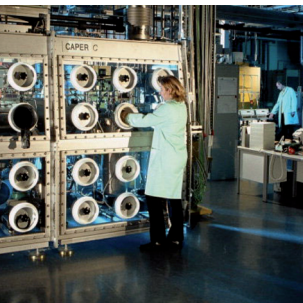




Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Technische Physik

**Ergebnisbericht
über Forschung und Entwicklung 2007**

Impressum

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

Telefon +49 7247/82-3501

www.fzk.de/itp

Texte und Bilder : B. Bornschein, C. Day,
L. Dörr, W. Fietz, W. Goldacker, P. Komarek,
H. Neumann, M. Noe, T. Schneider

Das Titelfoto zeigt die CAPER-Anlage zur Tri-
tiumrückgewinnung im Tritiumlabor Karlsruhe
(TLK).

Gestaltung: I. Berger, S. Orgeldinger

Druck: Forschungszentrum Karlsruhe

Mai 2008

Inhalt

Vorwort	4
Ergebnisse aus den Forschungsbereichen	6
Magnetentwicklung für die Kernfusion	6
Supraleitende Höchstfeld- und NMR-Magnete	8
Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen	10
Tritiumlabor Karlsruhe	12
Vakuumtechnik	16
Kryotechnik und Kälteanlagen	18
Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN	20
Lehre und Bildung	22
Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen	22
Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten	23
ITP Kolloquium	24
30 Jahre Institut für Technische Physik	25
Einführung	25
Die ersten zehn Jahre	26
Entwicklung des ITP seit 1987	30
Zahlen und Daten	38
Veröffentlichungen	40
Kontakt	51

Vorwort

Das Institut für Technische Physik (ITP) versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum für Fusions-, Supraleitungs- und Kryotechnologie mit folgenden Schwerpunktbereichen:

- Technologie für Fusionsmagnete
- Tritium-Verfahrenstechnologie
- Vakuumtechnik
- Kryotechnik
- Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen der Supraleitung
- Supraleitende Hochfeldmagnete

Die Arbeiten des ITP sind langfristig in den Programmen „Fusion“, „Rationelle Energieumwandlung“ und „Struktur der Materie“ des Forschungszentrums Karlsruhe und der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren verankert.

Für die komplexen und meist multidisziplinären Aufgaben sind einzigartige große Versuchsanlagen und Labore mit entsprechender technischer Infrastruktur verfügbar, wie das Tritiumlabor Karlsruhe, die TOSKA Anlage, die TIMO Anlage, das Hochfeldmagnetlabor, das kryogene Hochspannungslabor und das Supraleiter-Materiallabor.

Das Jahr 2007 brachte neben den wissenschaftlichen Ergebnissen einige besondere Herausforderungen und Ereignisse, die ich im Folgenden kurz erwähnen möchte.

Bedingt durch den altersbedingten Ruhestand vieler erfahrener Leistungsträger in den vergangenen Jahren sowie durch bedeutende neue Aufgaben, die das ITP in der Fusionsmagnettechnologie übernommen hat, ist es zwingend erforderlich, neues Fachpersonal zu gewinnen. Dieses Bestreben hat zu ersten sichtbaren Erfolgen geführt, ist aber längst noch nicht abgeschlossen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Integration von Mitarbeitern des IPP aus Garching und Greifswald zur zeitweiligen Unterstützung der Arbeiten für die Stellarator-Fusionsanlage W7-X ausgezeichnet gelungen ist.

Für W7-X entwickelt, baut und testet das ITP die Stromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern und prüft einen Teil der nicht-planaren supraleitenden Torusspulen in der TOSKA Anlage. Diese wurde dazu weiter umgebaut und angepasst.

Das Tritiumlabor Karlsruhe erhielt vom Umweltministerium in Stuttgart eine neue Be-

triebsgenehmigung, die den Umgang mit bis zu 40 g Tritium erlaubt und die für das Neutrinooexperiment KATRIN erforderlichen Genehmigungen einschließt.

Die Gruppe Vakuumtechnik im ITP ist bei ITER verantwortlich für Design, Bereitstellung und Test der Kryovakuumpumpen. 2007 wurde mit der Vergabe des Auftrags für die 1:1 Kryovakuumpumpe an die Industrie ein weiterer Meilenstein erreicht. Erste Kryopanelle für diese Vakuumpumpe wurden erfolgreich hergestellt.

In der Supraleitermaterialentwicklung wurden außerordentlich dünne MgB_2 Drähte mit mehr als 100 m Länge zur Herstellung von Flüssigwasserstoff-Sonden entwickelt und erstmals auch supraleitende MgB_2 Kontakte realisiert. Bei den energietechnischen Anwendungen konzentrierten sich die Arbeiten auf die Strombegrenzerentwicklung und die kryogene Hochspannungstechnik. Ein neuer Teststand zur Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften von LN_2 bei sehr hohen Spannungen (>100 kV) ging erfolgreich in Betrieb.

Im Hochfeldlabor wurde die Testanlage HOMER I nach 25-jährigem Betrieb gründlich überholt. Für die Testanlage HOMER II wurde der künftige Einsatzflansch für $(NbX)_3Sn$ -Einsatzspulen bis 24 T konstruiert.

Die Arbeiten in der Kryotechnik umfassten im Wesentlichen die weitere Entwicklung komplexer und außerordentlich großer Kryosysteme, wie beispielsweise für TOSKA und KATRIN sowie den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Kälteanlagen.

2007 wurde vom ITP eine neue europäische Sommerschule zu Materialien und Anwendungen der Supraleitung initiiert und erstmals in



Teilnehmer, Veranstalter und Vortragende der ersten internationalen Sommerschule zu Materialien und Anwendungen der Supraleitung in Karlsruhe

Karlsruhe organisiert. Eine weitere neue Sommerschule zur Fusionstechnologie, ebenfalls in Karlsruhe, wurde vom ITP wesentlich unterstützt.

Der frühere langjährige ITP-Direktor Professor Dr. Peter Komarek erhielt 2007 zwei ehrenvolle Auszeichnungen: Im Mai berief das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ihn für fünf Jahre in das neu gegründete Network of Excellent Retired Scientists (NES). Darüber hinaus bekam Professor Komarek am 17. Dezember 2007 für seine außerordentlichen Verdienste in der angewandten Supraleitungsforschung den renommierten Heinrich-Hertz-Preis der EnBW-Stiftung und der Universität Karlsruhe verliehen. Gewürdigt wurden damit besonders seine herausragenden Verdienste bei der Entwicklung und dem Bau von großen supraleitenden Magnetspulen, wie sie beispielsweise für die Fusion benötigt werden.



Verleihung des Heinrich-Hertz-Preises an Professor Dr. Peter Komarek (Mitte) durch EnBW-Vorstandsmitglied Dr. Hans-Josef Zimmer (links) und den Rektor der Universität Karlsruhe, Professor Dr. Horst Hippler (rechts)

Als Direktor des ITP wurde ich 2007 in das Board der European Society of Applied Superconductivity (ESAS) gewählt und als Gastmitglied in den Industrieverband Supraleitung (ivSupra) berufen.

2007 wurde mit der Renovierung unserer Bürogebäude begonnen. Ich danke unserem Vorstand, allen Beteiligten vom Institut, den ausführenden Firmen sowie dem Bereich Technische Infrastruktur für ihren Einsatz.

Nicht zuletzt gilt mein ganz besonderer Dank allen Partnern des ITP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie für die vertrauensvolle und fruchtbare Zusammenarbeit im Jahr 2007.

Herzlichst Ihr

A handwritten signature in blue ink that reads "Mathias Noe". The signature is fluid and cursive.

Mathias Noe

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Magnetentwicklung für die Kernfusion

Im Bereich Magnetentwicklung war das Jahr 2007 geprägt von Arbeiten für ITER und DEMO sowie für W7-X.

Arbeiten für ITER (einschließlich Broader Approach) und DEMO

Das ITP nahm Basisuntersuchungen für das Design von HTS-Stromzuführungen für ITER vor. Da das Stromzuführungspaket für ITER mittlerweile allein von China abgearbeitet werden soll, stellte das ITP diese grundlegenden Untersuchungen Anfang des Jahres ein und verfasste einen Endbericht.

Im Task TW5-TMS-HTSMAG (Scoping Study of HTS Fusion Magnets) wurde anhand der innerhalb des Tasks TW5-TMS-HTSPER ermittelten Werte untersucht, auf welche Weise HTS-Systeme sich für künftige Fusionsmagnete nutzbar machen lassen. Insgesamt ist der Einsatz von HTSL-Materialien nur dann sinnvoll, wenn die Betriebstemperatur so hoch ist, dass auf ein separates Strahlungsschild für den Vakuumbehälter verzichtet werden kann.

Beim Task TW6-TMSP-PFWDES (Review of PF2-PF5 Winding Design) erfolgte die hochspannungstechnische Unterstützung für CRPP bei der Überarbeitung des Aufbaus der ITER PF-Spulen.

Im Task TW6-TMSC-COILMO (Definition of Procedures for Electrical Coil Testing and PF Transient Analysis) nahm das Institut FEM-Berechnungen zur Erstellung von Spulenmodellen vor, die dazu dienen, das transiente elektrische Verhalten des PF-CS-Plasma-Spulen Systems zu untersuchen.

Beim Task TW5-TMSM-CRYTEST (Cryogenic Testing of Materials, Welds and ITER Mock-ups for Magnet Structures) nahm das ITP neben diversen mechanischen Tests zur Zugfestigkeit und Bruchmechanik an Strukturmaterialien für ITER Experimente innerhalb der Entwicklung des sogenannten European Dipole EDIPO vor. Da die entsprechenden Tests erfolgreich durchgeführt sind, ist dieser Task abgeschlossen. Das EFDA benötigt jedoch weiterhin dringend verschiedene Tests zu Zugfestigkeit, Bruchmechanik und Risswachstum von Strukturmaterialien, speziell von Isolationsmaterialien bei kryogenen Temperaturen. Daher wurde ein neuer Task TW6-TMSM-CRYOGT initiiert.

Im Rahmen eines Tasks zur kryogenen Stromspannungs-Charakterisierung wurde an 22 von CEA gefertigten supraleitenden Sub-Kabeln der Einfluss verschiedener Kabelparameter systematisch untersucht (Abb. 1). Dabei ließ sich zeigen, dass die „void fraction“ eine Schlüsselrolle spielt. Bei zu hohen Werten, das heißt geringer Kompaktierung, ist eine Degradation in den maximal erreichbaren kritischen Stromwerten unter Dehnung zu beobachten.



