

Institut für Technische Physik
Ergebnisbericht über Forschung und Entwicklung
2006



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Inhalt

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| Vorwort..... | 3 |
| Ergebnisse aus den Forschungsbereichen | |
| Magnetentwicklung für die Kernfusion..... | 5 |
| Supraleitende Höchstfeld- und NMR Magnete | 7 |
| Supraleitermaterialentwicklung..... | 9 |
| Supraleitende Anwendungen in der Energietechnik..... | 11 |
| Vakuumtechnik | 13 |
| Kryotechnik und Kälteanlagen | 15 |
| KATRIN Magnete und Kryotechnik..... | 17 |
| | |
| Das Tritiumlabor Karlsruhe..... | 19 |
| | |
| Verabschiedung von Herrn Prof. Komarek..... | 20 |
| | |
| Zahlen und Daten..... | 22 |
| | |
| Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten | 24 |
| | |
| Veröffentlichungen | 25 |
| | |
| Kontakte | 36 |

Vorwort

Die klassischen Arbeitsgebiete des Instituts für Technische Physik (ITP) sind Supraleitung und Kryotechnik mit ihren Anwendungen im Bereich von Kernfusion, Energietechnik und Höchstfeldmagneten, seit einigen Jahren aber auch für das Neutrinoexperiment KATRIN des Forschungszentrums. Das Jahr 2006 brachte für das ITP einige bedeutende Veränderungen:

So ist der langjährige Leiter des Instituts, Herr Prof. Dr. P. Komarek mit Erreichen der Altersgrenze zum 1. November in den Ruhestand getreten. Erfreulicherweise konnte das Berufungsverfahren für seine Nachfolge rechtzeitig zum Abschluss gebracht werden und Herr Prof. Dr. M. Noe hat mit 1. November die Leitung des Instituts übernommen. Gleichzeitig hat er den Ruf auf einen Lehrstuhl für „Technische Anwendungen der Hochtemperatur-Supraleiter“ an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Karlsruhe erhalten und angenommen. Dies verstärkt die Bindung des ITP mit der Universität Karlsruhe in für beide Seiten fruchtbarer Weise, auch im Rahmen des neu gegründeten „Karlsruhe Institut für Technologie“ (KIT), welches Universität und Forschungszentrum in Zukunft vereinen wird.

Wie im Berufungsverfahren vorgesehen, ist das Tritiumlabor des Forschungszentrums Ende 2006 in das ITP integriert worden, was sehr positiv ist, da das Tritiumlabor mit seinen Aktivitäten im Bereich der Kernfusion und des Neutrinoexperiments KATRIN schon jetzt eng mit dem ITP verknüpft war.

Nebst dem Leiter des Instituts sind in 2006 auch etliche erfahrene Leistungsträger in den Ruhestand getreten. Da gleichzeitig bedeutende neue Aufgaben im Bereich der Fusionsmagnetentechnologie aufgenommen worden sind, wurde für deren Bewältigung eine Erneuerung und ein Zuwachs an Fachpersonal zwingend erforderlich, ein Vorgang der leider noch nicht abgeschlossen werden konnte.

Die erwähnten neuen Aufgaben betreffen, sowohl eine stärkere Mitwirkung am Aufbau des Stellarators W7-X des Max Planck Instituts für Plasmaphysik in Greifswald als auch am japanischen Satelliten-Tokamak zum Fusionsreaktor ITER, im Rahmen des so genannten „broader approaches“. Bei W7-X werden vom ITP sowohl die Stromzuführungen für 18 kA mit Hochtemperatur-Supraleitern entwickelt, gebaut und getestet, als auch ein Teil der nicht-planaren supraleitenden Torusspulen in der dafür aufzurüstenden TOSKA-Anlage geprüft. Für den japanischen Tokamak hat das ITP ebenfalls die Entwicklung und Bereitstellung der Stromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern übernommen.

Im Bereich der Supraleitung für die Energietechnik stehen unvermindert Arbeiten zum supraleitenden Strombegrenzer und zur Tieftemperatur-Hochspannungstechnik im Vordergrund, experimentell mit einem leistungsstarken Begrenzer für die 110 kV-Ebene im Rahmen eines BMBF- Projektes unter Federführung der Industrie.

Bei den Hochfeld-Magneten konnte in 2006 ein Weltrekord erzielt werden, indem das neue supraleitende Test- Magnetsystem HOMER II in seiner Bohrung von 18,5 cm ein Magnetfeld von 20 T erreichen konnte. Damit können nun Untersuchungen von Höchstfeld- Einsatzwicklungen mit speziellen Tieftemperatur- und Hochtemperatur- Supraleitern durchgeführt werden.

Für das Neutrinoexperiment KATRIN erbringt das Institut die kritischen Beiträge zu den supraleitenden Magnetstrecken und den anspruchsvollen Kryo-Kreisläufen.

Essentiell für alle Aufgaben sind Entwicklungen für fortgeschrittene Supraleiter, speziell der Hochtemperatur- Supraleiter, aber auch von Kryokomponenten und die Charakterisierung von Tieftemperatur- Strukturmaterialien.

Im Bereich Vakuumtechnik wurden mit dem Abschluß des Designs der ITER-Prototyppumpe und der Inbetriebnahme der Anlage TRANSFLOW die Grundlagen für das bevorstehende F&E-Programm für ITER gelegt.

Mit der Integration des Tritiumlabors mit einem genehmigten Inventar von 40 g hat sich das Aufgabenspektrum in Richtung Tritiumtechnologie, vor allem für den Tritiumkreislauf des Fusionsreaktors ITER und des Neutrinoexperiments KATRIN erweitert.

Für die Arbeiten des Instituts werden die Kryoentwicklungen, die Arbeiten zur Tieftemperaturmesstechnik und Kryo- Sicherheitstechnik wie auch der Betrieb der Kälteanlagen, in einer gemeinsamen Kryogruppe betrieben.

Eine intensive Zusammenarbeit, vor allem auch im Bereich der Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden, besteht mit der Universität Karlsruhe, auch wird die mechanische Werkstatt gemeinsam mit dem IK des Forschungszentrums und dem IEKP der Universität Karlsruhe als Verbundwerkstatt betrieben.

Magnetentwicklung für die Kernfusion

Im Bereich Magnetentwicklung war das vergangene Jahr geprägt durch Arbeiten im Hinblick auf ITER und DEMO sowie durch den Beginn von Arbeiten für W7-X.

Die Arbeiten für ITER und DEMO wurden im Rahmen zahlreicher EFDA Tasks durchgeführt:

Im Task TW3-TDS-MAGDES (Detailed Engineering and Manufacturing Studies of the ITER Magnet System: TF & PF Coil Windings, Structure and Cold Test Facility) wurden bereits 2005 die Durchführung, Kosten und Zeitpläne eines Kalt-Tests kompletter ITER TF Spulen zusammen mit CEA untersucht. Diese Untersuchungen wurden Ende 2006 nochmals überarbeitet, um die aktuellen Ergebnisse im Rahmen von ITER Treffen vorzustellen. Mittlerweile werden die bislang nicht eingepflanzten Kalt-Tests kompletter Spulen von vielen Seiten als unverzichtbar gefordert.

Im Task "TW5-TES-CRYO2" (Design and Layout of Cryoplant and Cryodistribution System for ITER) wurde in Zusammenarbeit mit CEA das Design und der Aufbau eines Helium Testkreislaufes untersucht, der zeigen soll, wie bei ITER die stark schwankenden Wärmelasten im Zusammenhang mit neuen Plasmaszenarien beherrscht werden können.

Im Task "TW4-TDS-CLDES" (final design of HTS current leads for the ITER TF and CS coils) wurden Basisuntersuchungen für das Design von HTS Stromzuführungen für ITER durchgeführt. Nachdem diese grundlegenden Untersuchungen mit dem Zwischenbericht Dezember 2006 abgeschlossen sind, plant ITP die weiteren Arbeiten in diesem Bereich einzustellen, da das Stromzuführungspaket für ITER mittlerweile allein von China abgearbeitet werden soll.

Im Task "TW4-TMSC-CRYOLA" (cryogenic mechanical tests on ITER magnets structural materials) wurde CEA Grenoble in die grundlegenden Techniken für Materialuntersuchungen bei tiefen Temperaturen eingeführt.

Im Task "TW5-TMSM-CRYTEST" (Cryogenic Testing of Materials, Welds and ITER Mock-ups for Magnet Structures) wurden zahlreiche Experimente für ITER zur Ermittlung der Werkstoffeigenschaften bei tiefen Temperaturen an Einzelproben und Mockups durchgeführt.

Der Task TW6-TMSP-PFWDDES (Review of PF2-PF5 Winding Design), in dem Unterstützung des ITER Design Reviews im Bereich Hochspannung gegeben wird, wurde neu abgeschlossen.

Der Task "TW6-TMSC-COILMO" (Definition of Procedures for Coil Electrical Testing and PF Transient Analysis), in dem die Hochspannungstestprozeduren durch eine Modellierung der Spuleneigenschaften bei transienten Vorgängen definiert werden sollen, ist momentan in Vorbereitung.

Im Task "TW3-TMSC-CRYLAB" ("Cryogenic Laboratory Tests for V-I Characteristica of Subcable Samples) wurden zahlreiche von CEA gefertigte supraleitende Kabel untersucht. Die sub-Kabel wurden aus Triplets aufgebaut, wobei das kleinste Kabel aus drei Triplets (Layout 3x3) besteht (siehe Abb. 1). Die nächst größeren Kabel haben einen (3x3x5) bzw. einen 3x3x5x4 Aufbau und sind ebenfalls im Bild gezeigt. Neben der unterschiedlichen Größe wurden auch Vertwistung und Void-Fraction variiert bzw. Strands verschiedener Hersteller verwendet. Untersucht wird die Abhängigkeit

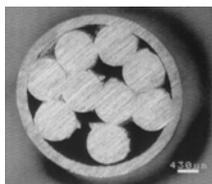


Abb.1: Querschnittsansicht des kleinsten sub-Kabels 3x3 (\varnothing 3.3 mm), des nächst größeren sub-Kabels 3x3x5 (\varnothing 7.6 mm) und der größten "Cable in Conduit" Probe im 3x3x5x4 Layout (\varnothing 15 mm)

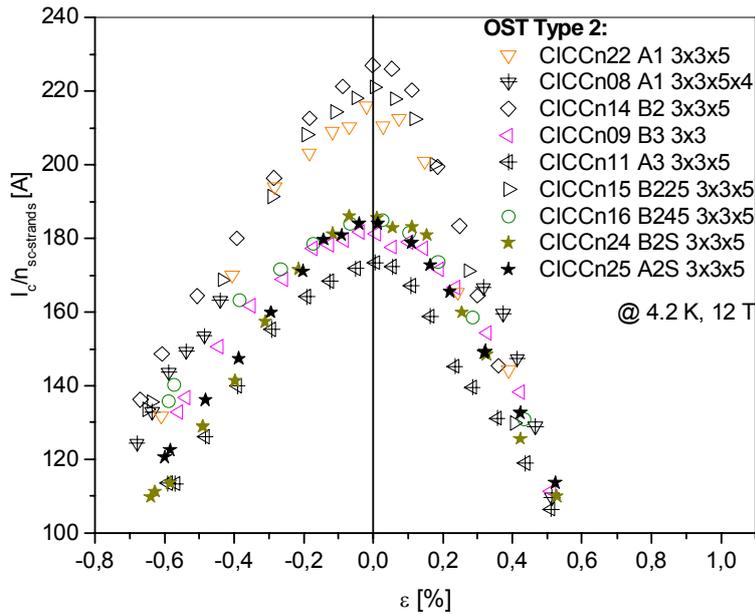


Abb. 2: $I_c(\epsilon)$ für eine Serie von Sub-Kabeln hergestellt von OST Type 2 Strands gemessen bei 4.2 K

des kritischen Stroms I_c in Abhängigkeit der Spannung bei hohen Magnetfeldern. In Abb. 2 sind Ergebnisse zahlreicher Sub-Kabel gezeigt. Somit gibt der Task einen systematischen Überblick über den Einfluss der Kabelparameter.

Im Hinblick auf den nach ITER geplanten Reaktor "DEMO" sind Untersuchungen angelaufen, die auf einen Einsatz der neuartigen Hoch-Tc Materialien in künftigen Reaktorsystemen abzielen. Hierfür wurde im Rahmen des EFDA Tasks "TW5-TMSC-HTSPER" (HTS materials for fusion magnets) die Material- und Supraleitungsparameter zahlreicher kommerziell verfügbarer HTS-Materialien ermittelt. Im parallel laufenden Task "TW5-TMS-HTSMAG" (Scoping study of HTS fusion magnets) wird anhand der so ermittelten Werte untersucht, auf welche Weise HTS Systeme für künftige Fusionsmagnete nutzbar gemacht werden können. ITP hat EFDA Vorschläge für neue EFDA Tasks gemacht, um HTS Materialien für künftige Fusionsmagnete nutzbar zu machen. Hierbei sind insbesondere die Planungen für RACC HTS Kabel und den Ausbau der FBI Facility zur Messung von HTS Kabeln bei variablen Feldern und Temperaturen zu nennen.

ITER Unterstützung durch Trainings-Netzwerk

Um die Ausbildung qualifizierten Ingenieure für den Bau von ITER voranzutreiben, haben Forschungszentrum Karlsruhe (D), ENEA (I), CRPP (CH), CEA (F) und Twente University (NL) ein von der EU gefördertes Netzwerk gebildet, das Ende 2006 von der EU genehmigt wurde und dessen Arbeit in 2007 beginnen wird. ITP wird hierbei zwei Ingenieure in den Bereichen Kryotechnik und kryogene Materialtests ausbilden.

Arbeiten für W7-X

Um die Arbeiten für W7-X zu unterstützen, haben im ITP die Arbeiten zu Design, Konstruktion, Bau und Test der für W7-X notwendigen Stromzuführungen begonnen. Ein entsprechender Vertrag mit dem IPP wurde im Oktober 2006 abgeschlossen.

