dosiereinheit für Metalloxide entwickelt. Mit diesem Gerät ist es unter anderem möglich, aus der Precursor-Substanz Tetraethylorthosilikat (TEOS) durch Pyrolyse in einer Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme nanoskalige Siliziumdioxidpartikel zu generieren.

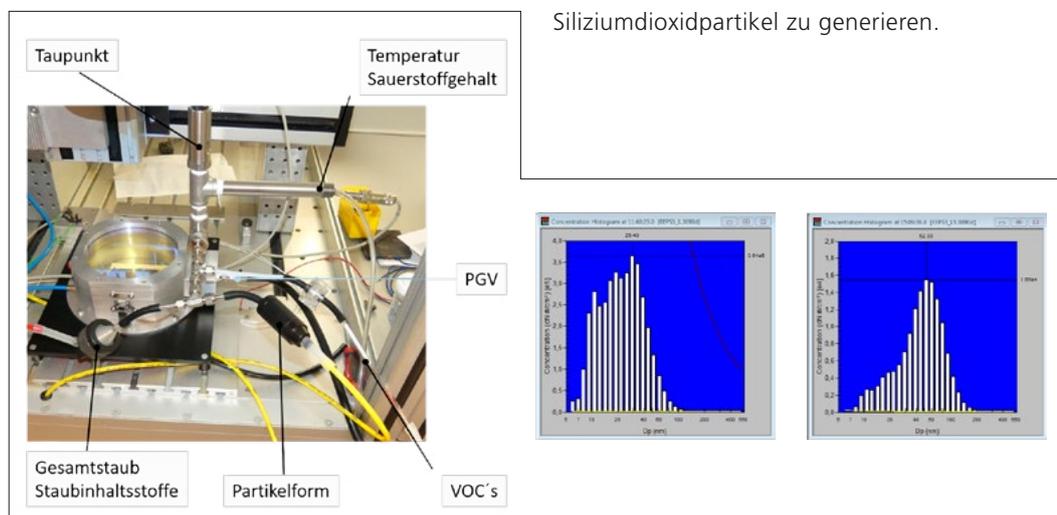


Bild 1: Charakterisierung der partikel- und gasförmigen Emissionen sowie der verfahrenstechnischen Randbedingungen eines Laserablationsprozesses

Projektleitung

Dipl.-Ing. Dirk KeBlau

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

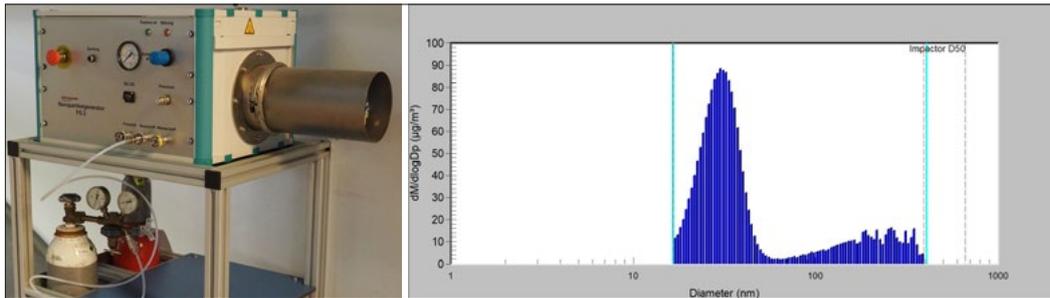


Bild 2: Dosiereinheit zur Generierung von Nanopartikeln mittels Flammenpyrolyse (links), Partikelgrößenverteilung NaCl-Aerosol (rechts)

Damit das Filtrationsverfahren in Absauganlagen für die additive Fertigung wirtschaftlich betrieben werden kann, muss die Filterstufe eine hohe Standzeit erreichen. Hierfür ist ein optimiertes Abreinigungssystem erforderlich. Aus diesem Grund wurde das Ausströmverhalten unterschiedlicher Düsenkonfigurationen in Bezug auf die maximale Strömungsgeschwindigkeit am Düsenaustritt, die erzielbare Tiefenwirkung und die Menge der induzierten Luft hin mittels eines Phasen-Doppler-Anemometers örtlich und zeitlich hochaufgelöst untersucht. Damit konnte die Wirksamkeit der Abreinigung deutlich verbessert werden.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Das Forschungsprojekt ist abgeschlossen. Im Rahmen des Verwendungsnachweises werden noch Aufgaben des Forschungstransfers bearbeitet, insbesondere Nachweismessungen mit und bei Industriepartnern.

FAZIT / AUSBLICK

Mit der Forschungsarbeit wurde ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit in diesem schnell expandierenden Segment des Werkzeugmaschinenbaus geleistet. Auf dem 15. Symposium „Textile Filter“ in Chemnitz wurde bereits ein Poster im Rahmen der Begleitausstellung präsentiert. Eine Veröffentlichung in der Zeitschrift „Laser“ befindet sich in Vorbereitung und wird voraussichtlich im 3. Quartal 2021 erscheinen. Es wird erwartet, dass neben den bereits bestehenden Kooperationen zu sächsischen Spezialisten auf dem Gebiet der Absaug- und Entstaubungstechnik auch noch weitere Interessenten, insbesondere Anwender, gewonnen werden können.

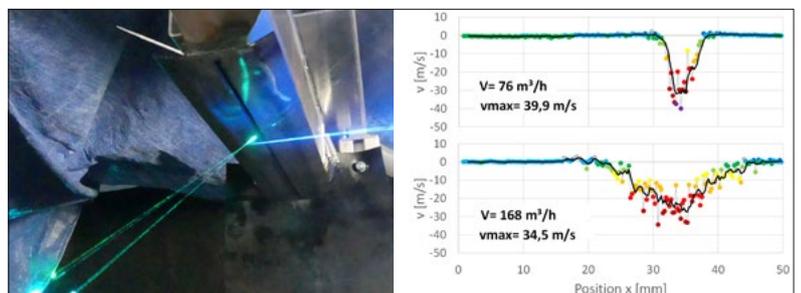


Bild 3: Versuchsaufbau zur laseroptischen Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten unter einer Abreinigungsdüse (links), Geschwindigkeitsprofile unterhalb der Düse (rechts)

FuE-Dienstleistungen

Aerosolmessungen und Untersuchungen zur Wirksamkeit von Raumluftreinigern

Mit der COVID-19-Pandemie wurde die Lufttechnik-Branche vor völlig neue Herausforderungen gestellt. Überall dort, wo Menschen auf engstem Raum zusammenkommen, werden Lösungen zur Minderung der Aerosolkonzentration gebraucht, um die Übertragung von Krankheitserregern zu vermeiden. Insbesondere im medizinischen Bereich und der Zahnmedizin sind dabei besondere Rahmenbedingungen gegeben.

Es wurde daher eine Untersuchung des Einflusses der Aerosolbildung durch unterschiedliche Behandlungspraktiken, aber auch die Auswirkung des Einsatzes von Erfassungs- und Abscheidetechniken auf die Aerosolkonzentration im Raum durchgeführt.



Bild 1: Messaufbau und eingesetzte Messtechnik

SITUATION UND MESSAUFBAU

Für die Bewertung der Abscheidecharakteristik von Abscheidern können Aerosolspektrometer eingesetzt werden. Allerdings reicht der Messbereich nur von 0,2 bis 17 μm .

Viren sind noch kleiner und ausgehend von aktuellen Forschungen ist der COVID-Erreger isoliert ca. 160 nm groß. Um dies zeitaufgelöst darstellen zu können, wurde ein spezieller Aerosol-Klassierer der Fa. Cambustion eingesetzt. Dieser erlaubt die aerodynamische Klassierung von Aerosolen im Bereich von 50 bis 2.000 nm. Die Konzentration der so selektierten Aerosolfraction kann dann im Sekundentakt mittels Kondensationskernzähler gemessen werden. Bild 1 zeigt den Messaufbau und die eingesetzte Messtechnik, wie sie auch bei anderen Einsatzfällen zur Anwendung kommen kann.

WIRKUNG VON ERFASSUNGS- UND ABSCHIED-EINRICHTUNGEN

Für die Abschätzung der Wirkung von Erfassungs- und Abscheideeinrichtungen ist insbesondere das Zeitverhalten interessant. In Bild 2 sind beispielhafte Ergebnisse für die Aerosolkonzentration in einem Behandlungsraum dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der Einsatz von Abscheidern die Aerosolkonzentration signifikant absenken kann. Ein solcher Nachweis kann auch für andere Raumlufreiniger erfolgen. Im ILK Dresden wurden im Jahr 2020 dazu zahlreiche Messungen durchgeführt, die auch im Jahr 2021 weitergeführt werden.

Während es in der Medizin meist auf kurze Reaktionszeiten ankommt, ist für den normalen Raumlufbereich vor allem die Reinigungsleistung im Bereich des Kurzzeitkontaktes – also

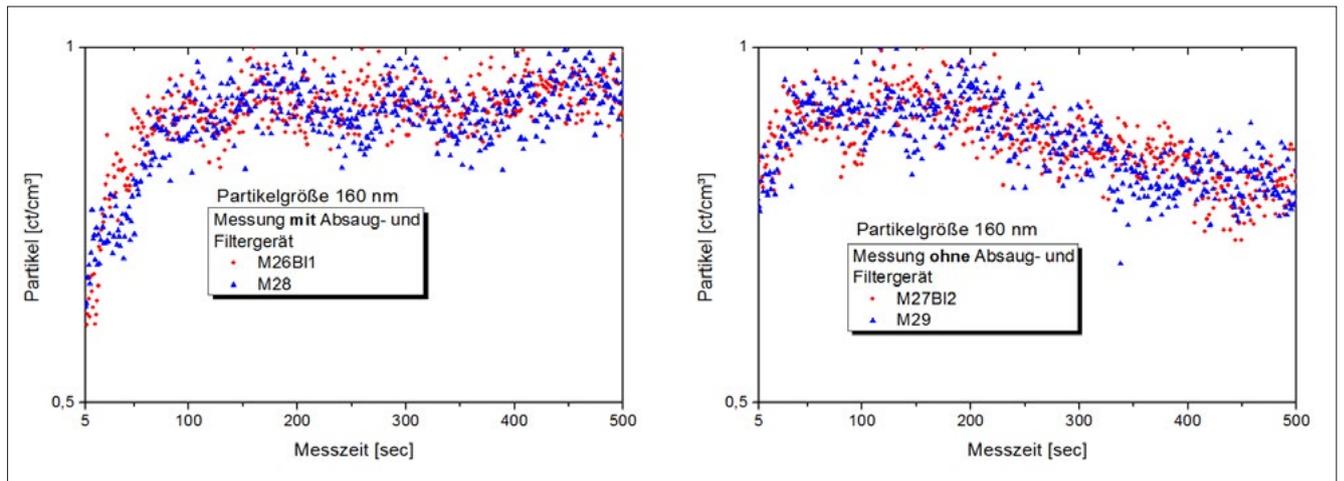


Bild 2: Verlauf der Partikelkonzentration in der Raumluft während der Behandlungszeit (zahnärztliche Behandlung und Blindwert (4 Personen mit Mundschutz im Raum))

etwa 20 Minuten – ausschlaggebend. Hier müssen Raumluftreiniger in der Lage sein, eine Aerosolkonzentration auf 10 % des Ausgangsniveaus abzusenken. Dass es hier große Unterschiede gibt, zeigt Bild 3. Messungen sind also auch hier unerlässlich, um unwirksame Produkte zu eliminieren.