Abb. 1: Querschnittsansicht des kleinsten Sub-Kabels 3x3 (Ø 3.3 mm), des nächstgrößeren Sub-Kabels 3x3x5 (Ø 7.6 mm) und der größten Cable in Conduit-Probe im 3x3x5x4 Layout (Ø 15 mm)

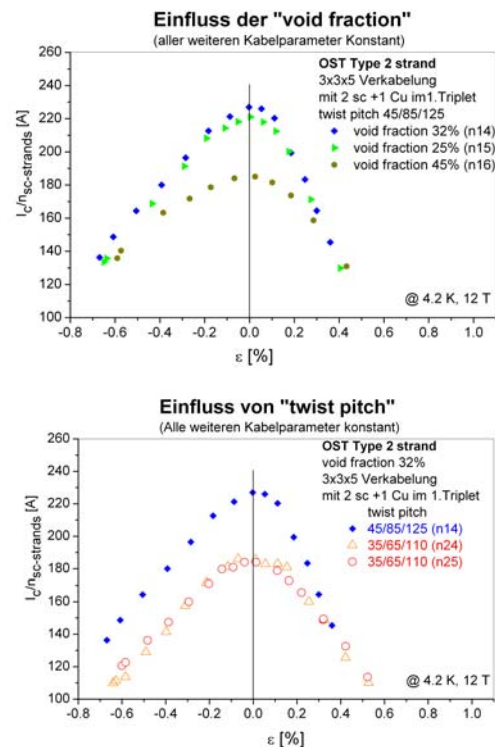


Abb. 2: Einfluss von „void fraction“ und „twist pitch“ am Beispiel eines Supraleiterstrand-Typs (OST Typ 2)

Zusätzlich führt ein zu kurzer Abstand beim „twist pitch“ zu einer Degradation in den elektrischen Eigenschaften. (Abb. 2). Diese Hinweise bestätigten sich auch bei Proben, gemessen in SULTAN (Schweiz), bei denen sich

eine Degradation des kritischen Stromes durch eine bessere Stabilisierung mit reduzierter „void fraction“ vermeiden ließ.

Im Rahmen des „Broader Approach“ ist das ITP mit Auslegung, Konstruktion, Bau und Test von Stromzuführungen für JT60-SA beauftragt worden. Der gegenwärtige Stand des Designs geht von sechs Stromzuführungen für die TF-Spulen mit einem Leiterstrom von etwa 26 kA und 20 Stromzuführungen für die CS&EF Spulen mit einem Leiterstrom von maximal 21 kA aus. Sobald die Finanzierung sichergestellt ist, wird mit den Designaufgaben begonnen. Dabei lassen die Ergebnisse des Stromzuführungsprojekts für W7-X, wie Basisauslegung und Materialqualifizierung, sich mit verwenden.

Arbeiten für W7-X

(Stromzuführungen und Vorbereitung der Tests von W7-X Spulen in TOSKA)

Das ITP setzte die Arbeiten zu Design, Konstruktion, Bau und Test der für W7-X notwendigen Stromzuführungen fort. Das Design ist weitgehend abgeschlossen; erste Modellbauteile sind angefertigt. Das HTSL-Material wurde qualifiziert, und die Beschaffung der Materialien ist angelaufen (Abb. 3 und 4).

Die Vorbereitungen zum Test von W7-X Spulen in TOSKA bildeten 2007 einen Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich Fusionsmagnete. Die umfangreichen Planungen mündeten in zahlreiche parallel laufende Aufbauarbeiten, die sich wegen der engen Personalsituation und der gleichzeitig knappen Terminvorgaben als enorm herausfordernd erwiesen und bis ins Jahr 2008 andauerten.

Die Infrastruktur von TOSKA wurde weitgehend umgebaut, um Raum für den Neuaufbau zu schaffen. Die umfangreichste Neuinstallation stellt die neu aufzubauende Kryoinfrastruktur dar, die das Testbett für die gleichzeitige Prüfung von drei W7-X Spulen bereitzustellen hat. Die komplexe Installation

wird begleitet vom Neuaufbau der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, welche die Steuerung des Systems unter Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Aspekte ermöglicht. Neu aufgebaute Vakuumsysteme werden die für den Serientest notwendige hohe Pumpleistung bereitstellen.

Die derzeit überprüfte und instand gesetzte Elektronik wird zusammen mit dem derzeit vorbereiteten Messdaten-Erfassungssystem die Erfassung aller relevanten Versuchsdaten ermöglichen. Die dafür erforderliche Datenbank wird vom IPE erstellt. Dieses baut auch ein neues Quench-Detektionssystem auf. Parallel zu diesen Arbeiten bereitet IPP die Spulenaufhängung (Grundgestell, Leiter und Gestelle) sowie das supraleitende Bussystem vor (Abb. 5 bis 7).



Abb. 3: 1:1-Modell des Wärmetauschers



Abb. 4: 1:1 Modell des HTSL-Bauteils (links) und Querschnitt eines HTSL-Bandleiterstapels



Abb. 5: Neue Ventile am B250 als Beispiel für die Überholung der Kryo- und Vakuumtechnik bei TOSKA



Abb. 6: MSR-Schränke in Vorbereitung für neue MSR-Technik. Im Hintergrund Spulengestelle (IPP)



Abb. 7: Neue Hochstromschalter; neue Datenerfassung im Aufbau; QD System und Elektronik werden überholt.

Supraleitende Höchstfeld- und NMR-Magnete

In der Hochfeld-Magnetentwicklung war 2006 ein einzigartiger Meilenstein erreicht worden: die erste Ausbaustufe der supraleitenden Hochfeldexperimentieranlage HOMER II, ein Zentralmagnetfeld von 20 T in einer freien Bohrung von 185 mm. Im Jahr 2007 konzentrierte sich die Gruppe daher auf den weiteren Ausbau und die Modernisierung der Anlagen.

F&E-Hochfeldexperimentieranlage Jumbo

Wiederum zeigte sich, dass die Jumbo-Anlage mit ihrem großvolumigen Heliumbad und den Hauptspulenkonfigurationen von 10 T/ \varnothing = 100 mm respektive 15 T/ \varnothing = 44 mm ein nützliches Instrument zur stationären E(I)-Charakterisierung von technischen Supraleitern (einlagige Solenoide) unter simultaner Lorentzkraft mit Transportströmen über 3000 A darstellt. Aufgrund gestiegener Anforderungen in den NMR-Projekten traten 2007 lorentzkraftfreie Messungen (I || B) in den Vordergrund. Dazu wurden neue Probenhalter zur Charakterisierung von Einzelleitern, aber auch von supraleitenden Verbindungen – wiederum mit Transportströmen bis 3000 A – gefertigt und erfolgreich in Betrieb genommen. Der Einsatz des Innenkryostaten für die 10 T/100 mm Spulenkonfiguration erlaubt temperaturvariable, magnetfeldabhängige Untersuchungen in einer freien Bohrung von etwa 73 mm. Mit dieser Anordnung werden beispielsweise gemeinsam mit dem IEKP Messungen des Lorentzwinkels von Halbleiterdetektoren für den ATLAS-Detektor bei CERN oder zur Magnetfeldabhängigkeit von Temperatur- und Hallsensoren innerhalb der Fusionsprojekte durchgeführt. Zudem wird diese Anordnung auch für stationäre E(I, B)-Charakterisierungen von technischen HTSL-Langdrahtproben bei beispielsweise 77 K unter Lorentzkraftereinfluss genutzt.

25 Jahre

F&E-Hochfeldexperimentieranlage HOMER I

Die Experimentieranlage HOMER I mit mannigfaltigen Spulenkonfigurationen von 12 T/250 mm bis zu 20 T/50 mm ist 25 Jahre nach Inbetriebnahme das unverzichtbare Werkzeug zur E(I)-Charakterisierung technischer Supraleiter, das heißt zur Bestimmung der physikalischen Parameter I_c und n unter simultaner Lorentzkraftbelastung bis 300 MPa im Hochfeldbereich. Ebenso unverzichtbar ist HOMER I bei der Charakterisierung von Bi-2223 Prototyp-Einsatzspulen gewickelt mit Leiterlängen größer 100 m. Ohne diese Möglichkeit zu Un-

tersuchungen NMR-relevanter Supraleiter am späteren Betriebspunkt wäre der enorme Erfolg der TT-Projekte zur NMR-Spektroskopie undenkbar. Im Jahr 2007 wurde HOMER I überholt, modernisiert und aufgerüstet (Abb. 1). Neben der Erneuerung aller elektrischen Zuleitungen, die nach dem 25-jährigen Betrieb auf Grund unzähliger Temperaturzyklen zwischen Raumtemperatur und 1.8 K brüchig waren, wurden die Magnetpotentiale neu verlegt, der Hochspannungsschutz verbessert, die Unterkühlereinheit überprüft und repariert sowie ein neues Wasserbad gefertigt.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag allerdings bei der Aufrüstung der Anlage für Untersuchungen an monolithischen $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Hochstrom/Hochfeld-Leitern in Bezug auf das resistive Übergangsverhalten in Abhängigkeit von Temperatur (4,2 K bis 1,8 K) und angelegtem Magnetfeld (B bis 20 T) unter Variation der Reaktionsglühungen der Testspulen.

Die Herausforderung besteht dabei in der reproduzierbaren Bestimmung der physikalischen Parameter technischer Supraleiter in einem thermisch stabilen unterkühlten Helium-II-Bad mithilfe einer neuartigen Kombination von Stromzuführung und Testspulenkörper für Transportströme bis 2000 A und n -Werte im Korridor zwischen 20 und 200. Eine solche 2000 A Stromzuführung und in ihrer elektrischen Verlustleistung optimierte neue Testspulenkörper wurden gefertigt und getestet. Infolge der nun höheren magnetischen Flussänderungen beim Quench der Testspule war es außerdem erforderlich, ein neues Quenchdetektionssystem zu entwickeln, bei dem Testspule und HOMER I-Magnetsystem aufeinander abgestimmt sind. Mit dieser neuen Ausstattung wurden erste erfolgreiche Serienmessungen



Abb. 1: 25 Jahre HOMER I – das Magnetsystem nach erfolgreicher Modernisierung

gen an den aktuellsten Hochstrom-Supraleitern der Industriepartner durchgeführt, auch innerhalb der TT-Projekte.