Darüber hinaus haben die Vorbereitungen für den Test von non-planaren W7-X Spulen in TOSKA begonnen. Ein entsprechender Vertrag ist in Vorbereitung.

Arbeiten für JT60-SA

Im Rahmen des parallel zu den ITER Entscheidung vereinbarten „Broader Approach“ wurde in Aussicht gestellt, dass ITP die Stromzuführungen für JT60-SA auslegt, konstruiert, baut und testet. Hierbei ist ein Spulenstrom von weniger als 30 kA sowie eine entsprechende Finanzierung Voraussetzung, um die Arbeiten durchführen zu können.

Supraleitende Höchstfeld- und NMR Magnete

In der Gruppe "Supraleitende Höchstfeld- und NMR-Magnete" des Instituts werden für einen weiten Anwendungsbereich supraleitende Spulen bzw. Magnete konzipiert, konstruiert, auf die Erfüllung der vom Anwender geforderten Spezifikationen hin untersucht und schließlich in den Routinenbetrieb übernommen. Dabei stehen die Höchstfeldmagnete für Magnetfelder oberhalb von 15 T im Vordergrund und sind Gegenstand der eigenen F&E- Entwicklungsarbeiten (HOMER II, MTA II), in dem vom BMBF geförderten Projekt "Untersuchung eines hochauflösenden 1000 MHz-NMR-Spektrometers" und in TT-Projekten in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Bruker BioSpin. In einer weiteren Kooperation mit den Instituten für Synchrotronstrahlung (ISS) und Festkörperphysik (IFP) stehen die Arbeiten bei der Entwicklung von supraleitenden planar helischen Undulatoren für den Einsatz bei ANKA / Strahlrohr WERA im Mittelpunkt.

F&E – Aufbau der Hochfeldexperimentieranlage HOMER II:

HOMER II ist nach den Anlagen JUMBO und HOMER I die 3. Generation von rein supraleitenden Hochfeldexperimentieranlagen im ITP/Hochfeldlabor. Die Anlage wurde so konzipiert, dass sie in der ersten Ausbaustufe ein Magnetfeld von 20 T in einem zu HOMER I stark vergrößertem Volumen erzeugt. In einer zweiten Phase soll anhand von Hochfeldeinsatzspulen aus $(\text{Nb}_x)_3\text{Sn}$ bzw. HTSL-Supraleiter ein Zentralfeld von 24 T bzw. 25 T erreicht werden.

Das supraleitende Magnetsystem der 20 T-Konfiguration der HOMER II –Anlage besteht aus ineinander geschichtete NbTi- und $(\text{Nb}_x)_3\text{Sn}$ -Solenoidspulen. Die NbTi-Spulen, deren Feldbeitrag bei einem Betriebsstrom von ca. 1500 A 12 T betragen, sind aus 15 km Rechteckdraht gewickelt. Das Gesamtfeld von 20 T wird durch die $(\text{Nb}_x)_3\text{Sn}$ -Spulen, die mit 8 km hochfilamentärem Nb_3Sn -Draht gewickelt wurden und den Feldbeitrag von 8 T bei einem Betriebsstrom von ca. 500 A liefern, erreicht. Die Spulen wurden zum Teil in einer heliumtransparenten Wickeltechnik hergestellt. Das gesamte Magnetsystem zeichnet sich durch seine Kompaktheit aus und befindet sich an der Grenze der mechanischen Belastbarkeit der kommerziellen Supraleiter.

Die Magnetspulen sind in einen Weithals-Bad-Kryostaten (s. Abb. 3) eingebracht, in dem unterhalb einer thermischen Barriere mittels eines Joule-Thomson-Ventils die Betriebstemperatur von 1,8 K erzeugt wird. Die kryotechnische Versorgung der Anlage wird durch ein Prozessleitsystem mit einem PLC Siemens S7-Profibussystem und WinCC Visualisierung gesteuert und überwacht.

Zum sicheren Magnetbetrieb wurde ein neues Schutzkonzept ausgearbeitet und aufgebaut. Eine

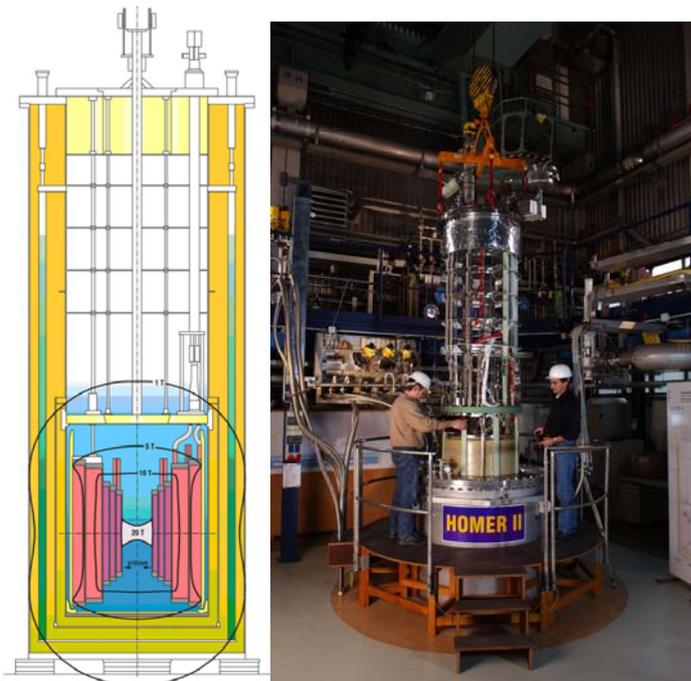


Abb. 3: Prinzipskizze und Bild der HOMER II Testanlage

zentrale Komponente dieses Schutzkonzeptes sind Quenchdetektoren, welche den spontanen Übergang in die Normalleitung einzelner Windungen bzw. Spulensektionen rechtzeitig anhand der entstehenden elektrischen Spannungen detektieren und die Schaltanlage zur raschen Schnell-Entladung aktiviert, um die thermische Zerstörung des Systems zu verhindern. Die Quenchdetektoren für HOMER II sind Eigenentwicklungen, d.h. Entwurf und Design der Grundplatte, Bauteilebestückung und Tests wurden im HFL durchgeführt. Es existieren für alle Spulen des HOMER II-Systems zwei redundante analoge Quenchdetektoren, die unter Berücksichtigung der gegenseitigen Kopplung der supraleitenden Spulensektionen aufeinander abgestimmt sind.

HOMER II (s. Abb. 3) hat im Juli 2006 sein Designfeld von 20 T in einer freien Bohrung von 185 mm auf Antrieb ohne Quench erreicht. Mit dieser Anlage hat das Forschungszentrum Karlsruhe ein weltweit einmaliges System aufgebaut und demonstriert seine führende Stellung auf dem Gebiet der supraleitenden Höchstfeld-Magnetentwicklung.

Die Entwicklung dieser Hochfeldanlage hat klar die Machbarkeitsgrenzen aufgezeigt und bildet die technologische Grundlage für zukünftige Projekte auf dem Gebiet der hochauflösenden NMR-Spektroskopie mit dem Industriepartner Bruker BioSpin. Mit HOMER II-Anlage ist ein Testbett geschaffen worden, in der durch begleitende Messungen die Supraleiter-Entwicklung für höhere Magnetfelder vorangetrieben werden kann. Des Weiteren steht damit nun ein leistungsstarkes Magnetsystem für externe Nutzer z.B. der Festkörperphysik zur Verfügung.

BMBF-Verbundprojekt: Untersuchungen eines hochauflösenden 1000 MHz-NMR-Spektrometers

Der Förderung des Verbundprojektes durch das BMBF ist zum 31.12.2005 ausgelaufen. In 2006 sind die noch notwendigen Grundlagenuntersuchungen in der Hochfeld-Gruppe fortgeführt und abgeschlossen worden. Ein Demonstrationssystem eines 1000MHz-NMR-Spektrometers wird in 2007 vom Industriepartner Bruker BioSpin aufgebaut und in Betrieb genommen. Dabei wird der Industriepartner durch E(I)-Charakterisierungen der laufenden Leiterproduktion unterstützt.

F&E- supraleitende planar helische Undulatoren

In ersten Arbeiten auf dem Gebiet der planar helischen Undulatoren konnten neben der Qualifizierung der Werkstätten zur maschinellen Fertigung der helischen und planaren Spulenkörper erste kurze Prototyp-Wicklungen mit klassischen NbTi-Supraleiter gewickelt und erfolgreich getestet werden. Die planaren und helischen Prototypwicklungen zeigten sowohl bei Einzelbetrieb, als auch im Gesamtbetrieb die erwarteten Designwerte (s. Abb. 4).

Die laufenden Untersuchungen zur Spulen- und Wicklungstechnik planar helischer Undulatoren beinhalten den Einfluss des Spulenkörpermaterials, der Wicklungs-kammergeometrien, der Leiterführung und der der Stromspeisung. Des Weiteren sind erste Konzepte für eine Wickelmaschine für helische Undulatoren einer Baulänge bis zu 2 m erarbeitet.

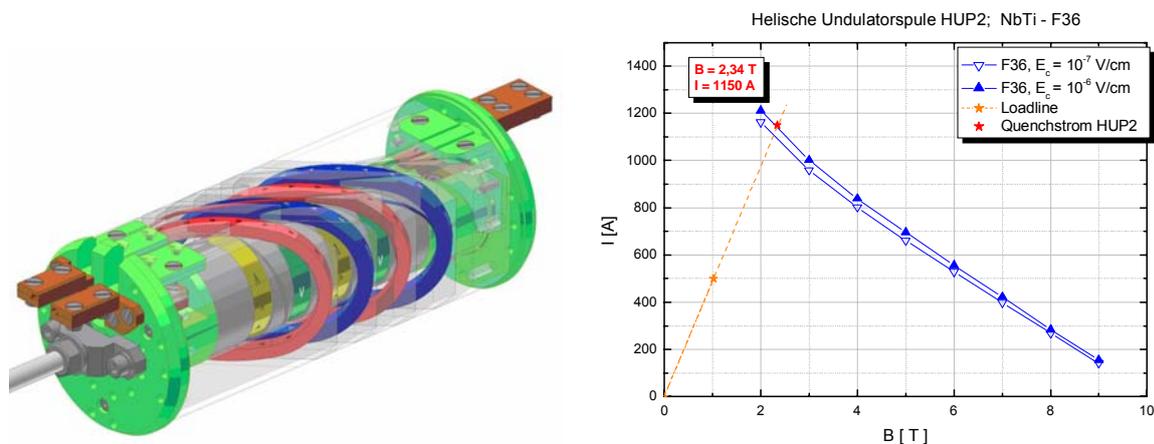


Abb. 4: Prototyp einer planar helischen Undulatorwicklung mit erreichten Messwerten

Supraleitermaterialentwicklung

Die Arbeiten zur Leiterentwicklung konzentrierten sich auf die Supraleitersysteme Magnesiumdiborid (MgB_2) und Yttrium-Barium-Kupfer-Oxid (YBCO).

YBCO Bandleiterentwicklung

Für fortgeschrittene YBCO-Bandleiter („Coated Conductor“) werden nasschemische Beschichtungsverfahren auf würfeltexturierten Substratbändern in Kooperation mit den Partnern eines Virtuellen Instituts der HGF verfolgt. Obwohl der Gesamtaufbau des Leiters mit diesem ökonomischen Verfahren noch nicht realisiert werden konnte, sind wichtige Komponenten, exzellente Pufferschichten und scharf texturierte Substratbänder (Ni, NiW, Cu), reproduzierbar herstellbar. YBCO-Bandleiter bieten sich aufgrund der guten Magnetfeldverträglichkeit für viele Anwendungen in AC betriebenen Komponenten für die Energietechnik an, wozu jedoch höhere Transportströme im Leiter und ein Leiterdesign mit reduzierten Wechselstromverlusten nötig sind. Ein erstes Konzept eines verseilten Leiters mit ROEBEL-Struktur wurde jetzt vorgestellt. Die meanderförmige ROEBEL-Struktur der Einzelleiter des Kabels wird aus YBCO-Bandleitern herausgestanzt und anschließend die Verseilung mit vollständiger Transposition durchgeführt. In Abb. 5 sind die gestanzten 16 ROEBEL-Einzelleiter aus Bandleitern der Firma SuperPower für eine Verseillänge von 18 cm mit je 92 A Stromtragfähigkeit bei 77 K gezeigt. Die exzellente Leiterhomogenität führte zu nur 3% Stromverlust durch die Präparation. Im fertig verseilten ROEBEL-Kabel, ebenfalls in Abb. 5 zu sehen, wurden 1020 A Transportstrom bei 77 K realisiert.

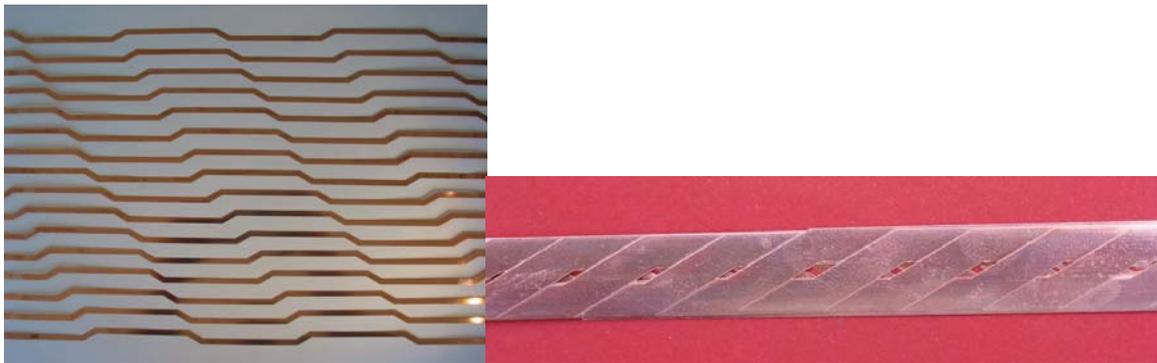


Abb. 5: ROEBEL-Strands aus YBCO-Bandleitern (links) und 12 mm breites ROEBEL-Kabel ($I_c=1,02$ kA @ 77 K, rechts)

Magnesiumdiborid-Leiterentwicklung

Magnesiumdiborid (MgB_2)-Supraleiter wurden für erste technische Anwendungen in der Flüssigwasserstofftechnologie entwickelt. Sehr dünne hochfeste Drähte mit 0,05 - 0,2 mm Durchmesser eignen sich zur Anwendung in Füllstandsonden für flüssigen Wasserstoff (Zusammenarbeit mit TU Dresden), z.B. in Wasserstofftanks für Autos. Der elektrische Widerstand des im Gasraum befindlichen Leiterteils wird hierbei als Maß für den Füllstand benutzt in Relation zur restlichen Drahtlänge, die im flüssigen Wasserstoff widerstandslos supraleitend ist. Abb. 6 zeigt das Messprinzip, Messungen und den Querschnitt eines Drahtes (MgB_2 /Stahl).

