

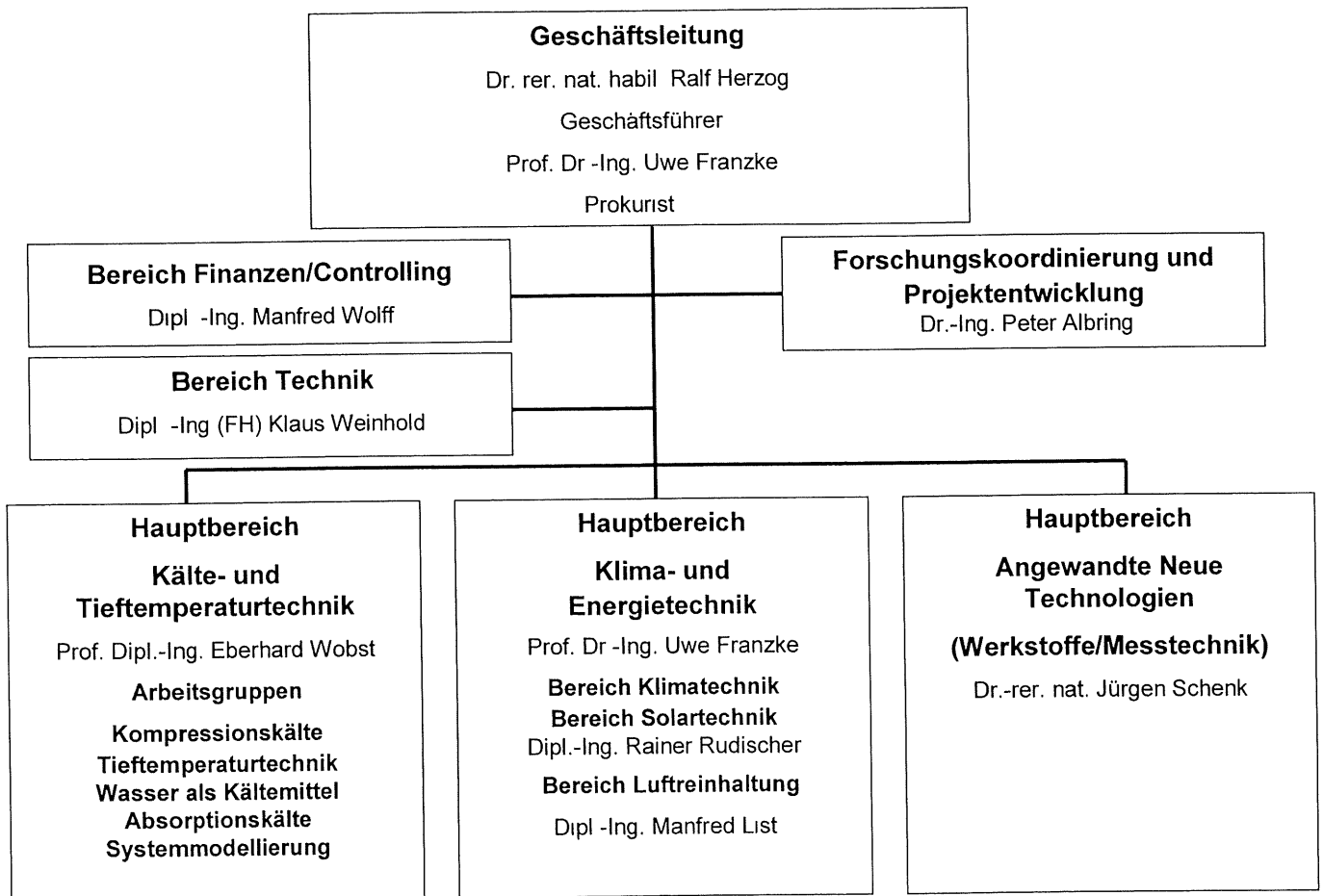


Forschungsergebnisse 2001

Technik der Zukunft – Innovation für die Industrie

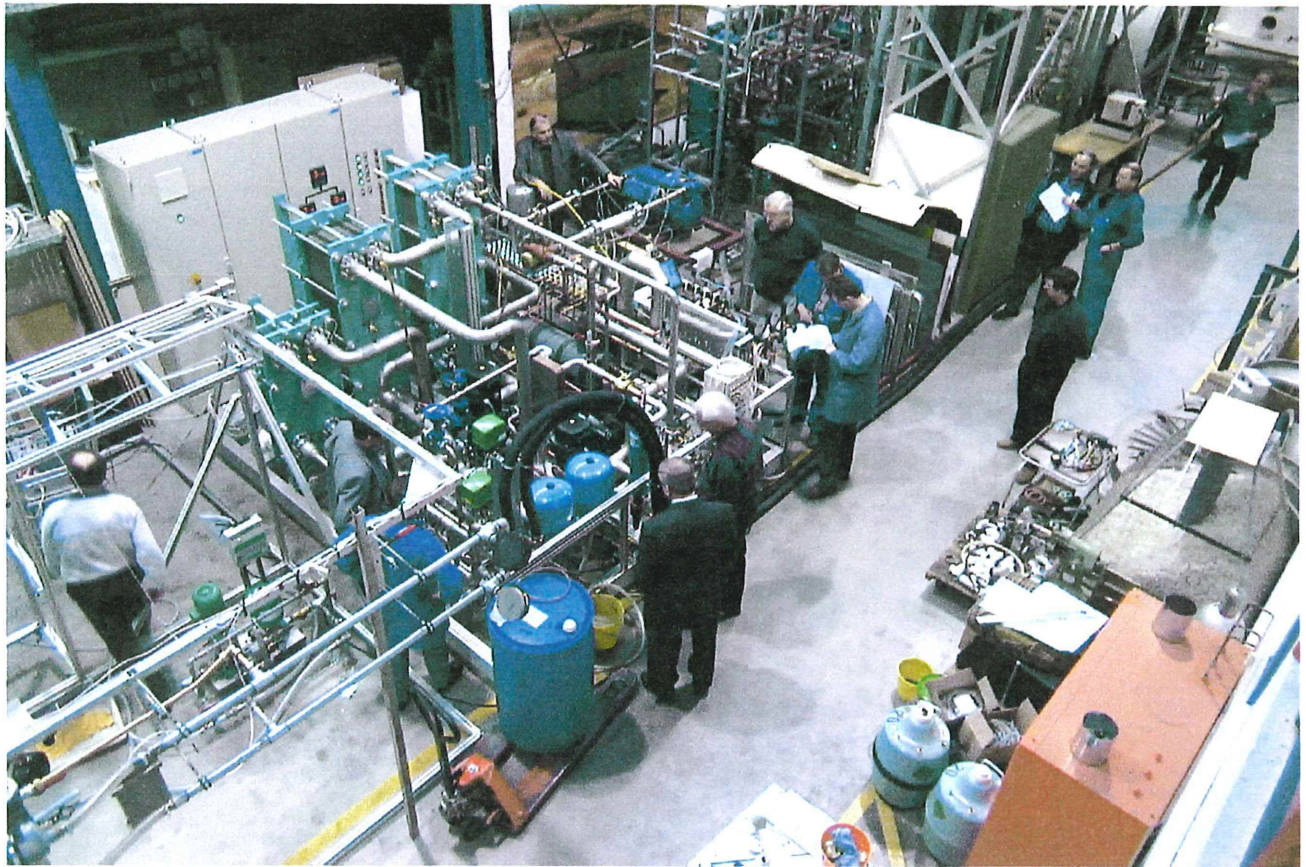


Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH



Institut für Luft- und Kältetechnik
Gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden

Tel (0351) 40 81-520
Fax (0351) 40 81-525
E-Mail: gf@ilkdresden.de
<http://www.ilkdresden.de>



Forschungsergebnisse 2001 in der Übersicht

Fachberichte	262
Messprotokolle	356
Anwendersoftware	4
Prototypen	7
Fachartikel	30
Vorträge	45
Wissenschaftliche Veranstaltungen	9
Patentanmeldungen	14
Lizenzvergaben	6
Projekte der öffentlichen Hand	64
BMW	37
BMBF	4
AiF	17
Sachsen	3
Sonstige	3
Aufträge der Wirtschaft	ca. 400

Inhalt

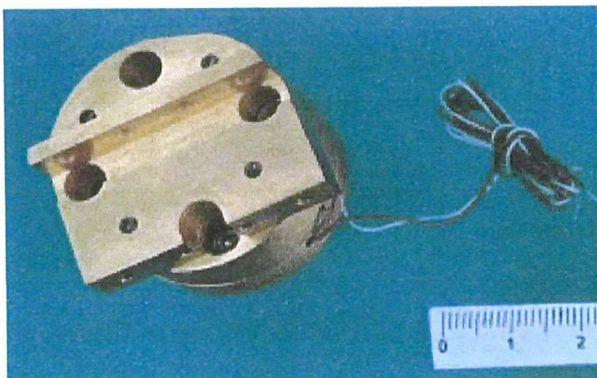
Tiefemperaturtechnik	1
Kältetechnik	4
Klimatechnik	7
Solartechnik	10
Luftreinhaltung	13
Werkstoff- und Messtechnik	15
Internationale Aktivitäten	18
Veranstaltungen	22

Forschungsergebnisse

1 Tieftemperaturtechnik

1.1 Kryogene Kühlsysteme und Kryoelektronik

Im Rahmen der ILK-Mitwirkung am BMBF-HTSL-Leitprojekt „Telekommunikation der Zukunft“ wurden im Jahr 2001 die abschließenden Untersuchungen zum thermischen Interface, Entwicklungsteil **Wärmeschalter**, durchgeführt. Diese speziellen Bauteile werden im Weltraumeinsatz dazu benötigt, um redundante Kryokühler von der zu kühlenden Anwendung thermisch zu entkoppeln und somit parasitäre Wärmeströme durch Wärmeleitung zu reduzieren. Die bis zu diesem Zeitpunkt realisierten Wärmeschalter erreichten sehr gute Parameter. Typischerweise lag der Wärmeübergangswiderstand im geschlossenen Zustand unter 2 K/W und das Schaltverhältnis bei einem Wert von etwa 1000. Wurden die Wärmeschalter jedoch für längere Zeit im geschlossenen Zustand betrieben, kam es zum Kaltverschweißen der metallischen Schaltpaarung. Das Problem wurde durch den Einsatz eines Saphirteils in der Schaltpaarung gelöst. Der Wärmeschalter erreicht somit einen Wärmeübergangswiderstand im geschlossenen Zustand von 1,2 K/W, eine Schalttemperatur von 180 K und ein Schaltverhältnis von mehr als 1000.



Kryogener Wärmestromschalter

Weiterhin wurden im Rahmen des Entwicklungsteils **Kryosystem II** experimentelle Voruntersuchungen zur Messung der spezifischen Wärmeleitfähigkeit von hochfesten und thermisch isolierenden Rohrrhalbeugen aus

einem Polyaramid/Vinylester-Verbundwerkstoff durchgeführt. Der gemessene Wert von 0,233 W/(m K) erlaubt eine mechanische Anbindung des Kryosystems an die warme Struktur des Satelliten, wobei der Wärmeleitungsverlust bei nur 180 mW liegt. Weiterhin wurde die Eignung spezieller Federmetallabdichtungen (Garlock, Helicoflex) für kryogene hermetische Verschlüsse untersucht. Dazu wurden 4 DN-KF40 Dichtungen jeweils 5 mal zwischen 296 K und 77 K zyklert und die Helium-Leckrate sowohl im kalten als auch im warmen Zustand gemessen. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurde der Erstentwurf des Kryosystems II erarbeitet und an den Projektpartner Bosch Satcom (jetzt Tesat Spacecom) übergeben.

Für das Verbundprojekt „Hybride Magnetfeld-Sensorarrays“ zur Einführung der hochauflösenden magnetischen zerstörungsfreien Werkstoffprüfung in der Kfz-Industrie wurden verschiedene Aufgaben bearbeitet. Hauptaufgabe war die Konstruktion, Fertigung, Montage und Erprobung des Kühlsystems auf der Basis des AIM-Stirlingkühlers SL200-10.