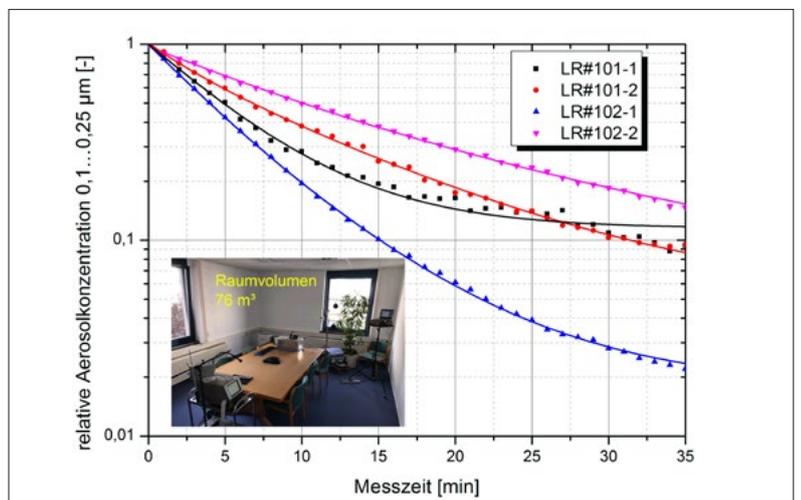


Bild 3: Vergleichende Untersuchungen von Raumluftreinigern in einem Beispielraum

Normungsarbeit 2020

Luft- und Klimatechnik

Die Mitarbeit in verschiedensten Normungsgremien ist ein signifikanter Bestandteil des Technologietransfers aus verschiedenen Forschungsprojekten. Konkret konnten im abgeschlossenen Geschäftsjahr die Erkenntnisse zur Leistungsbewertung von Haushalt Dunstabzugshauben aus dem 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 ein Mitarbeiter des ILK Dresden offizieller Vertreter Deutschlands im internationalen Normgremium IEC TC 59/SC 59K/MT 3.

Einen Schwerpunkt des Transfers bildete die Bewertung und Normierung der Effizienz 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 Normarbeit wurden durch das ILK Dresden die in IEC 61591:2019 beschriebenen Berechnungsverfahren in einer Software (siehe Bild 1) umgesetzt, um die Norm validieren zu können.

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 des Kochwrasen unter praxisnahen Bedingungen. Dazu wurde für die spezifischen Anforderungen von Dunstabzugshauben ein Prüfkonzept entwickelt und erste Versuchsreihen zur Bewertung verschiedener Lösungsansätze durchgeführt. Der zugehörige Prüfaufbau ist nachfolgend in Bild 2 dargestellt.

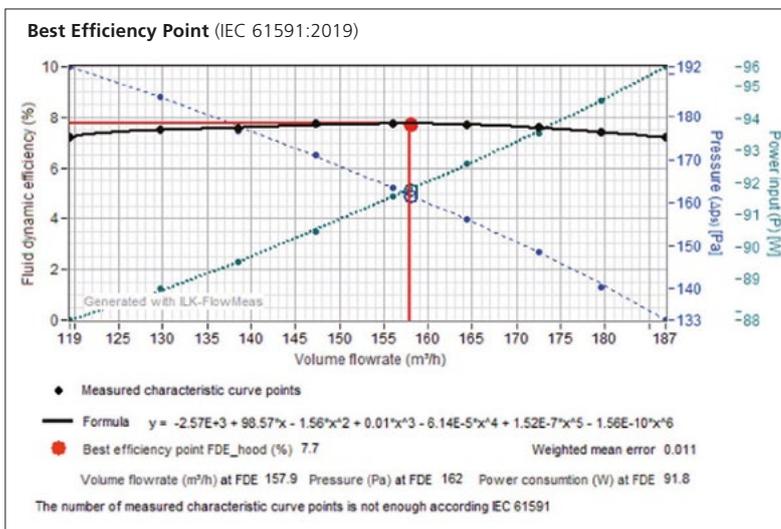


Bild 1: Software zur Berechnung der Energieeffizienzparameter von Haushalt Dunstabzugshauben

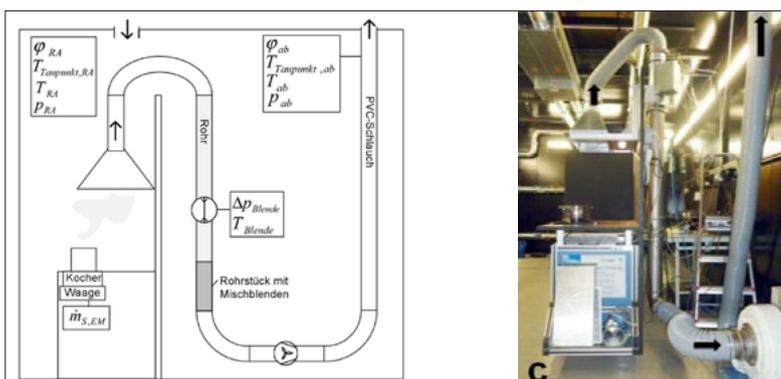


Bild 2: Prüfaufbau zur Bestimmung des Erfassungsgrades von Dunstabzugshauben

Luftreinhaltung

Der Bereich Luftreinhaltung beteiligte sich auch im Jahr 2020 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 bis 4. Im Jahr 2020 wurden die Teile 2 und 3 bearbeitet. Durch die Verschärfung des Gefahrstoffrechtes sind besonders die Erfassung der Schadstoffe – insbesondere beim Schweißen – zurecht im Focus der Betrachtung.



Bild 1: Schweißrauchabscheidung – neue Thematik im Gefahrstoffrecht



**ANGEWANDTE
WERKSTOFFTECHNIK**



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 90 Entwicklung und Erprobung von Phasenwechselmaterialien in Verbindung mit Spezialfolien zur energetischen Ertüchtigung von Einfachverglasungen
- 92 Prüfverfahren mit dynamischer Kältemittel- und Öl-Belastung zur beschleunigten Alterung von Werkstoffen
- 94 Hybrid-Fluid für CO₂-Sublimations-Kältekreislauf zur Tieftemperaturkühlung bis ca. -80 °C
- 96 Lebensdauerprognose von Hermetikverdichtersystemen
- 98 FuE-Dienstleistungen 2020 im Bereich Analytik und Werkstofftechnik

Entwicklung und Erprobung von Phasenwechselmaterialien in Verbindung mit Spezialfolien zur energetischen Ertüchtigung von Einfachverglasungen

Einsatzbereich

Nachrüstung von Komponenten zur Energieeinsparung an Fenstern mit Einfachverglasung im Bestand

ZIELSTELLUNG

Vorhabensziel des Verbundprojektes war die Erweiterung des Window Energy Management System des Industriepartners Mackinac GmbH. Dieses Zusatzelement für Einfachverglasungen und Fenster ohne optisch aktive Beschichtungen dient der Verbesserung des Wärmeschutzes von Bestandsfenstern. Projekthinhalt war die Entwicklung von Komponenten zur Wärmespeicherung und Verschattung, die weitere Energieeinsparungen bzw. einen größeren Kundennutzen versprechen.

VORGEHEN

Das Teilprojekt des ILK Dresden umfasste Aufgaben über alle Stufen der Entwicklung. Basisarbeit wurde mit der Erstellung von Konzepten für den Wärmetransport vom und zum Wärmespeichermaterial mittels erzwungener Konvektion (durch Ventilatoren) geleistet. Dazu wurden jahreszeitabhängig verschiedene Einstrahlungs- und Temperaturszenarien betrachtet und auf der Basis dieser Randbedingungen Energiebilanzrechnungen und Strömungssimulationen durchgeführt. So wurde geklärt, wann und wo im Fenster-Folien-Verbundsystem wieviel Wärme auf welchem Temperaturniveau anfällt. Gemeinsam mit dem Industriepartner wurden geeignete Phasenwechselmaterialien (PCM) in unterschiedlichen Anwendungsformen ausgewählt. In einem Strömungsteststand wurden das Lade- und Entladeverhalten von PCM in Fasern, Granulaten, Noppenfolien und einer Makroverkapselung untersucht. Ziel waren Erkenntnisse über den Druckverlust, Lade- und Entladedauern, Unterkühlungsneigung, Entladeleistungen und Speicherkapazitäten der verschiedenen anwendungsfertigen PCM-Modifikationen.



Bild 1: Flüssigkeitsgeführte Temperaturwechseinheit für Zyklusprüfungen

Mit ausgewählten Speichermaterialien wurde ein Zyklentest über 1.000 Temperaturwechsel durchgeführt (Bild 1) der von regelmäßigen kalorimetrischen Messungen begleitet wurde. Die entwickelte Makroverkapselung erwies sich über den Testzeitraum hinweg als mechanisch stabil und das ausgewählte PCM bezüglich des Wärmeumsatzes als zyklentestfest. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde ein Demonstrator mit mehreren Kilogramm PCM zur Anwendung im System mit den WEMS-Folien gebaut. Neben der thermischen Ankopplung des Speicherelementes über erzwungene Konvektion arbeitete der Industriepartner an PCM-Elementen, die mittels freier Konvektion, also ohne Hilfsenergie, im Fenster-Folien-Verbund wirksam werden sollen. Für diesen Applikationsfall erstellte das ILK Dresden CFD-Simulationen für verschiedene Geometrien sowie Temperatur- und Einstrahlungsverhältnisse. Dabei fand auch der Einsatz zusätzlicher Verschattungselemente im Verbund Berücksichtigung. Über den Einsatz von Phasenwechselmaterialien in Verschattungselementen für Fenster wurde eine Literaturstudie erstellt. Als finale Entwicklungsetappe erfolgte die Vermessung eines Demonstrators in Originalabmessungen, der sowohl mit WEMS-Folienelementen, verschiedenen PCM-Komponenten als auch

Projektleitung

Dr. rer. nat. Jörg Waschull

Fördermittel



Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Kooperationen

Mackinac GmbH

Fraunhofer-Institut für
Werkstoff- und Strahltechnik

Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und ange-
wandte Materialforschung



Bild 2: Demonstrator in der Klimakammer beim Wechsel der zusätzlichen Fensterelemente

Verschattungsvarianten ausgestattet war. Dabei trennte der Demonstrator zwei Räume einer Klimakammer voneinander, die unabhängig voneinander temperiert werden konnten (Bild 2). Ein Raum simulierte mit Halogenstrahlern mit einer Gesamtleistung von 8 kW die Außenbedingungen des Fensters in Strahlung und Temperatur, während auf der Fensterinnenseite ein behagliches Raumklima eingestellt wurde. Bei der Simulation nächtlicher Bedingungen wurde der Außen-

raum bis auf 0 °C abgekühlt. Gemessen wurden mit ca. 40 Sensoren Temperaturen, Einstrahlungen und Strömungsgeschwindigkeiten. Die für energetische Betrachtungen besonders wichtige Temperatur der raumseitigen Innenfläche (Glas oder Folie) wurde mit einem Infrarot-Messverfahren berührungslos bestimmt, das die reflektierten Anteile der vom Messobjekt ausgehenden Wärmestrahlung, die solche Messungen an Fenstern leicht verfälschen, eliminierte. Dieses Verfahren war sowohl unter den Messbedingungen „Nacht“ als auch bei voller Einstrahlung auf der Fensteraußenseite anwendbar

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Die Wirkung der WEMS- und der PCM-Elemente auf den Wärmeschutz wurde messtechnisch nachgewiesen und differenziert. Die Ergebnisse wurden dem Industriepartner zur weiteren Verwertung übergeben. Die Arbeiten am Projekt sind abgeschlossen.

Prüfverfahren mit dynamischer Kältemittel- und Öl-Belastung zur beschleunigten Alterung von Werkstoffen

Einsatzbereich

Prüfung, Qualifizierung und Entwicklung von Werkstoffen für den Einsatz in Kältekreisläufen.

ZIELSTELLUNG

Die bestehenden Methoden zur (statischen) Beständigkeitsprüfung von Werkstoffen für den Einsatz in Kälteanlagen sollen durch eine Methode mit dynamischer Belastung der Proben ergänzt werden (DynaTest). Damit sollen sich deutlich kürzere Versuchszeiten ergeben und die Testbedingungen sollen anwendungsnäher werden.

Das Kernstück der neuen Methode ist eine Extraktionsapparatur nach dem Soxhlet-Prinzip, die eine Prüfung mit umlaufenden Kältemittel und Öl ermöglicht.

Ziel ist es, Aussagen zur Eignung oder Nicht-Eignung von Werkstoffen bereits in wenigen Tagen zu erhalten, für die in den bestehenden Tests mehrere Wochen benötigt werden.

VORGEHEN

Im Rahmen des Projektes wurde eine Extraktionsapparatur auf Basis eines Edelstahlautoklaven konzeptioniert und aufgebaut. Die Werkstoffproben befinden sich während der Auslagerung in einem Auffangbehälter mit seitlichem Heberohr. Das Kältemittel kondensiert in den Auffangbehälter und füllt diesen mit „frisch destilliertem“ Kältemittel. 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.

Durch eine intelligente Konstruktion wurde der Auffangbehälter so modifiziert, dass neben dem Kältemittel auch stets eine geringe Menge Öl in den Auffangbehälter befördert wird. Damit gelingen Kältemittel- und Ölumlaf gleicher-

maßen und bilden die Vorgänge im realen Kältekreislauf ab.