Technische Drähte für Wicklungen von Magneten oder Motoren benötigen viele dünne Filamente zur thermischen Stabilisierung. Zur Verhinderung einer chemischen Reaktion zwischen Filament und Hülle werden Nb-Zwischenschichten am Filament nötig (s. Abb. 7), d.h. der technische Leiteraufbau besteht aus einem Nb/Cu/Stahl(bzw. Monel) Komposit. Derzeit tragen 30 Filamentdrähte (s. Abb. 7) aufgrund nicht optimierter Verformung und Verarbeitung noch geringere Stromdichten als Einkernleiter.

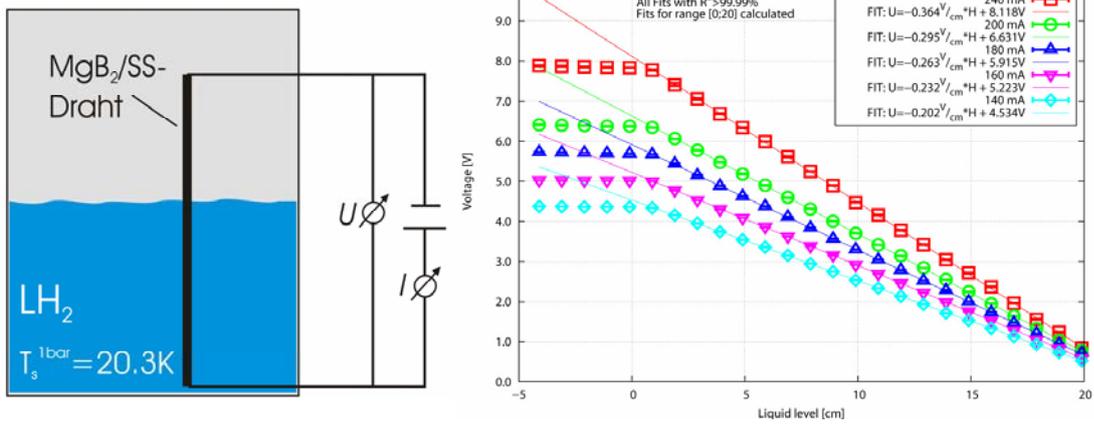


Abb. 6: Prinzip einer LH₂-Füllstandsonde aus MgB₂-Draht (links). Messsignal als Funktion des Füllstands (rechts; Ref. Ch. Haberstroh, et. al. TU Dresden, C1-T-03, CEC/ICMC Keystone, Colorado, Aug. 29 - Sept. 2, 2005)

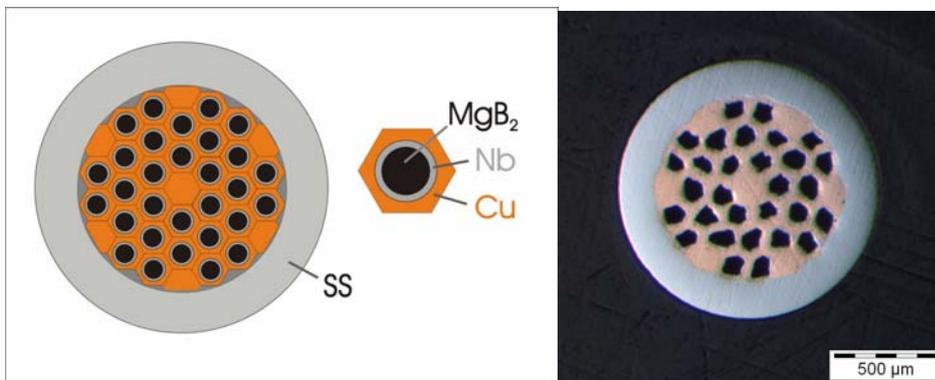


Abb. 7: Querschnitt eines MgB₂ Mehrkerndrahtes mit 30 Filamenten und Nb/Cu/Stahl-Komposithülle

Supraleitung in der Energietechnik

Die Arbeiten des ITP konzentrieren sich auf die neuartigen Netzbetriebsmittel, die durch Supraleitung erst ermöglicht werden. Dies sind der supraleitende Strombegrenzer (SSB) und der supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES). Beim SSB werden ausschließlich hochtemperatur-supraleitende Anwendungen untersucht, wohingegen beim SMES derzeit noch die niedertemperatur-supraleitende Variante deutlich ökonomischer ist.

Aufgabenschwerpunkte in diesem Bereich sind dabei die Entwicklung von Prototypen und Demonstratoren. Die experimentelle Ausstattung (Strombegrenzerlabor, SMES Labor, kryogenes Hochspannungslabor) besitzt in dieser Kombination ein Alleinstellungsmerkmal und ermöglicht die Bearbeitung von Aufgaben von der Materialcharakterisierung über den Test von einzelnen Komponenten bis hin zu vollständigen Tests von Prototypen. Synergien zu anderen Programmen sind insbesondere beim SMES Labor gegeben, welches derzeit für den Test einer KATRIN Magnetstrecke vorbereitet wird und im kryogenen Hochspannungslabor, dessen Einrichtungen in drei Programmen (REU, Fusion, Struktur der Materie) zum Einsatz kommt.

Um eine anwendungsorientierte Entwicklung sicherzustellen werden alle Arbeiten des ITP auf diesem Gebiet ausschließlich in enger Kooperation mit Industrie und Anwendern durchgeführt. Seit Dezember 2006 wurde die Arbeitsgruppe Anwendungen der Supraleitung in der Energietechnik organisatorisch mit der Gruppe Supraleitermaterialentwicklung zusammengelegt, um die Kenntnisse in der Materialherstellung noch besser für die Anwendungsentwicklung zu nutzen und um eine schnellere Umsetzung der Materialentwicklung in erste Demonstratoren zu ermöglichen.

Supraleitender Strombegrenzer (SSB)

Hier sind die Arbeiten auf die Entwicklung resistiver SSB ausgerichtet, da dieser Typ eine kompakte Bauweise und eine eigensichere Begrenzung ermöglicht. Weltweit konzentriert sich die Entwicklung von SSB derzeit auf zwei Bereiche. Das sind einfache und preiswerte SSB für Mittelspannungsanwendungen (<36 kV) und SSB für die Hochspannung (> 100 kV). Die Arbeiten des ITP finden in beiden Bereichen statt.

Im Rahmen eines BMBF Verbundprojektes wurde bis 2003 ein resistiver 10 kV, 10 MVA SSB auf der Basis von BSCCO 2212 Massivmaterial entwickelt. Ein von März 2004 bis April 2005 durchgeführter weltweit erster Feldtest demonstrierte eindrucksvoll die Machbarkeit für Anwendungen in der Mittelspannungsebene. Derzeit befindet sich dieser Begrenzer für einen Langzeittest im ITP. Wesentliche Ziele sind die Untersuchung von Materialdegradationen, des Betriebsverhaltens der Kryolanlage und der elektrischen Festigkeit des flüssigen Stickstoffs.

YBCO Bandleiter sind wegen Ihrer Eigenschaften (hohe kritische Stromdichte, flexibler Leiter, geringe AC Verluste, potentiell niedrige Herstellungskosten, mehrere Anbieter) und der schnell fortschreitenden Entwicklung sehr attraktiv für die Anwendung in SSB. Deshalb wurde bereits 2004 mit ersten grundlegenden Untersuchungen zur Tauglichkeit des Materials für resistive SSB begonnen. In 2006 wurde durch die Zusammenarbeit mit THEVA ein neues Konzept für den quenchsicheren Aufbau von YBCO Bandleitern in resistiven SSB verifiziert. Die bisher erzielten Werte (maximale Begrenzungsfeldstärke von 2,7 V/cm bei einer Kurzschlussdauer von 60 ms) sind weltweit führend und unterstreichen die Machbarkeit des Konzepts für SSB Mittelspannungsanwendungen.

Die Arbeiten zur Entwicklung von SSB für die Hochspannung werden derzeit überwiegend im Rahmen eines weiteren BMBF Verbundprojektes durchgeführt. Im September 2005 wurde dazu die Entwicklung eines 110 kV, 1,8 kA resistiven SSB Prototyps begonnen. Das ITP ist dabei federführend verantwortlich für die Hochspannungsauslegung und die Charakterisierung und Optimierung einzelner Komponenten wie z.B. einer verlustarmen Verbindung für hohe Ströme und hohe Spannungen in flüssigem Stickstoff. In 2006 wurde das konzeptionelle Hochspannungsdesign erarbeitet und ein neuer Teststand zur Untersuchung der dielektrischen Festigkeit von flüssigem Stickstoff bei hohen Spannungen erfolgreich in Betrieb genommen (Abb. 8). Dieser Teststand ermöglicht Tests bis 200 kV Wechselspannung und 300 kV Blitzstoßspannung.



Abb. 8: Teststand FATELINI (Facility for Testing Liquid Nitrogen) zur Untersuchung der dielektrischen Festigkeit von flüssigem Stickstoff bei hohen Spannungen

Supraleitender magnetischer Energiespeicher (SMES)

Schwerpunkte der Arbeiten in diesem Bereich sind die Entwicklung, der Aufbau und Test von Demonstratoren begleitet von anwendungsbezogenen Systemstudien. Im Vordergrund steht dabei die netzfreundliche Erzeugung von hohen Leistungspulsen, da dafür keine Standardlösungen vorhanden sind.

Nach dem ersten erfolgreichen Labortest eines 25 MW Pulsleistungsmodulators auf SMES Basis am ITP in 2003 wurde in 2004 das System zu DESY transferiert und dort die gesamte Anlage installiert und erfolgreich in Betrieb genommen. In 2006 fanden abschließende Arbeiten zur Dokumentation und zur Überprüfung der CE Kennzeichnung statt.

Vakuumtechnik

Die Arbeitsgruppe 'Vakuumtechnik' arbeitet im Rahmen des 'European Fusion Technology Programme' an der Entwicklung der Vakuumsysteme für ITER mit. Diese Aktivitäten umfassen F&E- und Designaufgaben. Dabei werden Vorschläge und Konzepte für Kryopumpen und mechanische Vorpumpen erarbeitet und, wenn nötig, im Experiment validiert. Im Rahmen der Arbeiten für ITER nehmen die in den europäischen Verantwortungsbereich fallenden großen Kryopumpsysteme des Kryostaten (100 m³/s), des Torus (400 m³/s) und der Neutralteilchenheizung (12 000 m³/s) eine zentrale Bedeutung ein.

Im *Bereich ITER-Kryopumpen* wurde dieses Jahr ein besonderer Meilenstein erreicht: Das detaillierte Design für die prototypische ITER-Toruskryopumpe, siehe Abb. 9.

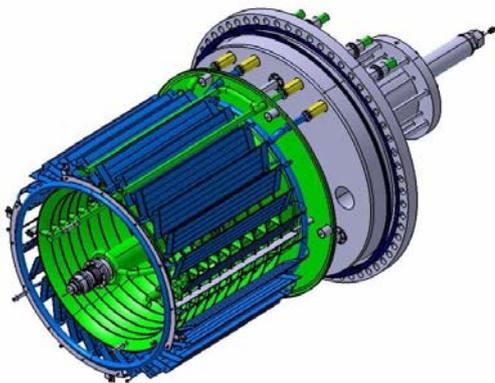


Abb. 9: Designskizze der ITER-Toruskryopumpe

Diese Pumpe mit einem Nennsaugvermögen von 50 m³/s erfüllt alle Forderungen, die an eine Komponente, die im ITER-Torus eingebaut wird, gestellt werden; sie erlaubt einen komplett fernhantierten Ein- bzw. Ausbau und ist in allen Teilen vollständig tritiumkompatibel. Durch eine intensive vakuumtechnische Optimierung wurde erreicht, dass der Pumpenwirkungsgrad nahezu unabhängig von der zu pumpenden Gasart ist.

Die Prototyp-Toruskryopumpe wird in den kommenden 18 Monaten in Zusammenarbeit mit der europäischen Industrie gebaut und danach in die Testanlage TIMO am Institut eingebaut. Nach erfolgreicher Endabnahme ist eine etwa einjährige Testphase vorgesehen. Basierend auf den dabei gewonnenen Resultaten wird dann das endgültige Design für die ITER Serienpumpen (11 Stück) entwickelt.

Für dieses Testprogramm wird die *Anlage TIMO-2* aufgebaut, ein leistungsfähiger Ausbau der existierenden TIMO, um in möglichst vielen Aspekten eine 1:1 Simulation der ITER-Bedingungen realisieren zu können. In Vorbereitung davon war TIMO in diesem Jahr gekennzeichnet von dem Ausbau der alten Modellpumpe, mit der in den letzten 5 Jahren vielfältige Untersuchungen gemacht wurden. Die Ergebnisse bilden die Basis auf der das Design des Prototypen entwickelt wurde. Die Zerlegung der Modellpumpe war ein wichtiger Teil des geplanten Versuchsprogramms. Es zeigte sich dabei, dass die 4.5 K und 80 K Kaltflächen auch nach 5 Jahren Betrieb teilweise unter rauen Versuchsbedingungen immer noch in tadellosem Zustand waren. Die Robustheit der von der Gruppe für die speziellen ITER-Anforderungen entwickelten Aktivkohle-Beschichtungstechnik wurde damit einmal mehr bestätigt.