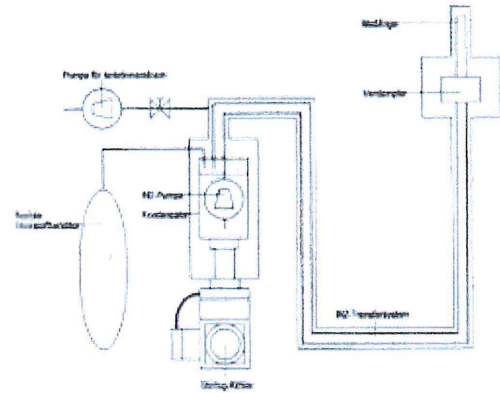
Kühlsystem für die hochauflösende magnetische zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Bei den Untersuchungen wurde eine Abkühlzeit von 140 min (77K) erreicht. Die Temperaturstabilität lag über eine Messzeit von mehr als einer Stunde bei ± 0.1 K bzw. oberhalb 10 Hz bei weniger als 0,6 mK/ $\sqrt{\text{Hz}}$. Messungen der magnetischen Störfelder des Kühlsystems ergaben lediglich eine leichte Erhöhung der 50 Hz-Interferenz, die in der Anwendung durch das Messprinzip, die Wirbelstromme-

thode, unterdrückt wird. Damit ist das Kühlsystem für die Anwendung uneingeschränkt einsetztauglich.

Die Universität Jena wurde durch das ILK bei der thermischen und elektrischen Charakterisierung spezieller **HTSL/Hall-Magnetometer** unterstützt, die als Sensor im Kühlsystem zum Einsatz kommen werden. Sie erreichen Magnetfeldauflösungen von ca. 10 pT/√Hz, die für den Einsatz in der zerstörungsfreien Prüfung in industrieller Umgebung ausreichend sind. Die bei den Messungen im ILK ermittelte Temperaturempfindlichkeit dieser Magnetometer liegt durch das Hall-Detektorprinzip um mehrere Größenordnungen unter der Temperaturempfindlichkeit von HTSL-SQUID-Magnetometern, was sie insbesondere für den Einsatz mit maschineller Kühlung prädestiniert. Die gemessenen Werte lagen, bezogen auf den Querstrom, im Bereich zwischen $4,0 \dots 4,4 \times 10^{-9} \text{ V/(A K)}$.

Zum BMBF-Verbundvorhaben „**Mobile SQUID-Messsysteme für die Flugzeuginspektion**“ wurde im Jahr 2001 im ILK ein geschlossenes SQUID-Kühlsystem mit Stirlingkühler als Kältequelle, Stickstoff als Kältemittel und miniaturisierter Flüssigstickstoffpumpe aufgebaut, untersucht und zur Nutzung an das Forschungszentrum Jülich ausgeliefert. Ein **lageunabhängiger Kryostat aus Titan** wurde für den Verbundpartner Rohmann GmbH gefertigt und getestet. Beim geschlossenen Kühlsystem konnte mittels einer Kälteleistungsregelung des Stirlingkühlers jede beliebige Betriebstemperatur des flüssigen Stickstoffes zwischen 65 K und 78 K eingestellt werden. Da die im unterkühlten Stickstoff gespeicherte Kälteleistung sehr groß ist, konnten zwischen Verflüssiger / Unterkühler, der am Stirlingkühler kontaktiert ist, und dem 3 m entfernten Sensor minimale Temperaturdifferenzen von ca. 0,1 K stabil eingestellt werden und dadurch dem SQUID-Sensor optimale Kühlbedingungen geboten werden. Die Betriebssicherheit des gesamten Systems wurde 4 Wochen lang getestet. Mit dem Titan-Kryostaten kann mit einer Füllung flüssigen Stickstoffs von 0,250 l ca. 6,5 Stunden ununterbrochen gearbeitet werden.



Geschlossenes Kühlsystem zur störarmen SQUID-Kühlung für stationäre Prüfplätze (Flugzeugfelgen)



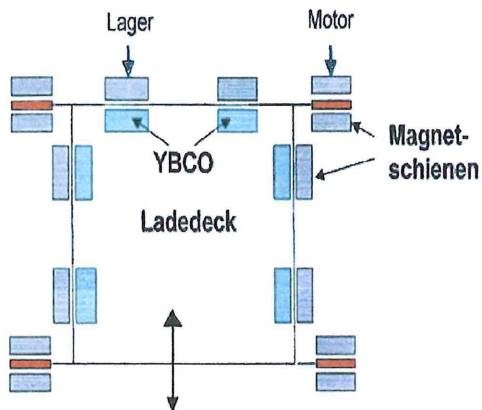
Lageunabhängiger Kryostat aus Titan für mobile Prüfaufgaben (Nietreihen der Flugzeugaußenbeplankung)

1.2 Weitere Anwendungen der Supraleitung

Zur Führung technischer Bewegungsformen sind Lager erforderlich, die die zu bewegenden Elemente in ihrer Bahn halten. Gewöhnlich sind diese Bewegungsformen, wie z. B. Direktantriebe mit Elektromotoren, Rad-Schiene-Kopplungen in Transportsystemen usw. mit Reibung verbunden, die zum Verschleiß der Lager und zu Abrieb führen. Deshalb gewinnen in der jüngsten Zeit Magnetlager, die berührungslos Kräfte übertragen und damit Rotation oder Linearbewegungen ermöglichen, zunehmend an Bedeutung. Der **Schwebelift** ist ein Beispiel dafür.

Eine elegante und technisch relativ einfach zu erzielende berührungslose Kraftübertragung

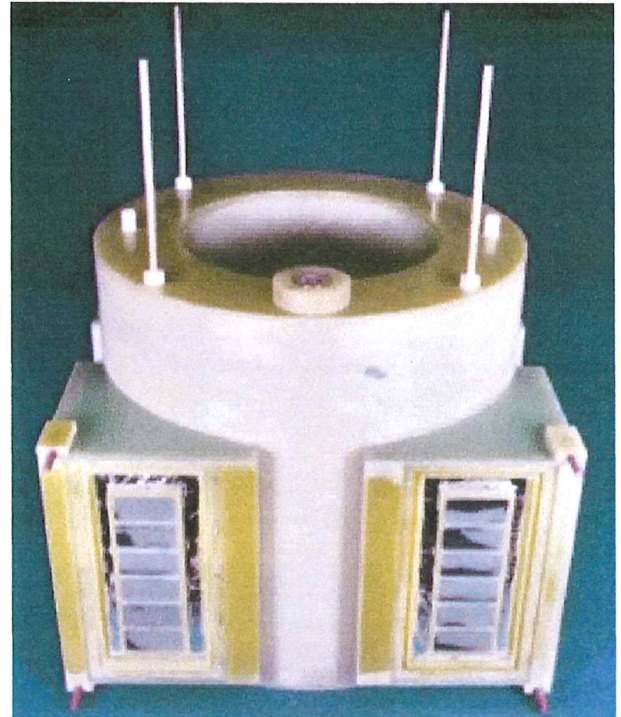
ist mit massiven Supraleitern und Permanentmagneten nach dem Prinzip des reibungslosen Schwebeeffektes zu erzielen. Im Rahmen eines vom Freistaat Sachsen geförderten Verbundprojektes zwischen dem IFW Dresden, der EAAT GmbH Chemnitz, dem ILK Dresden und der HAP GmbH Dresden wurde ein erstes Muster für einen supra-leitend gelagerten Magnetschwebelift **Cleanlift CL 01** entwickelt. Die Entwicklung dieser abriebsfreien Lagertechnologie war konzeptionell auf den Einsatz als Transportsystem in Reinräumen der Mikroelektronik gerichtet, um gezielt Qualitätsminderungen in der Chip-Produktion durch Staubanteile zu reduzieren.



Ladendeck mit supraleitenden Magnetlagern und Linearmotoren

Der Antrieb des Liftes erfolgt durch vier synchron gesteuerte Linearmotoren, die im Wesentlichen aus eisenlosen Flachspulen bestehen, die berührungslos zwischen zwei speziell konfigurierten Magnetschienen laufen. Der permanentmagnetische Fluss und der gesteuerte Stromfluss durch die Spulen erzeugen die Antriebskraft.

Die Kühlung der eingesetzten Hochtemperatursupraleiter mit einer Sprungtemperatur von ca. 85 K wurde mit flüssigen Stickstoff erreicht. Die Abbildung zeigt den im ILK speziell für den genannten Einsatzfall entwickelten vakuumisolierten LN₂-Ringbehälter aus unmagnetischem, nicht-elektrischem Kunststoff für Flüssigstickstoff, den Kryostat. Er wurde gleichzeitig als Lastkorb des Liftes mit Ladendeck für die Waferkassetten konzipiert.



Kryostat mit nichtabgedeckten Supraleiterlagern

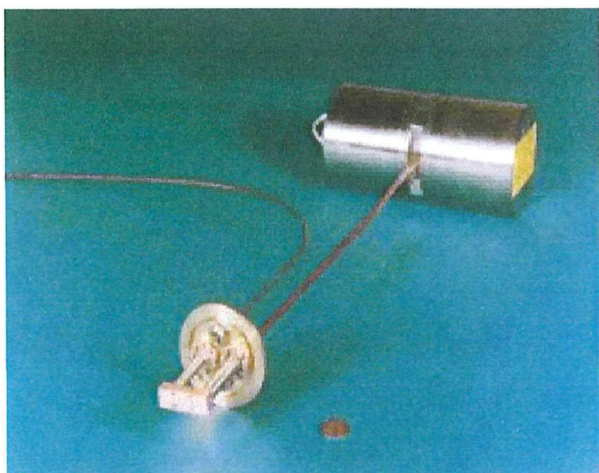
Ein Demonstrator des Magnetschwebeliftes wurde als Exponat auf der Hannovermesse 2001 vorgestellt. Seither absolvierte der Lift erfolgreich weit mehr als 1000 Fahrten (Heben - Senken) und wurde einem breiten technischen Publikum vorgestellt. Auf der Internationalen Erfindermesse in Nürnberg im November 2001 wurde der Lift mit einer Goldmedaille und einem Ehrenpreis der Ausstellung ausgezeichnet.

1.3 Kryokühlerentwicklung

Auf der Grundlage des ILK-Patentes DE 10051115.5 und des Triebwerkkonzepts der Firma LG Thermo-Technologies GmbH wird vom ILK ein **Stirlingkühler großer Leistung** (300 W) entwickelt. Mögliche Anwendungsgebiete sind supraleitende Strombegrenzer und Transformatoren.

Im Rahmen eines Vorhabens wurde mit der Entwicklung von **Inertance-Pulse-Tube-Kaltköpfen** für den AIM SL200-10 Doppelkolben-Linearverdichter begonnen. Diese Kryokühler haben einen rein passiven Kaltteil ohne bewegte mechanische Elemente. Im Vergleich zu Stirlingkühlern weisen sie deutlich weniger Vibrationen und magnetische Störfelder auf. Sie zeichnen sich

dadurch weiterhin durch eine höhere Zuverlässigkeit, eine längere Lebensdauer und vor allem durch einen stark reduzierten Fertigungs- und Montageaufwand für das Kaltteil aus. Bis Ende 2002 soll mit einem prototypnahen Demonstrator die Zielstellung des Vorhabens erreicht werden.