Durch integrierte Thermoelemente können an verschiedenen Stellen innerhalb der Apparatur die tatsächlichen Temperaturbedingungen gemessen werden. Die Zyklenzahl wird durch einen Drucksensor am Kopf der Apparatur überwacht. Kältemittel und Öl können an drei Stellen in der Apparatur entnommen werden, was eine stoffliche Analyse während des Betriebs erlaubt.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Für ausgewählte Werkstoffe wurde im Rahmen des Projektes nachgewiesen, dass diese durch die Belastung mit der DynaTest-Methode schneller altern als mittels statischer Alterungsmethoden (Beispiel siehe Bild 1). Im Vergleich zu konventionellen Verfahren erfolgt in der gleichen Zeit ein signifikant stärkerer Eigenschaftsverlust. Der Grund liegt in der hohen Extraktionskraft des stets „frisch destillierten“ Kältemittels. In bisherigen statischen Prüfverfahren befinden sich die Werkstoffproben „statisch“ im Kältemittel-Öl-Gemisch. Für extrahierbare Komponenten stellt sich über die Zeit ein Löslichkeitsgleichgewicht ein, wodurch die Triebkraft der Extraktion abnimmt und die Werkstoffe weniger

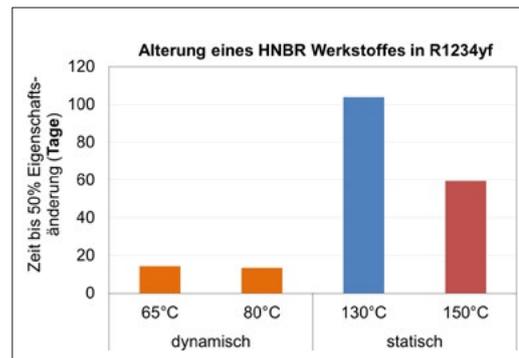


Bild 1: Eigenschaftsverlust eines Werkstoffes bei dynamischer und statischer Alterung

Projektleitung

Dr. rer. nat. Franziska Krahl

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

gestresst werden. In der DynaTest-Methode ist der Konzentrationsgradient stets maximal und extrahierte Bestandteile werden an den Boden der Apparatur abgeführt. Dadurch erfolgt eine höhere Belastung der Proben.

Der Funktionsnachweis von DynaTest für Kältemittelgemische wurde durch die Entnahme und Analyse von Kältemittelproben während des Betriebs erbracht.

Im Rahmen des Projektes wurde basierend auf dem erfolgreich getesteten Konzept zusätzlich auch ein Demonstrator aus Glas aufgebaut (Bild 2). Die Vorgänge während der Extraktion können somit auch visuell beobachtet werden. Mithilfe des Demonstrators konnte nachgewiesen werden, dass das entwickelte Konzept für den Umlauf des Kältemaschinenöls auch für nicht-mischbare Kältemittel- und Öl-Kombinationen funktioniert.



Bild 2: Extraktionsapparatur als Durchsichtsdemonstrator

FAZIT / AUSBLICK

Innerhalb des Projektes ist es gelungen, eine neue Testmethode zur Prüfung von Werkstoffen zu entwickeln. Das innovative Konzept der Abbildung des Kältemittel- und Ölumlaufts während der Auslagerung ermöglicht eine anwendungsnahe Prüfung unter gleichzeitig verkürzter Prüfdauer.

Hybrid-Fluid für CO₂-Sublimations-Kältekreislauf zur Tiefemperaturkühlung bis ca. -80 °C

Einsatzbereich

Tiefemperaturkühlung mit
nicht brennbarem
natürlichem Kältemittel.

ZIELSTELLUNG

Mit der beginnenden Auslieferung der Covid-19-Impfstoffe am Ende des Jahres 2020 ist in eindrucksvoller Weise deutlich geworden, dass der Kühlbereich zwischen -50 °C und -80 °C eine außerordentlich wichtige Rolle spielt. Immer noch dominieren jedoch für diesen Temperatur-Anwendungsbereich umweltschädliche fluorierte Kältemittel den Markt. Da nicht brennbare Kältemittel für kältetechnische Anwendungen, insbesondere im medizinischen Bereich, ein wichtiges Kriterium darstellen, ist eine Anwendung von CO₂ als Kältemittel auch für einen Temperaturbereich unterhalb des Tripelpunktes von -56 °C vorteilhaft und erstrebenswert. Durch die Qualifizierung eines Hybrid-Fluids, welches simultan als Verdichterschmierstoff und Wärmeträgerfluid in einem CO₂-Sublimator-Kältekreislauf genutzt wird, soll eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Kohlendioxid als Kältemittel für Tiefemperaturanwendung bis ca. -80 °C geschaffen werden.

VORGEHEN

Um Stoffe in Kühlprozessen effizient und schnell abkühlen zu können, ist u. a. ein guter Wärmeübergang zum Kältemittel erforderlich. Im Fall von CO₂ als Tiefemperaturkältemittel besteht der Nachteil, dass unterhalb von -56 °C bei der Sublimation über die Gas- und / oder Festphase des CO₂ nur ein relativ schlechter Wärmetransport möglich ist. Um diesen Nachteil zu überwinden, bestand die Intension des Forschungsprojekts darin, die für eine Abkühlung notwendige Phasenumwandlung des festen CO₂ in einer Flüssigkeit auszuführen. Dies gestaltet sich für technische Anwendungen jedoch nicht einfach, da verwendbare Flüssigkeiten bei einer Sublimationstemperatur des CO₂ von -78 °C nicht brennbar sein sollten. Darüber hinaus besteht die Herausforderung darin, dass die Flüssigkeit neben der Funktion als Wärmeträgerfluid gleichzeitig auch zur Verdichterschmierung in einem Kältekreislauf dienen soll, bei dem das CO₂ nach der Sublimation erneut verdichtet und im Kreislauf geführt wird. Die beiden genannten Hauptanforderungen an eine derartige

Flüssigkeit schränken die zur Auswahl stehenden Stoffe stark ein. Dennoch konnte eine Verbindung gefunden werden, welche den Ansprüchen an einen solchen Stoff gerecht wird. Dabei handelt es sich um einen vergleichsweise niedermolekularen Ester. Untersuchungen zu thermodynamischen und tribologischen Eigenschaften sowie Materialverträglichkeitsun-

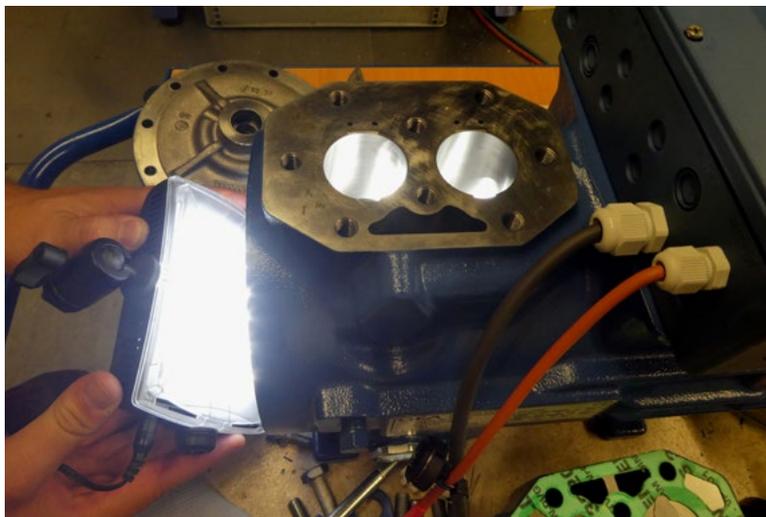


Bild 1: Zerlegter CO₂-Verdichter zur Befüllung vor dem Einbau in den Prüfkreislauf

Projektleitung

Dr. rer. nat. Joachim Germanus

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

tersuchungen an gängigen in der Kältetechnik eingesetzten Metallen und Polymerwerkstoffen lassen den Schluss zu, dass der gefundene Stoff für den praktischen Einsatz in Tieftemperatur-Kältekreisläufen geeignet sein könnte. Dafür sprechen insbesondere die tribologischen Ergebnisse, die mit Hilfe eines für tiefere Temperaturen modifizierten Almen-Wieland-Prüfstands gemessen wurden. Basierend auf diesen Ergebnissen können nunmehr erste Maschinentests erfolgen.



Bild 2: Sublimierendes CO₂ in flüssigem Ester bei -78 °C

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Das für den Anwendungsfall ausgewählte Fluid weist bezüglich seines Viskositäts- und Schmierverhaltens vorteilhafte Eigenschaften auf, die im praxisrelevanten Temperaturbereich bis -78 °C durch das Einlöseverhalten von CO₂ sogar weiter verbessert werden. Die größere chemische Reaktivität dieser vergleichsweise niedermolekularen Esterbindung ist in Bezug auf die Materialverträglichkeit zu beachten, scheint jedoch bei sorgfältiger Auswahl und Prüfung der benötigten Werkstoffe beherrschbar zu sein.

FAZIT / AUSBLICK

Mit den bisherigen Untersuchungen wurden wichtige Grundlagen erarbeitet, die es nunmehr ermöglichen, erste Maschinentests durchzuführen. Diese sollen mit einer aufgebauten Gasschleife (verkürzter Kältekreislauf) vorgenommen werden, bei der der ausgewählte Stoff gemeinsam mit Kohlendioxid mittels eines CO₂-Verdichters über 500 h im Kreislauf gepumpt werden soll. Im Ergebnis sollen dann die Schmiereigenschaften des Fluids für den verwendeten CO₂-Verdichter bewertet werden.

Lebensdauerprognose von Hermetikverdichtersystemen

Einsatzbereich

Qualifizierung von Verdichtermotoren bei Frequenzumrichterbetrieb

ZIELSTELLUNG

Für den energieeffizienten Betrieb von Kompressionskälteanlagen wird häufig eine Leistungsregelung der Verdichter mit Frequenzumrichter eingesetzt. Damit verbunden ist eine impulsförmige Spannungsbelastung der Motorwicklungen in den Verdichtern. Hierbei kommt es zu einem Überschwingen der Spannung (vor allem bei längeren Motorleitungen) und somit zu einem höheren Stress der Isolierung im Vergleich zum Betrieb mit Netzspannung. Diese Impulse können zu Teilentladungen an und in der Isolierung führen und stellen eine hohe Belastung für die Isoliersysteme der Motorwicklungen dar, die langfristig zur Schwächung der isolierenden Eigenschaften und damit zum Ausfall des Verdichtermotors führen können.

Ziel ist die Entwicklung einer Prüfanordnung und eines Verfahrens zur Bewertung und Optimierung von Isolationssystemen für Motorwicklungen von Verdichtern hinsichtlich der Lebensdauer bei Frequenzumrichterbetrieb.

VORGEHEN

Im ersten Projektabschnitt wurden die entwickelungstechnischen Voraussetzungen für die Bestimmung der Zusammenhänge des Teilentladungsverhaltens in Abhängigkeit von der auftretenden Spannung bei verschiedenen Kältemitteln geschaffen. Dazu wurden spezielle Prüfbehälter zur Aufnahme von Drahttwisten mit hochspannungsfesten Durchführungen entwickelt und aufgebaut. Die Möglichkeit der quantitativen Erfassung von Teilentladungen über eine Mikrowellenantenne wurde dabei berücksichtigt. Eine variable Impulsspannungsquelle, die extern entwickelt wurde, wird eingesetzt, um bei verschiedenen Spitzenspannungen

und Frequenzen das Auftreten von Teilentladungen in unterschiedlichen Kältemitteln bei variablem Druck zu untersuchen. Speziell für Flachdrähte, die in manchen Motorwicklungen zum Einsatz kommen, soll eine reproduzierbare Kontaktierungslösung, vergleichbar zu den etablierten Verfahren für Twiste aus Runddrähten, gefunden werden, um Teilentladungsmessungen an diesen durchführen zu können.