Im *Bereich ITER Vakuumsysteme* wurde die Genehmigung zur Durchführung eines Langzeittests im Tritiumlabor erteilt. Damit wird die Tritiumkompatibilität von Ferrofluidik-Kartuschen als Wellenabdichtung in mechanischen Vorpumpen untersucht. Im Falle von positiven Resultaten würde

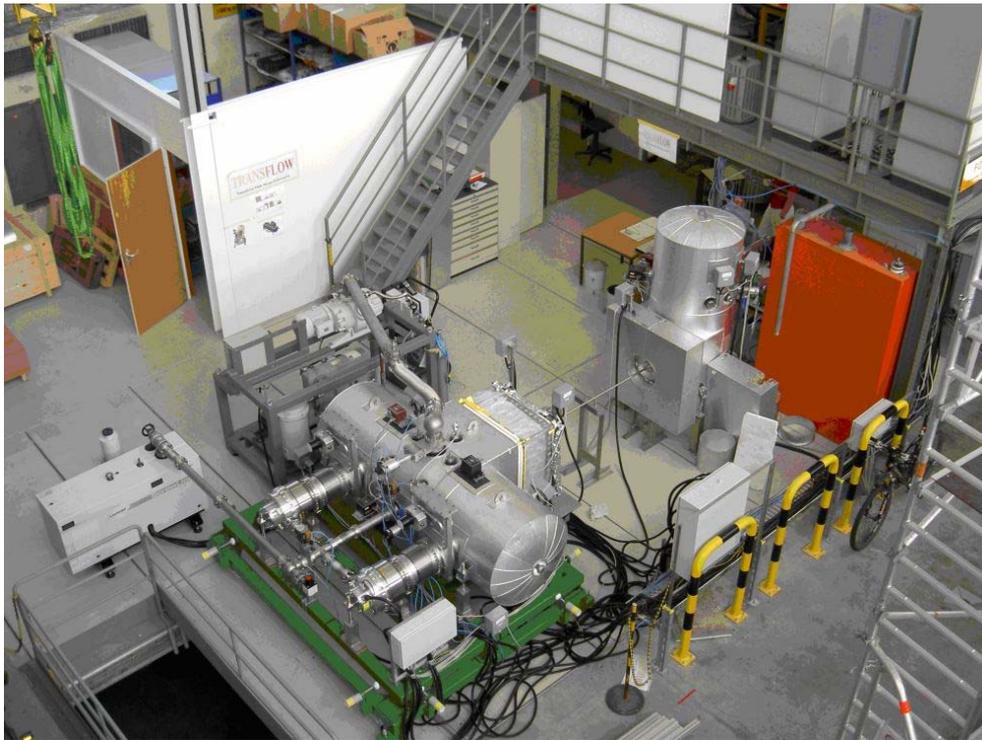


Abb . 10: Blick auf die Transflow Anlage

damit eine Lösung zur Verfügung stehen, ölhaltige Standard-Vorpumpen tritiumkompatibel aufzurüsten.

Das Highlight des Jahres erfolgte im *Bereich Vakuumphysik* mit der Inbetriebnahme der Anlage TRANSFLOW zur Grundlagenuntersuchung der Vakuumströmung im Übergangsbereich zwischen hochverdünnter und laminarer Strömung, siehe Abb. 10. Die einfache Fragestellung, die mit der Anlage geklärt werden soll lautet: Wie groß ist der Gasdurchsatz durch einen vorgegebenen Kanal im Bereich der Übergangströmung? In diesem physikalisch besonders interessanten Bereich weist der Durchsatz das sog. Knudsen-Minimum auf, das bis zu 40% unter dem üblicherweise als Minimalwert angesehenen Wert der hochverdünnten Strömung liegen kann. Bedingt durch den typischerweise sehr hohen Gasdurchsatz, finden die Anwendungen in der Fusion gerade in diesem Übergangsbereich statt. In der Gruppe wurde daher das Programmpaket ITERVAC entwickelt, das fähig ist, die Strömung im gesamten Strömungsbereich zu beschreiben. Zur Validierung stehen allerdings nur sehr wenige experimentelle Daten und einige theoretische Lösungen zur Verfügung. Ziel des bevorstehenden Versuchsprogramms in TRANSFLOW ist es daher, eine parametrische Datenbasis für die Übergangströmung durch verschiedene Kanalquerschnitte zu liefern. Die Anlage wurde im Rahmen einer Diplomarbeit im Juli 2006 in Betrieb genommen. Die ersten Messergebnisse sind sehr viel versprechend.

Der ITERVAC Code hat ein großes Potenzial nicht nur für Anwendungen in der Fusion, sondern für alle vakuumtechnischen Prozesse, bei denen Übergangströmungen auftreten (Halbleiter, Beschichtungen, Mikroverfahrenstechnik).

Im übergreifenden Bereich der Dienstleistungen wurden weitere Aufträge für Industrie und Forschung durchgeführt, so z.B. der Bau einer Demonstrations-Kryopumpe im XHV-Bereich (10^{-12} mbar) für den Einsatz in einem Speicherring am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Im Auftrag der Fa. General Electric wurden in der Testanlage COOLSORP spezielle Aktivkohlen für die Verwendung in Kryopumpen bei NMR-Anwendungen charakterisiert. Das entsprechende Produkt wird demnächst in Kleinserien-Fertigung gehen.

Kryotechnik und Kälteanlagen

Kryotechnik für FUSION

Die kryotechnischen Arbeiten für das Programm FUSION beinhalteten im Wesentlichen Arbeiten zur Entwicklung und Test von Stromzuführungen für Fusionsmagnete und die Vorbereitung von TOSKA für den Test von W7X Spulen.

Arbeiten zum Test und zur Optimierung einer 20 kA Stromzuführung

Wesentliches Ziel der Arbeiten ist die Reduzierung des Wärmeinfalls zur Reduzierung der Kühlsystemkosten. Hierfür wurde eine neue Hochspannungsisolation entwickelt, bestehend aus einem mehrlagigen GfK-Kapton Verbund. Im Vergleich zu den bisher eingesetzten Cellulose-Kunsthazisolatoren kann hierdurch der Wärmeübergang durch Wärmeleitung verringert werden. Des Weiteren wurden auch entsprechende Formstücke entwickelt, um auch Ecken hochspannungstechnisch im kryogenen Temperaturbereich isolieren zu können. Ein Bestandteil der Arbeiten war die Qualifizierung eines neuen Lötverfahrens für elektrische Kontaktschuhe.

Arbeiten für W7X-Stromzuführungen

Eine besondere Schwierigkeit bei diesen Stromzuführungen stellt die Ausrichtung da. Während üblicherweise der eigentliche Stromleiter vom abdampfenden Helium gekühlt wird, welches durch freie Konvektion von unten nach oben strömt und sich dabei von ca. 4,5 K auf ca. 300 K erwärmt, wird die W7X-Stromzuführung andersherum eingebaut, so dass also der kalte Kontakt oben ist und das Helium entgegen der freien Konvektionsrichtung nach unten strömen muss. Da die Druckdifferenz zwischen siedendem Helium bei 4,5 K und Druck in der Rückführung zum Speicher bzw. Kälteanlage nicht ausreicht, um eine Strömung und damit eine ausreichende Kühlung zu gewährleisten, sollen bei den zu entwickelnden Stromzuführungen Hochtemperatursupraleiter zum Einsatz kommen, die mit einer kalten Eingangstemperatur von 50 K gekühlt werden können. Helium mit einer Temperatur von 50 K kann üblicherweise einer Kälteanlage bei einem Druck von ca. 10 bar entnommen werden, so dass eine ausreichend hohe Druckdifferenz zu Verfügung steht, um das sich erwärmende Helium auch nach unten abströmen lassen zu können.

Neben dem kryotechnischen Grobdesign welches von der Kryotechnikgruppe erarbeitet wurde, konzentrierten sich die Arbeiten auf ein neues Design des Wärmeübertragers, der ein wesentliches Element unter den von W7X vorgegebenen Randbedingungen darstellt. Die Vorgaben und der supraleitende Teil basieren auf den Konzepten und Berechnungsgrundlagen von Herrn Dr. Heller (Fusionsmagnete). Im Vergleich zu dem bisherigen Wärmeübertrager in Stromzuführungen bei denen Lochbleche um den Stromleiter gelötet wurden, soll der neue Wärmeübertrager eine Verbesserung hinsichtlich Wärmeübergang, Druckverlust, Fertigungsaufwand und Berechenbarkeit darstellen. Hierbei sollen Leitbleche das Helium im Kreuzgegenstrom zur Stromeinspeiserichtung den Stromleiter kühlen. Abbildung 11 zeigt eins von insgesamt drei Wärmeübertragermodellen, die in der TOSKA Anlage getestet wurden bzw. auch bis zum Frühjahr 2007 getestet werden. Die numerischen Berechnungsergebnisse zeigen drei große Wirbel pro Periode im Strömungsfeld. Ein Vergleich der numerischen mit den experimentellen Ergebnissen wird zeigen, in welche Richtung die Variation der geometrischen Parameter für eine Optimierung gehen wird.

Vorbereitungen für den Test von W7X-Spulen

Für den Test von 20 nicht planaren supraleitenden Magneten für W7X muss die TOSKA und die TOSKA-Halle vorbereitet werden. Für die kryotechnische Versorgung fanden hier Vorüberlegungen statt und es wird derzeit ein Lastenheft zur Erneuerung und Erweiterung der Meß-, Regel- und Steuerungstechnik hinsichtlich einer Migration von S5 nach S7 erarbeitet.

Kryotechnik für REU

Am thermischen Isolationsteststand THISTA wurde ein Tank mit unterschiedlichen Isolationen getestet. Hintergrund sind die zu entwickelnden Wasserstoffautos mit Brennstoffzellen, bei denen der Wasserstoff in flüssiger Form gespeichert werden soll, da man hierbei, im Vergleich zu Feststoffspeicherung und Hochdruckspeicherung die größte Energiedichte zur Verfügung hat. Bei diesen Versuchen wurde die Superisulationsart, die Lagenzahl sowie die Wicklungstechnik im Bereich der nichtabwickelbaren Flächen, also der Böden variiert. Die Ergebnisse dienen einem

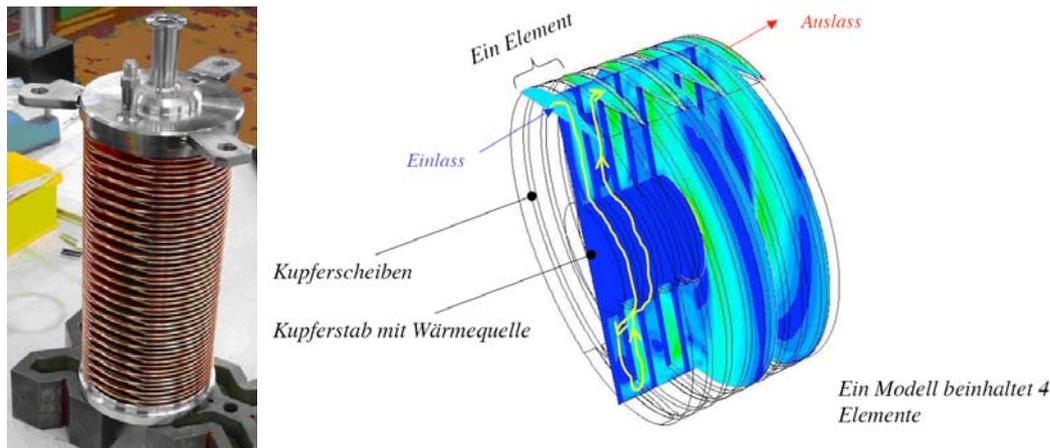


Abb. 11: Wärmeübertragermodell für den Test von Stromzuführungen (links) und numerische Wärme Strömungsberechnungen für Wärmeübertrager der Stromzuführungen (rechts)

Automobilhersteller als Referenz für Berechnungen. Auch in diesem Jahr wurde fortgefahren, THISTA hinsichtlich der Messtechnik zu verbessern. Nachdem nun die Massenstrommessung 2005 erweitert und automatisiert wurde, konnte dieses Jahr eine neue Temperaturmesseinrichtung integriert werden.

In Zusammenarbeit mit Prof. Roths von der Fachhochschule München, wurden faseroptische Sensoren mit Faser-Bragg-Gittern im Tieftemperaturbereich untersucht und durch geeignete Maßnahmen die Sensibilität für kryogene Temperaturen erhöht. Eine wesentliche Schwierigkeit ergibt sich durch die immer kleiner werdende Längenänderung der Glasfaser mit sinkenden Temperaturen. Die Untersuchungen richteten sich daher auf eine geeignete Beschichtung der Glasfasern, um auch im kryogenen Temperaturbereich eine durch Temperaturänderungen hervorgerufenen Längenänderung und damit eine Temperatursensibilität zu erreichen. Neben dem Einsatz der o.g. Glasfasern als Temperatursensoren, sollen diese auch als Füllstandssensoren eingesetzt werden.

MTA II, bestehend aus Helium-, Vakuumbehälter und dem Stickstoffschild wurde im März angeliefert und in die für diesen Behälter vorbereitete Grube eingebracht. Vermessungen am Sitz der thermischen Barriere zeigten allerdings, dass diese nachgearbeitet werden musste, was mit einem in-situ Verfahren durchgeführt wurde. Nach erfolgreicher Nachbearbeitung und Abnahme wurde ein Kalttest vorbereitet und durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Kalttestes waren zufriedenstellend, so dass mit den weiteren Arbeiten zur Ausrüstung und zur Erweiterung der Infrastruktur für die Versorgung des Kryostaten fortgefahren werden kann.

Neben den Arbeiten an MTA II wurde eine warme Bohrung und ein Antikryostat für HOMER II ausgelegt. Der Antikryostat soll den Test von Hochtemperatursupraleitern in der zentralen Bohrung bei 4,2 K ermöglichen. Die Arbeiten umfassten jeweils eine Festigkeitsberechnung, eine Wärmeeintragsrechnung und die prinzipielle Konstruktion, die als Vorgabe für die Detailkonstruktion durch die Gruppe Hochfeldmagnete dient.