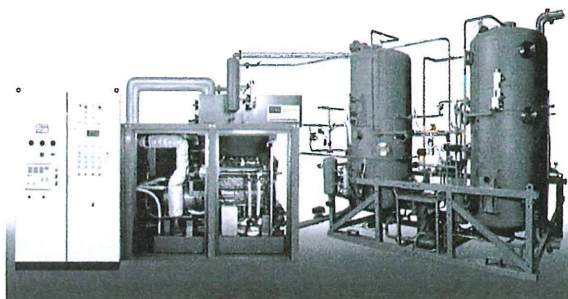


80K Inertance-Pulse-Tube - Erprobungsmuster

2 Kältetechnik

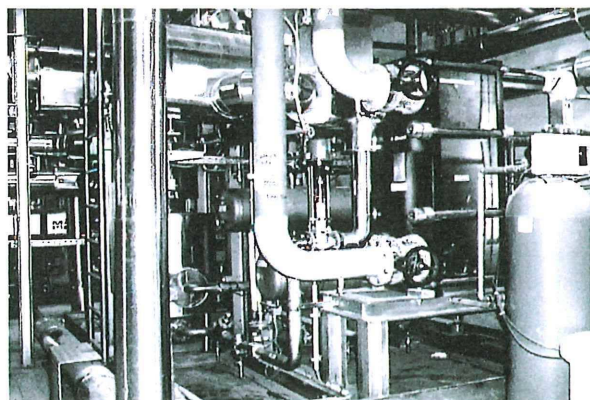
2.1 Absorptionskältetechnik

Innerhalb eines vom BMWi geförderten Projektes wurde mit der Firma WEGRA als Industriepartner eine spezielle „**BHKW-angepasste Multi-Effekt-Absorptionskälteanlage**“ entwickelt, die den bisher durch Absorptionskälteanlagen nicht gedeckten Leistungsbereich der Klimakälteerzeugung von 50 bis 200 kW ausfüllen soll. Durch Kombination eines einstufigen und zweistufigen Absorptionskreisprozesses werden die Abwärmeströme getrennt genutzt. Die höherentemperte Abwärme kann dabei zweimal zur Kälteerzeugung beitragen. Zur Erzielung einer kompakten Bauweise und geringen Differenzen zwischen den prozessinternen und äußeren Medientemperaturen wurden spezielle Ringrohrwärmeübertrager entwickelt. Mit den ausgeführten Anlagen wurden Wärmeverhältnisse von 0,95 erzielt. Das entspricht gegenüber herkömmlichen Vergleichsanlagen einer Steigerung um 30 %.



Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage mit BHKW (60 kW_{el} und 110 kW_{th}) und Multi-Effekt-Absorptionskälteanlage (100 kW_o)

In **NH₃/H₂O-Sorptionskälteanlagen** ist der Einsatz von Plattenwärmeübertragern möglich. Mit ihnen kann Kälte auch im Kälteanwendungsbereich unter 0°C erzeugt werden. Dazu wurden in den vergangenen Jahren Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt. Die hauptsächlichen Aufgaben waren, Plattenwärmeübertrager als Wärme- und Stoffübertrager zu untersuchen, eine kompakte Anlagengestaltung zu realisieren, eine kostengünstige und raumsparende Rektifikation zu integrieren. Die Zusammenfassung der Ergebnisse führte zu einer Pilotanlage im Wasserwerk der Stadtwerke Aschaffenburg, die durch die Fa. ABB Essen gebaut und aufgestellt wurde. Die Pilotanlage ist eine einstufige Absorptionskälteanlage mit externer Dephlegmation. Durch den Einsatz von Plattenwärmeübertragern konnte gegenüber älteren NH₃/H₂O-Absorptionskälteanlagen in Rohrbündelbauart die Ammoniak-Kältemittelmenge auf ca. 1/3 gesenkt werden (200 statt 600 kg). Die Anlage erreicht ein Wärmeverhältnis von 0,56.



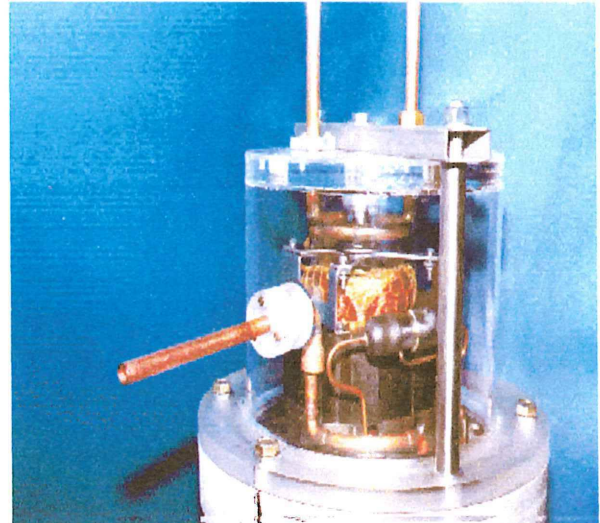
Kompakte NH₃/H₂O-Absorptionskälteanlage mit 440 kW Kälteleistung im Wasserwerk der Stadtwerke Aschaffenburg

2.2 Natürliche Kältemittel

Auf dem Gebiet „Wasser als Kältemittel“ wurde im Jahr 2001 eine messtechnische und wissenschaftliche Begleitung des Ersteinsatzes dieser neuen Technologie bei ausgewählten Anwendern durchgeführt.

Im Forschungsthema „Ermittlung der Grundlagen zum Entwurf mechanischer Verdichter für Kältemaschinen mit Wasser als Kältemittel im Bereich kleiner Kälteleistungen zwischen 50 kW und 300 kW“ wurden die Grundlagen für die Entwicklung von Verdichtern für den im Thema genannten Einsatzbereich erarbeitet. Es wurden drei ausgewählte Verdichtungsprinzipien (Schraubenverdichter, Axial- und Radialverdichter) untersucht. Im Rahmen des Projektes zur Weiterentwicklung der Radialturboverdichter mit einem Laufraddurchmesser $> 1,1$ m konnten weitere Fortschritte bei der Zuverlässigkeit, der Vergrößerung des Ansaugvolumenstromes, der Erhöhung des Druckverhältnisses und der Verbesserung des Wirkungsgrades erreicht werden.

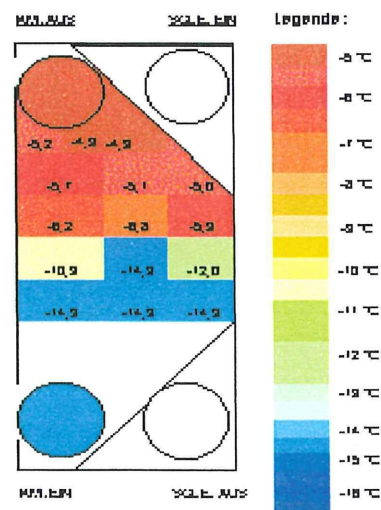
In der Forschungsrichtung **CO₂ als Kältemittel** haben theoretische und experimentelle Arbeiten zu unterschiedlichen Verdichterkonzepten und konstruktiven Gestaltungen an zwei verschiedenen Prototypverdichtern zu fundierten Aussagen für eine optimale **CO₂-Verdichterkonstruktion** geführt. Unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen im jeweiligen Einsatzgebiet und Beachtung technologischer und aufwandsrelevanter Optimierungskriterien sind Lösungen erarbeitet worden. Trotz seiner einfachen und kostengünstigen Konstruktion hat ein einstufiger Verdichter nur begrenzte Einsatzmöglichkeiten, die im hohen Verdampfungstemperaturbereich vorrangig in der Klimatechnik angesiedelt sind. Demgegenüber können zweistufige CO₂-Verdichter Kälteleistungszahlen und Einsatzgrenzen wie am Markt befindliche Kältemittelverdichter für herkömmliche Kältemittel erreichen.



Verdichteransicht mit geöffneter Kapsel

2.3 Wärmeübertrager

Die Untersuchungen an **Plattenwärmeübertragern für Hochleistungsverdampfer** wurden mit dem Ziel durchgeführt, die Ursachen für Leistungsminderungen festzustellen. Als möglicher Grund dafür wird eine ungleichmäßige Verteilung des Kältemittels auf die einzelnen Plattenspalten angenommen, weshalb Tests mit unterschiedlichen Verteilereinrichtungen, Plattengeometrien und Kältemitteln durchgeführt wurden. Im Ergebnis der Untersuchungen wurden Ansatzpunkte zur Entwicklung verbesserter Kältemittelverteilungen gefunden.



Temperaturverteilung im Plattenwärmeübertrager

2.4 Software-Entwicklungen

Für die Firma AWP Kälte-Klima-Armaturen GmbH Prenzlau wurde ein **Auslegungs- und Auswahlprogramm für Kältearmaturen** entwickelt. Das Programm ist Bestandteil des elektronischen Kataloges und wird an AWP-Kunden verteilt. Mit dem Ventilauslegungsprogramm können Absperr-, Handregel-, Wechsel-, Rückschlag-, Sicherheitsventile und Schmutzsammler berechnet und ausgewählt werden. Stoffdaten von Kältemitteln und Kälteträgern sind integriert.

ASERCOM, die Vereinigung europäischer Hersteller von Kältemittelverdichtern, beauftragte das ILK mit der Entwicklung einer speziellen **Evaluierungssoftware für Kältemittelverdichter** zur rationellen Auswertung und Bewertung der Leistungsdaten von Kältemittelverdichtern. Die Software mit dem Namen ASERCERT wird von ASERCOM im Rahmen eines Zertifizierungsprogramms eingesetzt.

Im Auftrag der Firma FRIGOPOL wurde ein **Auswahlprogramm für Trennhauben- und Schraubenverdichter sowie Verflüssigungssätze** entwickelt. Das Programm wird von FRIGOPOL-Kunden als „elektronischer Katalog“ genutzt. Es gestattet eine Produktauswahl nach verschiedenen Auswahlkriterien, die Berechnung von Leistungsdaten für konkrete Betriebsbedingungen sowie die Ausgabe von Diagrammen, Zeichnungen und produktspezifischem Zubehör.

2.5 Kälteanwendungen in der Medizin

Organe, die für eine Transplantation vorgesehen sind, dürfen nach der Entnahme bis zum Abschluss der Transplantationsoperation eine bestimmte Grenztemperatur nicht überschreiten. In enger Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum der TU Dresden entwickelte das ILK ein **Kühlgerät zur Transplantatkühlung** während der Operation. Die klinische Erprobung des Prototypen erfolgte in der Klinik und Poliklinik des Uniklinikums Dresden.



Kühlgerät zur Transplantatkühlung

2.6 Kältetechnische Prüfstände

Im Rahmen wissenschaftlich-technischer Dienstleistungen wurden im Jahr 2001 innovative kältetechnische Prüfstände für Kunden realisiert. Der entwickelte Verdichterleistungsprüfstand **BOCK 300 kW** besteht aus einem einstufigen, vollständigem Kältekreislauf mit der erforderlichen Mess- und Sensortechnik, der kompletten elektrischen Ausrüstung und einer Messwerterfassungs- und -verarbeitungsanlage einschließlich automatischer Regelungstechnik für die Messabläufe. Der separate Unterkühler kommt zum Einsatz, um die notwendige Unterkühlung zu sichern. Zur Dämpfung der Gasschwingungen wurde ein Muffler hinter dem Ölabscheider eingebaut.



Verdichterleistungsprüfstand BOCK

Zwei Solekreisläufe und ein Kühlwasserkreislauf werden zur Abführung von Kälteleistung, Verflüssigerleistung und Verdichterantriebsleistung aus dem jeweiligen Wärmetauscher bzw. in das Kühlwassernetz eingesetzt. Der Kreislauf ist aus Gründen der Energieeinsparung so geschaltet, dass die Kälteleistung zur teilweisen Kompensation der Verflüssigerleistung genutzt wird. Der auszumessende Verdichter steht auf einer separaten Spannplatte. Saug- und druckseitig schließen sich normgerechte Messstrecken an. Über zwei flexible Leitungen ist der Verdichter in den Kältekreislauf des Prüfstandes eingebunden.