Anschließend soll in einem Zeitraffertest in den Prüfbehältern an Drahttwisten unter Kältemittel-Öl-Atmosphäre die im Realbetrieb über mehrere Jahre (Lebensdauer) auftretende Anzahl an Teilentladungen innerhalb einer kurzen Prüfzeit erzeugt werden, um eine Beschleunigung der elektrischen Alterung zu erzielen. Ein vorhandener Prüfstand zur Beaufschlagung mit Spannungspulsen wurde dazu bereits erweitert.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen soll die Entwicklung eines Verfahrens zur Lebensdauerprognose für Statoren von Verdichtermotoren hinsichtlich der elektrischen Alterung erfolgen. Die Lebensdauerprognose erfordert die quantitative Kenntnis der Verminderung der elektrischen Festigkeit über der Zeit. Durch Korrelation der Teilentladungshäufigkeit während der ermittelten Ausfallzeiten im Zeitraffertest mit der Häufigkeit im realen Betrieb im Motor soll mit dem Verfahren eine Lebensdauer hinsichtlich der elektrischen Belastung abgeschätzt werden. Abhängigkeiten von weiteren Einflüssen (v.a. Temperatur, Druck) sollen ermittelt und berücksichtigt werden.

Zur Validierung des Prognoseverfahrens soll ein Dauerversuch mit Statoren in Prüfbehältern (gefüllt mit Kältemittel und Öl) und Spannungsversorgung über einen Frequenzumrichter (nur elektrische Belastung, kein motorischer Betrieb) als Realsimulation durchgeführt werden. Dazu muss ein Prüfaufbau für die Prüfung von Statoren errichtet werden. Für die Aufnahme der

Projektleitung

Dipl.-Ing. Wolfgang Henschler

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Statoren und die Prüfung in Kältemittel-Öl-Atmosphäre sollen weitere Prüfbehälter mit elektrischen Anschlüssen entwickelt werden.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Für die Aufnahme von Elektroden oder Drahttwisten wurden mehrere Autoklavensysteme als Prüfbehälter entwickelt und aufgebaut. Ein spezieller Glas-Autoklav ermöglicht das Erfassen von Teilentladungen mittels einer Antenne. Mit diesen Prüfbehältern konnten erste erfolgreiche Messungen bei verschiedenen Drücken durchgeführt werden. Der neue Impulsspannungsgenerator erlaubt Spannungsvariationen hinsichtlich Überswingen und Frequenz bis zu 2.500 V und 50 kHz. Der Prüfstand für den Zeitraffertest wurde vorbereitet und kann mehrere Autoklaven gleichzeitig aufnehmen.

FAZIT / AUSBLICK

Mit den bisher erreichten Ergebnissen wurden die Voraussetzungen für die Untersuchungen in verschiedenen Kältemitteln als Grundlage für eine Lebensdauerbewertung und Prognose geschaffen. Der weitere Projektverlauf konzentriert sich auf die Untersuchungen und die Verfahrensentwicklung.



Bild 1: Prüfbehälter zur Messung der Teilentladungen in Kältemittel-Öl-Atmosphäre

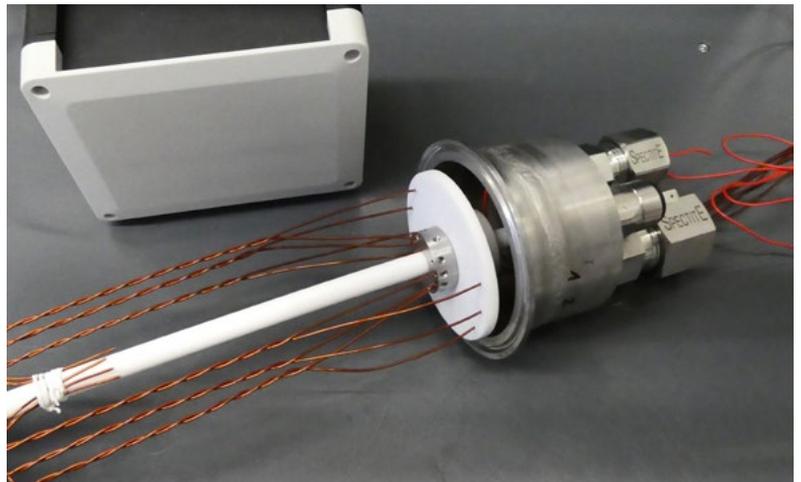


Bild 2: Innenansicht Prüfbehälter mit Drahttwisten und Mikrowellenantenne

FuE-Dienstleistungen 2020 im Bereich Analytik und Werkstofftechnik



Ein Schwerpunkt der FuE-Dienstleistungen des Hauptbereichs Angewandte Werkstofftechnik lag 2020 auf der Qualifizierung und Bewertung von Werkstoffen und Materialien für den Einsatz in Anlagen mit natürlichen Kältemitteln (CO_2 , Ammoniak, Kohlenwasserstoffe) und mit Niedrig-GWP (global warming potential) HFO-Kältemitteln, insbesondere R1234yf. Als Ersatz für bisherige nichtbrennbare Kältemittel mit hohem GWP spielten verstärkt auch HFO-Gemische eine Rolle.

Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Einsatz von HFO-Kältemitteln standen Untersuchungen zu den Bedingungen der Entstehung von Polymerisationsprodukten aus R1234yf.

Die Verträglichkeit neuartiger Temperatur- und Drucksensoren mit Kältemitteln und Ölen sowie die Beständigkeit von Materialien in Solekreisläufen für Brennstoffzellen stellten weitere Untersuchungsschwerpunkte dar.

Im Bereich der Stoffwerte wurde neben dem Löslichkeitsverhalten von Ammoniak in verschiedenen Ölen auch das Schaumverhalten von Ölen genauer untersucht und experimentell nachgestellt.

Durch Kunden aus der Automobilindustrie wurden im Zusammenhang mit der Einführung der Elektromobilität verschiedene FuE-Dienstleistungen in Anspruch genommen, u. a. zu Kältemaschinenölen sowie Lackdrähten und Statorbaugruppen.

Eine besonders anspruchsvolle Aufgabe stellt die Entwicklung von kundenspezifischen Prüfständen dar. Im Rahmen von Konzeption, Auslegung, Konstruktion, Aufbau und Test arbeiten hierfür die verschiedenen Abteilungen und Gruppen am ILK Dresden eng zusammen. Zu Beginn des Jahres konnte ein Prüfstand zur kombinierten Festigkeits- und Dichtheitsprüfung mit Prüfgasrückgewinnung erfolgreich an einen Kunden übergeben werden.

Auf dem Gebiet der Dichtheitsprüfung von Bauteilen standen vor allem Prüfungen nach DIN EN ISO 14903 im Fokus.

Trotz ungünstiger Rahmenbedingungen (Stichwort CORONA-Pandemie und Einhaltung der erforderlichen Schutzmaßnahmen), konnte das Angebot an kundenspezifischen Seminaren zum Thema Lecksuche / Dichtheitsprüfung weiter ausgebaut werden.

Die Labor-Ausstattung wurde 2020 um ein dynamisches Differenzkalorimeter (μ DSC 7 evo der Fa. Setaram) mit Druckgasbereitstellung erweitert, mit dem sowohl Kenndaten wie spezifische Wärmekapazität und Phasenumwandlungsenthalpie als auch chemisch-physikalische Effekte wie Erstarren, Schmelzen, Glasübergang sowie chemische Reaktionen temperatur-, druck- und zeitabhängig erfasst werden können. Des Weiteren wurde ein neuer Tieftemperaturthermostat (Lauda Proline Kryomat RP4090 CW) für die Vorbereitung der Erfassung von Stoffdaten im Temperaturbereich -50 bis -80 °C installiert.

A photograph of two scientists in white lab coats working in a laboratory. The scientist on the left is older with grey hair, and the one on the right is younger with dark hair. They are both looking intently at a small, dark, cylindrical component held by the younger scientist. The background is filled with various pieces of laboratory equipment, including what appears to be a microscope and other technical devices. The lighting is soft and focused on the scientists. A white diagonal line runs from the top left to the bottom right, partially obscuring the image. The text 'ANGEWANDTE ENERGIETECHNIK' is overlaid in white, bold, sans-serif font at the bottom of the image.

**ANGEWANDTE
ENERGIETECHNIK**

061



Ausgewählte Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung

- 102 **Aufbereitung von Flüssigeis**
- 104 **Binäre Eutektische Phasenwechsel-
Suspensionen (EPCS) unter 0 °C**
- 106 **Thermisch angetriebene Flüssigeiserzeugung
für Heiz- und Kühlanwendungen (SubSie – TAFEis)**
- 108 **SorptionTakeOff – Maßnahmen zur
Steigerung der Standardisierung und
Verbreitung von Sorptionskühlsystemen**
- 110 **FuE-Dienstleistungen 2020 auf dem Gebiet der
Angewandten Energietechnik**
- 112 **Normungsarbeit 2020**

Aufbereitung von Flüssigeis

Einsatzbereich

- *Technischer Schnee*
- *Heizen mit Eis*
- *Kombination von Anwendungsfällen Heizen / Kühlen / Eiserzeugung*
- *Eis für die Lebensmittelindustrie*

ZIELSTELLUNG

Das Projekt dient der Erweiterung des Anwendungsspektrums des energieeffizienten Vakuumeis-Verfahrens zur Erzeugung von Flüssigeis (Eisbrei, Eis-Slurry).

Ziele des Vorhabens sind die Entwicklung konstruktiver sowie verfahrenstechnischer Lösungen zur Vakuumeiserzeugung mit schonender und effektiver Trennung von Eis und Flüssigkeit, um ein Produkt mit möglichst geringem Anteil an flüssigem Wasser zu erhalten. Folgende Anwendungen sollen damit erschlossen werden:

- Herstellung von technischem Schnee, vorrangig in Kombination mit der Nutzwärmeerzeugung – „Heizen mit Schnee“,
- Herstellung von Eis für die direkte Lebensmittelkühlung (Fisch, Gemüse...),
- perspektivisch Gefrierkonzentration von Lebensmitteln (z.B. Zuckerherstellung, Saftkonzentrate),
- sowie energieeffiziente Meerwasserentsalzung durch Gefrierkristallisation.

Für diese Anwendungen sind absehbar weitergehende technologische Fragestellungen zu klären.

VORGEHEN

Im Projekt erfolgen Untersuchungen zum sicheren Betrieb der Eiserzeugung bei möglichst hoher flächenspezifischer Verdampfungsleistung des Vakuumeiserzeugers und gleichzeitig hohem Eisanteil. Weiterhin werden nachgeschaltete Verfahren zur Aufkonzentration inklusive der Evaluierung geeigneter Messtechnik für die Bestimmung des Eisgehaltes im Flüssigeis bzw. zur Bestimmung des Anteils anhaftenden Wassers am Eis durchgeführt.

Bei den bislang umgesetzten Vakuumeisanlagen zirkuliert das Wasser bzw. Eis stetig zwischen Eiserzeuger (Verdampfer) und Speicher. Einige der avisierten neuen Anwendungen u.a. Seethermie und Schneeerzeugung bedingen, dass dem Vakuumeisprozess stetig frisches Wasser zugeführt werden muss. Hieraus ergeben sich neue Herausforderungen für den Prozess, die im Vorhaben untersucht und geeignete Lösungen ermittelt werden sollen.

Es stehen mehrere Versuchsanlagen (Eiserzeuger) mit Kälteleistungen von 5 kW bis zu 500 kW zur Verfügung. Die Anlagen sind für die Erzeugung von Flüssigeis zur Kältespeicherung im direkten Verdampfungsverfahren bei Drücken um 5 ... 6 mbar ausgelegt. Für die Erschließung der neuen Anwendungsgebiete (Eis für die direkte Lebensmittelkühlung, Technischer Schnee) sollen geeignete Additive evaluiert werden. Die Additive werden unter anderem eingesetzt, um eine Agglomeration von Eispartikeln zu verhindern. Die Projektuntersuchungen müssen zeigen, mit welcher Eiskonzentration im Direktverdampfungsverfahren ohne Zusatz von Verdampfungskeimen oder anderer Zusätze der Prozess sicher und effektiv arbeitet. Auch die mechanischen Eigenschaften des Eises sind stark von den Zusätzen abhängig.