Kryoinfrastruktur

Die Arbeiten umfassten Erweiterung, Anpassung und Betrieb vorhandener sowie Planung, Erstellung und Inbetriebnahme neuer Tieftemperaturexperimentiereinrichtungen für die Forschungsvorhaben. Daneben wurden Untersuchungen und Verbesserungen zur sicheren und ökonomischen Kryoverfahrenstechnik für den gesamten Bereich der Supraleiter-Magnettechnologie fortgesetzt. Die 300 W-(1,8K)-He-Tieftemperaturanlage war 2006 ca. 2.496 Stunden im Betrieb, wovon 336 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 105 Stunden auf Spülbetrieb sowie dem Kalt- und Warmfahren der Anlage entfielen, so dass 2.055 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich geleistet wurden. Die 2 kW-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage war 2006 ca. 650 Stunden im Betrieb, wovon 288 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 194 Stunden auf Spülbetrieb sowie dem Kalt- und Warmfahren der Anlage entfielen, so dass 168 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich FUSION entfielen. Insgesamt wurden von den Anlagen ca. 167.601 Liter Helium verflüssigt, wobei 121.965 Liter für Experimente im ITP ausgegeben wurden, während 45.636 Liter an Fremdinstitute ausgegeben wurden.

KATRIN Magnete und Kryotechnik

Im Rahmen des Karlsruhe-Tritium-Neutrino Experimentes KATRIN ist das ITP verantwortlich für Magnet- und Kryotechnologie und stellt auch für diese beiden Tasks die Leitung. Für dieses Experiment sind mehrere Magnetgruppen mit unterschiedlicher Funktion erforderlich.

Windowless Gaseous Tritium Source (WGTS)

Die WGTS ist ein helium-bad-gekühlter Magnetkristall mit einem Strahlrohr in der Bohrung der Solenoiden. Der Aufbau der WGTS ist in Abb. 12 dargestellt. Sie besteht im Inneren aus einem 10 m langen Strahlrohr von 90 mm Innendurchmesser, in das durch eine zentrale Injektionskammer 0,208 mbar-l-s-1 molekulares Tritium mit einer Reinheit von 95 % kontinuierlich injiziert wird (entspricht einer Aktivität von 4,7 Ci-s-1). Die Strahlrohrtemperatur ist mit 30 K so gewählt, dass einerseits eine hohe T₂-Dichte bei vertretbar niedrigem Injektionsdruck von 3,35·10⁻³ mbar erreicht wird, und andererseits die mögliche Bildung von T₂-Clustern bei niedrigeren Temperaturen verhindert wird. Um systematische Effekte in der WGTS untersuchen zu können, wird diese zeitweise mit Krypton bei einer Strahlrohrtemperatur von 120 K betrieben. Von der Injektionskammer aus diffundiert das Tritium über 5 m zu den beiden Rohrenden, wobei der Druck nahezu linear um einen Faktor 10⁻² abnimmt. Am Ende des WGTS-Strahlrohres werden T₂- und beim β-Zerfall entstehende He³-Moleküle in einer ersten differentiellen Pumpstrecke (DPS1) abgepumpt, die aus jeweils 2 Pumpkammern und 2 Strahlrohrabschnitten von 1 m Länge besteht. An der ersten Pumpkammer (PP1) sind dabei 4 und an der zweiten (PP2) 2 Turbomolekularpumpen DN250 angeschlossen. Aus deren Saugleistung und aus der Geometrie der Ansaugkanäle resultieren Leitwerte von je 2000 l-s-1, womit der Druck am Austritt des Strahlrohres der WGTS auf <10-5 mbar sinkt.

Die WGTS wird gemäß Auftrag von der Fa. ACCEL ausgelegt und gebaut. Da der Aufbau sehr komplex und die Anforderungen an die Kühlung extrem hoch sind, erarbeitet die Kryotechnikgruppe Vorschläge und verfolgt die Arbeiten, wobei Sie, falls notwendig, unterstützend mitwirkt. In diesem Jahr konnte das Technische Design für die WGTS einvernehmlich festgelegt werden. Auch wurde die

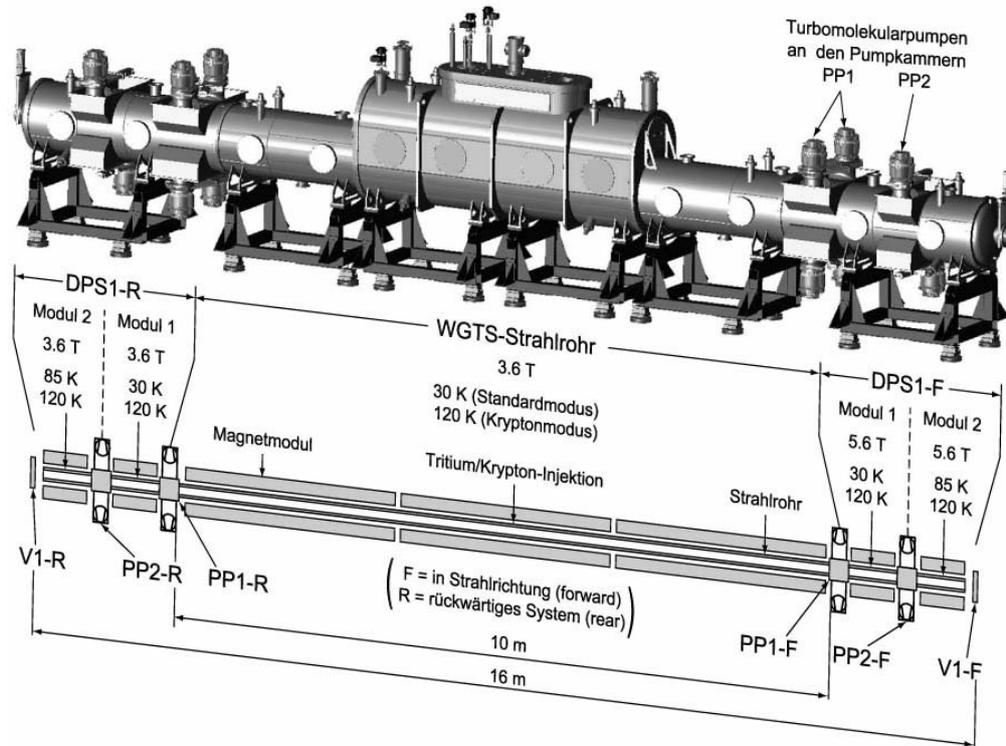


Abb. 12: Abb. 2 Aufbau der Windowless Gaseous Tritium Source (WGTS) im Experiment KATRIN (3D Grafik Fa. ACCEL)

Notwendigkeit eines Demonstratortests für die aufwendige Strahlrohrkühlung beschlossen und die Arbeiten hierzu begonnen.

Zur Ermittlung und Überprüfung der Temperaturhomogenität sollen Dampfdruckthermometer mit integrierten Füllstandssensoren, bestehend aus Glasfasersensoren mit Faser-Bragg-Gittern zum Einsatz kommen, die derzeit entwickelt und im Kalibrierlabor der Kryotechnikgruppe getestet werden.

Differentielle Pumpstrecke (DPS2-F)

Für die DPS2-F, die von der Fa. Ansaldo gefertigt wird, wurden die Steuerschränke für die Mess-, Regel- und Steuerungstechnik gefertigt und abgenommen. Derzeit erfolgt die Feldverdrahtung. Für die Programmierung dieser Mess-, Regel- und Steuerungstechnik wurde ein Lastenheft erstellt und die Arbeiten, die dieses Jahr zu 90% abgearbeitet wurden, erledigt. Weiterhin wurden alle Komponenten für einen Vakuumpumpstand (Isolationsvakuum) zusammengestellt, montiert und erfolgreich getestet. Auch eine Sicherheitsventil-Berstscheibenkombination zur Absicherung der Druckbehälter und des Vakuumbehälters wurde konzeptioniert und die Komponenten ausgewählt. Schließlich wurden noch ca. 60 Temperatursensoren (TVO's) in Hülsen eingegossen, kalibriert und die Charge für den Versand zur Fa. Ansaldo vorbereitet, wo Sie eingebaut werden können.

Kryogene Pumpstrecke CPS)

Um sicherzustellen, dass kein Tritium in die Spektrometer gelangt ist ein weiteres Magnetsystem mit einer kryogenen Pumpstrecke (Cryogenic Pumping Section, CPS) erforderlich, welches in seinem Inneren die Tritiummoleküle an einer kalten Oberfläche absorbiert. In 2006 wurde die Spezifikation begonnen in enger Zusammenarbeit mit dem Tritiumlabor Karlsruhe. Da es sich auch bei dieser Magnetgruppe um eine neue Entwicklung handelt wurde mit der Vorkonstruktion begonnen. Für 2007 ist die Ausschreibung und Vergabe an die Industrie vorgesehen.

He-Tiefkühltemperaturanlage

Die Ende letzten Jahres bei der Fa. Linde bestellte Helium-Tiefkühltemperaturanlage für KATRIN wurde dieses Jahr planmäßig gebaut, geliefert, erfolgreich in Betrieb genommen und abgenommen, wobei die spezifizierten Werte zum Teil übertroffen wurden. Für den endgültigen Betrieb ist ein 30-50 m³-LN₂-Tank vorgesehen. Da dieser aber erst bei voller Betriebslast notwendig ist, wurden für die Abnahmeversuche der Kälteanlage eine mobile Kaltgasversorgungseinheit provisorisch installiert und nach den Abnahmeversuchen wieder demontiert.

Arbeiten zum Hauptspektrometertank

Die extremen Anforderungen an die Dichtigkeit des Hauptspektrometertankes (Ø_i = 10m; L = 23 m), in welchem ein Restgasdruck von 10⁻¹¹ mbar erreicht werden soll, erforderte eine systematische und sorgfältige Lecksuche an allen Schweißnähten, Flanschen etc. die von der Kryotechnikgruppe durchgeführt wurde. Zur Untersuchung der Schweißnähte wurde eine spezielle Prüfkammer entwickelt, die es mit vertretbarem Aufwand gestattete die kilometerlangen Schweißnähte kontinuierlich zu testen. Die Untersuchungen verliefen insgesamt sehr erfolgreich und einzelne Leckagen an Flanschen bzw. Unebenheiten an Dichtflächen konnten rechtzeitig entdeckt und behoben werden, so dass die geforderte Dichtigkeit im Rahmen einer Werksabnahme erreicht werden konnte.

Das Tritiumlabor Karlsruhe

Die Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) der Hauptabteilung Versuchstechnik (HVT) wird mit Wirkung zum 01.01.2007 unter Beibehaltung ihrer Strukturen als Abteilung organisatorisch dem Institut für Technische Physik zugeordnet.

Das Tritiumlabor Karlsruhe wurde 1994 in Betrieb genommen und ist ein Verfahrenstechnikum zur wissenschaftlichen Handhabung des radioaktiven Wasserstoffisotops Tritium und unzweifelhaft eine typische Einrichtung für ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft. Das Labor verfügt über einen geschlossenen Tritiumkreislauf in Experimentierhallen mit einer Gesamtfläche von nahezu 1000 m². Mehr als zehn separate Handschuhkastensysteme mit einem gesamten Volumen von etwa 125 m³, die als zweite Hülle für die unmittelbar tritiumführenden Gewerke dienen, sind für Versuchsapparaturen verfügbar. Wegen der Umgangsgenehmigung von 40 g Tritium und des momentanen Inventars von ca. 20 g ist das Labor mit seinen umfangreichen Infrastruktursystemen und Experimentieranlagen weltweit einzigartig – lediglich Japan unterhält noch ein wissenschaftliches Labor mit vergleichbarem Tritiuminventar, aber deutlich kleinerer Fläche und ohne geschlossenen Tritiumkreislauf. Mittlerweile kann das TLK auf mehr als 12 Jahre sicheren Betrieb mit Tritium zurückblicken.

Der historische Arbeitsschwerpunkt des TLK liegt in der Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren (HGF - Programm „Energie“). Über die erfolgreichen Forschungsarbeiten in diesem Bereich und durch umfassende Beiträge zum Design von Systemen der ITER Tritiumanlage hat das TLK eine intensive Zusammenarbeit mit europäischen Partnern, aber auch mit japanischen und amerikanischen Wissenschaftlern und Ingenieuren etabliert. Nicht erst seit der Entscheidung ITER in Frankreich zu bauen sind Mitarbeiter des TLK intensiv und unmittelbar an den Arbeiten an diesem Projekt involviert.

Ein jüngerer Schwerpunkt liegt im Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Neutrino (HGF - Programm „Struktur der Materie“). Im Rahmen einer internationalen Kollaboration soll durch extrem genaue spektroskopische Analyse der β -Teilchen des Tritiumzerfalls in der Nähe der maximalen Energie (18,6 keV) die absolute Masse des Neutrinos ermittelt werden. KATRIN benötigt eine fensterlose, gasförmige Tritiumquelle. Der Durchsatz dieser im Kreislauf kontinuierlich mit hoher Stabilität zu betreibenden, differentiell gepumpten Quelle beträgt ca. 40 g Tritium pro Tag. Alle tritiumführenden Teile von KATRIN werden nach entsprechender Erweiterung des Gebäudes im TLK untergebracht sein. Folgerichtig wird bereits die Planung und Koordination der Arbeiten an diesen Teilen von KATRIN verantwortlich vom TLK durchgeführt.