3 Klimatechnik

3.1 Entwicklungsvorhaben RLT-Systeme

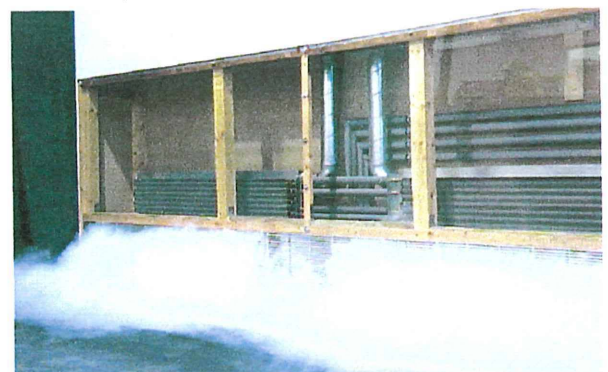
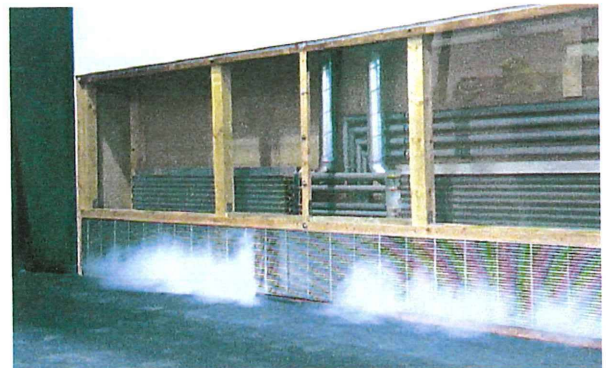
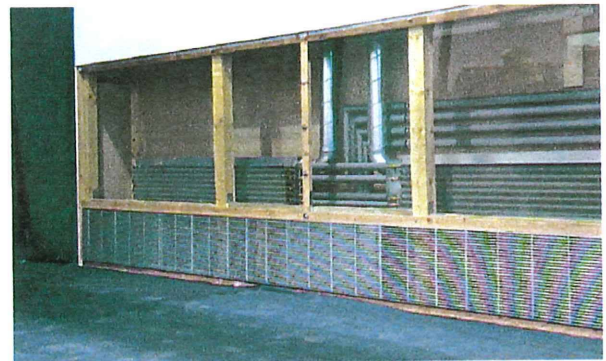
Belastungsprognose raumluftechnischer Anlagen

Zur energieökonomischen Regelung von Wärme- und Kälteversorgungsanlagen – insbesondere raumluftechnischen Anlagen – kann eine Regelstrategie, die die instationären Wärmetransport- und -speichervorgänge in der Umfassungskonstruktion berücksichtigt, einen entscheidenden Beitrag leisten. Daraus ergab sich die Aufgabe, einen intelligenten Regelalgorithmus zu entwickeln, der das instationäre thermische Verhalten der Gebäudehülle berücksichtigt. Zur Erhöhung der Effizienz der Regelung ist eine Trendanalyse der Witterung in den Regelalgorithmus zu implementieren.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Regelalgorithmus entwickelt, der auf der Basis einer thermischen Energiebilanz des versorgten Raum- oder Gebäudebereiches auch das Speicherverhalten der Umfassungskonstruktion und damit das instationäre Verhalten berücksichtigt und somit eine Vorausberechnung der Gebäudereaktion (Stellgröße) auf eine bevorstehende Belastung ermöglicht. Der Regelalgorithmus wurde für Praxistests an einer Versuchsanlage als Prototyp konstruiert und getestet. Durch umfangreiche Messreihen wird das Einsparpotenzial qualitativ bewertet und dokumentiert. Zudem wurde ein Prognoseverfahren für die Außenlufttemperatur ent-

wickelt, welches kurzfristig sehr genaue Vorhersagen ermöglicht und damit insbesondere auch für Gebäude mit geringer thermischer Speicherfähigkeit zusätzliche Einsparpotenziale erschließt.

Der Regelalgorithmus ist für alle heizungs- und raumluftechnischen Anlagen einsetzbar und kann für beliebige Gebäudebedingungen angepasst und parametrisiert werden. Der Einsatz kann sowohl in Neubauten als auch im Rahmen von Energiemanagement-Maßnahmen im Gebäudebestand erfolgen.

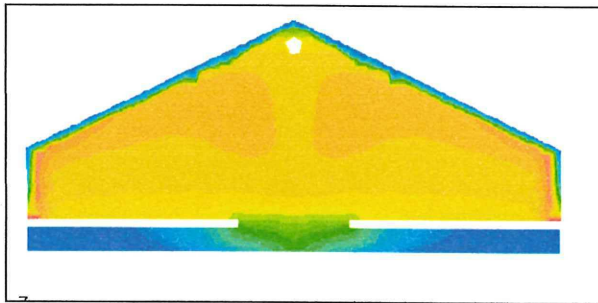


Dynamik der Raumströmung bei Quellluft-Induktionsgeräten

Lüftungs- und Entfeuchtungssystem für Gewächshäuser

Die Verringerung des Primärenergieverbrauches ist in nahezu allen Bereichen der Wirtschaft ein Thema. Speziell im Gewächshausbereich, aber auch in anderen Anwendungen hoher Luftfeuchtigkeit führt die notwendige Verringerung der Luftfeuchtigkeit zu erheblichen energetischen Aufwendungen. Zielstellung des Forschungsvorhabens ist es daher, Verfahren und Produkte zu entwickeln, die sich gegenüber dem Stand der Technik durch einen deutlich geringeren Primärenergiebedarf auszeichnen.

Die Arbeiten wurden in zwei unterschiedlichen Richtungen entsprechend der späteren klimatischen Einordnung durchgeführt. Ausgehend von einer Analyse der meteorologischen Daten ergeben sich unterschiedliche gerätetechnische Lösungen.



Reinströmung in einem Gewächshaus

Die Arbeiten wurden in zwei unterschiedlichen Richtungen entsprechend der späteren klimatischen Einordnung durchgeführt. Ausgehend von einer Analyse der meteorologischen Daten ergeben sich unterschiedliche gerätetechnische Lösungen. Für den schwülwarmen Bereich ist stärker eine Kühlung und Entfeuchtung notwendig. Für die meteorologischen Verhältnisse in Deutschland ist vor allem eine Luftentfeuchtung bei gleichzeitiger Beheizung mit Gas notwendig. Die Forschungsarbeiten konzentrierten sich sowohl auf die Ermittlung optimaler Verhältnisse im Innenraum des Gewächshauses als auch auf die Konzeption und Auslegung eines energieeinsparenden Entfeuchtungsprozesses. So konnte durch den Einsatz eines Enthalpierückgewinners und die Nutzung eines KV-Systems ein Verfahren entwickelt werden, welches sich gegenüber einer konventionellen Lösung durch eine Reduzierung der elektri-

schen Anschlussleistung auf 31 % auszeichnet.

Diagnosesystem für raumluftechnische Anlagen

Neben dem Neubau ist die Sanierung von Gebäuden und den darin enthaltenen technischen Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung angesichts des großen Gebäudebestandes ein zunehmendes Marktsegment.

Für das zu entwickelnde Diagnosesystem gibt es eine Nutzung in den Bereichen:

- Inbetriebnahme
- Fehlerdiagnose
- Vorbereitung Energiemanagement

Allen Anwendungen ist gemeinsam, dass genaue Energieverbrauchsdaten innerhalb kurzer Zeit mit Hinweisen auf Einsparpotentiale oder einem fehlerhaften Anlagenverhalten benötigt werden.

Es konnte nachgewiesen werden, dass das Diagnosesystem eine effizientere und exaktere Voraussage von Kosteneinsparpotentialen beim Energiemanagement ermöglicht. Im Rahmen der Bearbeitung entstanden Werkzeuge zur energetischen Bewertung des energetischen Verbundsystems, bestehend aus den Hauptkomponenten

- Gebäude
- RLT-Anlage
- Nutzer.

Es wurde ein Lastmodell entwickelt, welches es ermöglicht alle in einem Gebäude wirkenden Teillasten zur Diagnose zu abstrahieren. Die Richtigkeit des Verfahrensablaufs der Lastzuordnung sowie der iterativen Trennung in Klima- und nutzungsabhängige Lasten konnte nachgewiesen werden. Das System erweist sich als praxistauglich, was durch erste Untersuchungen an Referenzgebäuden bewiesen werden konnte. Die berechneten Energieverbrauchsprognosen unter gegebenen Lastdaten konnten verifiziert werden.



Hochschule für Bildende Künste Dresden

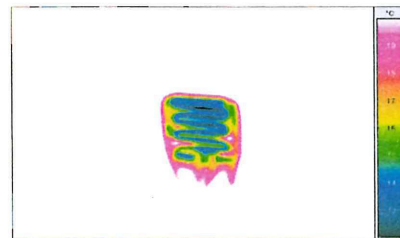
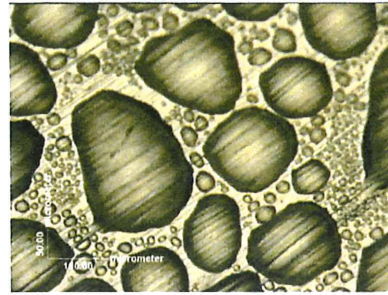
Aus der praktischen Erprobung an zwei verschiedenen Referenzgebäuden wurden Energiesparpotentiale ersichtlich, die mit geringem Investitionsaufwand zu erheblichen Einsparungen führen. Die bislang aufgezeigten Möglichkeiten, den Energiebedarf zu senken, wurde vom Gebäudeeigentümer sofort aufgegriffen und umgesetzt. Die bisherigen Einsparungen entsprechen exakt den Prognosen des Diagnosesystems.

Das Diagnosesystem ist gekennzeichnet durch seine flexible Anpassung an die vielfältigen Einsatzbedingungen und ermöglicht eine schnelle und wirtschaftliche Optimierung der Anlagensteuerung.

3.2 Behaglichkeitssensor für klimatisierte Räume

Die gegenwärtige Messtechnik für umfassende klimatechnische Untersuchungen ist dadurch gekennzeichnet, dass die entscheidenden Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit Temperatur, Geschwindigkeit, Turbulenzgrad, Strahlung und Feuchte einzeln gemessen und danach analytisch zusammengefasst werden.

Ein besonderes Defizit dabei ist die ungenaue Berücksichtigung der Verdunstung durch die Haut. Die dabei wirkenden Partialdruckkräfte aber vor allem die lokalen Stoffübergangskoeffizienten hängen wesentlich von dem Konzentrations- und Geschwindigkeitsprofil am Sensorkopf ab.

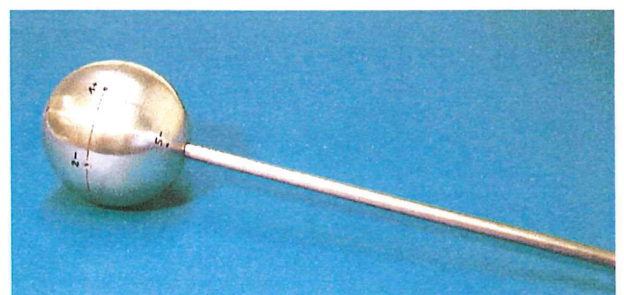


Tröpfchen- und Temperaturverteilung am Sensor

Deshalb wurde ein neuer Behaglichkeitssensor entwickelt, der es ermöglicht, alle auf die thermische Behaglichkeit einwirkenden Wärmeströme infolge Strahlung und konvektivem Wärme- und Stoffübergang in Abhängigkeit von den genannten Einflussgrößen direkt zu messen und zu verarbeiten.

3.3 Strömungssensor auf Durchflussbasis

Der thermische Strömungssensor auf Durchflussbasis ist ein Luftgeschwindigkeits-Anemometer zur Ermittlung des Betrages und der Richtung einer dreidimensionalen Strömung in einem gasförmigen Fluid. Vorzugsweise soll der Strömungssensor bei sehr kleinen Geschwindigkeiten und großen Turbulenzgraden eingesetzt werden. Aufgrund der kurzen Ansprechzeit ist der Strömungssensor in der Lage, auch unter hoch turbulenten Strömungsbedingungen richtige Messergebnisse zu liefern.



Strömungssensor

Potentielle Anwendungsgebiete für die Bestimmung eines dreidimensionalen Strömungszustandes liefert die Klimatechnik. An erster Stelle kann hier die Messung der Raumluftströmung im Aufenthaltsbereich von Personen zur Bestimmung der Behaglichkeit in Bezug auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, Richtung und Turbulenzgrad genannt werden. Als Einsatzgebiet kommen alle belüfteten und klimatisierten Räume und Gebäude in Betracht.

3.4 Leiser Kompaktverdichter

Für den Einsatz in ICE-Reisezugwagen, Staubsaugern und anderen Anwendungen werden Verdichter im Druckbereich von 4000 Pa und 700 - 1400 m³/h bei einer Ansaugdichte von 1,2 kg/m³ benötigt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind dafür leise Kompaktverdichter in Turbo- und Drehkolbenverdichterbauart zu entwickeln und zu erproben.