F&E-Ausbau der Hochfeldexperimentieranlage HOMER II

Der Ausbau von HOMER II geschieht in zwei Richtungen: Zum einen erfährt die Anlage in der nächsten Phase ein Upgrade mit Einsatzspulen aus Hochstrom-(NbX)₃Sn-Supraleitern, bei dem ein rein supraleitendes System mit einer freien Bohrung von 50 mm und einem Zentralmagnetfeld von 24 T bei einer Temperatur von 1,8 K angestrebt wird. Dazu geschahen die ersten Vorarbeiten, wie Konstruktion des Einsatzflansches sowie Konstruktion und Bau der Spulenkörper und Komponenten. Die weiteren Aufgaben bestehen darin, kommerzielle technische (NbX)₃Sn-Supraleiter zu finden, die bei 24 T eine noch ausreichend hohe Stromdichte besitzen. Dies erfordert umfangreiche E(I)-Messungen unter Variation der Reaktionsbedingungen.

Der Erfolg dieser nächsten Ausbaustufe wird wesentlich von der Reduktion des kritischen Stromes I_c der eingesetzten kommerziellen (NbX)₃Sn-Supraleiter bei 24 T unter der simultanen Lorentzkraftbelastung bestimmt. Hersteller- und Literaturangaben über das $I_c(I)$ -Verhalten bei 24 T und 1,8 K sind nicht vorhanden.

Diese notwendigen Daten lassen sich näherungsweise aus HOMER II-Messungen bei 20 T/1,8 K und simultaner Lorentzkraft durch Extrapolation ermitteln. Daher wird derzeit in einer zweiten Linie ein Experimentiereinsatz für HOMER II konstruiert, bestehend aus einem Dreifachspulenkörpersatz mit den Durchmes-

sen 45 mm, 90 mm und 180 mm sowie den zugehörigen Strom- und Potenzialzuführungen.

Technologietransferprojekte

Die Technologietransferprojekte mit der Bruker BioSpin GmbH konzentrierten sich im Jahr 2007 zum einen auf NMR-taugliche Messungen von modernen Hochstrom-NbSn-Supraleitern mit I_c -Werten größer 1000 A bei einem Magnetfeld von 20 T. Zum anderen ging es um die Untersuchung und Optimierung von supraleitenden Hochstrom-Verbindungen, die in das gemeinsame 1000 MHz-Projekt einfließen.

Institutionelle Zusammenarbeit

Für seine zukünftigen Aufgaben in der Fusionstechnik benötigt das ITP Potenzialtrenner. Diese sollen vorgegebene Spezifikationen hinsichtlich Hochspannung und Druckfestigkeiten erfüllen. Mit ihrem Know-how auf diesem Spezialgebiet fertigte die Gruppe verschiedene Potenzialtrenner-Prototypen und untersuchte sie auf ihre Eigenschaften. Mit dem erfolgreichen Bau und Test kompakter Prototypen mit 15 kV Spannungsfestigkeit und einer Druckfestigkeit bis 30 bar schuf sie die Grundlage, um eine erste Vorserie zu fertigen.



Abb. 2: Skizze eines Potenzialtrenners für die Fusionstechnologie

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Supraleitermaterialentwicklung

Die Supraleiterentwicklung konzentrierte sich auf Magnesiumdiborid (MgB_2) und den Hochtemperatur-Supraleiter Yttrium-Barium-Kupfer-Oxid (YBCO) als Dünnschicht-Bandleiter (CC = Coated Conductor) mit ersten beispielhaften Anwendungen dieser Materialien.

YBCO-Bandleiterentwicklung

Für fortgeschrittene YBCO-Bandleiter entwickelt das ITP ökonomische nasschemische Beschichtungsverfahren auf würfeltexturierten NiW-Substratbändern in Kooperation mit den Partnern eines virtuellen Instituts der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Dank der Zusammenarbeit ließ sich der vollkommen chemisch deponierte Aufbau auf eigenen Substratbändern realisieren. Auf einer zweifachen, im ITP chemisch deponierten Pufferschicht aus LZO und CeO_2 wurde vom IOT Braunschweig eine mittels MOCVD deponierte YBCO-Schicht aufgebracht. Die gemessenen Stromdichten von bis zu 2 MA/cm^2 erreichen den Stand der Technik und stellen für die noch seltene komplett chemische Präparation im globalen Vergleich einen Spitzenwert dar.

Die erstmals vom Forschungszentrum Karlsruhe vorgestellten verseilten YBCO-Hochstrombandleiter mit Roebel-Struktur aus kommerziellem Material wurden weiterentwickelt (Abb. 1). Auf der Basis von Leitsilber wurde die technische Notwendigkeit einer elektrischen Kopplung der Strands gezeigt, und die Wechselstromverluste wurden erstmals vermessen. Die Kopplungsverlustbeiträge zu den Wechselstromverlusten waren gering im Vergleich zur Hauptkomponente, den Hystereseverlusten. Diese lassen sich nur durch filamentäre Strukturierung zukünftiger Strands reduzieren, was ein günstiges Verhältnis der einzelnen Verlustbeiträge bewirkt. Für AC Untersuchungen wurde ein THEVA-Bandleiter in fortgeschrittener Qualität mit einer Stromtragfähigkeit von $>300 \text{ A}$ verwendet (Abb. 1).

YBCO-Bandleiter nach dem derzeit am weitesten entwickelten Herstellungsverfahren der Firma Superpower bieten dank der Verwendung eines hochfesten Hastelloy-Substratbandes hervorragende mechanische Eigenschaften, die kleine Wickelradien bei Magnetspulen gestatten. Für eine experimentelle Anordnung des ISAS-Instituts in Japan wurde eine kompakte Magnetspule aus 40 m

Superpower YBCO-Bandleiter hergestellt, die bei einer Betriebstemperatur von $4,2 \text{ K}$ ein Feld von $1,7 \text{ T}$ erzeugte (Abb. 2). Die hohe Festigkeit und die außerordentlich gute thermische Stabilisierung des Leiters erlaubten einen ganz einfachen Spulenaufbau ohne Verguss der Wicklungen.

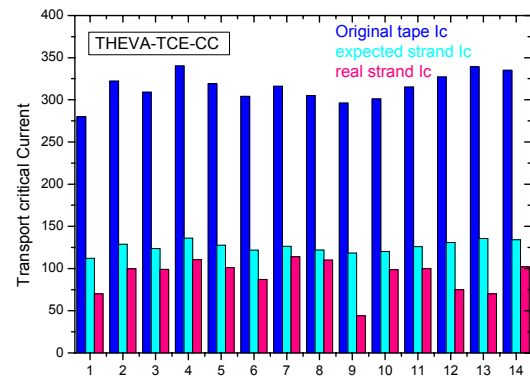
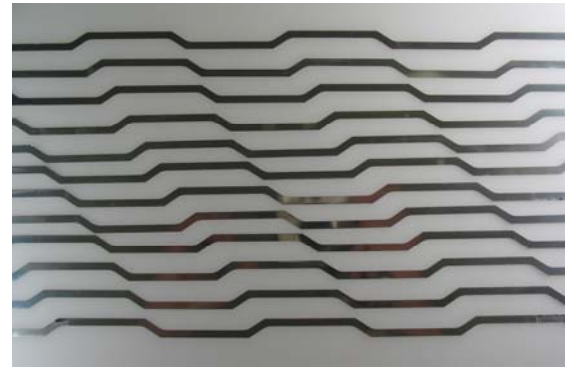


Abb. 1: AC Roebel-Kabel aus THEVA-Bandleiter mit $> 300 \text{ Ampere}$ Transportstrom

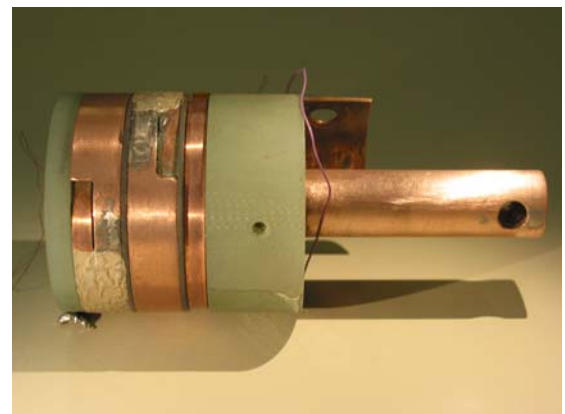


Abb. 2: Supraleitender Magnet aus 40 m YBCO-Bandleiter (MOCVD-Superpower) in fünf seriellen Pancake-Teilspulen. Durchmesser 50 mm ; Feldstärke $1,7 \text{ T}$ bei $4,2 \text{ K}$

Magnesiumdiborid-Leiterentwicklung

Für die technische Anwendung in der Flüssigwasserstofftechnologie wurden die Herstellungsmöglichkeiten für dünne Magnesiumdiborid (MgB_2)-Supraleiterdrähte mit Durchmessern von etwa 0,1 mm erweitert und optimiert. Dadurch ließen sich Spezialdrähte mit Längen von >100 m für den industriellen Einsatz herstellen.

Grundlegendere Arbeiten bestanden in Untersuchungen zur Verbesserung der Stromtragfähigkeit von MgB_2 -Leitern. Die supraleitenden Eigenschaften technischer Drähte für Wicklungen von Magneten oder Motoren lassen sich durch Zusatz von Fremdphasen als Flussverankerungszentren beziehungsweise zur Limitierung des Kornwachstums durch Nebenphasen erheblich verbessern.

In diesem Zusammenhang wurde eine innovative Zweifach-Dotierung mit SiC und CaB_6 entwickelt. Zum einen wird dadurch gezielt die Magnetfeldverträglichkeit verbessert (Einbringen nanoskaliger Nebenphasen als Flussverankerungszentren, Erhöhung des kritischen Feldes durch Einbau des Kohlenstoffs in das Kristallgitter), zum anderen werden Oxidbarrieren in den Korngrenzen durch das Kalzium abgebaut. Während die Verbesserung der Feldverträglichkeit vor allem die Stromtragfähigkeit in hohen Magnetfeldern beeinflusst, führt der Abbau von Oxidbarrieren durch CaB_6 -Dotierung zu einer eher feldunabhängigen Erhöhung des kritischen Stromes. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, lassen sich die Effekte durch gezielte Kombination der Zusätze steuern.