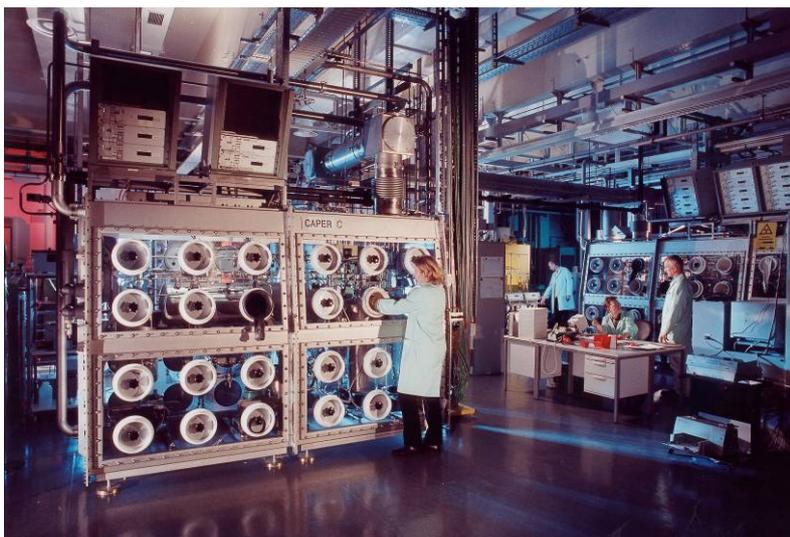


Abb. 13: Blick in das Tritiumlabor

Verabschiedung von Herrn Prof. Komarek

Nach über 20 jähriger außerordentlich erfolgreicher Tätigkeit als Direktor des Institutes für Technische Physik des Forschungszentrums Karlsruhe hat Herr Prof. Peter Komarek am 31. Oktober 2006 seine Amtszeit mit Vollendung des 65. Lebensjahres beendet. Aus diesem Anlass wurde zur Verabschiedung von Herrn Prof. Peter Komarek aus dem Amt am 8. November 2006 ein Festkolloquium des Forschungszentrums veranstaltet mit etwa 200 Gästen. Herr Prof. Peter Komarek kann auf eine außergewöhnliche wissenschaftliche Laufbahn zurückblicken mit Arbeitsschwerpunkten in vielen Bereichen der technischen Anwendung der Supraleitung.

Bereits sehr früh hat er Arbeiten zur Anwendung der Supraleitung in der Energietechnik indiziert, wie z.B. zum supraleitenden Generator und zum supraleitenden Leistungsschalter. Ebenfalls früh gelang die Aufnahme von Arbeiten zur Supraleitertechnologie in der Fusion. Diese entwickelten sich zum größten Arbeitsschwerpunkt des Institutes, wobei es Herrn Prof. Komarek stets gelang in den europäischen Gremien die Programmanschläge des Instituts zu etablieren und zu verteidigen. Zusammen mit dem Vorstand konnte der Bereich der Supraleiterentwicklung aufgebaut werden, der heute ebenfalls zu den wichtigen Bereichen des Instituts gehört. Er sorgte auch dafür, dass die kryotechnischen Entwicklungen, angepasst an die Aufgaben, nicht vernachlässigt wurden. Wichtig war ihm auch stets eine gute Zusammenarbeit mit der Fachindustrie, um die Anwendungsnähe und Umsetzbarkeit der Arbeiten bestätigt zu sehen. Typisches Beispiel dafür ist die Hochfeldmagnetentwicklung für die NMR-Spektroskopie.

Im Rahmen dieses Festkolloquiums konnten langjährige Weggefährten aus den verschiedenen Arbeitsgebieten von Herrn Prof. Komarek als Vortragende gewonnen werden.

Agenda des Festkolloquiums

Welcome adress

Prof. Reinhard Maschuw, Chairman of the Board, Forschungszentrum Karlsruhe
Prof. Volker Saile, Chairman of the Scientific-Technical Council, Forschungszentrum Ka.
Prof. Osamu Motojima, Director General, National Institute for Fusion Science, Japan

Presentations

Three decades of the development of technical superconductors and their applications

Dr. Helmut Krauth, Bruker BioSpin, Hanau

Superconducting materials for high field and power system applications

Prof. René Flükiger, University Geneva

20 years of HTS: Where we are and where we go?

Dr. Heinz-Werner Neumüller, Siemens Corporate Technology, Erlangen

Cryogenic refrigerators: History and perspectives

Prof. Hans Quack, TU Dresden

About the privilege of working with Peter

Dr. Ettore Salpietro, EFDA, Garching

Bildergalerie des Festkolloquiums

Die Hauptperson



Die Grussworte



Prof. Reinhard Maschuw



Prof. Volker Saile



Prof. Osamu Motojima

Die Festredner



Dr. Ettore Salpietro



Dr. Heinz-Werner Neumüller



Prof. Hans Quack



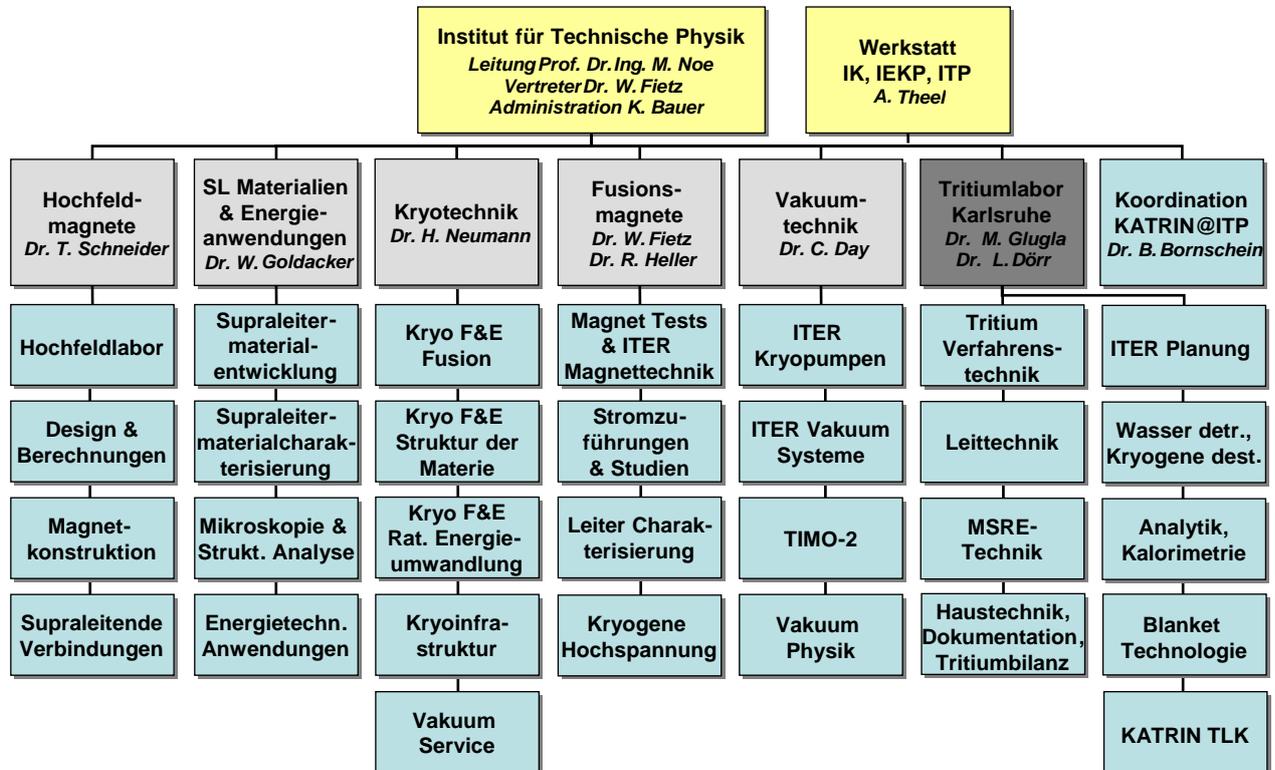
Dr. Helmut Krauth



Prof. Rene Fkükiger

Zahlen und Daten

Organigramm (ab 01.01.2007)



Personalstand (01.01.2007)

| | |
|---------------------|-----|
| Mitarbeiter | 131 |
| Akademiker | 48 |
| Ingenieure | 28 |
| Sonstige | 53 |
| Gastwissenschaftler | 1 |
| Doktoranden | 2 |
| Diplomanden | 1 |
| BA-Studenten | 5 |

Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Studien- und Diplomarbeiten in 2006 (laufend bzw. abgeschlossen)

André Lampe

Elektromechanische Charakterisierung von technischen Supraleitern bei kryogenen Temperaturen

Patrick Lange

Theoretische und experimentelle Untersuchungen der Vakuumströmungen im Übergangsbereich

Sebastian Schuller

Wechselstromverlustmessung am verseilten YBCO-Hochtemperatursupraleiter ROEBEL-Kabel

Alexander Winkler

Untersuchung der Durchschlagfestigkeit von flüssigem Stickstoff

Doktorarbeiten in 2006 (laufend bzw. abgeschlossen)

Bing Liu

Influence of Preparation and Doping on Superconducting Properties of MgB₂ Conductors

Christian Schacherer

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender Strombegrenzer

Vipulkumar Tanna

Design and Analysis of the Superconducting Current Feeder System for the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)

Michael Schwarz

Thermische Leitfähigkeit von Werkstoffen zwischen 300 K und 4.2 K unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung supraleitender Magnete

Veröffentlichungen

Bernhard, A.; Hagelstein, M.; Kostka, B.; Kläser, M.; Rossmannith, R.; Schneider, T.; Weißer, M.; Wollmann, D.; Steffens, E.; Gerlach, G.; Baumbach, T.

Superconducting in vacuum undulators

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1836-39.

Bernhard, A.; Casalbuoni, S.; Hagelstein, M.; Kläser, M.; Kostka, B.; Müller, A.S.; Rossmannith, R.; Schneider, Th.; Schoeck, F.; Steffens, E.; Weisser, M.; Wollmann, D.; Baumbach, T.

Insertion device development.

ANKA - Annual Report 2006, Karlsruhe : Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, CD-ROM S.199-200.

Bonicelli, T.; Alberti, S.; Alonso, J.; Antoni, V.; Bariou, D.; Barabschi, P.; Benfatto, I.; Benin, P.; Boilson, D.; Bruschi, A.; Chantant, M.; Chuilon, B.; Cirant, S.; Claesen, R.; Cordier, J.J.; Cox, S.; Dal Bello, S.; Day, C.; De Lorenzi, A.; Dormicchi, O.; Dremel, M.; de Esch, H.; Falter, H.; Fantz, U.; Fasel, D.; Franzen, P.; Giguet, E.; Gaio, E.; Goodman, T.; Heidinger, R.; Hemsworth, R.; Henderson, M.; Henry, D.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Jones, T.; Kovari, M.; Lievin, C.; Liniers, M.; Lopez Fraguas, A.; Loughlin, M.J.; Marcuzzi, D.; Martens, C.; Martin, D.; Masiello, A.; Milnes, J.; Mondino, P.L.; Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Sandri, S.; Santinelli, M.; Speth, E.; Svensson, L.; Tanga, A.; Taddia, G.; Toigo, V.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Waldon, C.; Xue, Y.; Zaccaria, P.L.

Review of the EU activities in preparation of ITER in the field of EC power sources and NB systems

21st IAEA Fusion Energy Conf., Chengdu, China, October 16-21, 2006.

Bornschein, L.; Day, C.; Habermehl, F.; Luo, X.; Wolf, J.

Outgassing measurements with a prototype for a large UHV spectrometer.

Myneni, G.R. [Hrsg.]

Hydrogen in Matter : a Collection from the Papers Pres. at the 2nd Internat. Symp., Uppsala, S, June 13-17, 2005

Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.200-09 (AIP Conference Proceedings ; 837),

SBN 0-7354-0329-5.

Bottura, L.; Heller, R.

Criteria for the numerical convergence of quench simulations in CICC'S.

Cryogenics, 46(2006) S.556-62.

Chorowski, M.; Fydrych, J.; Polinski, J.; Süßer, M.

Helium safety relief system for DPS2-F kryostat of the Karlsruhe Tritium Neutrino experiment.

CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006.

Day, C.

A lecture on basics and applications of cryopumps.

Course on Vacuum in Accelerators, CERN Accelerator School, Platja d'Aro, E, May 16-24, 2006.

Day, C.

Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.

VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 8.-10.März 2006.

Day, C.; Luo, X.; Conte, A.; Bonucci, A.; Manini, P.

Determination of the sticking probability of the SAES St707 NEG strip.

25th Internat. Symp. on Rarefied Gas Dynamics, St. Petersburg, Russia, July 15-21, 2006.

Day, Chr.; Hauer, V.; Stautner, W.

Low temperature characterization of two activated carbon materials.

Carbon 2006 : The Internat.Carbon Conf., Aberdeen, GB, July 16-21, 2006.

Day, Chr.; Antipenkov, A.; Cristescu, I.R.; Dremel, M.; Federici, G.; Haas, H.; Hauer, V.; Mack, A.; Murdoch, D.K.; Wykes, M.

Hydrogen inventories in the vacuum pumping systems of ITER.

Fusion Engineering and Design, 81(2006) S.777-84.

Day, Chr.; Brennan, D.; Camp, P.; Jensen, H.S.

Validation of the ITER cryosorption pumping concept under tritium.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006.

Day, Chr.; Hauer, V.; Class, G.; Valougeorgis, D.; Wykes, M.

Development of a simulation code for ITER vacuum flows.

21st IAEA Fusion Energy Conf., Chengdu, China, October 16-21, 2006.

Day, Chr.; Bonn, J.; Gumbsheimer, R.; Herz, W.; Wolf, J.

1450 m3 at 10-9Pa: One of the KATRIN challenges.

American Vacuum Society 53rd Internat.Symp., San Francisco, Calif., November 12-17, 2006.

Decool, P.; Cloez, H.; Nicollet, S.; Nyilas, A.; Serries, J.P.

Design and qualification of ITER CS and TF cooling inlets.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.876-79.

Dremel, M.; Mack, A.; Day, C.; Jensen, H.

Cryosorption pumps for a neutral beam injector test facility.

Weisend, J.G. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.583-90.

(AIP Conference Proceedings ; 823) (Advances in Cryogenic Engineering ; 51) ISBN 0-7354-0317-1.

Eisterer, M.; Eckhardt, C.; Zehetmayer, M.; Weber, H.W.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Nesterenko, V.F.; Tajima, T.