Das im Direktverdampfer erzeugte Eis-Wasser-Gemisch kann in einem Zwischenspeicher weiter aufkonzentriert werden. Neben der Erzielung einer höheren Eiskonzentration wäre durch den Speichereinsatz auch eine zeitliche und leistungsmäßige Trennung zwischen Vakuumeiserzeugung und nachgeschalteter Aufbereitung möglich. Beim Zwischenspeicher wird untersucht, bis zu welcher maximalen Eiskonzentration der Speicher beladen werden kann, um ihn dann mit dieser maximalen Konzentration für die weitere Aufbereitung zu entladen. Der Zwischenspeicher wird folgende Möglichkeiten

Projektleitung

Dipl.-Ing. Marcus Honke

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

zum Austrag des Wasser-Eis-Gemisches haben:

- Variante 1:
Abschöpfen des aufschwimmenden Eises im Zwischenspeicher
- Variante 2:
Abpumpen eines hochkonzentrierten Eis-Wassergemisches.

Die Voruntersuchungen werden im Versuchsfeld „Flüssigeis“ durchgeführt. Es sind bereits zwei unterschiedliche Speicher im Versuchsfeld integriert. Hier wird eine Umgestaltung eines Speichers für die neu zu realisierenden Aufgaben erfolgen sowie eine entsprechende Integration (hydraulisch und messtechnisch) im Versuchsfeld.

Im letzten Verfahrensschritt ist eine effektive Aufkonzentration mit anschließender Trennung der festen und flüssigen Phase erforderlich. Als Zielparame-ter wird eine Dichte des Eises / Schnees von $400 - 550 \text{ kg/m}^3$ angestrebt. Zur Aufkonzentration des Flüssigeises ist eine Zentrifuge vorgesehen.

FAZIT

Mit der erfolgreichen Bearbeitung des Vorhabens können die Grundlagen für eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der Vakuumeis-Technologie gelegt und der Energiebedarf gegenüber bislang eingesetzten Verfahren erheblich gesenkt werden. So erfolgt beispielweise die Herstellung von technischem Schnee bislang mit Verdampfungstemperaturen unter $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Durch das Prinzip der Direktverdampfung beträgt sie beim Vakuumeisverfahren ca. $-1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Gelingt perspektivisch eine Nutzung für die Gefrierkristallisation, könnte ein wichtiger Beitrag zur synergetischen Bewältigung der Herausforderungen im Bereich der Kühlung und der Wasserversorgung geleistet werden.



Bild 1: Versuchsfeld „Flüssigeis“

Binäre Eutektische Phasenwechsel-Suspensionen (EPCS) unter 0 °C

Einsatzbereich

Effiziente Kältespeicherung und -transport bei tiefen Temperaturen, Flexibilisierung, Power-to-Cold.

ZIELSTELLUNG

Ziel des Projektes ist die Erzeugung eutektischer Phasenwechsel-Suspensionen (Eutectic Phase Change Slurries, kurz EPCS) aus verschiedenen binären, wässrigen Salzlösungen mit eutektischer Konzentration und einer Phasenwechseltemperatur zwischen -30 ... 0 °C. Hierzu wird am eutektischen Punkt nur ein Teil der eutektischen Solen erstarrt und die Feststoffpartikel werden in der verbleibenden Flüssigkeit suspendiert. Die zu untersuchenden EPCS sind bis zu einem zu ermittelnden maximalen Feststoffgehalt pumpfähig und somit ähnlich wie Flüssigeis (ice slurry) sowohl als Kältespeichermedium als auch als Kälteträger einsetzbar. In der Suspension liegen Salz- und Eiskristalle nebeneinander vor, so dass die Vermeidung inhomogener Mischungszustände eine zentrale Herausforderung darstellt.



Bild 1: EPCS aus Kaliumhydrogenphosphat im Labor

Im Projekt sollen die Erzeugung, die Speicherung und im Ansatz auch das Anwendungsverhalten von EPCS untersucht werden.

Langfristiges Ziel ist die Etablierung neuer Möglichkeiten zur Speicherung von Kälte bei niedrigen Temperaturen mit hoher Energiedichte bei Vermeidung großer Effizienzeinbußen, um auch in Anwendungen wie Tiefkühlagerung eine stärkere Flexibilisierung der Kälteerzeugung zur besseren Integration volatiler erneuerbarer Energien zu eröffnen.

VORGEHEN

Die zentralen Fragestellungen in dem Vorlauforschungsprojekt lauten:

- Welche eutektischen Solen eignen sich für die Erzeugung von EPCS in Kratzkühlern?
- Kann inhomogenen Mischungszuständen in EPCS – sowohl der Entmischung der Grundkomponenten Salz und Wasser als auch bezüglich der suspendierten Partikel in der flüssigen Phase – bei wiederholtem Phasenwechsel durch geeignete Prozessparameter bei der Erzeugung sowie durch Rühren im Speicherbehälter bzw. mit statischen Mischvorrichtungen in Rohrleitungen mit vertretbarem Aufwand entgegengewirkt werden?
- Verläuft der Schmelzvorgang des EPCS isotherm?
- Wo liegen die technischen und wirtschaftlichen Grenzen hinsichtlich des erzeugbaren und pumpbaren Feststoffgehaltes für das jeweilige EPCS?

Als Basis für alle weiteren praktischen Arbeiten wurde im Rahmen einer intensiven Literaturstudie eine Datenbank zu eutektischen Solen erstellt, die eine Übersicht über die verfügbaren, bekannten Eigenschaften erlaubt. Insbesondere

Projektleitung

Dipl.-Ing. Myrea Richter

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

bezüglich der thermophysikalischen Eigenschaften mussten hier allerdings große Wissenslücken konstatiert werden. Die Datenbank beinhaltet auch kommerziell verfügbare eutektische Solen. Eine Auswahl an eutektischen Solen wurde im Labor unter Rühren allmählich erstarrt, um dabei die Unterkühlungsneigung und Partikelbildung zu untersuchen. Anschließend wurden fünf geeignete eutektische Systeme ausgewählt, mit denen weitere Untersuchungen im Prüfstand durchgeführt werden sollen, um das EPCS sowie dessen Erzeugung, Speicherung und Abschmelzen erfassen und bewerten zu können.

Die EPCS-Erzeugung im Prüfstand erfolgt mit einem modifizierten Kratzkühler. Bei der Erzeugung können die Prozessparameter Kälteleistung, Verdampfungstemperatur, Solendurchsatz und Schaberdrehzahl variiert werden. Es gilt, die optimalen Prozessparameter im Kratzkühler zu ermitteln mit dem Ziel, die Unterkühlung zu minimieren und einen möglichst hohen Anteil an Mischkristallen aus Salz und Eis zu erzeugen, um der potentiellen Entmischung entgegenzuwirken.

Aufgrund der Entmischungsproblematik in Suspensionen soll weiterhin eine Vorrichtung für das Einsetzen von statischen Mischelementen vorgesehen werden und an mehreren Stellen in der Rohrleitung Schaugläser eingebracht werden, die eine visuelle Analyse unter zu Hilfenahme einer Hochgeschwindigkeitskamera erlauben.

Die Bestimmung des Feststoffanteils wird mittels eines Strömungskalorimeters erfolgen, mit dem im Entladungsfall zugleich der Verbraucher simuliert werden kann.

Mit einem Strömungviskosimeter soll die Viskosität frisch erzeugter und gelagerter Suspensionen mit unterschiedlichen Feststoffgehalten untersucht und miteinander verglichen werden.

Zum Projektabschluss sollen die verschiedenen EPCS hinsichtlich ihrer Handhabbarkeit sowie ihrer technischen und wirtschaftlichen Potentiale miteinander verglichen werden.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

In den vielversprechenden Vorversuchen im Labor konnten mit fast allen Lösungen durch allmähliche Teilerstarrung am eutektischen Punkt eine Suspension erzeugt werden, bei der einzelne Partikel in der flüssigen Phase suspendiert vorlagen. Wie erwartet ist die Unterkühlung in der bewegten Lösung deutlich geringer als in vergleichbaren DSC-Messungen in ruhenden Systemen. Aktuell wird der Prüfstand aufgebaut, um die intensiven weitergehenden Untersuchungen durchführen zu können.

Thermisch angetriebene Flüssigeiserzeugung für Heiz- und Kühlanwendungen (SubSie – TAFEis)

Einsatzbereich

Kühlanwendungen mit Nutzttemperaturen um 0 °C
Kältespeicherung in KWKK-Anlagen zur Flexibilisierung
Heizen mit Eis mittels Absorptionswärmepumpe



Bild 2: Flüssigeis bewegt

ZIELSTELLUNG

Das Projekt TAFEis gliedert sich in den Projektverbund SubSie ein, dessen übergeordnetes Ziel es ist, den Anwendungsbereich von Abwärmennutzender Technik zu vergrößern und damit bisher nicht nutzbare Potentiale unter Einsatz klimafreundlicher Kältemittel zu erschließen. Dabei soll die bisherige Limitierung durch den Gefrierpunkt hin zu Temperaturen unter 0 °C verschoben werden.

Im Vorhaben TAFEis soll der Nachweis erbracht werden, dass die Erzeugung von Flüssigeis mittels thermischer Verdichtung durch eine Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlage möglich ist. Hierbei werden zwei Forschungsschwerpunkte des ILK Dresden, die Flüssigeiserzeugung und die Absorptionskälteerzeugung, vereint. Für diese Forschungsschwerpunkte erhielt das ILK Dresden jeweils den Deutschen Kältepreis. Für beide Technologien können so neue Märkte erschlossen werden. Durch Nutzung von Abwärme kann aus industriellen Prozessen Eis als pumpfähiger Kälte­träger zur Kühlung bereitgestellt werden.

VORGEHEN

Innerhalb des Projektes sind Herausforderungen sowohl im Bereich des Absorptionsprozesses als auch der Direktverdampfung im Speziellen zu lösen. Mit Additiven zur Gefrierpunktserniedrigung können die Eisbildung als auch die Eiseigenschaften beeinflusst werden. Hier gilt es, Additive zu identifizieren, welche positiv auf die beiden erwähnten Herausforderungen wirken. Mittels Literaturrecherche und Additivvergleich wird eine Auswahl von Additiven nach entsprechend definierten Kriterien (Dampfdruck, Viskosität, Kristallbildung, Wärmekapazität, Korrosivität, Toxizität usw.) getroffen. Die ausgewählten Additive werden dann hinsichtlich ihrer rheologischen Eigenschaften und Dampfdrücke untersucht und ein Vorzugsadditiv für die weiteren Arbeiten festgelegt.

Seitens des Absorptionsprozesses besteht aufgrund der niedrigen Verdampfungstemperaturen der Flüssigeiserzeugung ein erhöhtes Kristallisationsrisiko im Lösungskreis. Hier können positive Ergebnisse anderer Forschungsarbeiten,

Projektleitung

Dipl.-Wi.-Ing. (FH)
Christine Tillmann

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kooperationen

WEGRA Anlagenbau GmbH

wie des Projektes KristOut – Einsatzerweiterung von Wasser-Lithiumbromid-Absorptionsanlagen durch Anwendung eines Kristallisationsinhibitors, genutzt werden. Dieser soll innerhalb von TAFEis weiter erprobt werden und zu einem stabilen Betrieb der Anlage beitragen.

Die niedrige Verdampfungstemperatur hat zudem Einfluss auf die Funktion weiterer Bauteile der Absorptionskälteanlage. Daher werden Voruntersuchungen an einer Absorptionskälteanlage des Typs MARAL der Firma EAW durchgeführt, um die Komponenten bewerten und entsprechende Berechnungen validieren zu können. Die Voruntersuchungen bilden die Basis für die Auslegung und Konstruktion eines Funktionsmusters unter den Zielstellungen eines stabilen Betriebes, einer möglichst kompakten Bauform und wirtschaftlicher Herstellung. Dabei muss ein hoher Hermetisierungsgrad der Anlage berücksichtigt werden, um die Leckrate der Anlage (also das Eindringen von nicht kondensierbaren Gasen in den Prozess) gering zu halten und die Prozessstabilität zu gewährleisten sowie die Korrosion zu minimieren. Es folgen der Bau eines Funktionsmusters zur thermischen Flüssig-eiserzeugung und die Ermittlung der Einsatzgrenzen des Funktionsmusters hinsichtlich seiner Effizienz und Temperaturen.

Ein weiteres Aufgabenfeld des Projektes ist die Erstellung eines Konzepts zur Integration der Technologie in industrielle Prozesse. Als Beispiel dient hier die Abwärmenutzung und Kältebereitstellung in einer Brauerei. Entwickelt werden soll ein Konzept, das die Energieströme optimal nutzt bzw. bereitstellt.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Nach entsprechender Literaturrecherche und einem Additivvergleich hinsichtlich definierter Kriterien wurde eine Auswahl an Additiven getroffen. Diese werden in weiterführenden Untersuchungen auf Eignung für den Anwendungsfall geprüft.