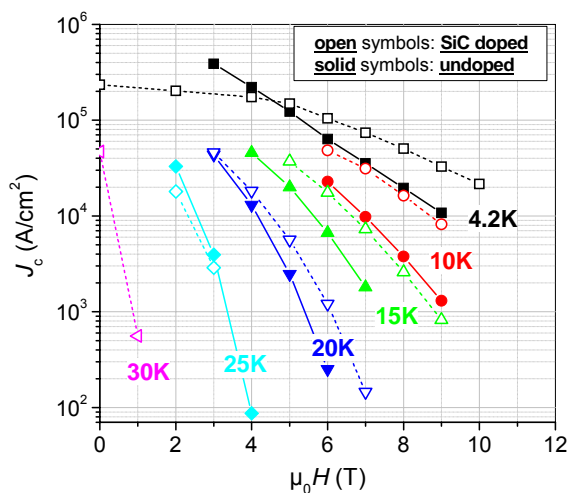


Abb. 3: Nano-SiC Dotierung in MgB_2 erhöht das obere kritische Feld und damit im Wesentlichen die Stromtragfähigkeit in hohen Magnetfeldern.

Energetechnische Anwendungen

Die Arbeiten in diesem Bereich konzentrierten sich auf die neuartigen supraleitenden Netzbetriebsmittel, wie den supraleitenden Strombegrenzer (SSB) und den supraleitenden magnetischen Energiespeicher (SMES). Dieser Schwerpunkt wird künftig ergänzt durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu einer höheren Energieeffizienz durch Supraleitung.

Dabei geht es vor allem um die Entwicklung von Prototypen und Demonstratoren. Die verfügbare experimentelle Ausstattung ist in ihrer Kombination (SSB-Labor, SMES-Labor, kryogenes Hochspannungslabor) einzigartig und ermöglicht es, Aufgaben von der Materialcharakterisierung über den Test von einzelnen Komponenten bis hin zu vollständigen Tests von Prototypen zu bearbeiten.

Um die Entwicklung von supraleitenden Betriebsmitteln für die Hochspannungsebene (>100 kV) zu ermöglichen, wurde das kryogene Hochspannungslabor um eine neue Prüfhalle erweitert (siehe Abb. 4).

Bei der SSB-Entwicklung wurden für beschichtete Bandleiter grundlegende Untersuchungen durchgeführt, welche die ausgezeichnete Eignung dieses Materials für eine SSB-Anwendung demonstrieren. Mit vereinfachten Simulationsmodellen lässt sich dabei die Temperaturerhöhung im Begrenzungsfall ganz genau berechnen.

Die Arbeiten zur Entwicklung eines SSB für die Hochspannung wurden fortgeführt. Dabei wurde eine erweiterte Phase zur Optimierung der supraleitenden Komponente vereinbart.



Abb. 4: Neue Prüfhalle des kryogenen Hochspannungslabors

Tritiumlabor Karlsruhe

Die Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) der ehemaligen Hauptabteilung Versuchstechnik (HVT) wurde zum 1. Januar 2007 organisatorisch dem Institut für Technische Physik zugeordnet, wobei ihre Strukturen bestehen blieben.

Das TLK ist ein in Europa und Amerika einzigartiges Halbtechnikum mit einer Umgangsgenehmigung für 40 g (ca. 400 kCi) Tritium, 100 kg abgereichertes Uran sowie Rubidium und Krypton als Prüfstrahler zu Kalibrierzwecken. Auf einer Experimentierfläche von über 1000 m² stehen mehr als zehn Handschuhkastensysteme mit einem Volumen von insgesamt rund 125 m³ als Einschluss für die tritiumführenden Versuchsanordnungen zur Verfügung. Gründungsaufgabe und umfangreichster Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Der zweite Schwerpunkt liegt im Aufbau von wesentlichen Systemen des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Neutrinos.

Betrieb und Infrastruktur des TLK

Nach mehr als zweijähriger intensiver Arbeit erhielt das TLK eine neue Betriebsgenehmigung. Diese war wegen der wesentlichen Erweiterung des räumlichen Umgangs mit Tritium und der Handhabung von Rubidium und Krypton als Prüfstrahler für KATRIN notwendig geworden. Auch gewährt diese Genehmigung mehr Flexibilität beim Aufbau von neuen Experimenten.

Zur Unterstützung des umfangreichen Forschungsprogramms für das Programm Fusion war die Infrastruktur des geschlossenen Tritiumkreislaufes im Tritiumlabor uneingeschränkt verfügbar. Extern angeliefertes Tritium wird entweder in das Tritiumlager eingespeist oder unmittelbar für Experimente genutzt. Während der Experimente wird das Tritium verdünnt und verunreinigt, so dass es nach Abschluss der Experimente in der Anlage zur Rückgewinnung von Wasserstoff gereinigt wird, bevor die abgetrennten Wasserstoffisotope (H, D, T) in der Isotopenanlage getrennt werden. Das Tritium wird dann für erneute Experimente verwendet oder im Lager gespeichert (siehe Abb. 1).

Die experimentelle Anlage zur Entwicklung der Plasmaabgasreinigung für ITER (CAPER) wurde im Verbundbetrieb mit der Infrastruktur in drei Transfers mit etwa 5,1 g Tritium versorgt; das Tritium wurde nach der Nutzung gereinigt, aufkonzentriert und zurück ins Tritiumlager transferiert. Insgesamt wurden zwischen den Anlagen des Tritiumlabors 20 Transfers (siehe Abb. 1) durchgeführt.

Dabei wurden 662 l (NTP) Wasserstoff (H, D, T) mit einer gesamten Tritiumaktivität von 8.9×10^{15} Bq (etwa 18.8 g) transferiert. Mit der Isotopentrennanlage wurde das Tritium in 50 Trennläufen wieder aufkonzentriert, so dass das unterdessen im Tritiumlabor vorhandene Tritiuminventar von etwa 18 g für die verschiedenen Experimente ausreichte.

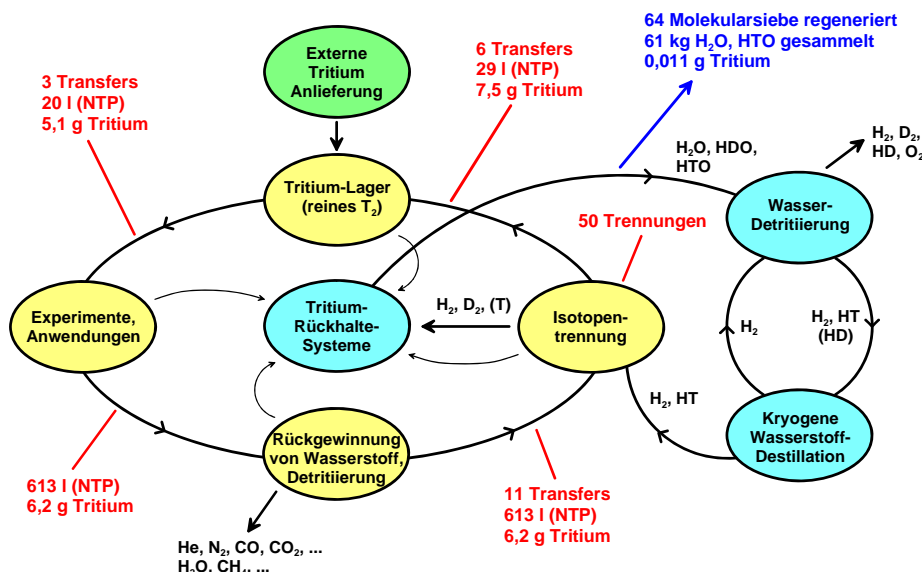


Abb. 1: Geschlossener Tritiumkreislauf im Tritiumlabor

Die im Tritiumlabor eingesetzten Tritiumrückhaltesysteme basieren auf der katalytischen Oxidation von Wasserstoff zu Wasser mit der anschließenden Sammlung von H₂O und HTO in Molekularsieben. Zur Kosten- und Abfallminimierung wurden insgesamt 64 Molekularsiebe regeneriert. Dabei wurden etwa 61 kg tritiiertes Wasser mit 0.011 g Tritium gesammelt und an die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe abgegeben. In einem äußerst umfangreichen experimentellen Forschungsprogramm wird jedoch gegenwärtig eine Anlage zur Wasserdetritierung mit kryogener Wasserstoffdestillation im Tritiumlabor entwickelt, so dass das im Wasser enthaltene Tritium sich auch wieder in den Kreislauf zurückführen lässt (siehe Abb. 1).

Zum Jahresende 2007 wurden weitere 5 g Tritium beschafft, um die durch radioaktiven Zerfall verringerte Menge wieder auszugleichen, so dass die Gesamtmenge Ende 2007 ca. 23 g betrug.

F&E Fusion im TLK

Im Programm Fusion bilden die experimentellen Arbeiten zur Entwicklung der Detritierung von Wasser (HTO), gekoppelt mit der kryogenen Destillation von Wasserstoffisotopen, einen Schwerpunkt. Zur Detritierung des Wassers dient der bekannte CECE (Combined Electrolysis Catalytic Exchange) Prozess.



Abb. 2: Detritierung von Wasser

Kernkomponenten dieses Prozesses sind ein Elektrolyseur und eine 8 m lange LPCE (Liquid Phase Catalytic Exchange) Säule. Nach Installation und Inbetriebnahme wurde der Wasser

detritierungsprozess erstmals mit Tritium betrieben und mit der 8 m langen Trennsäule bei einem Durchsatz von 2 kg h⁻¹ tritiiertem Wasser ein Dekontaminationsfaktor von rund 300 (nach 4 Tagen) gemessen. Abbildung 2 zeigt den unteren Teil der 8 m langen Austauschsäule und im Hintergrund das Caission mit den Behältern für das tritiierte Wasser.

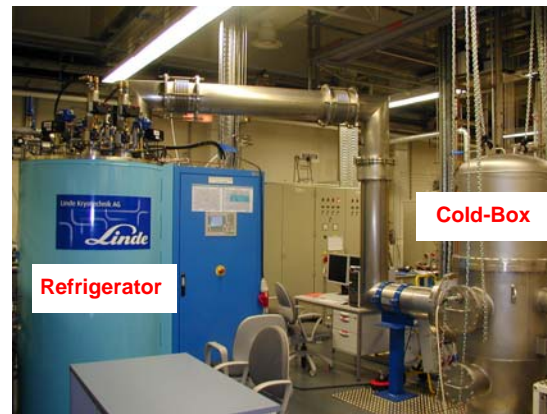


Abb. 3: Kryogene Destillation

Parallel zur Detritierung von Wasser wurde die Anlage zur kryogenen Destillation aufgebaut. Kernkomponenten sind der Refrigerator mit einer Kühlleistung von maximal 250 W sowie die Cold-Box mit einer Trennsäule von 2,7 m Trennlänge und 55 mm Innendurchmesser. Bei der Inbetriebnahme wurde erstmals eine inaktive Wasserstoffgasmischung aus Protium und Deuterium verflüssigt und getrennt. Abbildung 3 zeigt den He-Refrigerator und die Cold-Box.