Influence of disorder on the superconducting properties of polycrystalline MgB₂.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.115-18.

Fietz, W.H.; Mützel, W.

Study for manufacturing of ITER TF coil radial plates.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September, 11-15, 2006.

Fink, S.; Noe, M.

Cryogenic high voltage issues of HTS power system devices.

2nd Topical Workshop of SCENET-2, Illetas-Calvia, E, March 16-18, 2006.

Fink, S.; Fietz, W.H.; Miri, A.

High voltage investigations for ITER coils.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006.

Gehring, R.; Osipowicz, A.; Weinheimer, Ch.

Optimization calculations for the KATRIN magnet system.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1859-61.

Gehring, R.; Jüngst, K.P.; Kuperman, G.; Bordry, F.; Burnet, J.P.; Völker, F.

A SMES based power supply for accelerator magnets.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.594-97.

Gheorghe, D.G.; Menghini, M.; Wijngaarden, R.J.; Brandt, E.H.; Mikitik, G.P.; Goldacker, W.

Flux penetration into superconducting Nb₃Sn in oblique magnetic fields.

Physical Review B, 73(2006) S.224512/1-9.

Glugla, M.; Murdoch, D.K.; Antipenkov, A.; Beloglazov, S.; Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Day, C.; Lässer, R.; Mack, A.

ITER fuel cycle R&D: consequences for the design.
Fusion Engineering and Design, 81(2006) S.733-44.

Goldacker, W.; Schlachter, S.; Liu, B.; Obst, B.
First technical applications for thin MgB₂ superconducting wires.
DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 21st General Conf. of the Condensed Matter Division of the European Physical Society, Dresden, March 26-31, 2006.
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.41(2006)

Goldacker, W.; Schmidt, C.; Schlachter, S.I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Weis, K.; Schwarz, M.; Heller, R.
ROEBEL assembled coated conductors (RACC): preparation, properties and progress.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006.

Goldacker, W.; Schmidt, C.; Schlachter, S.I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Heller, R.
Properties of ROEBEL assembled coated conductors (RACC).
Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2006), Ludwigsburg, July 2-5, 2006;
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006.

Goldacker, W.; Nast, R.; Kotzyba, G.; Schlachter, S.I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Schmidt, C.; Komarek, P.
High current DyBCO- ROEBEL assembled coated conductor (RACC).
Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.901-04.

Gorodetsky, A.E.; Vnukov, S.P.; Zalavutdinov, R.Kh.; Bukhovetz, V.L.; Zakharov, A.P.; Day, Chr.; Federici, G.
Methane formation under charcoal interaction with atomic hydrogen and deuterium at 77 K.
21st IAEA Fusion Energy Conf., Chengdu, China, October 16-21, 2006.

Grisolia, C.; Rosanvallon, S.; Coad, P.; Bekris, N.; Braet, J.; Brennan, D.; Brichard, B.; Counsell, G.; Day, C.; Likonen, J.; Piazza, G.; Poletiko, C.; Rubel, M.; Semerok, A.
JET contributions to ITER technology issues.
Fusion Engineering and Design, 81(2006) S.149-54.

Grohmann, S.; Neumann, H.
Kryoversorgung für das Experiment KATRIN am Forschungszentrum Karlsruhe.
DKV Tagungsbericht 2005, Würzburg, 16.-18.November 2005
32.Jahrg. Arbeitsabt.I Bd.I S.65-73;
Stuttgart : Deutscher Kälte- u.Klimatechnischer Verein, 2006.

Grohmann, S.; Neumann, H.
The cryogenic system of the Karlsruhe Tritium Neutrino experiment (KATRIN).
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006.
Grohmann, S.
Kryogenes Design der Tritiumquelle im Experiment KATRIN.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2006, Dresden, 22.-24.November 2006.

Haas, H.; Caldwell-Nichols, C.; Day, C.; Mack, A.; Murdoch, D.
Study of poisoning effects with the ITER model pump during relevant operation cycles.
Fusion Engineering and Design, 81(2006) S.845-50.

Hauer, V.; Boissin, J.C.; Day, Chr.; Haas, H.; Mack, A.; Murdoch, D.; Lässer, R.; Wykes, M.
Design of the ITER torus prototype cryopump.
24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006.

Heller, R.; Fietz, W.H.; Lietzow, R.; Tanna, V.L.; Vostner, A.; Wesche, R.; Zahn, G.R.
70 kA high temperature superconductor current lead operation at 80 K.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.823-26.

Hofmann, A.; Stautner, W.; Pan, H.; Crowley, D.; Gilgrass, G.
The development of a pulse tube cooler with more than 1W at 4.2K.
Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.49-58.
(AIP Conference Proceedings ; 823) (Advances in Cryogenic Engineering ; 51) ISBN 0-7354-0317-1 (65659).

Hornung, F.; Kläser, M.; Schneider, Th.
Degradation of Bi-2223 tape after cooling with superfluid helium.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006.

Hornung, F.; Kläser, M.; Ruf, C.; Schneider, Th.
*Untersuchung eines hochauflösenden 1000 MHz NMR-Spektrometers :
Teilvorhaben: Grundlagenuntersuchung.*
Abschlussbericht Fördervorhaben BMBF 13N7319/5
Projektlaufzeit 01.06.1998 bis 31.12.2005;
Karlsruhe : Forschungszentrum Karlsruhe GmnH, 2006 (66452).

Jensen, H.S.; Day, Chr.
QA efforts in manufacturing large cryopump systems for nuclear fusion application.
ASEVA Summer School 2006, Workshop 18: Vacuum Measurement, Leak Detection and Calibration, Quality Control in Advanced Industries, Salamanca, E, June 26-28, 2006.

Katagiri, K.; Nyilas, A.; Sato, T.; Hatekeyama, Y.; Hokari, T.; Teshima, H.; Iwamoto, A.; Mito, T.
Temperature dependence of the mechanical properties of melt-processed Dy-Ba-Cu-O bulk superconductors evaluated by three point bending tests.
Superconductor Science and Technology, 19(2006) S.S545-S549.

Komarek, P.
Status and future of HTS for power applications.
2nd Topical Workshop of SCENET-2, Illetas-Calvia, E, March 16-18, 2006.

Komarek, P.
Influence of HTS application on cryogenics now and in future.
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006.

Komarek, P.; Noe, M.
State of the art os SMES in respect to the interest of CERN.
Votr.: CERN, Geneve, CH, 4.Oktober 2006.

Komarek, P.
Potential and desire for HTS applications in thermonuclear fusion.
Fusion Engineering and Design, 81(2006) S.2287-96.

Kotzyba, G.; Obst, B.; Nast, R.; Goldacker, W.
Physical properties of chemically deposited La₂Zr₂O₇ and CeO₂ buffer layers on cube textured Ni-4 at.% W substrates.
DPG Spring Meeting of the Divison Condensed Matter, 21st General Conf.of the Condensed Matter Division of the European Physical Society, Dresden, March 26-31, 2006.
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.41(2006) TT 7.14.

Kotzyba, G.; Nast, R.; Obst, B.; Goldacker, W.
Fluorine-free all solution deposition approaches for YBCO coated conductors.
Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2006), Ludwigsburg, July 2-5, 2006.

Kotzyba, G.; Obst, B.; Nast, R.; Goldacker, W.; Holzapfel, B.

Chemical solution deposition (CSD) of CeO₂ and La₂Zr₂O₇ buffer layers on cube textured NiW substrates.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.345-48.

Kudymov, A.; Noe, M.; Schacherer, C.; Kinder, H.; Prusseit, W.

Investigation of YBCO coated conductor wire for application in resistive superconducting fault current limiters.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006.

Libeyre, P.; Ciazynski, D.; Decool, P.; Dolgetta, N.; Duchateau, J.L.; Zani, L.; Rondeaux, F.; Salpietro, E.; Rajainmäki, H.; Vostner, A.; Baker, W.; della Corte, A.; Pizzuto, A.; Semeraro, L.; Moreschi, L.; Zanino, R.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Nyilas, A.; Weiss, K.; Bruzzone, P.; Nijhuis, A.; Hampshire, D.; Prokopec, R.; Humer, K.; Weber, H.W.; Maix, R.K.

New results and remaining issues in superconducting magnets for ITER and associated R&D in Europe.

21st IAEA Fusion Energy Conf., Chengdu, China, October 16-21, 2006.

Luo, X.; Day, C.; Hauer, V.; Malyshev, O.B.; Reid, R.J.; Sharipov, F.

Monte Carlo simulation of gas flow through the KATRIN DPS2-F differential pumping system.

Vacuum, 80(2006) S.864-69

Martinez, E.; Lera, F.; Martinez-Lopez, M.; Yang, Y.; Schlachter, S.I.; Lezza, P.; Kovac, P.

Quench development and propagation in metal/MgB₂ conductors.

Superconductor Science and Technology, 19(2006) S.143-50

Miri, A.M.; Fink, S.; Fietz, W.H.

Transient electrical behaviour of ITER superconducting toroidal field coils during fast discharge.

10th Internat.Conf.on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM'06), Brasov, R, May 18-19, 2006

Müller, H.; Schneider, T.

Optimisation of two-step heat treatments of bronze-route (Nb,Ta,Ti)₃Sn conductors for high-field applications.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1245-48

Müller, H.; Schneider, T.

Influence of two-step heat treatments on bronze-route (NbX)₃Sn conductors.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.26-30

Müller, H.; Hornung, F.; Rimikis, A.; Schneider, T.

Critical current distribution in composite superconductors.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006

Murdoch, D.; Cristescu, I.; Day, C.; Glugla, M.; Laesser, R.; Mack, A.

EU fuel cycle development priorities for ITER.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006

Narayankhedar, K.G.; RajiniKumar, R.; Süßer, M.

Die Anwendung von Faser-Bragg-Gittern zur Temperaturmessung in der Kryotechnik.

DKV Tagungsbericht 2005, Würzburg, 16.-18.November 2005

32.Jahrg. Arbeitsabt.I Bd.I S.137-42

Stuttgart : Deutscher Kälte- u.Klimatechnischer Verein, 2006

Nast, R.; Obst, B.; Stadel, O.; Goldacker, W.

Effect of H₂S treatment on the orientation and texture sharpness of MgO buffer layers on highly cube textured Ni-4at.%W tapes as a template for YBCO coated conductors.

DPG Spring Meeting of the Division Condensed Matter, 21st General Conf.of the Condensed Matter Division of the European Physical Society, Dresden, March 26-31, 2006

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.41(2006) TT 7.13

Nast, R.; Obst, B.; Goldacker, W.; Stadel, O.
Effect of H₂S treatment on the orientation and texture sharpness of MgO buffer layers on highly cube textured Ni-4 at.% W tapes.
Internat. Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2006), Ludwigsburg, July 2-5, 2006

Nast, R.; Obst, B.; Goldacker, W.; Holzapfel, B.
Highly cube textured Cu-based substrates for YBCO-coated conductors.
Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.357-61

Neumann, H.
Kryoverfahrenstechnik.
Seminar Kryostatbau, Haus der Technik, Essen, 14.-15. September 2006

Neumann, H.
Wärmeübergang an Kryogene – Kühltechniken
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 8. – 10. März 2006

Neumann, H.
Thermische Isolation
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 8. – 10. März 2006

Nikbin, K.; Nyilas, A.; Weiss, K.
Characterization of mode II fracture properties of fiber reinforced insulation systems for superconducting cables.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.283-90
(AIP Conference Proceedings ; 824) (Advances in Cryogenic Engineering ; 52) ISBN 0-7354-0316-3

Noe, M.; Kudymov, A.; Fink, S.; Elschner, S.; Breuer, F.; Bock, J.; Walter, H.; Kleimaier, M.; Weck, K.H.; Neumann, C.; Merschel, F.; Heyder, B.; Schwing, U.; Frohne, C.; Schippl, K.; Stemmler, M.
Conceptual design of a 110 kV resistive superconducting fault current limiter using MCP-BSCCO 2212 bulk material.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006

Noe, M.; Kudymov, A.; Schacherer, C.; Kinder, H.; Prusseit, W.
Development of superconducting fault current limiters with coated conductors.
18th Internat. Symp. on Superconductivity (ISS 2006), Nagoya, J, October 29 - November 1, 2006

Noe, M.; Gehring, R.; Grohmann, S.; Neumann, H.; Kzachenko, O.; Bornschein, B.; Bonn, J.
The development of the KATRIN magnet system.
Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.710-13

Nyilas, A.; Shibata, K.; Ogata, T.
Phase transformation behavior of austenitic steels upon deformation at cryogenic temperatures.
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006

Nyilas, A.
Transducers for sub-micron displacement measurements at cryogenic temperatures.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.27-34
(AIP Conference Proceedings ; 824) (Advances in Cryogenic Engineering ; 52) ISBN 0-7354-0316-3

Nyilas, A.; Weiss, K.; Grikurov, G.; Zoidze, N.
Tensile, fracture, and fatigue crack growth rate behavior of high manganese steels.
Balachandran, U. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Keystone, Colo., August 29 -September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.130-37
(AIP Conference Proceedings ; 824) (Advances in Cryogenic Engineering ; 52) ISBN 0-7354-0316-3

Nyilas, A.; Weiss, K.; Thoener, M.; Hojo, M.; Osamura, K.; Katagiri, K.
On the measurement of tensile properties of superconducting Nb3Sn wires at ambient temperature and at cryogenic environment.
Balachandran, U. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Keystone, Colo., August 29 -September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.582-89
(AIP Conference Proceedings ; 824) (Advances in Cryogenic Engineering ; 52) ISBN 0-7354-0316-3

Obst, B.; Nast, R.; Kotzyba, G.; Wetscher, F.
Cube textured tapes for use in YBa2Cu3O7-_x coated conductor applications.
International Journal of Materials Research, 97(2006) S.1363-71

Okubo, H.; McCarthy, M.; Nagaya, S.; Noe, M.; Schmidt, F.; Sumereder, C.; Tonnesen, O.; Wacker, B.
Development and application trend of superconducting materials and electrical insulating techniques for HTS power equipment.
Conseil International des Grands Reseaux Electriques (CIGRE), Session 2006, Paris, F, August 27 - September 1, 2006