Die durchgeführten akustischen und strömungstechnischen Untersuchungen an einem Radialventilator und einem kleinem Drehkolbenverdichter mit vergleichbaren Auslegewerten ergaben wesentliche Erkenntnisse über die Möglichkeiten der Integration von Schallsenkungsmaßnahmen bereits bei der Auslegung. Während für Schalldämmung und -dämpfung gute Erfolgsaussichten bestehen, ist nach derzeitigem Stand die Integration eines elektroakustischen Absorbers nicht effektiv.

4 Solartechnik

4.1 PV-Solaranwendungen

Fertigungsbeginn Solarkühlcontainer

Ein Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich Solartechnik war neben den laufenden Forschungsaktivitäten die Betreuung der Fertigungseinführung der als Lizenz an eine Kölner Firma vergebenen Entwicklungsergebnisse Solar-Kühlcontainer und Solar-Wasserkühler. Die Endfertigung war vom Lizenznehmer an die Firma K-Metall Oelsnitz/Vglt. vergeben wurden, die wiederum als Unterauftragnehmer Firmen aus der Region u. a. dkk Scharfenstein einbezog. Da der

Lizenznehmer eine Reduzierung der Bauhöhe der Solarkühlcontainer verlangte, um die Solar-Kühlcontainer im normalen Containerumschlag handeln zu können, und andererseits wesentliche Bauteiltypen (Rollkolbenverdichter, Wechselrichter, Laderegler) z. B. wegen Änderungen des Produktionssortiments nicht mehr zur Verfügung standen, machte sich eine komplette Neukonstruktion erforderlich. Damit stehen die Unterlagen für die Fertigung von 10ft-, 20ft- und 40ft-Solarkühlcontainern ebenso wie für die Fertigung von Solar-Wasserkühlern der Typen 2000l und 5000l zur Verfügung. Im Rahmen der Fertigungsvorbereitung wurden auch die entsprechenden Bedienerhandbücher erarbeitet und der Werkscheck der ersten Serienerzeugnisse in Oelsnitz durchgeführt.

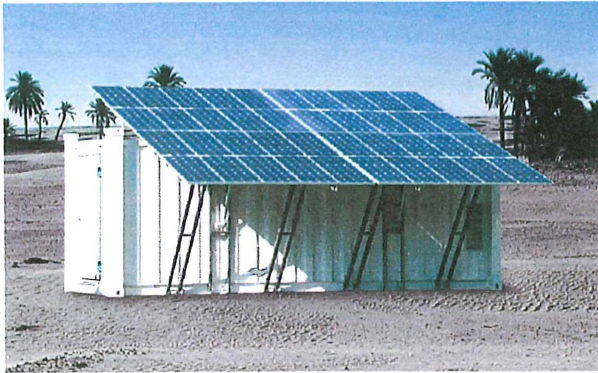


Werkstest Solar-Kühlcontainer und Solar-Wasserkühler beim Hersteller

Im Zusammenhang mit den Einsatzerfahrungen des Prototyps des Solar-Kühlcontainers im arabischen Raum erfolgten grundsätzliche Untersuchungen zur diskontinuierlichen Abreinigung von Solargeneratorflächen und die Grundkonzeption für ein mechanisches Abreinigungssystem wurde erarbeitet.



Funktionstest beim Vertreiber in Abu Dhabi



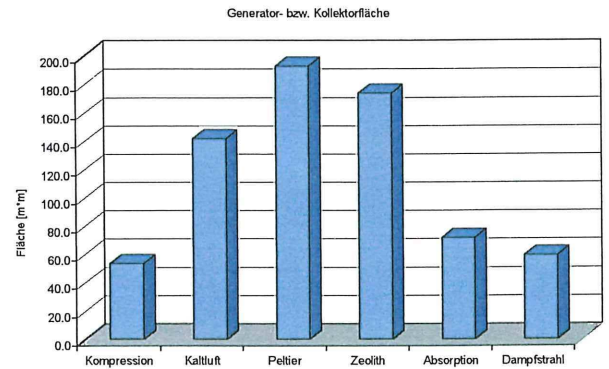
Erstes Serienerzeugnis beim Kunden auf Golfinsel

PV-Milchkühler und PV-Eiszerzeuger

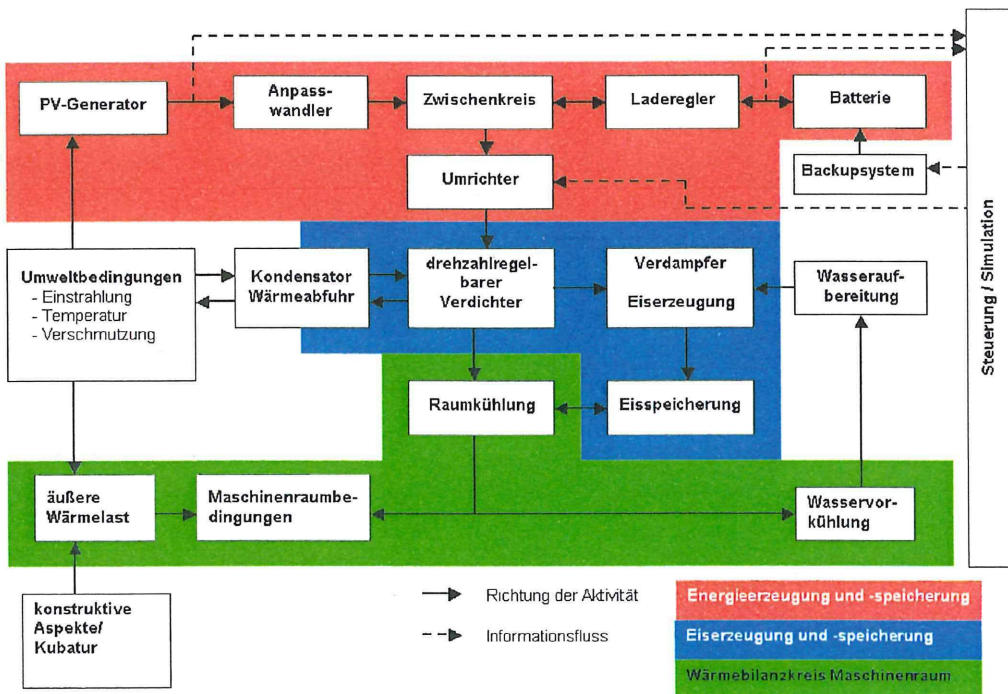
Die im Jahr 2001 bearbeiteten Forschungsvorhaben PV-Milchkühler und PV-Eiszerzeuger nutzen die bei der Solar-Kühlcontainerentwicklung gewonnenen Erfahrungen. Sie sollen zu weiteren am Markt absetzbaren neuen Produktlösungen führen, die sich jedoch grundsätzlich durch die unterschiedlichen Anforderungen aus dem jeweiligen Produktbereich von früheren Lösungen unterscheiden.

In Bezug auf die Bereitstellung der Kälteleistung, aber auch in Bezug auf mögliche Bedarfsträger, wurde eine entsprechende Marktstudie erarbeitet und konzeptionelle Untersu-

chungen zweckmäßiger kältetechnischer Lösungen durchgeführt. Die folgenden Bilder zeigen eine Abschätzung des solartechnischen Aufwands für unterschiedliche Kälteerzeugungsverfahren des PV-Milchkühlers sowie das Strukturdiagramm des für die Vorauslegung des in Entwicklung befindlichen Simulationsprogramms für den PV-Eiszerzeuger.



Solartechnischer Aufwand für Kälteerzeugungsverfahren

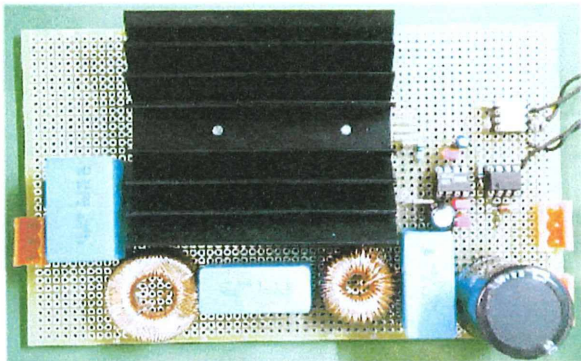


Strukturdiagramm für Simulation PV-Eiszerzeuger

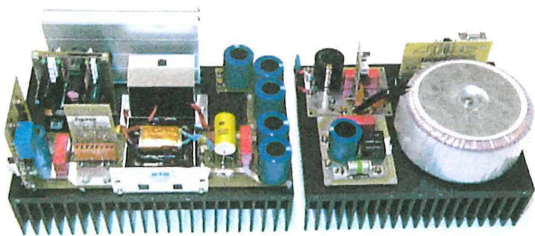
4.2 PV- Komponentenentwicklung

Die Entwicklungsarbeiten solartechnischer Komponenten konzentrierten sich im Wesentlichen auf die Weiterführung der begonnenen Arbeiten zu photovoltaischen Energieversorgungssystemen und dort insbesondere auf einen 200W-Dünnschichtmodulwechselrichter und einen 2kW-Umrichter mit bidirektionalem Laderegler für das Inselsystem Kühlcontainer mit entsprechenden Ableitungs- bzw. Modifikationsmöglichkeiten für weitere Anwendungen. Im Ergebnis der Arbeiten konnten entsprechende Prototypen realisiert werden.

Aus diesen Entwicklungsarbeiten konnte das Konzept eines Brennstoffzellenwechselrichters, der im Industrieauftrag für das Sächsische Kompetenznetzwerk „PEM-Brennstoffzellenentwicklung“ entwickelt wird, abgeleitet werden. Diese Anschlussentwicklung ist eine erste Bestätigung für die Tragfähigkeit der modularen Umrichterkonzeption.



Leistungsteil Dünnschichtmodul-Wechselrichter



Prototypkombination Anpasswandler / Laderegler

4.3 Präsentationen

Gemeinsam mit dem Lizenznehmer hat das ILK seine Entwicklungsergebnisse in Form von Prototypen der Solar-Kühlcontainer und PV-Wasserkühler im März 2001 auf der internationalen Messe IDEX 2001 in den Vereinigten Arabischen Emiraten auf dem Stand des Vertriebspartners des Lizenznehmers mit beachtlichem Erfolg in Funktion präsentiert.



Solar-Kühlcontainer auf der Messe IDEX 2001 in Abu Dhabi

In diesem Zusammenhang erfolgte auch die Schulung des Servicepersonals unter maßgeblicher Mitwirkung des ILK.

Weitergeführt wurde die Mitarbeit des ILK an dem EU-Verbund-Projekt ENERBUILD, das unter Federführung der Universität Dublin u. a. die Durchsetzung der solartechnischen Klimatisierung im Gebäudebereich zum Ziel hat.

Als weitere Aktivität erfolgte die Präsentation des Anwendungskonzepts der Solar-Kühlcontainer für GSM-Stationen bzw. die entsprechende Mitarbeit in einer Arbeitsgruppe der Ericsson Radio Systems AB Stockholm.

5 Luftreinigungstechnik

5.1 Emissionen bei der thermischen Nutzung von Biomasse in Kleinkesseln und die Möglichkeiten ihrer Reduzierung

Walddreiche Länder, wie z. B. Österreich, nutzen in ländlichen Gebieten minderwertiges Holz für Heizzwecke im privaten und gewerblichen Bereich. Dafür wurden Spezialöfen und -kessel entwickelt, die mit Scheit-, Stück- oder Hackschnitzelholz beschickt werden. Dadurch wurde der Biomasse-Markt in den letzten Jahren der bedeutendste Wirtschaftsfaktor auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien. Von großer Bedeutung ist die thermische Nutzung von Biomasse aus ökologischer Sicht, da dabei nur soweit CO₂ entsteht, wie vorher aus der Umgebung aufgenommen wurde. Die Gegenüberstellung der geplanten Entwicklung des Einsatzes unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger zeigt, dass mit einer Steigerung von über 200 % der Biomasse-Verbrennung besondere Bedeutung zukommt.