Ein weiterer Schwerpunkt im Programm Fusion ist die Entwicklung von Prozessen zur quantitativen Rückgewinnung von Tritium aus verschiedenen Abgasen. Dazu wurde in den vergangenen Jahren der dreistufige Prozess CAPER entwickelt.

Die dritte und letzte Stufe ist die Komponente PERMCAT, eine direkte Kombination aus einem Katalysator und einem Palladium/Silber-Permeator, der im Gegenstrom über Isotopenaustausch mit Protium betrieben wird. 2007 wurde ein neuer PERMCAT-Reaktor entwickelt, der robuster, konstruktiv einfacher ausgelegt und leichter zu fertigen ist. Dieser wurde in die experimentelle Anlage CAPER eingebaut und erstmals mit Tritium getestet. Abbildung 4 zeigt den weiterentwickelten PERMCAT-Reaktor und die gewellte Membrane als Kernstück des Reaktors.

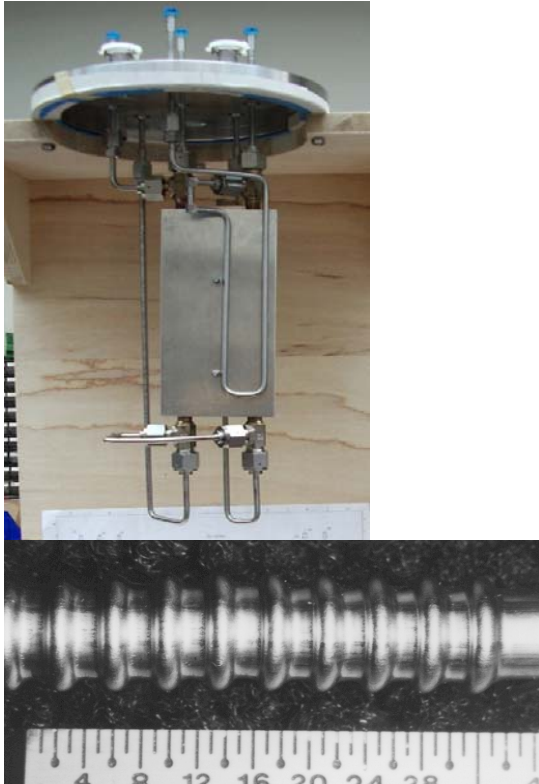


Abb. 4: Weiterentwickelter PERMCAT

KATRIN im TLK

Eine allgemeine Beschreibung des KATRIN Experiments und der diesbezüglichen Aufgaben des ITP findet sich im Abschnitt „Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN“. Im Folgenden ist speziell der Beitrag des Tritiumlabors Karlsruhe (TLK) zu KATRIN beschrieben.

Eine der Schlüsselkomponenten von KATRIN ist die fensterlose gasförmige Tritiumquelle. Sie wird im TLK aufgebaut und muss hohen Anforderungen hinsichtlich Quellstärke, Quellstabilität und Tritiumisotopenreinheit genügen.

Um die von KATRIN geforderte Tritiumgassäulendichte im Quellrohr aufrechterhalten zu können, ist eine auf 0,1% stabilisierte Tritiumeinspeiserate von 1,8 mbar l/s (STP) erforderlich. Dies entspricht einem Durchsatz von $1,7 \times 10^{11}$ Bq/s oder 40 g Tritium pro Tag.

Das TLK ist mit einem derzeitigen Inventar von 24 g Tritium (entsprechend etwa 9×10^{15} Bq) das weltweit einzige wissenschaftliche Labor, das sowohl die behördliche Genehmigung als auch die Infrastruktur besitzt, um die Anforderungen für KATRIN zu erfüllen. Das TLK koordiniert den gesamten tritiumrelevanten Teil von KATRIN (Quelle- und Transportsystem) und ist verantwortlich für das Design und den Aufbau der KATRIN Tritiumkreisläufe (siehe Abb. 5).

Der so genannte Innere Tritiumkreislauf stellt die geregelte Tritiumgaseinspeisung in das Quellrohr sicher; der Äußere Tritiumkreislauf ermöglicht die Reinigung des Tritiums und involviert fast die gesamte TLK Infrastruktur.

2007 lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Vorbereitung des Aufbaus der Tritiumkreisläufe.

Dazu gehörten unter anderem folgende Schritte:

- Erstellung des endgültigen Fließbilds und der dazugehörigen Messstellenliste sowie Definition der Sicheren Zustände.
- 3D-Design der Tritiumkreisläufe auf Basis des Fließbilds mithilfe von CATIA V5 (Abb. 6). Diese anspruchsvolle Aufgabe wurde in Zusammenarbeit mit dem CAD Office des Programms FUSION gelöst und diente gleichzeitig als Demonstrationsobjekt im Bereich Fusion.
- Design und Fertigung tritiumkompatibler Komponenten (Behälter, Permeatoren) und Erwerb der benötigten Pumpen, Sensoren und Ventile.
- Identifizierung und Erwerb der erforderlichen Automatisierungshardware. Verwendet wird das auf S7 basierende redundante Automatisierungssystem AS417H.
- Beginn der Erstellung einer AS+OS Bibliothek. Es ist geplant, diese Bibliothek auch für andere Bereiche von KATRIN einzusetzen (Spektrometer), daher wurde eine intensive Zusammenarbeit mit Spezialisten aus dem IK etabliert.
- Planung der Sensorik und Aktorik (Erstellung eines Mengengerüsts, Anfertigung von Typenblättern, Dimensionierung von MSR-Komponenten).

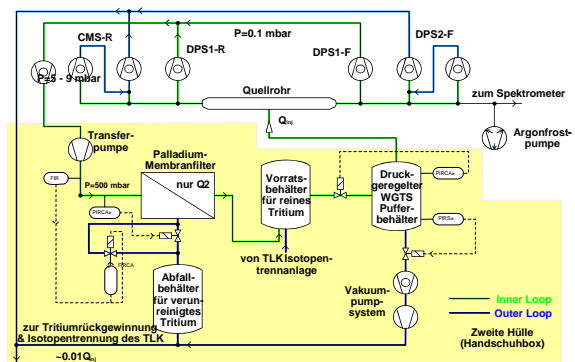


Abb. 5: Prinzipbild des Inneren Tritiumkreislaufs

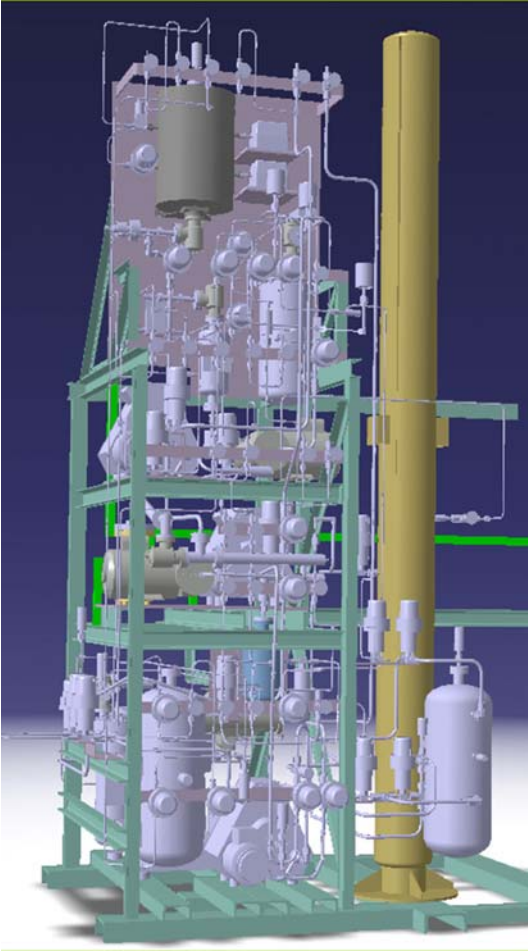


Abb. 6: D-Design der geregelten Tritiumgaseinspeisung

Vakuumtechnik

Die Arbeitsgruppe Vakuumtechnik arbeitet seit vielen Jahren im „European Fusion Technology Programme“ an der Entwicklung der Vakuumsysteme für ITER mit. Die Bildung der ITER Organisation (ITER IO) als Rechtseinheit im November 2007 und die Gründung der Europäischen Agentur „Fusion For Energy“ (F4E) in Barcelona im Juni 2007 schufen die formalen Grundlagen dafür, dass Europa seine Zuarbeiten für ITER konkret organisieren kann. Die Gruppe Vakuumtechnik wird dabei die Führungsrolle in den beiden Bereichen Kryovakuumpumpen und mechanische Vakuumpumpen übernehmen. Dazu hat sie im Herbst 2007 ein detailliertes Programm mit F4E ausgearbeitet, das derzeit mit ITER IO diskutiert wird.

Bei ITER geschah 2007 ein umfassender Design Review, der viele Interfaces klarer definierte, aber auch einige Fragen aufwarf. Diese gingen zur Bearbeitung via EFDA an die Gruppe Vakuumpumpen, so dass das Jahr 2007 durch zahlreiche relativ kleine EFDA-Tasks gekennzeichnet war. Der Schwerpunkt lag dabei weniger auf F&E als vielmehr auf Untersuchungen von Schnittstellenproblemen, wie Lecksuche und -ortung, statistische Verfügbarkeit von Vakuumkomponenten sowie Störfallbetrachtungen der ITER-Vakuumsysteme und daraus sich ergebende Konsequenzen für die Nachbarsysteme.

ITER-Kryopumpen

Im Jahr 2007 vollzog die Gruppe den wichtigen Schritt hin zu einem neuartigen Design der Pumpsysteme für die ITER Neutralteilchen-Injektoren (NBI). Nachdem die Einbaugeometrie bei ITER grundlegend geändert worden war – vom zylindrischen zu einem rechteckigen Querschnitt –, was den verfügbaren Platz reduzierte, und nachdem zudem die vakuumtechnischen Anforderungen deutlich angehoben worden waren, ließ das klassische Pumpendesign sich nicht mehr verwenden. In einer mehrmonatigen intensiven Designphase entwickelte die Gruppe ein neuartiges Pumpkonzept, das eine um 50 Prozent höhere Einfangwahrscheinlichkeit bietet und auch hinsichtlich der Wärmelasten mit den ITER-Anforderungen kompatibel ist.