Okubo, H.; Kurupakorn, C.; Ito, S.; Kojima, H.; Hayakawa, N.; Endo, F.; Noe, M.
High-Tc superconducting fault current limiting transformer (HTc-SFCLT) with 2G coated conductors.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006

Portone, A.; Salpietro, E.; Bottura, L.; Bruzzone, P.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Rifflet, J.M.; Lucas, J.; Toral, F.; Raff, S.; Testoni, P.
Conceptual design of the 12.5 T superconducting EFDA dipole.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1312-15

Portone, A.; Salpietro, E.; Bottura, L.; Bruzzone, P.; Della Corte, A.; Fietz, W.; Heller, R.; Raff, S.; Lucas, J.; Toral, F.; Rifflet, J.M.; Testoni, P.
Design and optimization of the 12.5 T EFDA dipole magnet.
Cryogenics, 46(2006) S.494-506

Pruseit, W.; Kinder, H.; Handke, J.; Noe, M.; Kudymow, A.; Goldacker, W.
Switching and quench propagation in coated conductors for fault current limiters.
Physica C, 445-448(2006) S.665-68

RajiniKumar, R.; Süßer, M.; Narayenkhedkar, K.G.; Krieg, G.
Fiber Bragg grating sensors for low temperature sensing applications.
Sensor+Test 2006 : Proc.of the 7th Internat.Conf.on Optical Technologies, Optical Sensors and Measuring Techniques (OPTO 2006), Nürnberg, May 30 - June 1, 2006
Wunstorf : AMA Service GmbH, 2006 S.195-201

Rajinikumar, R.; Nyilas, A.; Süßer, M.; Narayenkhedkar, K.G.; Krieg, G.
Investigation of fiber bragg grating sensors with different coating materials for high sensitivity temperature / strain measurements at cryogenic environment.
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006

RajiniKumar, R.; Narayankhedkar, K.G.; Krieg, G.; Süßer, M.; Nyilas, A.; Weiss, K.P.
Fibre bragg gratings for sensing temperature and stress in superconducting coils.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1737-40

Roths, J.; Andrejevic, A.; Kuttler, R.; Süßer, M.
Characteristics of fiber Bragg gratings at cryogenic temperatures.

Sensor+Test 2006 : Proc.of the 7th Internat.Conf.on Optical Technologies, Optical Sensors and Measuring Techniques (OPTO 2006), Nürnberg, May 30 - June 1, 2006
Wunstorf : AMA Service GmbH, 2006 S.131-33

Roths, J.; Andrejevic, G.; Kuttler, R.; Süßer, M.
Calibration of fiber Bragg cryogenic temperature sensors.
18th Internat.Conf.on Optical Fiber Sensors (OFS 18), Cancun, MEX, October 23-27, 2006

Sackmann, C.; Süßer, M.
Ein Temperaturmesssystem für die Kryotechnik.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2006, Dresden, 22.-24.November 2006

Sander, M.
Superconductor technologies - stakeholders and trends.
Helium-Based Cryogenics in the 20th Century : Physicist's Careers and Technical Visions ; Workshop, Berlin, April 29, 2006

Sato, T.; Katagiri, K.; Hokari, T.; Hatakeyama, Y.; Murakami, A.; Nyilas, A.; Kasaba, K.; Teshima, H.; Hirano, H.
Evaluation of Young's modulus of RE123 bulk superconductors by three point bending tests.
Physica C, 445-448(2006) S.422-26

Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Orschulko, H.
Properties of MgB₂ superconductors with regard to space applications.
Cryogenics, 46(2006) S.201-07

Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Liu, B.; Ringsdorf, B.; Orschulko, H.; Will, A.; Frank, A.
Fabrication and properties of thin MgB₂ powder-in-tube conductors.
CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006

Schlachter, S.I.; Liu, B.; Obst, B.; Ringsdorf, B.; Frank, A.; Orschulko, H.; Goldacker, W.
Exotic applications of MgB₂ wires and tapes.
CIMTEC 2006 : 11th Internat.Ceramics Congress, 4th Forum on New Materials, Acireale, I, June 4-9, 2006

Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Frank, A.; Liu, B.; Orschulko, H.; Ringsdorf, B.
Performance of thin MgB₂ conductors with high critical current density.
8th Internat.Conf.on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M2S), Dresden, July 9-14, 2006

Schlachter, S.I.
Research on superconductivity at the Institute for Technical Physics Forschungszentrum Karlsruhe.
Vortr.: Universite de Geneve, CH, 10.Mai 2006

Schlachter, S.I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Orschulko, H.; Obst, B.; Liu, B.; Goldacker, W.
Suitability of sheath materials for MgB₂ powder-in-tube superconductors.
18th Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2005), Tsukuba, J, October 24-26, 2005

Schlachter, S.I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Orschulko, H.; Obst, B.; Liu, B.; Goldacker, W.
Suitability of sheath materials for MgB₂ powder-in-tube superconductors.
Physica C, 445-448(2006) S.777-83

Schmidt, C.
Ac-loss and time constant measuring techniques of high T_c-tapes and stacks of tapes.
Physica C, 445-448(2006) S.694-700

Schmidt, C.; Goldacker, W.

Simplified method to determine absolute ac-loss values of superconducting tapes for varying sample geometries.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.678-81

Schneider, T.; Beckenbach, M.; Ernst, R.; Hornung, F.; Lahn, H.; Leys, P.; Lott, B.; Müller, H.; Ruf, C.
Successful operation of HOMER II: the world's first 20 T pure superconducting high field magnet system with a free bore of 185 mm.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 - September 1, 2006

Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Schlachter, S.I.; Nyilas, A.; Goldacker, W.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity measurement of DyBa₂Cu₃O_x tapes parallel to tape direction with an estimation for the transversal thermal conductivity.

CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006

Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Schlachter, S.I.; Nyilas, A.; Goldacker, W.; Heller, R.; Fietz, W.H.

Thermal conductivity of high temperature superconductor tapes.

MEM'06 : A Millenium for Superconductivity ; an Internat.Workshop on the Mechanical and Electromagnetic Properties of Superconductors, Durham, GB, July 2-5, 2006

Stamm, M.

Konstruktionsbeispiele.

Seminar Kryostatbau, Haus der Technik, Essen, 14.-15.September 2006

Stemmler, M.; Neumann, C.; Merschel, F.; Schwing, U.; Weck, K.H.; Noe, M.; Breuer, F.; Elschner, S.
Analysis of unsymmetrical faults in high voltage power systems with superconducting fault current limiters.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006

Stemmler, M.; Oswald, B.R.; Breuer, F.; Elschner, S.; Noe, M.

Simulation model for a novel superconducting fault current limiter.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.954-57

Süsser, M.

Kryogene Mess- und Regeltechnik.

VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 8.-10.März 2006

Süßer, M.; RajiniKumar, R.

Temperaturmessung in der Kryotechnik mit Faser-Bragg-Gittern.

Temperatur 2006 : Verfahren und Geräte in der Temperatur- und Feuchtemesstechnik, Berlin, 16.-17.Mai 2006

Berlin : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2006 S.11-17

Süßer, M.

Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.

VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengemessung in Rohrleitungen', Düsseldorf, 10.-12.Mai 2006

Süsser, M.

Discussion of the protection of pressure vessels by using safety valves-rupture disc-combinations.

Zhang, L. [Hrsg.]

Proc.of the 20th Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 20), Beijing, China, May 11-14, 2004

Amsterdam [u.a.] : Elsevier, 2005 S.967-70 ISBN 0-08-044559-4

Süßer, M.

Accurate temperature measurement inside the piping.

CryoPrague 2006 : 21st Cryogenic Engineering Conf., Internat.Cryogenic Materials Conf., Praha, CZ, July 17-21, 2006

Süßer, M.

Mess- und Regeltechnik.

Seminar Kryostatbau, Haus der Technik, Essen, 14.-15.September 2006

Sugano, M.; Itoh, K.; Nyilas, A.; Kiyoshi, T.

Irreversible behavior of thermal expansion in Bi2212 composite wire at low temperature.

Physica C, 445-448(2006) S.751-55

Tamura, H.; Mito, T.; Yamada, Y.; Watanabe, M.; Ohkubo, J.; Heller, R.

Bi2212 HTS tubular bulk with a conical shape for current lead.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.1035-38

Tanna, V.L.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Vostner, A.; Wesche, R.; Zahn, G.R.

Conceptual design of a high temperature superconductor current feeder system for ITER.

Journal of Physics: Conference Series, 43(2006) S.1023-26

Tanna, V.L.

Design and analysis of the superconducting current feeder system for the international thermonuclear experimental reactor (ITER).

Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7256 (Oktober 2006) Dissertation, Universität Karlsruhe 2006

Weiss, K.P.; Nyilas, A.

Specific aspects on crack advance during J-test method for structural materials at cryogenic temperatures.

Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 29(2006) S.83-92

Weiss, K.P.; Lampe, A.; Nyilas, A.; Heller, R.; Fietz, W.

Influence of axial load on the critical current of superconducting Bi2223 tapes.

MEM'06 : A Millenium for Superconductivity ; an Internat.Workshop on

the Mechanical and Electromagnetic Properties of Superconductors, Durham, GB, July 2-5, 2006

Weiss, K.P.; Nyilas, A.

Specific aspects on crack advance during J-test method for structural materials at cryogenic temperatures.

15th European Conf.of Fracture (ECF15), Stockholm, S, August 11-13, 2004

Weiss, K.P.; Schwarz, M.; Heller, R.; Fietz, W.H.; Nyilas, A.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.

Electromechanical and thermal properties of Bi2223 tapes.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 -September 1, 2006

Weiss, K.P.; Heller, R.; Fietz, W.H.; Duchateau, J.L.; Dolgetta, N.; Vostner, A.

Systematic approach to examine the strain effect on the critical current of Nb3Sn cable-in-conduit-conductors.

Applied Superconductivity Conf.(ASC 2006), Seattle, Wash., August 27 - September 1, 2006

Wesche, R.; Heller, R.; Bruzzone, P.; Fietz, W.H.; Lietzow, R.; Vostner, A.

Design of high-temperature superconductor current leads for ITER.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006

Wykes, M.; Day, C.; Murdoch, D.; Hauer, V.

Design status of the ITER cryostat high vacuum pumping system.

24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006

Zahn, G.R.; Duchateau, J.L.; Fietz, W.H.; Graviil, B.; Heller, R.; Millet, F.; Nicollet, S.;

Chesny, P.

Design of a cooling system for the cold test of the ITER TF coils before installation.

Zhang, L. [Hrsg.]

Proc.of the 20th Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 20), Beijing, China, May 11-14, 2004

Amsterdam [u.a.] : Elsevier, 2005 S.87-90 ISBN 0-08-044559-4

Zahn, G.R.; Fietz, W.; Heller, R.; Kienzler, A.; Lietzow, R.; Tanna, V.L.
Cryogenic benefits of a 70 kA high temperature superconductor current lead.
Weisend, J.G. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.1253-60
(AIP Conference Proceedings ; 823) (Advances in Cryogenic Engineering ; 51) ISBN 0-7354-0317-1

Zahn, G.R.; Dittrich, G.; Lietzow, R.; Meyer, I.; Specht, E.; Süßer, M.
Installation and test of a helium centrifugal pump into the TOSKA facility.
Weisend, J.G. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Keystone, Colo., August 29 - September 2, 2005 Melville, N.Y. : AIP, 2006 S.1860-66
(AIP Conference Proceedings ; 823) (Advances in Cryogenic Engineering ; 51) ISBN 0-7354-0317-1

Zani, L.; Ciazynski, D.; Heller, R.; Wüchner, F.; Rajainmäki, H.
Study of current distribution in ITER TFMC NbTi Busbar III.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.864-67

Day, Chr.; Glugla, M.; Janeschitz, G.
Der ITER-Brennstoffkreislauf – Wasserstoffprozessertechnik für die Fusion.
Nachrichten – Forschungszentrum Karlsruhe, 38 (2006) S. 19-21

Fietz, W.H.; Heller, R.; Komarek, P.; Lietzow, R.; Zahn, G.R.
Weltrekord bei der Hochtemperatursupraleitung.
Nachrichten – Forschungszentrum Karlsruhe, 38 (2006), S. 25-27.

Komarek, P.; Goldacker, W.; Noe, M.
Supraleitende Strombegrenzer und Supraleiterentwicklung für die Energietechnik.
Nachrichten – Forschungszentrum Karlsruhe, 38 (2006) S. 56-58.

Patente

Goldacker, W.
Mehrkern-BSCCO-Hochtemperatur-Supraleiter.
DE-PS 19 808 834 (25.3.1999)
JP-PS 3 759 696 (13.1.2006)

Hofmann, A.
Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen mit einem Kryogenerator des aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases.
DE-PS 10 137 552 (11.9.2002)
WO 03/12 803 (13.2.2003)
EP-OS 1 412 954 (28.4.2004)
CN-PS 2 815 086 (9.8.2006)
US-PS 6 990 818 (31.1.2006).

Kontakte

Postanschrift

Institut für Technische Physik
Forschungszentrum Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Telefon: 07247 82 - Durchwahl

Email: Vorname.Nachname@itp.fzk.de

www.fzk.de/itp

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe (-3500)

Vertreter

Dr. Walter Fietz (-4197)

Sekretariat

Marion Gilliar (-3501)

Professor a. D.

Prof. Dr. Peter Komarek (-2652)

Hochfeldmagnete

Dr. Theo Schneider (-2344)

Kryotechnik

Dr. Holger Neumann (-2625)

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Dr. Wilfried Goldacker (-4179)

Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Wissenschaftliche Leitung

Dr. Manfred Glugla (-3226)

Administration

Kai Bauer (-3705)

Fusionsmagnete

Dr. Walter Fietz (-4197)

Dr. Reinhard Heller (-2701)

Vakuumtechnik

Dr. Christian Day (-2609)

Koordination KATRIN im ITP

Dr. Beate Bornschein (-3239)

Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Leitung Betrieb und Sicherheit

Dr. Lothar Dörr (-4546)