An einer Absorptionskälteanlage des Typs MARAL der Firma EAW konnten erste Messungen mit Lithiumbromid als Additiv im Verdampfer durchgeführt werden. Aus den gewonnenen Ergebnissen können erste Rückschlüsse auf die verringerte Absorberleistung aufgrund der Druckabsenkung im Verdampfer gezogen werden. Diese Ergebnisse sind Grundlage für die Auslegung des Versuchsmusters.

FAZIT / AUSBLICK

Bei erfolgreichem Abschluss des Projektes ist es Ziel, zum Nachweis der Anwendbarkeit des Prozesses im industriellen Umfeld ein Demonstrationsprojekt umzusetzen. Hier sollten Langzeiterfahrungen in Hinblick auf Prozessstabilität, Prozessflexibilität sowie Prozesssicherheit gesammelt werden.

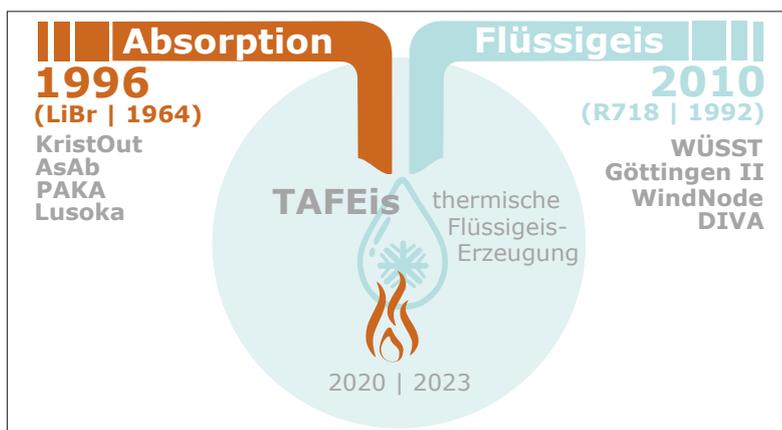


Bild 1: Entwicklung des Projektes TAFEis

SorptionTakeOff – Maßnahmen zur Steigerung der Standardisierung und Verbreitung von Sorptionskühlsystemen

Einsatzbereich

Steuerung und Regelung von Absorptionskälteanlagen, Schulung auf dem Gebiet der Absorptionskältetechnik, Wissensvermittlung in der Kältetechnik.



ZIELSTELLUNG

Die wissenschaftlichen Arbeitsziele des Projektes bestehen in der Entwicklung komplexer, das gesamte kältetechnische Anlagensystem umfassende Regelalgorithmen, die auch auf Energieverbundsysteme wie der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage erweiterbar sind. Die komplexe Betrachtung berücksichtigt die Regelung der einzelnen Komponenten der Kältemaschine, die Regelung der zur Kälteanlage erforderlichen Peripherie wie zum Beispiel Rückkühlwerk sowie das Gesamtsystem. Ziel der Abstimmung der Einzelregelungen untereinander ist das Erreichen höchster Energieeffizienz für das Gesamtsystem. Darauf aufbauend umfasst das technische Arbeitsziel die Umsetzung des komplexen Systemreglers, der an ausgeführten Anlagen getestet werden soll.

Um die Gesamtentwicklung der Sorptionsanlagen mit den entwickelten Steuerungen besser zu vermarkten und das komplexe Wissen über die Absorptionskältetechnik zu schulen, vorrangig Wasser-Lithiumbromid aber auch Ammoniak-Wasser, sollen in dem Projekt Schulungsunterlagen erarbeitet und ein Demonstrator-Trailer geplant und umgesetzt werden. Im fertiggestellten Trailer werden dann neben der Wissensvermittlung Laborversuche zu Absorptionskälteanlagen und ihrer Steuerung stattfinden können. Dies dient beispielsweise zur Unterstützung der Lehrausbildung an Kältefachschulen und zur Wissensweitergabe an Planer, Ingenieurbüros und Energieberater. Die Vermittlung der Schulungsunterlagen und des Trailers soll über den Green Chiller Verband für Sorptionskälte e.V. erfolgen.

VORGEHEN

Für das Projekt wurde zur besseren Darstellung und Bewerbung ein Logo entworfen, welches Bild 1 entnommen werden kann.

Die Projektarbeiten gliedern sich in folgende Hauptarbeitspakete:

- Definition der betrachteten Anlagensysteme
- Entwicklung von Regelalgorithmen
- Entwicklung der Programmablaufpläne
- Entwicklung des Fehlermanagementsystems
- Umsetzung des komplexen Systemreglers und seine Erprobung an Anlagen
- Entwicklung der Schulungsunterlagen
- Aufbau des Demonstrator-Trailers und der Ausstattung

Im Projekt arbeiten zwei Forschungseinrichtungen, das ILK Dresden und das ZAE Bayern sowie zwei Industriepartner, die EAW Energieanlagenbau und SolarNext im Forschungsverbund zusammen.

ERGEBNISSE / STAND DER FORSCHUNGSARBEIT

Innerhalb der bisherigen Projektbearbeitung wurden Regelkonzepte und Regelalgorithmen zur Regelung und Steuerung des gesamten Sorptionskältesystems für einen Basisfall entwickelt, die sowohl den Voll- als auch den Teillastfall berücksichtigen. Die definierten Bilanzräume können Bild 2 entnommen werden. Verschiedene Betriebsmodi mit unterschiedlichen Zielstellungen wie höchste Energieeffizienz, maximale Abwärmenutzung oder höchste Versorgungssicherheit können mit der Systemregelung gefahren werden. Das Konzept des Fehlermanagementsystems umfasst drei Bereiche, die Systemüberwachung und Fehlererkennungsmethodik, die

Projektleitung

Dipl.-Ing. Lutz Richter

Fördermittel

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Kooperationen

Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)

EAW Energieanlagenbau GmbH Westenfeld

SolarNext AG

System- und Fehlervisualisierung und die Datenerfassung und Fehlerprotokollierung.

Das Grundkonzept der Schulungsunterlagen, Inhalt, Gliederung und Darstellung, wurde erarbeitet. Ziel der Schulungsunterlagen ist es zum einen, Schulenden und Vortragenden ein Werkzeug an die Hand zu geben, mit dem ein Vortrag auf das Auditorium zugeschnitten einfach zusammengestellt werden kann. Daher ist das Konzept eines „Baukastens“ als zielführend ausgewählt worden. Dies meint das selbstständige Zusammenstellen des Vortrags aus einem Portfolio an Materialien. Die Schulungsunterlagen sind so strukturiert, dass sie einfach in verschiedene Lehrpläne integriert und auf unterschiedlichste Vorkenntnisse sowie verschiedene Zielgruppen zusammengestellt werden können.

Der Trailer soll autark einsetzbar sein und dient als praktische Ergänzung zu den Schulungsunterlagen. Er soll Platz für maximal 12 Personen sowie Stellfläche für das Equipment haben. Die im Trailer stattfindenden Praxisübungen können beispielsweise mit folgenden Ausstattungen durchgeführt werden:

- Demonstrator Kälteerzeugung Absorption (kleiner Absorptionskältekreislauf, 1 kW Kälteleistung, elektrisch beheizter Wasserkreislauf, Luftkühler im Trailer, mobiler mit Schnellkupplung anzuschließender Luftheizer zur Rückkühlung, Berücksichtigung von diversen Serviceventilen und Schaugläsern)
- Dichtheitskontrolle und Druckstandprüfung bspw. mittels mobiler Drucksensorik
- Lecksuche und Leckratenbestimmung bspw. mittels Lecksuchgerät
- Probenentnahme über Entnahmeeinrichtung und Vermeidung von Lufteintritt in die Anlage
- Schnellanalyse von Lösungsproben mittels Analyseköffer

- Schnellanalyse Reinheit des Kältemittels über Dichtemessung bspw. über ein mobiles Dichtemessgerät
- Vakuumpumpe Vor- und Nachlauf, Wartung und Service von Vakuumpumpen
- Darstellung der Auswirkung von Inertgasen im Kreisprozess
- Funktionsüberwachung und Fehlerkennung
- Mobile Messtechnik bspw. mittels Ultraschallvolumenstrommessgerät zur Anlagenüberprüfung

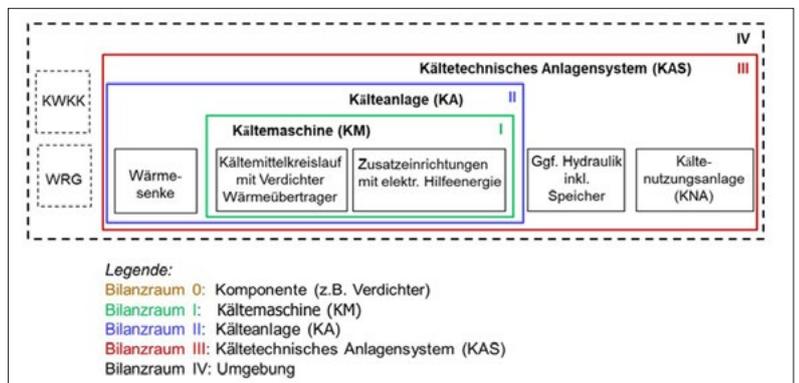


Bild 1: Grundaufbau der Bilanzräume

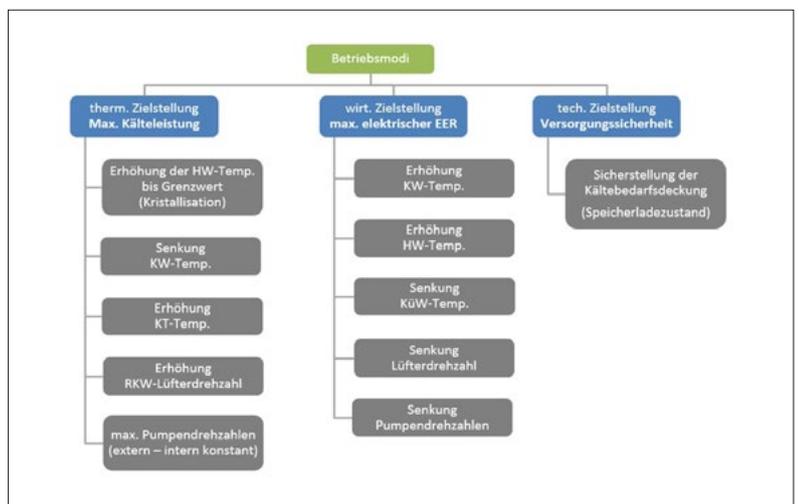


Bild 2: Betriebsmodi der Regelung des definierten Basissystems

FuE-Dienstleistungen 2020 auf dem Gebiet der Angewandten Energietechnik

Der Hauptbereich Angewandte Energietechnik bietet auf Basis des in zahlreichen öffentlich geförderten Forschungsprojekten erworbenen Know-hows und langjähriger Erfahrungen unter anderem folgende FuE-Dienstleistungen an:

- Komponenten- und Systementwicklungen in den Bereichen Wasser als Kältemittel in Kompressionskälteanlagen; Absorptionskältemaschinen mit den Arbeitsstoffpaaren Wasser/LiBr und Ammoniak / Wasser; Flüssigeis / Eisbrei mit verschiedenen Erzeugungsverfahren; ORC-Technologie zur Strom- und Wärmebereitstellung; thermische Meerwasserentsalzung
- Theoretische und experimentelle Untersuchung von Fragestellungen in der Wärme- und Stoffübertragung (z.B. Be- und Entfeuchtung, Verdampfung, Kondensation...)
- Modellierung und Simulation energie- und kältetechnischer Systeme und Komponenten
- Kälte- und Energietechnische Anlagen: Konzeption, Planung, Fördermittelbeantragung, Umsetzungsunterstützung, insbesondere in Verbindung mit Abwärmenutzung, Einbindung regenerativer Energien (PV, Solarthermie), Kraft-Wärme-Kälte oder Wärme-Kälte-Kopplung, ORC-Anlagen sowie Wasseraufbereitung
- Analyse von Schäden oder Minderleistungen an Absorptionskälteanlagen, Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen und Umsetzungsbegleitung, Gutachten
- Auslegung und Design von Kälteanlagen mit Flüssigeis als Kältespeichermedium unter Einbindung von Photovoltaik und anderen Eigenerzeugungsanlagen
- Beratungs-, Planungs- und experimentelle Dienstleistungen in den Bereichen:
 - Flüssigeis/Eisbrei – Erzeugung, Lagerung, Verteilung, Nutzung
 - Kühlung von Rechenzentren (wasserbasiert)
 - Plattenwärmeübertrager
- Konzeption und Realisierung kundenspezifischer, energie-, kälte- oder lufttechnischer Prüfstände
- Entwicklung und Aufbau von Vakuum-Flüssigeisanlagen

Die Nutzung des Kältemittels Wasser (R718) in Kompressionskälteanlagen ist einer der Schwerpunkte des Hauptbereiches. Vom ILK Dresden entwickelte und selbst gebaute Turboverdichter sind die Basis dieses Technologiebereiches. Die Erzeugung von Vakuum-Flüssigeis (Eisbrei) durch Direktverdampfung am Tripelpunkt ist eine der Anwendungen von „Wasser als Kältemittel“ und bietet zahlreiche Nutzungsoptionen, z.B. die Kältespeicherung.