Dieses Konzept wird auch für den Diagnostik-NBI verwendet werden. Dazu hat 2007 eine enge Zusammenarbeit mit dem Indischen ITER Hometeam begonnen.

Daneben war der Bereich ITER-Kryopumpen 2007 vom Bau der Prototyp-Toruscryopumpe geprägt. Die niederländische Firma DeMaCo

erhielt den Auftrag zum Bau (Abb. 1). Im Dezember 2007 wurde mit der Freigabe der Herstellungs-Zeichnungen ein wichtiger Meilenstein erreicht. Die Anlieferung der Pumpe ist bis Ende 2008 zu erwarten. Sie wird dann in die Testanlage TIMO-2 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 (elf Stück) entwickelt.

Ein großes Problem beim Detaildesign von Kryopumpen ist die zuverlässige Vorhersage des Druckverlusts über die 4,5 K respektive 80 K Kreisläufe der Pumpe. Besonders für die hydrogeformten Bauteile mit einer komplexen inneren Geometrie ergeben sich teils inakzeptabel hohe Abweichungen zwischen Berechnung und Experiment. Um ein grundlegendes Verständnis zu gewinnen, wurde im Jahr 2007 die Versuchsanlage THEA zur experimentellen Charakterisierung von Druckverlusten und Strömungsverteilungen in für Kryopumpen typischerweise verwendeten Kryopaneln aufgebaut. Sie wird unter Druck mit Wasser bei ITER-relevanten Reynolds-Zahlen betrieben und ging im Dezember 2007 in den Probebetrieb. Die Klärung der Thermohydraulik für die ITER-Kryopumpen wird eine zentrale Aufgabe im Jahr 2008 werden.



Abb. 1: Kick-off Meeting beim Hersteller der Prototyp-Toruscryopumpe im Februar 2007 (v.l.n.r.: Robert Pearce, EFDA; Hans Jensen und Christian Day, ITP; Ronald Dekker, DeMaCo Holland).

TIMO-2

Für das bevorstehende Testprogramm war 2006 begonnen worden, die Anlage TIMO-2 aufzubauen. Es handelt sich um einen leistungsfähigen Ausbau der existierenden TIMO,

um unter möglichst vielen Aspekten eine 1:1 Simulation der ITER-Bedingungen zu realisieren. 2007 wurden die neuen Vorpumpsysteme mit größerem, ITER-relevanten Saugvermögen beschafft. Ebenso wurden Messtechnik und Datenspeichertechnik vollkommen neu aufgebaut und von Grund auf modernisiert. Dies geschah im Hinblick auf eine geschätzte Laufzeit bis 2015. Schließlich wurde der TIMO-Kontrollkryostat geöffnet und ein Teil der Instrumentierung erneuert, besonders zahlreiche kryogene Temperatursensoren. In Absprache mit ITER wurde ein Design für eine flexible Kryotransferleitung entwickelt, die derzeit von der Industrie gebaut und im Frühjahr 2008 geliefert werden wird.

ITER-Vakuumsysteme

Die Arbeiten zur Entwicklung tritiumkompatibler Rootspumpen wurden weitergeführt. Derzeit läuft im Tritiumlabor ein Langzeittest einer Ferrofluidik-Kartusche, die als Wellenabdichtung verwendet werden soll, um kommerzielle ölhaltige Standard-Vorpumpen tritiumkompatibel aufzurüsten. Bis jetzt verläuft der Versuch vielversprechend. Aufbauend auf den Ergebnissen ist für 2008 geplant, zusammen mit der Industrie eine entsprechend modifizierte Prototyppumpe zu bauen.

Vakuumphysik

Im Bereich Vakuumphysik wurden die Grundlagenarbeiten zur Vakuumströmung im Übergangsbereich zwischen hochverdünnter und laminarer Strömung fortgesetzt. Die Gruppe entwickelte das Programmpaket ITERVAC, das die Strömung im gesamten Strömungsbereich beschreiben kann. Das Programm wird im Rahmen eines weiteren EFDA-Tasks derzeit zur Analyse des Divertor-Pumpensystems von ITER verwendet. Parallel dazu laufen Validierungstests an der Anlage TRANSFLOW.

Darüber hinaus wurde im europäischen „Fusion Physics Programme“ eine Zusammenarbeit mit der Universität Volos/Griechenland initiiert, die 2008 fortgesetzt werden wird. Die Kombination der am Institut experimentell gewonnenen Ergebnisse und der in Volos verfolgten theoretisch-mathematischen Ansätze ist äußerst erfolgversprechend und mündete 2007 in einen von der IUVSTA (Welt-Dachorganisation der Vakuumsellschaften) geförderten erfolgreichen Workshop zu diesem Thema.

Schließlich wurde der neue Testpartikel Monte Carlo Code ProVac3D zur Berechnung von Dichte- und Druckprofilen für komplexe Vakuumsysteme entwickelt. Im Lauf des Jahres wurde er erfolgreich gegenüber anderen Codes validiert. Er soll dazu verwendet werden, einen Direct Simulation Monte Carlo Code mit Berücksichtigung intermolekularer Stöße aufzubauen.

Im übergreifenden Bereich der Dienstleistungen wurde ein Auftrag für die Firma ASTRIUM abgeschlossen. Dabei wurden Kryosorptionspanels für den Isolationsvakuumraum des Superfluid-He-Tanks für die Bodentests des Projekts Herschel hergestellt.

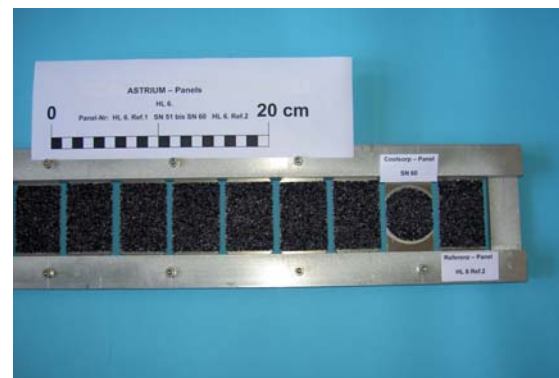


Abb. 2: Beschichtete Kryopanelle für ASTRIUM (oben). Das Sorptionsverhalten der kreisrunden Probe (2. v. rechts) wurde in der Anlage COOLSORP nachgewiesen (unten).

Kryotechnik und Kälteanlagen

Kryotechnik für FUSION

Die kryotechnischen Arbeiten für das Programm FUSION konzentrierten sich 2007 im Wesentlichen auf den Umbau der TOSKA für den Test supraleitender Magnete (Abb. 1), auf die Entwicklung und den Bau von supraleitenden Stromzuführungen und auf die Konzeptionierung der Versorgung eines entsprechenden Versuchsstandes (CuLTKa) mit Einbindung in die bestehende Kryoinfrastruktur. Alle diese Arbeiten sind für das Fusionsexperiment W7-X in Greifswald bestimmt.

Umbau der TOSKA für den Test supraleitender Magnete

Die internen Versorgungsleitungen des Spulentestkryostaten B 300 sowie des Kontrollkryostaten B 250 wurden vollständig bis auf den Wärmeübertrager und die Heliumpumpen demontiert, ebenso die Sensorik. Nach eingehender Überprüfung wurden mehrere Lecks im Stickstoffschild gefunden und großenteils abgedichtet. Ein Bodenpanel war allerdings komplett neu zu bauen und zu installieren. Auch der Wasserbadanwärmer war auszutauschen. Für die kryogene Versorgung von drei Spulen innerhalb der TOSKA, die parallel getestet werden sollen, wurde das entsprechende R&I-Schema erstellt. Auf dieser Basis wurde ein Lastenheft für die Mess-, Regel- und Steuerungstechnik erstellt und unter Berücksichti-

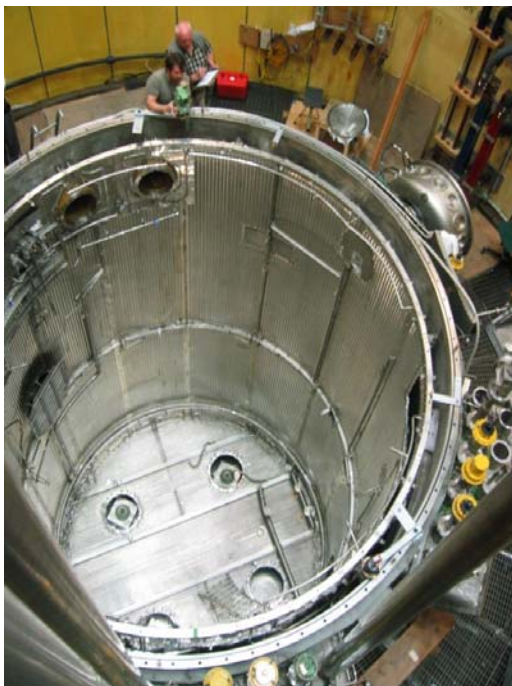


Abb. 1: Vorbereitung und Revision der TOSKA (Entkernung)

gung der Migration von S5 auf S7 in Auftrag gegeben. Auch die einzelnen Komponenten, wie Regel- und Sicherheitsventile, Rohrleitungen und Venturirohre wurden bereits ausgelegt, spezifiziert und in Auftrag gegeben, wobei bereits ein Teil dieser Komponenten in TOSKA integriert wurde. Dafür waren einige konstruktive Änderungen erforderlich. Zudem wurde ein neuer Vakuumpumpstand aus Vorpumpe und Öldiffusionspumpe spezifiziert, beschafft und im Probebetrieb abgenommen. Für die Spulentests werden vier Stromzuführungen benötigt. Die Stromzuführungen wurden in der Werkstatt überholt. Die Kontaktflächen der SZF am kalten und warmen Ende wurden nachbearbeitet und neu vergoldet. Die Stromzuführungen mussten ausgeheizt, einem Lecktest unterzogen und danach isoliert werden.

Eine neue Aufgabe war die Konstruktion der Verbindungen für den Spulentest. Es wurden alle Verbindungen, bis auf die direkt an der Spule, neu ausgelegt, konstruiert, gebaut und zur Montage an das IPP übergeben.