Von Interesse für den sächsischen Raum sind aber insbesondere Pellets aus halmartigen Biomassen, da aus der Landwirtschaft ein Strohüberschuss von 700.000 t/a für die thermische Nutzung zur Verfügung steht. Problematisch bei der Verbrennung von Stroh und Gräsern sind die niedrigen Ascheschmelzpunkte. Durch konstruktive Lösungen muss das Verschlacken des Brennraumes verhindert werden. Insbesondere müssen Ofengeometrie, Feuerungstechnik und Verbrennungsführung an die besonderen Erfordernisse bei der thermischen Nutzung von Halmgut-Pellets angepasst werden.

Für die Durchführung der notwendigen Untersuchungen wurde im Versuchsfeld des ILK ein Kessel-Prüfstand errichtet. Untersucht wurden an einer handelsüblichen Kleinkesselanlage Wirkungsgrad und Emission bei Einsatz verschiedener Pellets aus halmartigen Biomassen.

Es zeigte sich, dass vor allem die Luftstufung und das Verschlackungsverhalten Probleme

bei der Verbrennungsführung darstellen. Auch in Bezug auf die Brennstoffzuführung müssen Anpassungen vorgenommen werden, um eine günstigere Beschickung des Kessels zu realisieren.

Im Vergleich zu Waldhackgut wurde bei der Verbrennung von Halmgut-Pellets eine weit aus höhere Staubemission im Bereich von 180 bis 230 mg/Nm³ festgestellt. Für die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach der 1. BImSchV ist somit eine Staubabscheidung notwendig. Die emittierten Stäube sind sehr fein und liegen im Nanometer-Bereich. Somit werden hohe Anforderungen an das einzusetzende Abscheidesystem gestellt.

Dies ist insbesondere aus Kostengründen problematisch, da Biomasse-Kessel am Markt derzeit im Preis über anderen Produkten liegen und Förderquoten derzeit degressiv sind.

Es stellt sich daher die Frage, wie unter diesen Randbedingungen eine breitere Nutzung von Biomasse befördert werden kann.

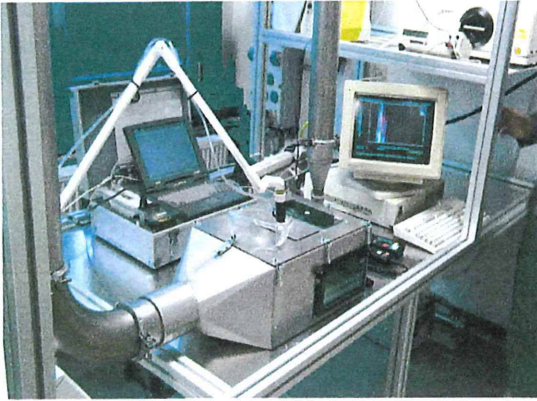
5.2 Schadstoffentstehung und -beseitigung bei der Laserchirurgie

Der Einsatz von Lasern ist ein dynamischer Entwicklung unterzogener Bestandteil medizinischer Diagnostik und Therapie. Aus arbeitsmedizinischer Sicht ergeben sich aber durch die entstehenden Laser-Pyrolyseprodukte eine Vielzahl von Gefährdungsfaktoren. Freigesetzte Gerüche stellen eine sensorische Belastung des medizinischen Personals dar und können je nach emotionaler Stimmungslage vom Einzelnen als übel- bis ekelregend perzipiert werden. Der zunehmende Einsatz moderner Lasertechnologie in der Medizin machte eine Entwicklung der Techniken zur Erfassung und Reinigung der entstehenden Aerosole erforderlich. Es besteht ein dringender Bedarf nach wirksamen Geräten, da die Arbeitsplatzbelastung, besonders im ambulanten Betreuungsbereich, erheblich ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zunächst Untersuchungen zum Partikel-Emissionsverhalten während der Laser-Ablation durchgeführt und die An-

zahlkonzentrationen im Nano-Bereich bestimmt.

Die experimentellen Untersuchungen erfolgten in einer Versuchskammer, in welcher auf einem Drehteller mit biologischem Material die Laserbehandlung simuliert wurde.



Versuchsstand mit Versuchskammer zur Simulation der Arbeit mit dem chirurgischen Laser

Hier konnten unter definierten Bedingungen auch unterschiedliche Absaugelemente getestet werden.

Davon ausgehend wurden Anforderungen an das Absaug- und Abscheidesystem definiert und ein mehrstufiges System entwickelt, das aus einer Vorabscheidstufe, einer Adsorptionsstufe zur Ozonkatalyse und Geruchsabscheidung, einem Sicherheitsfilter, sowie einer neuartigen Unterdruckerzeugung mit geringer Schallemission besteht.

Für die Absaugung der luftfremden Stoffe wurden Absaugelemente in Bezug auf Form und Absauggeschwindigkeiten für den Anwendungsfall getestet und weiterentwickelt. Die Ergebnisse sollten umgehend in die Produktion überführt und in das Lieferprogramm von ULT aufgenommen werden.

5.3 Betriebsüberwachung von Spurengasen bei der Chipherstellung

Das im ILK entwickelte Diodenlaserfernmesssystem DIM 950 bzw. DIM 950D (zwei Komponenten) wurde in umfangreichen Messeinsätzen (Deponiemessungen, Vergleichsmessungen mit Immissions-Messcontainer und anderen Fernmesssystemen wie FTIR,

DOAS) erprobt und dient auch dem kontinuierlichen Ammoniakmonitoring im ppb-Bereich in Reinen Räumen der Chipindustrie. Das System DIM 950 bietet gegenüber herkömmlichen Messsystemen eine Reihe von Vorteilen. Dazu gehören neben dem integrativen Charakter der Messung hohe Nachweisempfindlichkeiten und sehr kurze Ansprechzeiten bei netzunabhängigem und mobilem Betrieb. Diese Eigenschaften schaffen viele Einsatzmöglichkeiten. Beispiele dafür sind

- Schadstoffüberwachung an Belastungsschwerpunkten im Straßenverkehr
- Messungen in der Landwirtschaft zur Emission von Ammoniak bei Gülleanlagen oder Methan in Ställen
- großräumige Lecküberwachung bei Produktionsanlagen, Tanklagern
- Deponieüberwachung (Schwerpunkt Methan).

Für die Betriebsüberwachung in den Reinen Räumen von Infineon und AMD in Dresden wurde das System für den Dauerbetrieb um automatische Nachfüleinrichtungen für Flüssigstickstoff für den Kryostaten ergänzt. Das ständig vorhandene Messsignal zeigt selbst kurzzeitig auftretende Anstiege im NH_3 -Gehalt zuverlässig an. Der in der ersten vor 2 Jahren gelieferten Prototypanlage eingesetzte Bleisalzdiolenlaser ist noch voll funktionsfähig. Im nachfolgenden Bild ist das neue Design des Gerätes dargestellt.



Kryogenes IR- Diodenlaserfernmesssystem

5.4 Wärmerückgewinnungssystem für schadstoffbelastete Abluft

Das Fördervorhaben hatte die Nutzung der Abwärme aus Abluftströmen, deren mitgeführte Schadstoffe eine Reinlufrückführung bzw. einen Umluftbetrieb nicht oder nur anteilig erlauben, zum Ziel. Dazu wurde in einem sächsischen Unternehmen, das glasfaserverstärkte Polyestererzeugnisse herstellt, an der Stelle einer nicht dem technischen Stand entsprechenden Abscheidevorrichtung eine Versuchsanlage mit Absaugung an den Staubquellen und effizienter Staubabscheidung sowie zusätzlicher Raumluftabsaugung ohne Staubabscheidung installiert. Ein integriertes Wärmerückgewinnungssystem nutzt die Abwärme der gesamten Abluft und erwärmt die angesaugte Außenluft, die als Zuluft den Arbeitsräumen zugeführt wird. Der Betrieb der Anlage erfolgt mit einem Fortluftvolumenstrom von 6200 – 6800 m³/h, wobei der durch die Abscheidestufe zu reinigende, an den Staubquellen der Bearbeitungsmaschinen abgesaugte Volumenstrom, 2300 – 2800 m³/h beträgt. Bei einem Außenluftvolumenstrom von 5600 – 5800 m³/h wurde eine Wärmerückgewinnung mit Temperaturübertragungsgraden von >70 %, bezogen auf die Zuluft, erreicht.

Der Druckverlust der Filterpatronen liegt am Ende der Projektlaufzeit bei 400 – 500 Pa, wobei die spezifische Filterflächenbelastung etwa 35 m³/m²h beträgt. Bei Staubkonzentrationen von 267 mg/m³ in der Erfassungsluft der Arbeitsplatzabsaugung und 0,3 – 2 mg/m³ in der abgesaugten Raumluft werden Staubkonzentrationen von 1 – 3 mg/m³ in der Fortluft erreicht.

Die durchgeführten Reinigungen des Wärmeübertragers zeigten, dass sich Staubansätze bilden, die wirkungsvoll herausgereinigt werden. Die regelmäßig durchgeführten Messungen der Staubkonzentration in der Zuluft ergaben, dass es zu keinen Staubabwehungen und damit zu keinen Verunreinigungen der Zuluft kommt. Die Zuluft-Staubkonzentrationen lagen zwischen 0,01 und 0,1 mg/m³.

Mit dem erreichten technisch-technologischen Stand ist eine Einsatzbereichser-

weiterung von Wärmeübertragungssystemen gegeben. Das Konzept des Gesamtsystems ermöglicht einen Einsatz in vielen Bereichen klein- und mittelständiger Industrieunternehmen.



Anlage zur Wärmerückgewinnung

6 Werkstoff- und Messtechnik

6.1 Untersuchungen zum Einsatz von NH₃-Sensoren in einem Nachweisgerät

Mit dem Aufbau einer Prüfanlage wurden die Voraussetzungen geschaffen, die NH₃-Sensoren der IRAS automation GmbH im ILK zu untersuchen. Die funktionsbestimmenden Eigenschaften Empfindlichkeit, Ansprechverhalten, Temperatur-, Druck- und Feuchteabhängigkeit, Querempfindlichkeit sowie das Langzeitverhalten verschiedener Muster von NH₃-Sensoren wurden ermittelt.

Von der IRAS automation GmbH wurde der optimierte NH₃-Sensor mit einer Auswerteeinheit kombiniert. Im ILK wurde dazu die Sonde des Nachweisgerätes funktionell und konstruktiv entwickelt.



NH₃-Nachweisgerät

Für die Kalibrierung und für reproduzierbare Messungen des NH₃-Nachweisgerätes wurde Helium-Kapillarleck bzw. eine Prüflack-Anordnung mit Prüfgas aufgebaut. Die Kalibrierkurve, das Ansprech- und Abklingverhalten des NH₃-Nachweisgerätes wurden ermittelt. Der Einfluss der Luftgeschwindigkeit und der Raumverseuchung beim Ausmessen von Leckraten wurden untersucht.

Die praxisnahe Erprobung führte zu folgenden Ergebnissen:

- Die untere Nachweisgrenze beträgt 1 g NH₃/a bzw. 2 ppm NH₃.
- Die Totzeit ist 1 s.
- Die Zeitkonstante $\tau_{63\%}$ beträgt ca. 3 min.
- Bei kleinen Raumverseuchungen bis ca. 10 ppm NH₃ ist eine quantitative Leckratenbestimmung noch möglich.
- Das Nachweisgerät ist handlich (472 g) und 6 h mit Akkubetrieb betreibbar.

6.2 Stoffdaten Kältemittel -Öl

Im Jahre 2001 wurden an zwei größeren Forschungsarbeiten zum Komplex „Eigenschaften von neuen Kältemitteln“ gearbeitet. Zum einen wurde das Thema zu den halogenfreien Tieftemperaturkältemitteln erfolgreich abgeschlossen und zum anderen Untersuchungen an den Ölen für den CO₂-Einsatz begonnen.