In dieser Anwendung konnte 2020 die zweite Kundenanlage in den Regelbetrieb übergeben werden. Der nachts geladene Eisspeicher deckt Spitzenlasten im Kältebedarf am Tag und wird vom Betreiber, der Georg-August-Universität Göttingen, als ein Baustein des Lastmanagements zur Reduktion elektrischer Leistungsspitzen eingesetzt. Anfang März konnte die Anlage der interessierten Fachöffentlichkeit im Rahmen eines Workshops vorgestellt werden.



Bild 1: Besichtigung des Vakuumeis-Kältespeichers im Gebäude der Fakultät für Chemie der Georg-August-Universität Göttingen

Eine weitere Anlage zur Kältespeicherung mit größerer Ein- und Ausspeicherleistung sowie Speicherkapazität befindet sich im Bau und wird 2021 in Betrieb gehen.

Die charakteristischen Eigenschaften von Eis, die hohe Energiedichte des Phasenwechsels und die konstante Temperatur sind nicht nur für die Speicherung von Kälte, sondern auch für die Wärmegewinnung von Vorteil. Die Wärmewende verlangt eine gesteigerte Nutzung von Wärmepumpen mit möglichst effizienten und leistungsfähigen Wärmequellen. Neben gebauten Eisspeichern rückt damit auch die Aquathermie oder Seethermie in den Blickpunkt. Die Vakuumeis-Technologie bietet hier Vorteile, mit denen Gewässer einfacher als Wärmequelle erschlossen werden können. Der Freistaat Sachsen prämierte diesen innovativen Ansatz des ILK Dresden mit dem 2020 erstmals verliehenen eku innovativ – dem Zukunftspreis für Energie, Klima, Umwelt in Sachsen.

Die Innovationsregion Mitteldeutschland beauftragte 2020 eine Bietergemeinschaft unter Führung der JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH mit der Durchführung der Studie SEETHERMIE – Innovative Wärmeversorgung aus Tagebauseen. Am Beispiel des Zwenkauer Sees südlich von Leipzig werden hier die Möglichkeiten einer thermischen Seewassernutzung mittels Vakuumeis-Technologie untersucht. Das ILK Dresden wirkt als Unterauftragnehmer in der Projektgruppe mit.

Weitere F/E-Dienstleistungen in 2020 waren:

- Verschiedene Kundenprojekte (Studien, Konzepte, Vorplanung) zur Effizienzsteigerung in der Energieversorgung sowie zur Einbindung erneuerbarer Energien, z.B. in den Bereichen Kartoffelverarbeitung, Fruchtverarbeitung und -kühl Lagerung, Schneeherzeugung

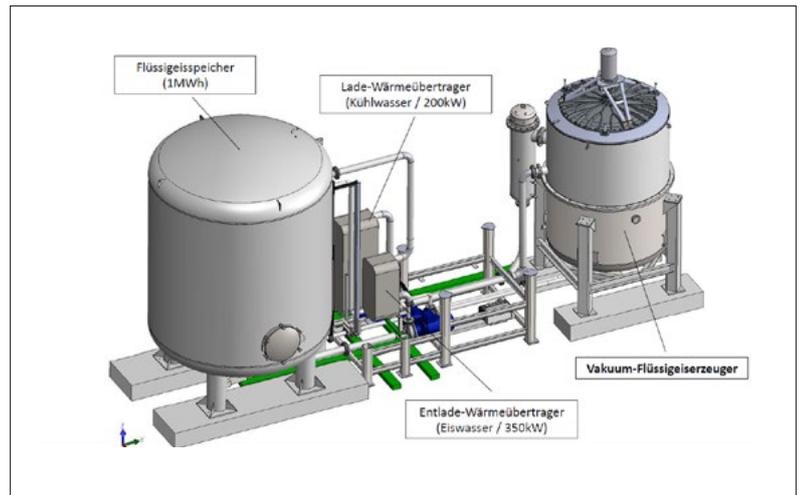


Bild 2: Anlagenschema des Vakuumeis-Kältespeichers

- Gutachten und Analysen im Bereich Wasser / LiBr-Absorptionskälteanlagen verschiedener Hersteller sowie Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Behebung von Minderleistung und anderer Betriebsprobleme sowie Umsetzungsbegleitung;
- Die Modellierung und Simulation von Prozessen in Haushaltsgeräten wie Kühl- und Gefrierschränken sowie Geschirrspülern
- Die Wartung von Prüfständen im Bereich der Wärme- und Stoffübertragung, die vom Bereich Energietechnik des ILK Dresden für Kunden entwickelt und errichtet wurden
- Beratungsleistungen zur abwärmebetriebenen Meerwasserentsalzung

Normungsarbeit 2020



Der Bereich Angewandte Energietechnik beteiligte sich in den Jahren 2019 und 2020 an Normungsaktivitäten. Seit Jahren ist das ILK Dresden bei der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Absorptionskältetechnik eine der führenden Einrichtungen.

Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass die Absorptionskältetechnik sowohl im Rahmen der Ausbildung und des Studiums als auch im Bereich der Normung zu wenig berücksichtigt wird. Folge ist ein unzureichendes Wissen bei Facharbeitern, Ingenieuren und Energieberatern über die Möglichkeiten und Eigenschaften der Absorptionskältetechnik.

Wichtig war daher die Mitarbeit bei der Erstellung des VDMA-Einheitsblattes 24247 Blatt 9 „Energieeffizienz von Kälteanlagen: Teil 9: Sorptionskälteanlagen“.

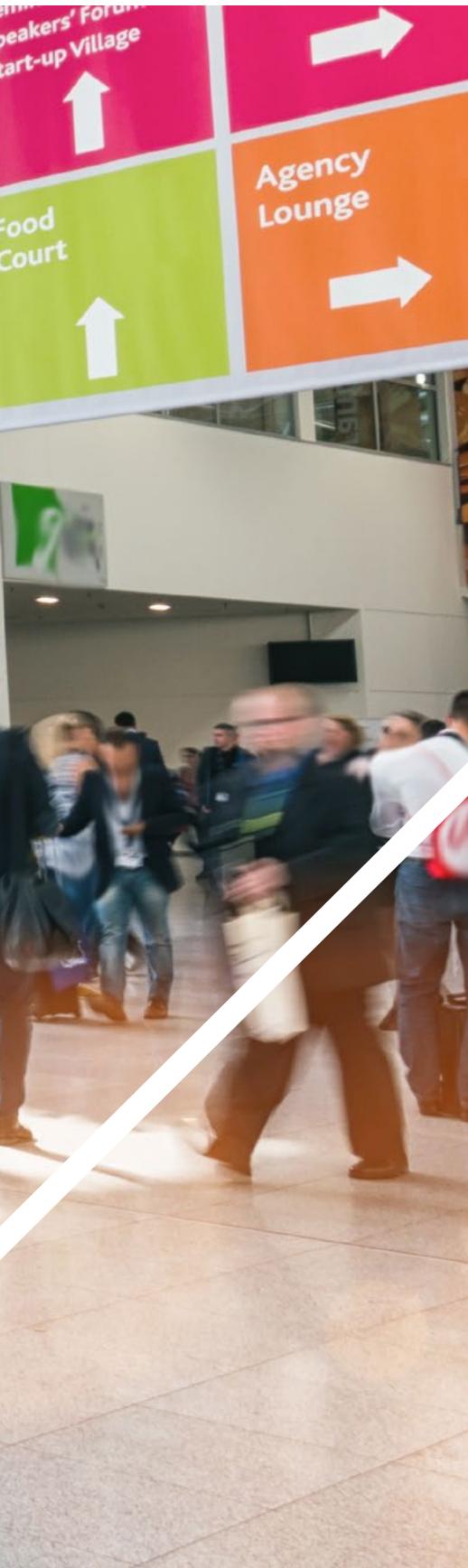
Durch das Einheitsblatt werden konkrete Hinweise für Planung, Betrieb, Wartung und Instandhaltung von Absorptionskälteanlagen gegeben, um die Energieeffizienz von Kälteanlagen und von kältetechnischen Anlagensystemen zu gewährleisten.

Um in der Planungsphase als auch im Betrieb der Anlagen eine energetische und wirtschaft-

liche Vergleichbarkeit zwischen Anlagen herstellen zu können, sowohl gegenüber elektrischen Kälteerzeugern als auch bei der Gegenüberstellung verschiedener Sorptionskältesysteme, werden definierte Vergleichsbedingungen festgelegt. Das Einheitsblatt beschreibt Kennzahlen zur Energieeffizienz für verschiedene Sorptionskältesysteme. Mit den errechneten Kennzahlen kann so die Anlageneffizienz bewertet und mit den anderen Systemen verglichen werden.



WISSENSWERTES



Ausgewählte Veranstaltungen und Publikationen

- 116 Verbände und Organisationen
- 117 Veranstaltungen
- 118 Publikationen
- 120 Vorträge

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.

15. Symposium TEXTILE FILTER mit Präsenz des ILK Dresden

Vom 10. bis 11.03.2020 führte das Sächsische Textilforschungsinstitut e.V. (STFI) in Chemnitz das 15. Symposium „TEXTILE Filter“ unter aktiver Teilnahme des ILK Dresden durch. Es wurden Themen zur Herstellung, Anwendung und Qualifikationen von Filtermaterialien und Filtern mit den folgenden Schwerpunkten vorgestellt und diskutiert:

- Digitalisierung
- Meltblown und Simulation
- Elektretfilter
- Hochleistungsfiler
- Prüfung und Normierung
- Biofilter
- Anwendung und Konfektionierung

Herr Heidenreich moderierte die Session „Hochleistungsfiler“ und trug zum Thema „Feinstaubabscheidung an Schreinereirestholzfeuerungen mit temperaturbeständigen Vliesstoffen“ vor. Zudem wurden zwei laufende Forschungsprojekte (933209 und 933211) als Poster vorgestellt. Das ILK Dresden war weiterhin vertreten durch Frau Dr. Kotte, Herrn Lauer und Herrn Holfeld.



Dipl.-Ing. Ralf Heidenreich



Blick in den Tagungsraum



Firmenpräsentation

Publikationen

Röllig, P.; Reichel, A.

Transferprojekt des Monats – Salze mit Potenzial zur Kältespeicherung,
IHK Wirtschaft Dresden 8/2020, S. 26

Röllig, P.; Reichel, A.

Salze liefern Phänomen mit Potenzial zur Kältespeicherung,
Dresdner Transferbrief – Das E-Journal, Juni 2020

Buschmann, M.H.

Critical review of heat transfer experiments in ferrohydrodynamic pipe flow utilising ferronanofluids
International Journal of Thermal Sciences 157 (2020) 106426, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106426>

Ullrich, S.; Buder, R.; Boughanmi, N.; Friebe, C.; Wagner, C.

Numerical Study of the Airflow Distribution in a Passenger Car Cabin Validated with PIV
New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XII, 2020,
ISBN 978-3-030-25252-6, S. 457 - 467,
doi: 10.1007/978-3-030-25253-3_44

Tietze, M.; Friebe, C.; Stephan, M.

Bestimmung der Strömungsverhältnisse in einem Radialventilator mit gegenläufig rotierenden Laufrädern
Studieren im Markt; Berufsakademie Sachsen; Wissen im Markt 2020, 2020, S. 72 - 74

Kempe, T.; Tschigale, S.; Friebe, C.; Kreuzfeld, Velde, O.