W7-X-Stromzuführungen

Die Entwicklung der W7-X-Stromzuführungen wurde fortgesetzt. Zunächst wurde das Grobdesign des kalten Kontakts inklusive Verrohrung und Sensorik abgeschlossen. Weitere Aufgaben bestanden in einem 1:1-Modell des kalten Kontakts zur Überprüfung der Herstellbarkeit bei den gegebenen engen Toleranzen, in der Optimierung eines Presswerkzeugs zur Fertigung der GFK-Presslinge für die kalte HV-Isolation, in der Konstruktion des warmen Kontakts und vor allem in den Arbeiten zum Wärmeübertrager. Eine detaillierte Analyse von Wärmeübertragung, Druckverlusten und Herstellbarkeit ergab eine klare Präferenz für den neuen Typ. Ein 1:1-Modell des Wärmeübertragers wurde bereits gefertigt. Genauere Informationen zu den Entwicklungsarbeiten der Kryotechnik für die W7-X-Stromzuführungen finden sich im Abschnitte über die Magnetentwicklung für die Kernfusion.

CuLTKa (Current Lead Test Facility Karlsruhe)

Da die TOSKA wegen des Tests der W7-X-Magnetspulen nicht verfügbar ist, muss ein neuer Teststand für die W7-X-Stromzuführungen konzipiert, konstruiert und gebaut werden. Dieser neue Versuchsstand soll wegen der erforderlichen verschiedenen Temperaturen durch die 2 kW-Tiefemperaturanlage versorgt werden. Dadurch ergibt sich die Schwierigkeit, dass diese Anlage dann TIMO,

TOSKA und den neuen Versuchstand gleichzeitig versorgen soll. Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, muss die kryogene Infrastruktur erweitert und angepasst werden. Dies soll durch eine der TOSKA nachgeschaltete Ventilbox und zwei Kontrollboxen geschehen, welche die jeweiligen Massenströme hinsichtlich der gewünschten Temperaturen mischt und durch elektrische Heizungen anpasst. 2007 wurden das Grundkonzept für diese drei Boxen und erste Entwürfe für die Aufstellungsplanung erstellt.

Kryotechnik für KATRIN

Die umfangreichen kryotechnischen Arbeiten für KATRIN sind im Abschnitt über das Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN) dokumentiert.

Kryotechnik für REU

Im Rahmen einer Vergleichsstudie wurde die Eignung von PT 100- und PT 500-Temperatur Sensoren für den kryogenen Temperaturbereich untersucht. Für flüssiges Neon wurde eine kapazitive Füllstandssonde entwickelt, die in erster Linie auch für KATRIN benötigt wird. Weitere Arbeiten, die Entwicklung von Messtechniken betreffend, waren Untersuchungen mit Faser-Bragg-Gittern. Auch Berechnungen zum Einfluss des Füllstands und der Wärmeleitung an Dampfdruckthermometern sowie die experimentelle Überprüfung durch Füllstandsmessung in derartigen Dampfdruckthermometern wurden ausführlich behandelt.

Aufgrund des Bedarfs und der Schwierigkeiten bei der komplexen Herstellung geeigneter Potenzialtrenner ist ein Vergleich zwischen verschiedenen Herstellern angebracht. Dazu wurden Anfragen an die Industrie gerichtet und schließlich zwei Hersteller ausgewählt, bei denen Potenzialtrenner für eine Vergleichsstudie bestellt wurden. Aufgrund von Liefer-schwierigkeiten bei geeigneten Potenzialtrennern wird der Vergleich erst 2008 abgeschlossen sein.

Für das IMF-II wurden spezielle Wärmeüber-träger auf Heliumdichtheit getestet, um die speziellen Schweißverfahren zu qualifizieren, die Drücken bis zu über 200 bar standhalten sollen.

In Zusammenarbeit mit der Firma Siemens wurden Planungen für ein neues Projekt begonnen, in dem die kryogene Kühlung eines HTSL-Generators mit Neon entwickelt und getestet werden soll.

Kryoinfrastruktur

Neben Wartung, Instandhaltung und Instandsetzung bestanden die Arbeiten in Erweiterung, Anpassung und Betrieb vorhandener Einrichtungen sowie Planung, Erstellung und Inbetriebnahme neuer Tieftemperaturexperimentiereinrichtungen für die Forschungsvorhaben.

Die Betriebsstatistik der 300 W- und 2 kW-Kälteanlagen ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	300 W (1,8 K)	2 kW (4,5 K)
Verflüssigungsbetrieb	190 h	317 h
Kalt- u. Warmfahren, Spülen	43 h	149 h
Kälteleistung für Experimente	1294 h	512 h
Gesamt	1527 h	978 h

Insgesamt verflüssigten die Anlagen etwa 142.471 Liter Helium, wovon 103.468 Liter für Experimente im ITP und 39.003 Liter an Fremdinstitute ausgegeben wurden.

Daneben wurden unter anderem die bestehenden Anlagen in vielerlei Hinsicht verbessert. So ließ sich die Ölabscheidung an der 300 W-Anlage durch Einbau eines Kühlaggregats und Änderungen der Steuerung optimieren. Weiterhin wurde eine neue dreiteilige Schallhaube für die Rückverdichtungsanlage installiert. Bei der Reinigungs- und Rückverdichtungsanlage wurde die vorhandene Simatic S5 Steuerung gegen eine neue S7 ausgetauscht. Durch Verbesserungen an Druckluftnetz und Kühlwassernetz ließen sich erhebliche Einsparungen erzielen. Auch wurde eine Betriebsanleitung für die neue TRENTA-He-Tieftemperaturanlage im TLK mit erstellt, die Inbetriebnahme wurde unterstützt, und die Anlage wurde zur He-Gasversorgung in die Infrastruktur des ITP eingebunden.



Abb. 2: Neue Schallhaube für Rückverdichtungsanlage

Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Ziel des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments KATRIN ist die modellunabhängige Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von 200 meV. Die Motivation für KATRIN folgt aus der Schlüsselrolle von Neutrinos in der Astroteilchenphysik: Zum einen spielen massebehaftete Neutrinos eine spezifische Rolle als heiße dunkle Materie bei der Evolution großräumiger Strukturen im Universum. Zum anderen kommt der Neutrinomasse eine Schlüsselrolle beim offenen Problem der Entstehung von Masse zu.

Das experimentelle Prinzip von KATRIN basiert auf der präzisen Vermessung des Spektrums von Elektronen aus dem Betazerfall molekularer Tritiums nahe dem kinematischen Endpunkt von 18,6 keV. Dazu werden Elektronen aus einer fensterlosen gasförmigen Tritiumquelle höchster Intensität durch starke Magnetfelder von supraleitenden Magneten adiabatisch durch die 70 m lange Experimentiereinrichtung geführt. Ein System aus zwei elektrostatischen Retardierungsspektrometern erlaubt die Bestimmung der Elektronenenergien mit einer Auflösung von 0,93 eV.

Ein weltweiter Verbund von mehr als 125 Wissenschaftlern und Ingenieuren unter Federführung des Forschungszentrums ist aktuell damit befasst, dieses Schlüsselexperiment der Astroteilchenphysik am und im Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) aufzubauen. Die ersten Messungen sind für 2010 geplant.

Design, Aufbau und erfolgreiche Durchführung des KATRIN Experiments stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, besonders was die Tritiumverfahrenstechnik, die Ultra-

hochvakuum- und Kryotechnik sowie die Hochspannungsstabilisierungstechnik betrifft.

Im Rahmen des KATRIN Experimentes ist das ITP verantwortlich für die Tritiumprozesstechnik sowie für die Magnet- und die Kryotechnologie. Für diese Tasks stellt es die Leitung. Mehr als 95 Prozent der Mitarbeit des ITP im KATRIN Projekt ist auf das so genannte Quell- und Transportsystem bezogen, das in Abb. 1 als Blockbild dargestellt ist. Es wird wegen des Umgangs mit Tritium komplett im TLK aufgebaut.

Hauptbestandteil ist ein WGTS genanntes supraleitendes Magnetsystem von 16 m Länge, das in seinem 30 K kalten Strahlrohr die gasförmige Tritiumquelle beherbergt. Daneben befinden sich auf der Strahlachse noch das sogenannte Kalibrations- und Monitoring-system (CMS-R) im rückwärtigen Teil und das Transportsystem im vorderen Teil (Richtung Spektrometer). Das Transportsystem hat die Aufgabe, die Tritiumzerfallelektronen ins Spektrometer zu leiten und gleichzeitig über Pumpen den Tritiumgasfluss ins Spektrometersystem um mehr als zwölf Größenordnungen zu reduzieren. Dies geschieht einerseits mithilfe einer differentiellen Pumpstrecke (DPS2-F) und andererseits – als letzte Stufe – mithilfe einer kryogenen Pumpstrecke (CPS), die bei 3,5 bis 4 K betrieben wird. Zusätzlich dargestellt sind die Tritiumkreisläufe (Inner Loop, Outer Loop), die für eine geregelte Tritiumgas-einspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werten von über 95 Prozent halten. Das gleichzeitige Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases ergibt im Endeffekt eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS.

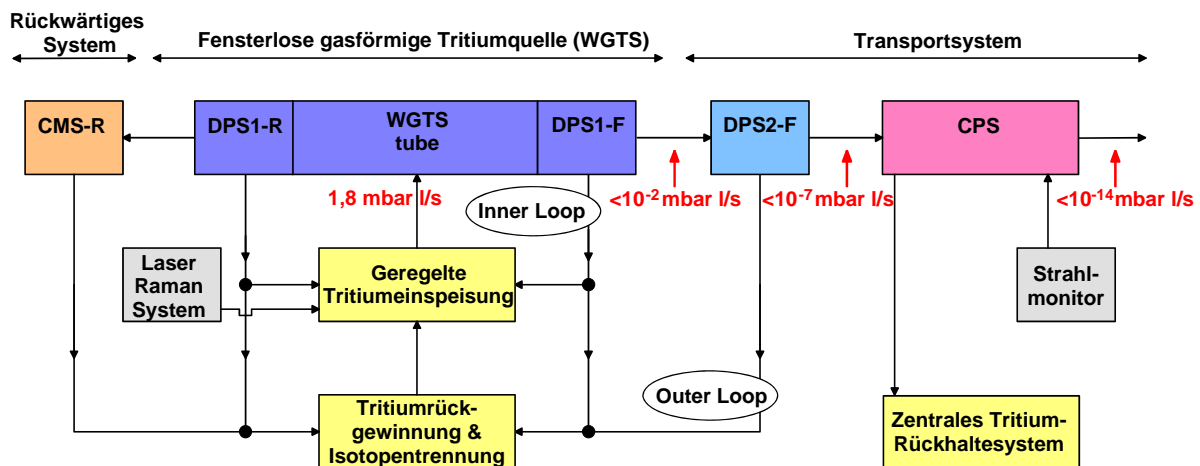


Abb. 1: Blockbild der KATRIN Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des Tritiumlabors Karlsruhe

Sowohl DPS2-F als auch CPS sind supraleitende Magnetsysteme von 7 respektive 9 m Länge. Sie werden wie die WGTS bei externen Firmen gefertigt und vom ITP betreut. Im Folgenden wird über den Status dieser Systeme und der dazu gehörenden Heliumkälteanlage berichtet. Die Tritiumkreisläufe werden in Abschnitt über das TLK diskutiert.