Bei den Tieftemperaturkältemitteluntersuchungen standen die maschinentechnischen Untersuchungen im Mittelpunkt. Es konnte an Versuchskeisläufen nachgewiesen werden, dass ein stabiler Betrieb von Kältemittelverdichtern, die uns dankenswerterweise von der Fa. Bitzer, Schkeuditz zur Verfügung gestellt wurden, möglich ist. Die Verdichter müssen dabei an die speziellen Anforderungen geringfügig angepasst werden. Weitere Maschinenversuche konnten erfolgreich an dem azeotropen Kältemittelgemisch Ethen/CO₂ durchgeführt werden. Insbesondere für Temperaturen unter -85°C ist dieses Gemisch eine halogenfreie Alternative und sicher besser geeignet als reines Ethen.

Die Anwendung von CO₂ als Kältemittel hat sich in letzter Zeit außerordentlich verstärkt. Dabei ist nicht allein der transkritische Prozess für die Automobilklimatisierung interessant, sondern auch die Anwendung als Tieftemperaturkältemittel hat deutlich zugenommen. Es wurden in einem umfangreichen screening-test 10 verschiedene Öle der deutschen Ölhersteller am ILK hinsichtlich der Stoffdaten und der tribologischen Eigenschaften getestet und dem Forschungsrat empfohlen, welche Öle für die beiden Anwendungen für weitergehende Untersuchungen eingesetzt werden sollten. Diese Untersuchungen werden gemeinsam mit dem FKW Hannover durchgeführt und im Jahr 2002 abgeschlossen.

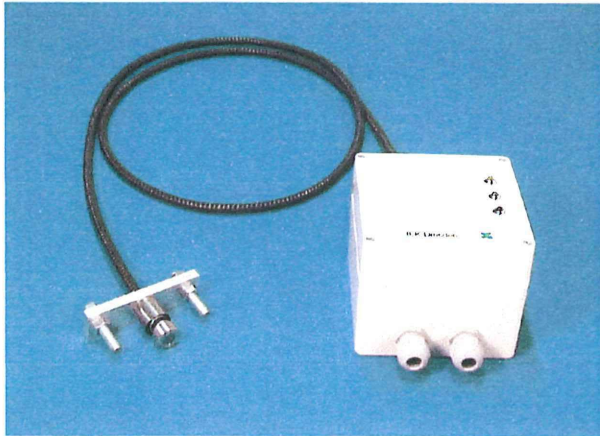


Phasenübergang vom überkritischen nach dem unterkritischen Bereich der Mischungslücke eines CO₂-Öl-Gemisches

6.3 Sensor zur Indikation von CO₂-Lecks

Bei kältetechnischen Anwendungen mit CO₂ als Kältemittel in der Tieftemperaturstufe (Kaskade mit NH₃) oder als Kälteträger in Sekundärkreisläufen kann es im Zwischenwär-

meübertrager zu Leckagen von CO₂ (höhere Drucklage) in den NH₃-Kreislauf kommen. Unter den gegebenen Druckbedingungen entsteht dabei ein weißes Salz (Ammoniumcarbaminat), das Sekundärschäden im NH₃-Kreislauf verursachen kann. Mit dem entwickelten Sensor ist es möglich, diesen Störfall zu erfassen.



Sensor zur Indikation von CO₂-Lecks

Der Sensor besteht aus dem optischen Indikator-Kopf mit Haltebügel, der auf ein in der zu überwachenden Anlage vorhandenes Schauglas (NW80/PN40-101RBWT) montiert wird. Über einen Lichtleiter ist der Sensorkopf mit dem Versorgungsteil verbunden. Das Versorgungsteil enthält ein Netzteil, die Sensorelektronik, ein Ausgangsrelais und Zustandsanzeigen.

Eine Musterserie von 10 Geräten wurde für die Fa. Walter Wettstein AG Kältetechnik (Schweiz) gebaut und ist dort erfolgreich im Einsatz

6.4 Feuchtesensorelement mit verbesserten Eigenschaften

In einem PRO INNO-Thema wurde in Kooperation mit MELA Sensortechnik GmbH ein neues Feuchtesensorelement entwickelt. Dazu wurde eine Test-Methodik erarbeitet, bei der die Langzeithysterese als Maß der Reproduzierbarkeit bewertet werden kann. Um ein weiteres Auswahlkriterium für neu eingesetzte Polymerschichten zu haben, d.h. die Querempfindlichkeit bzw. Schädigung gegenüber Schadstoffen zu ermitteln, wurde eine kombinierte Schadstoffdosieranlage konzipiert und gebaut.

Die Langzeitreproduzierbarkeit konnte durch den Einsatz und die Optimierung eines neuen feuchtesensitiven Hochleistungspolymers wesentlich verbessert werden und erreicht die Spitzenwerte der Mitbewerber. Die Schadstoffbeständigkeit des neuen Sensorelementes ist bei fast allen untersuchten Schadstoffen deutlich verbessert. Insbesondere gegenüber Ammoniak ergibt sich eine sehr gute Beständigkeit, so dass der bisher kritische Einsatzfall Stallklimatisierung gelöst ist.

Die Zielstellungen des Förderthemas wurden erfüllt. Damit kann der Hersteller des Feuchtesensorelementes MELA Sensortechnik GmbH seine Marktposition sichern bzw. ausbauen.

6.5 Softwareentwicklung für kältetechnische Prüfstände

Für zwei kältetechnische Prüfstände zur Prüfung von Verdampfern bzw. Prüfung des Anfahr- und Kippverhaltens von kleinen Hermetikverdichtern wurde die Software auf der Basis von LabVIEW, einer graphischen Programmierplattform, entwickelt.

Das mess-, steuer- und regelungstechnische Konzept der Prüfstände beinhaltet das Erfassen von Messdaten, deren Aufbereitung und Anzeige am Bildschirm eines PC's, die Speicherung von Messwerten in exportierbaren Formaten, deren Auswertung und Ablage in datenbankfähigen Dateien. Die Ergebnisse der Auswertung werden in Protokollausdrucken dokumentiert bzw. in Diagrammausdrucken anschaulich dargestellt.

Weitere Bestandteile des MSR-Konzeptes der Prüfstände sind die Regelung von prüfstandsbezogenen Größen durch Software-Regler und die Steuerung des gesamten Prüfstandes bzw. des Prüfablaufes, welche einen teil- bzw. vollautomatischen Betrieb der Prüfstände erlauben.

Der steuerungstechnische Aufwand hierzu ist in diesem Falle beträchtlich, was sich auch in der Größe der erstellten Applikationen von mehr als 5 Mbyte Programmlänge zeigt. Die Prüfstände sind vom jeweiligen Kunden leicht und übersichtlich vom PC aus überseh- und bedienbar. Eine Zustandsanzeige stellt den

jeweiligen Stand der Abarbeitung der einzelnen Schritte und des gesamten Steuerungsablaufes dar.

6.6 Steuerung von R718-Kaltwassersätzen

Für die R718-Erstanlagen wurde ein spezielles Inbetriebnahmegerät entwickelt, welches über den intern in der Steuerung vorhandenen Bus (DeviceNet) angekoppelt wird und ein kontinuierliches Visualisieren, Auslesen und Speichern der Betriebswerte gestattet. Ausgehend von den bisher gesammelten Betriebserfahrungen wurde eine Softwareanpassung vorgenommen und auf spezielle Kundenwünsche eingegangen. Für die Erstanlagen bei Daimler-Chrysler war eine sog. Mastersteuerung zu entwickeln, deren Aufgabe einerseits in der Koordination von vier R718-Kaltwassersätzen zum energieoptimalen Betrieb und andererseits in einer Visualisierung der Anlagendaten bestand. Gleichzeitig werden vom Master Daten für die zentrale Leitwarte bereit gestellt.

6.7 Wasser-Werkstoff und chemische Analytik

Die Bearbeitung der Wasser-Werkstoff-Probleme unter den Bedingungen der R718-Technologie wurde im Rahmen eines BMWi-Vorhabens abgeschlossen.

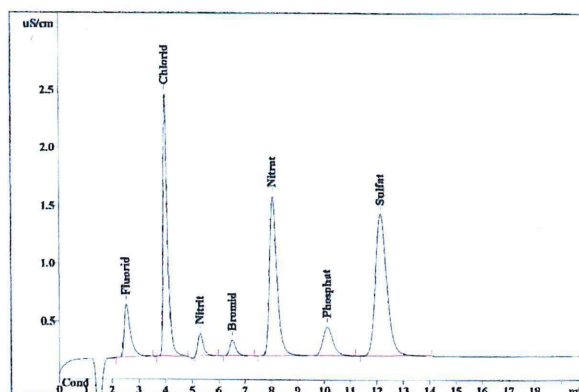
Für 5 konkrete R718-Kundenanlagen wurde die standortbezogene Wasserqualität untersucht und bewertet. Für die zeitgleiche repräsentative Probenahme von Kaltwasser und Kondensat unter den Vakuumbedingungen der R718-Technologie wurden Einrichtungen konzipiert, gebaut und erfolgreich eingesetzt. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde ermittelt, dass der Arbeitsstoff Wasser technologiespezifischen Veränderungen unterliegt. Über die R718-Technologie hinaus wurden auch 2001 zahlreiche kundenspezifische Wasser-Werkstoff-Probleme bearbeitet.

Hinsichtlich der chemischen Analytik sind

- die Qualifizierung der Untersuchung der Arbeitslösungen von AKA's
- die Analytik von „Fremdstoffen“ im inneren Kältekreislauf und

- die Verbesserung der Empfindlichkeit in der Ionenchromatografie durch Suppressor-Technik

hervorzuheben.

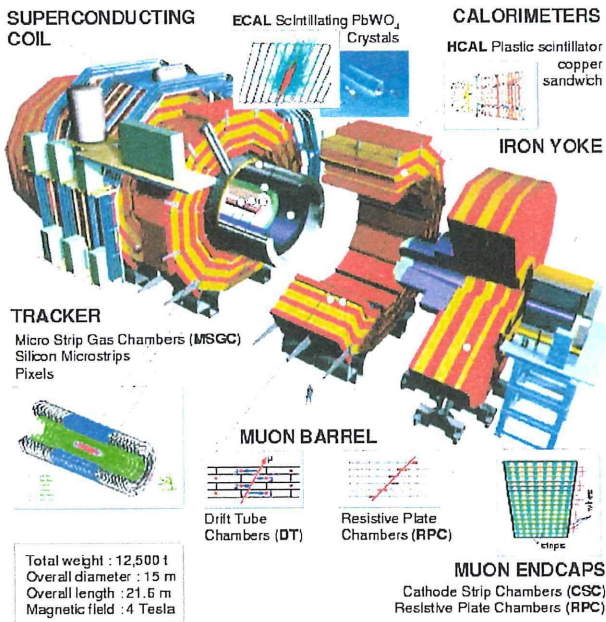


Wasseruntersuchung/ Ionenchromatogramm

7 FuE-Aktivitäten am CERN

Die Fortführung der begonnenen ILK-Arbeiten am CERN erforderte die Entsendung eines weiteren ILK-Mitarbeiters. Der Kooperationsvertrag zwischen dem ILK und CERN beinhaltet folgende Zielstellungen:

1. Kooperation im Bereich der Experimentkühlung, insbesondere Studien, Auslegung und experimentelle Untersuchungen zu Kälte- bzw. Kühlsystemen für die inneren Detektoren der LHC-Experimente ATLAS und CMS,
2. Integration der Kühlsysteme verschiedener Subdetektoren sowie die Bearbeitung der Schnittstellen zu den primären Kältekreisläufen,
3. Kooperation mit der 'Cooling & Ventilation Group' (CV) der Division ST (Support Technique) des CERN im Bereich der primären Kälteerzeugung.



Aufbau des CMS- Experiments

7.1 Kälteversorgung CMS- Experiment

Um die Zusammenarbeit zwischen dem CMS-Experiment und der ST/CV-Arbeitsgruppe im Bereich der Kühlung von Subdetektoren zu organisieren, wurde eine 'Joint CMS/ST Sub-detector Cooling Group' formiert.

Der Aufbau des CMS-Trackersystems ist u.a. gekennzeichnet durch Teilchendetektoren auf Silizium-Basis. Die 'Silicon Microstrips' und 'Pixels' befinden sich in unmittelbarer Nähe des Teilchenstrahls bzw. der Teilchenkollision. Diese Bauteile müssen während der Experimente auf $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ gehalten werden. Höhere Temperaturen führen zu unbrauchbaren Signalen und verkürzen infolge unerwünschter Effekte ("reverse annealing", "thermal runaway") erheblich die Lebensdauer der Silizium-Detektoren.