Schnelle Simulationsverfahren für die strömungsmechanische Auslegung von Turbomaschinen
Ingenieurspiegel 1, 2020, S. 18f.

Rosenbaum, H.

Textiler Wärmeübertrager – Enthalprierückgewinnung zwischen örtlich getrennten Luftströmen
Die Kälte + Klimatechnik, Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG; 2020, Heft 09-2020; S. 30 - 35

Schiller, H.; Weiß, U.; Mai, R.; Walter, S.

Qualitätssiegel für Klima- und Lüftungsanlagen
2020, IKZ-Fachplaner, Heft August, S. 22 - 25

Heidenreich, R.; Hartmann, T.

Grundlagen des Umweltschutzes, insbesondere der Luftreinhaltung
Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 80. Auflage, Verlag ITM, Kleinaitingen 2020, Band 1, S. 506 - 523

Heidenreich, R.

Luftfilter, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 80. Auflage
Verlag ITM, Kleinaitingen 2020, Band 2, S. 1565 - 1573

Kauffeld, M.; Maurath, T.; Germanus, J.; Askar, E.
N₂O/CO₂-Mixtures as Refrigerants for Temperatures below -50 °C

International Journal of Refrigeration, Volume 117, September 2020, S. 316 - 327

Kauffeld, M.; Maurath, T.; Germanus, J.; Askar, E.
N₂O/CO₂-Gemische als Kältemittel für Temperaturen unter -50 °C - Teil 1

KI Kälte-Luft-Klimatechnik, 11/2020, S. 51 - 55

Kauffeld, M.; Maurath, T.; Germanus, J.; Askar, E.
N₂O/CO₂-Gemische als Kältemittel für Temperaturen unter -50 °C - Teil 2

KI Kälte-Luft-Klimatechnik, 12/2020, S. 41 - 46

Barreneche, C.; Buonomo, B.; Buschmann, M.H.; Capablo, J.; Cascetta, F.; Chirtoc, M.; Cirillo, L.; Concheso, C.; di Pasqua, A.; Doretti, L.; Ercole, D.; Feja, S.; Fernández, A.I.; Fernández-Seara, J.; Franko, M.; Ghafurian, M.M.; Gil Font, J.; Gimeno-Furió, A.; Hanzelmann, C.; Hernández, L.; Juliá, J.E.; Kopcansky, P.; Kujawska, A.; Lourenço, M.J.; Lugo, L.; Mahian, O.; Manca, O.; Mancin, S.; Martín, M.; Martínez, P.; Martínez-Cuenca, R.; Massonne, K.; Mercatelli, L.; Minea, A.A.; Mínguez-Vega, G.; Mondragón, R.; Murshed, S.M.S.; Nardini, S.; Navarrete, N.; J. Navas, J.; Niazmand, H.; Nieto de Castro, C.; Rajnak, M.; Riehl, R.R.; Sánchez-Coronilla, A.; Sani, E.; Seppälä, A.; Sundén, B.; Timko, M.; Turgut, A.; Vallejo, J.P.; Vieira, S.; Wongwises, S.; Wu, Z.; Zajaczkowski, B.

Handbook on Industrial Applications of Nanofluids in Energy Sector (Deliverable 11)

Steffan, C.; Safarik, M.; Wenzel, T.; Badawi, S. H.; Hesse, U.

Entwicklung eines Auswertungsalgorithmus zur Charakterisierung von Verblockungserscheinungen in Flüssigeis durchströmten Plattenwärmeübertragern

DKV-Tagung 20.11.2020

Steffan, C.; Safarik, M.; Wenzel, T.; Badawi, S. H.; Hesse, U.

Partikelmorphologie in Flüssigeisspeichersystemen – Systemische Betrachtungen zum Strömungsverhalten

DKV-Tagung 2020, AA II.01 22



Vorträge

Steinjan, K.

Lebensdaueruntersuchungen an Propanverdichtern
DKV-Jahrestagung 19. bis 20.11.2020, online

Steinjan, K.

Leistungsmessung an Propanverdichtern
Chillventa eSpecial 2020, 10/2020

Röllig, P.

Entwicklung eines Sublimations-Wärmeübertragers für Tieftemperaturkühlung
Deutsche Kälte- und Klimatagung (DKV),
19. bis 20. November 2020, Online-Kongress

Friebe, Ch.; Keßlau, D.

Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik
Exkursion der TU Dresden, allgemeiner Maschinenbau,
29.06.2020

Mai, R.

Vorstellung des Effizienzrechners Klima / Lüftung
UBA, Workshop „Qualitätssicherung durch Energieverbrauchskennzeichnung“;
29.01.2020, Berlin

Mai, R.

BTGA-Seminar: „Energetische Inspektion von Klimanlagen“
27.08.2020, Köln
26.11.2020, Web-Meeting

Dr. Krause, R.

Akustik
Übung zur im Rahmen der Vorlesungsreihe
Klimatechnik an der HTW Dresden

Dr. Krause, R.

Akustik
Vorlesung an der Hochschule Mittweida

Dr. Oppelt, T.

Kühllastberechnung
Vorlesung und Seminar im Rahmen der Vorlesungsreihe
Klimatechnik an der HTW Dresden

Stubbe, D.

**Klimatechnik im Kontext der Gebäudeenergie-
technik**
ENERGIETalk, energy saxony, 09.12.2020, online

Heidenreich, R.

Gesamtheitlicher Ansatz für Energieeffizienz der Lufttechnik in Produktionshallen, Partikelabscheidungsverfahren und Lösungen, Effiziente Schadstoff- und Geruchsabscheidung, VDI-Wissensforum Seminarreihe „Lufttechnik in der Industrie“
Stuttgart, 15. Januar 2020; Online-Seminar,
25.11.2020

Heidenreich, R.; Schimanz, B.; Heese, M.

Feinstaubabscheidung an Schreinereirestholzfeuerungen mit temperaturbeständigen Vliesstoffen
15. Symposium Textile Filter,
10. bis 11. März 2020, Chemnitz



Holfeld, S.; Lauer, M.

Feinstaub – Temperaturhotspots – Trockene Luft, Luftverbesserungen im urbanen Bereich (Posterbeitrag)

15. Symposium Textile Filter,
10. bis 11. März 2020, Chemnitz

Heidenreich, R.

Filtrationsverfahren additive Fertigung (Posterbeitrag)

15. Symposium Textile Filter,
10. bis 11. März 2020, Chemnitz

Röllig, R.; Germanus, J.

Sublimation von CO₂ Trockeneis zur Kühlung bei Temperaturen unter 50 °C

Deutsche Kälte und Klimatagung 2020, Online Veranstaltung

Waschull, J.

Thermische Speicher in der Kälte- und Klimatechnik

Industrieworkshop Thermische Energiespeicher,
3.3.2020, Dresden

Safarik, M.

Vacuum ice slurry technology – A new option for Aquathermie and combined heating & cooling.

Virtuelle Fachkonferenz im Rahmen der AHK Geschäftsreise Wärmeinfrastruktur der Exportinitiative Energie des BMWI,
24.3.2020, Arnhem, NL

Safarik, M.

Ice slurry based energy storage in industrial cooling systems

Chillvente eSpecial, 13. bis 15.10.2020

Safarik, M.

Effiziente und erneuerbare Wärme- und Kältebereitstellung mit Vakuumeis

Energy Saxony Summit 12.11.2020

Safarik, M.

Kälte aus Wärme per Sorption: Anforderungen an Wärmebereitsteller und Kältebedarfsträger

„Kälte aus Biomasse. Perspektiven für die Biomasseverbrennung und -vergasungen“, FEE,
2.11.2020, Digitaler Workshop

Safarik, M.; Honke, M.

Kälte speichern und verteilen, Wärmequellen Eisspeicher und Gewässer erschließen – Potentiale von Flüssigeis und Direktverdampfung

Exkursion und Workshop, 10.3.2020, Göttingen

Safarik, M.

Flexibilisierung industrieller Kälteanlagen mit Vakuum-Flüssigeis

SINTEG-Abschlusskonferenz, 28. bis 29.10.2020

Steffan, C.

Entwicklung eines Auswertungsalgorithmus zur Charakterisierung von Verblockungserscheinungen in Flüssigeis durchströmten Plattenwärmeübertragern

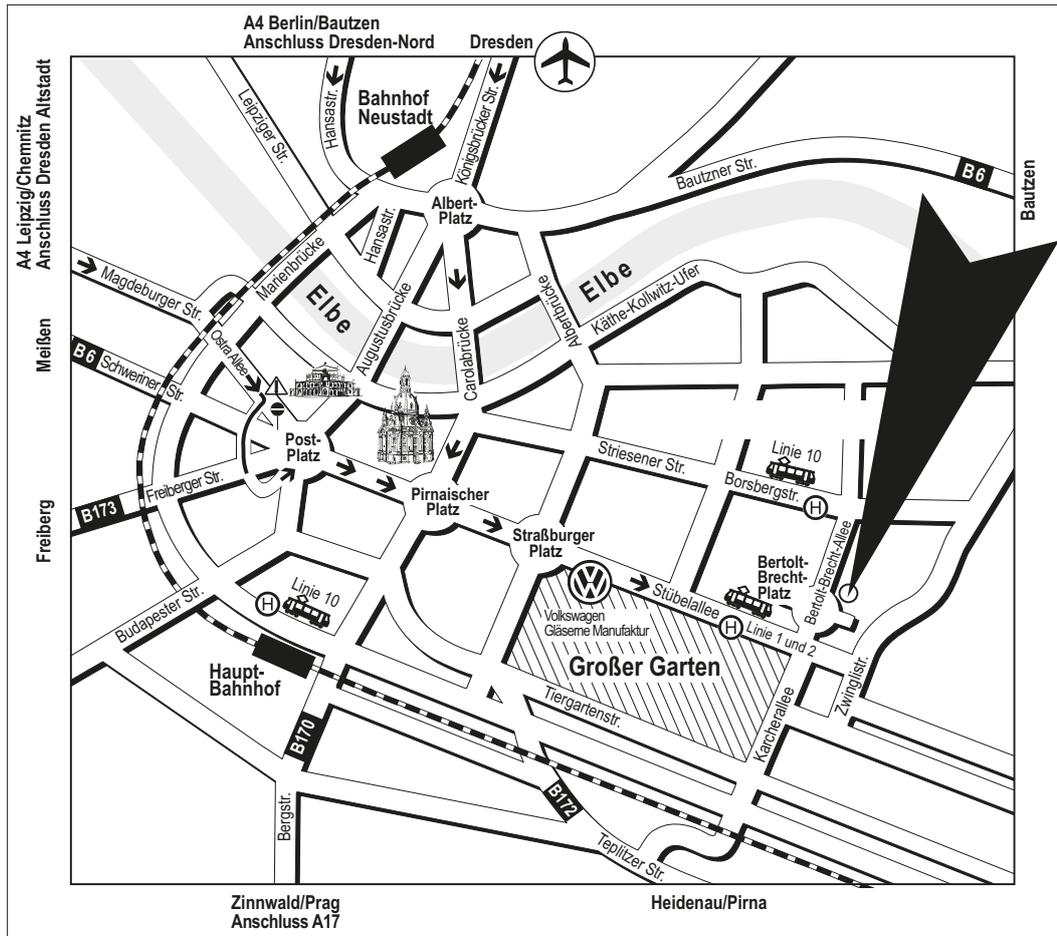
DKV-Tagung, 20.11.2020

Steffan, C.

**Partikelmorphologie in Flüssigeispeichersystemen
Systemische Betrachtungen zum Strömungsverhalten**

DKV-Tagung, 20.11.2020

Anreise



Bildverzeichnis

Titel © ipopba/stock.adobe.com; S. 4 © istock.com/mattdesign24; S. 8, 14, 34, 56, 88 © gorodenkoff/stock.adobe.com; S. 32 © istock.com/tiolooco; S. 53 © serjob74/stock.adobe.com; S. 100 © John Wildgoose/koto/stock.adobe.com; S. 112 © zerbor/stock.adobe.com; S. 114 © rcfotostock/stock.adobe.com; S. 119 © istock.com/blazic27; S. 120 © istock.com/siraanamwong; Alle weiteren Bilder aus dem Archiv des ILK Dresden

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