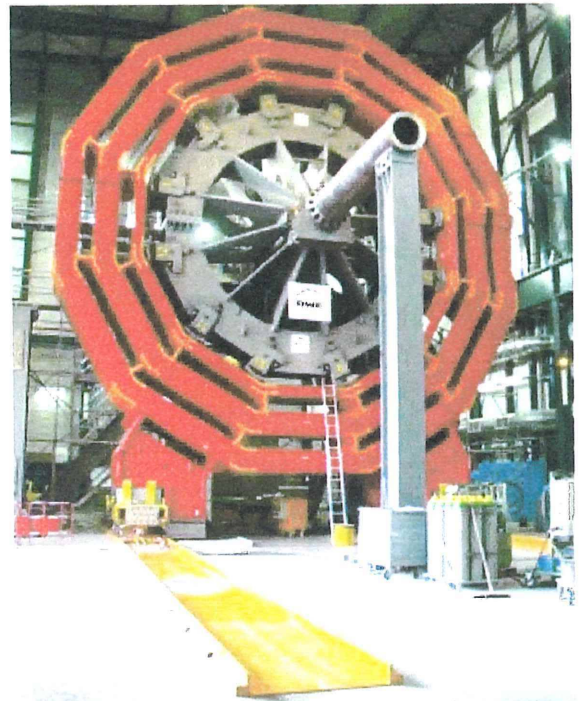
Aufgrund unterschiedlicher Arbeitstemperaturen der aneinander grenzenden Subdetektoren Tracker ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) und ECAL ($+18\text{ }^{\circ}\text{C}$) wurde ein thermisches Schild ('Thermal Screen') zwischen diesen Systemen vorgesehen. Auf diese Weise sollen Wärmeströme vom ECAL in das Tracker-Volumen verhindert werden.

Zur Gruppe der Teilchendetektoren auf Silizium-Basis zählt ebenfalls der 'Preshower', ein dem ECAL zugehöriger Subdetektor mit je-

doch ähnlichen kältetechnischen Erfordernissen wie Microstrips and Pixels. Für die Kälteversorgung der 4 relevanten CMS-Komponenten wurde eine Systemlösung erarbeitet, die dem hohen Anspruch hinsichtlich Zuverlässigkeit und Sicherheit Rechnung trägt.

Die Kälteproduktion von 130 kW wurde auf 2 R404A-Verbundkälteanlagen mit jeweils 3 Hubkolbenkompressoren aufgeteilt. Die Verflüssiger werden mittels oberirdisch produziertem sog. "chilled water" ($6/12\text{ }^{\circ}\text{C}$) gekühlt. Mit Hilfe der Verdampfer werden bei einer Verdampfungstemperatur von $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ jeweils 2 getrennte Solekreisläufe auf eine Vorlauftemperatur von $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ gebracht. Über insgesamt 7 Plattenwärmeübertrager wird der strahlungsbeständige Kälte Träger C6F14 in der Experimentkaverne durch die Sole gekühlt, bevor er in den CMS-Detektor eindringt und die 4 beschriebenen CMS-Subsysteme mit Kälte versorgt.

Dieses Projekt wurde mit einer "ST-Technical Note" (Ref. CERN-ST-2001-059) abgeschlossen. Sie enthält Spezifikationen der wichtigsten Bauteile, Regelstrategien sowie Anforderungen an den Aufstellungsort. Dieser Bericht dient als Grundlage für die zukünftige Projektausschreibung am CERN.



Montage der CMS- Räder am CERN

Zur Förderung des Kälte-trägers C6F14 von den erwähnten Plattenwärmeübertragern zu den jeweiligen Teilsystemen Pixel, Microstrip, Thermal Screen und Preshower sind insgesamt 7 einzelne Pumpenanlagen erforderlich. Im Vergleich zu üblichen industriellen Pumpenanlagen sind im vorliegenden Fall eine Reihe von besonderen Randbedingungen zu berücksichtigen. Diese ergeben sich u.a. aus den Stoffeigenschaften des Kälte-trägers C6F14, dem magnetischen Feld und der Strahlungsbelastung der Bauteile am Aufstellungsort, dem limitierten Platz, den Anforderungen hinsichtlich der Leckagedetektion und -lokalisierung.

7.2 CMS – Muon Cooling System

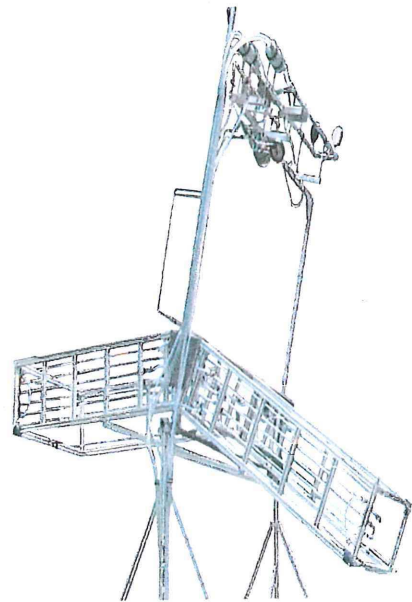
Die Entwicklung eines geeigneten Kühlsystems für den Muon-Detektor erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Vertretern der CERN 'Integration Group', dem Technischen Koordinator von CMS sowie den Konstrukteuren der Muon-Kammern.

Die 'Integration Group' ist verantwortlich für die Platzaufteilung in der unterirdischen Experimentkaverne (UXC) sowie für die Durchführung von Realisierbarkeitsstudien unter Berücksichtigung sämtlicher Versorgungsleitungen und Kabelführungen aller CMS-Subdetektoren. Die Barrel-Kammern werden in Aachen an der RWTH, 3. Physikalisches Institut, die Endcap-Kammern an der University of Wisconsin, USA, konstruiert und gebaut. Erste Konzepte wurden erarbeitet. Die vorläufige Dimensionierung einzelner Systemkomponenten in unmittelbarer Nähe des mittleren CMS-Rades war erforderlich, um ihre Integration in die bereits bestehende Infrastruktur zu überprüfen.

Infolge unterschiedlicher Kühlrohrwerkstoffe und der damit verbundenen Korrosionsproblematik sind für Barrel und Endcaps 2 getrennte Kühlkreisläufe vorgesehen. Als Kälte-träger kommt demineralisiertes Wasser zum Einsatz. Die Abkühlung des Kälte-trägers erfolgt mittels Plattenwärmeübertragern, die in der rund 120 m entfernten unterirdischen Servicekaverne (USC) untergebracht werden. Umwälzpumpen, aus Gründen der Redundanz in Doppelaggregatausführung, fördern das demineralisierte Wasser in die UXC. An den Vor- und Rücklauf werden pro Endcap

jeweils 3, für das Barrel insgesamt 5 Ringleitungen angeschlossen. Diese verlaufen ringförmig um die einzelnen CMS-Räder und versorgen über den Umfang verteilte Rohr-zweige mit demineralisiertem Wasser. Insgesamt sind 150 Barrel- und 428 Endcap-kühlkreisläufe mit Kühlmedium zu versorgen. Die Kälte-lasten belaufen sich auf rund 70 kW für das Barrel und 130 kW für die Endcaps.

Aufgabe des ILK war es, im Rahmen der Arbeiten am CMS in einer Studie verschiedene Lösungsmöglichkeiten für ein Kühlsystem (Muon Cooling System) an der äußeren Schale eines solchen Detektors auszuarbeiten und preislich zu bewerten. Dabei ist in den Muon-Spektrometern eine hohe Temperaturkonstanz und eine wartungsarme Betriebsweise zu gewährleisten.



ILK-Test-Kühlkreis für Muon-Spektrometer

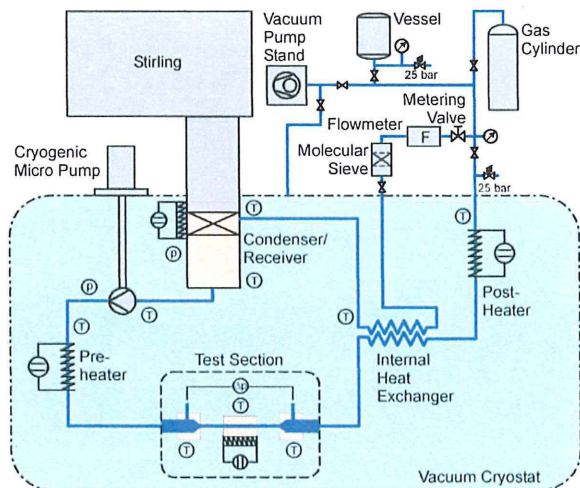
Im Ergebnis der Arbeiten wird ein Vorschlag präsentiert, der ein eigenes Kühlsystem mit 120 parallelen Kühlkreisläufen empfiehlt. Die aufgenommene Wärme wird über einen Wärmetauscher an ein externes Kühlsystem abgegeben. Die Arbeitsweise des Kühlkreislau-fes und dessen Regelung wurde mit einem am ILK gefertigten Versuchsstand getestet.

7.3 RD39-Kooperation für kryogene Siliziumdetektoren

In der CERN RD39-Collaboration werden die theoretischen und praktischen Grundlagen zum Einsatz kryogener Siliziumdetektoren in der experimentellen Hochenergiephysik erarbeitet. Das ILK arbeitet am CERN im Rahmen eines BMBF-Projektes an der Entwicklung der kryogenen Kälteversorgung für die erste praktische Anwendung solcher Detektoren in Bereichen extrem hoher Strahlung.

Die kryogenen Siliziumdetektoren werden in den sog. „Roman Pots“ im geplanten Experiment TOTEM („total cross section“, elastic scattering“ und „diffraction dissociation“) im LHC zum Einsatz kommen. Das ILK ist Mitglied der RD39- und TOTEM-Collaboration.

Die Grundkonzeption für die Kälteversorgung der Roman Pots in TOTEM besteht aus einer kompakten kryogenen Kältequelle und der Verteilung der Kälteleistung vom Kaltkopf der Kältequelle auf die bewegliche Detektormatrix über einen Sekundärkreislauf mit Pumpenumwälzung. Ein entsprechender ILK-Versuchsstand wurde am CERN weiter aufgebaut.



Schema ILK Versuchsstand am CERN

Die wissenschaftlich-technischen Arbeiten konzentrierten sich im Jahr 2001 auf die Entwicklung eines neuartigen miniaturisierten Kühlkreislauf und auf die Entwicklung einer kryogenen Mikropumpe.

Es wurden umfangreiche Experimente an dem Versuchsstand durchgeführt, um die Betriebscharakteristiken der Komponenten und des Systems zu analysieren.



Prototyp einer Mikropumpe

Der Funktionsnachweis der kryogenen Mikropumpe wurde erbracht. Mit den gemessenen Leistungsdaten mit einer Förderhöhe von nahezu 3 bar bei der Maximaldrehzahl von 6000 min^{-1} wurden die Erwartungen mehr als bestätigt. Damit können kleine und mittlere kryogene Kälteleistungen im Bereich von ca. 10^1 - 10^2 W verlustarm über größere Entfernungen transportiert und verteilt werden, was mit konventioneller zur Verfügung stehender Technik nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Veranstaltungen des ILK für den Wissenstransfer 2001

Dresdner Kolloquien

26.04.01	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
25.09.01	Neue Anforderungen an die Partikelabscheidung

Workshops und Seminare

21.05.01	Projekttreffen „Kühlung für Weltraumanwendung“
01.10.01	Projektmeeting „Cryogenic Silicon Detector“
13.11.01	Seminar „Sachgerechtes Evakuieren und Trocknen von Kälteanlagen“
14./15.11.01	Seminar „Sachkundequalifikation für Lecksuche / Dichtheitsprüfung in der Kältetechnik“
30.03. – 05.10.01	Lehrgang „Umweltschonende technische Erzeugung von Kälte“
19.12.01	Thermo-Mechanische Pumpe – Meeting am ILK