Fensterlose Tritiumquelle (WGTS)

Mit Bau und Auslegung der WGTS ist die Firma ACCEL betraut. Das ITP begleitet Konstruktion und Fertigung der WGTS, was mit großem Aufwand verbunden ist: Einerseits ist die WGTS höchst komplex aufgebaut, und die Anforderungen an die Kühlung sind extrem hoch (30 K stabilisiert auf 0.1%). Andererseits unterliegt die WGTS, die einen Tritiumdurchsatz von 1.5×10^{16} Bq pro Tag (40 g) haben wird, als tritiumführendes System hohen Qualitätsanforderungen.

Hauptaufgaben im Jahr 2007 waren die Bearbeitung der Vorprüfunterlagen der mehr als 20 Baugruppen des Demonstrators, mit dem 2008 die Funktionalität der komplexen Strahlrohrkühlung nachgewiesen werden soll, sowie fabrikationsbegleitende QS-Tests, teilweise auch in Italien (Abb. 2). Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung eines Temperaturremesssystems für das Strahlrohr. Das Konzept sieht eine permanente Messung mit Pt-500 Sensoren vor, die in situ nach jedem Kaltfahren mithilfe von Dampfdrucksensoren kalibriert werden. Parallel zu diesen Arbeiten wurden die vom ITP als Beistellung zu liefernden Schaltschränke für die Steuerung der WGTS konzipiert.

Differentielle Pumpstrecke (DPS2-F)

Auch bei der DPS2-F, die von der Firma ASG in Italien gefertigt wird, ging es vor allem um das Überwachen der Fabrikation und das Ab-

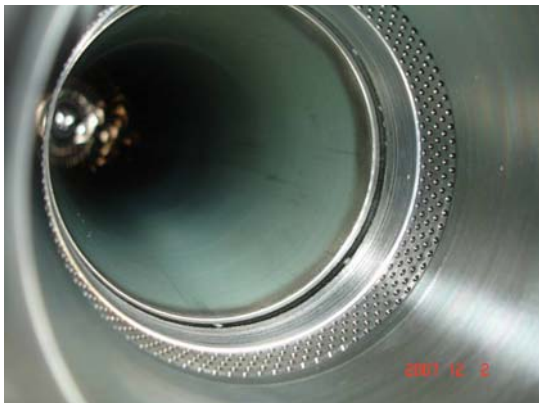


Abb. 2: WGTS: Blick in das Strahlrohr mit der Tritiuminjektionskammer (Löcher)



Abb. 3: DPS2-F: Montage der 5 Magnetbaugruppen

klären der Schnittstellen (Abb. 3). Zusätzlich wurden die Arbeiten an den Schaltschränken (Beistellung) und an ihrer Programmierung abgeschlossen und ihr Transport für die Güteprüfung bei ASG im Frühjahr 2008 vorbereitet.

Kryogene Pumpstrecke (CPS)

Die CPS liegt als letzte noch herzustellende Großkomponente von KATRIN auf dem kritischen Pfad. 2007 wurde mit Beteiligung von ITP, IK, HAP und externen Kooperationspartnern die Spezifikation der CPS fertig gestellt. Dazu wurden seitens des ITP Konzepte sowohl für die Strahlrohrkühlung (3 - 4,5 K) als auch für die Magnet- und Schildkühlung erarbeitet sowie eine mögliche Spulenkonfiguration durchgerechnet. Die CPS wird im Januar 2008 ausgeschrieben.

Kälteanlage und Kryotransferleitung

Nach Behebung der Restmängel steht die Kälteanlage nun voll zur Verfügung. Die Fertigung der Kryotransferleitungen, die die Kälteanlage mit den Magnetkryostaten verbinden wird, erfolgt durch die Firma Cryotherm und wird ebenfalls vom ITP begleitet. Auch dabei bestanden die Hauptaufgaben 2007 in der Bearbeitung der Vorprüfunterlagen und in fabrikationsbegleitenden QS-Tests. Die erste Teillieferung wird Mitte Januar 2008 erfolgen.

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

Supraleitende Systeme für Ingenieure (2 SWS)
Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe
Universität Karlsruhe – Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik (SS 07)

Supraleitende Materialien und Systeme für Ingenieure (2 SWS)
Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe
Universität Karlsruhe – Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik (WS 07/08)

Fusionstechnologie (2 SWS)
Dr. Walter Fietz, Dr. Christian Day
Universität Karlsruhe – Fakultät für Maschinenbau (SS 07 und WS 07/08)

Technische Physik/Thermodynamik
Dr. Holger Neumann
Berufsakademie Karlsruhe – Fachbereich Maschinenbau

Technische Mechanik 2/Kinetik
Dr. Holger Neumann
Berufsakademie Karlsruhe – Fachbereich Maschinenbau

Arbeitssicherheit, Umweltschutz
Kai Bauer
Berufsakademie Karlsruhe – Fachbereich Maschinenbau

Seminare

VDI-Kurs Kryotechnik
28. Februar bis 2. März 2007
Karlsruhe

Kryostatbau
13. bis 14. September 2007
Haus der Technik, Essen

Die Kunst, sich selbst zu präsentieren
19. bis 20. Juli 2007
Karlsruhe

Sommerschulen

KIT Summer School on Materials and Applications of Superconductivity
23. bis 27. Juli 2007
Karlsruhe



Teilnehmer der ersten internationalen Sommerschule zu Materialien und Anwendungen der Supraleitung vom 23. bis 27. Juli 2007 in Karlsruhe.

25 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Belgien, der Schweiz, Spanien, den Niederlanden, Österreich, Finnland, England, Polen und Deutschland nahmen an dieser ersten Sommerschule zu Materialien und Anwendungen der Supraleitung am Institut für Technische Physik teil, um sich über aktuelle Entwicklungen in der Supraleitung zu informieren und sich untereinander kennenzulernen. Für 2008 und 2009 sind Fortsetzungen der Sommerschule in Finnland und in Frankreich vorgesehen; 2010 wird es dann ein Wiedersehen in Karlsruhe geben.

International Summer School on Fusion Technologies
03. bis 14. September 2007
Karlsruhe

Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Betreute Studien- und Diplomarbeiten 2007 (* abgeschlossen)

Philipp Keller

Elektrische und mechanische Untersuchungen an BSCCO-Band-Hochtemperatursupraleitern für Stromzuführungen

Melvin Manuel *

Sensitivity characterization of fiber Bragg grating sensors for cryogenic temperature applications

Oliver Näckel

Messtechnische und rechnergestützte Untersuchung des Einflusses von Skin- und Proximityeffekt auf Spuleninduktivität im Frequenzbereich zwischen einigen Hertz und mehreren Hundert Kilohertz

Alexander Winkler *

Untersuchung der Durchschlagfestigkeit von flüssigem Stickstoff

BA-Ausbildungen 2007 (*abgeschlossen)

Christian Friedmann

Bachelor of Engineering – BA-Mannheim

Florian Josten

Dipl.-Wirtschaftsingenieur – BA-Karlsruhe

Inga Thein *

Dipl.-Wirtschaftsingenieur – BA-Karlsruhe

Christian Pulch

Bachelor of Engineering – BA-Karlsruhe

Anne-Kathrin Weber *

Dipl.-Wirtschaftsingenieur – BA-Karlsruhe

Elisabeth Weiss

Bachelor of Engineering – BA-Mannheim

Christin Melzer

Dipl.-Ing. Elektrotechnik – BA-Karlsruhe

Doktorarbeiten 2007 (* abgeschlossen)

André Berger

Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren

Frank Eichelhardt (IK)

Bestimmung des Tritiumrückhaltevermögens mit einer Argonfrostpumpe

Aleksandra Gotsova (IK)

Testmessungen mit der DPS2-F (Bestimmung des Teilchenflussreduktionsfaktors und FT-ICR Messungen)

Bing Liu

Influence of preparation and doping on superconducting properties of MgB₂ conductors

Robert Michling

Messungen mit der Anlage Trenta zu Optimierung des WDS/ISS Systems für ITER

Stefan Moldenhauer

Wechselstromuntersuchungen an Kabeln aus Hochtemperatursupraleitern und Aufbau einer dazugehörigen Messeinrichtung

Christian Schacherer

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender Strombegrenzer

Michael Schwarz

Thermische Leitfähigkeit von Werkstoffen zwischen 300 K und 4,2 K unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung supraleitender Magnete

Mark Stemmler (U Hannover)

Entwicklung und Simulation von supraleitenden Hochspannungsstrombegrenzern

Michael Sturm (IK)

Aufbau und Test des Inner Tritium Loop von KATRIN

Alexander Winkler

Transient electrical behaviour of ITER pf coils

ITP Kolloquium

17.04.2007	<i>Die Tritium-Plant von ITER</i> M. Glugla	16.10.2007	<i>Supraleitende Höchstfeldmagnete – vom Entwurf bis zum Routinebetrieb</i> Th. Schneider
08.05.2007	<i>Die Vakuumsysteme von ITER – Ein Überblick</i> C. Day	30.10.2007	<i>Stromzuführungen für Fusionsanwendungen</i> R. Heller
15.05.2007	<i>Überblick über die Arbeiten im Bereich Fusionsmagnete</i> W. Fietz	06.11.2007	<i>Introduction of TRENTA facility as support for EU tritium plant procurement package</i> I. Cristescu
05.06.2007	<i>Kryotechnik im ITP</i> H. Neumann	20.11.2007	<i>Magnesiumdiborid – vom Flaschengeist zum technischen Supraleiter</i> S. Schlachter
19.06.2007	<i>Status von KATRIN</i> B. Bornschein		
03.07.2007	<i>Entwicklungen zu MgB₂- und YBCO-Leitern</i> W. Goldacker	04.12.2007	<i>FBI-Testanlage. Charakterisierung von supraleitenden Drähten und Kabeln für ITER</i> K.-P. Weiss

30 Jahre Institut für Technische Physik

Einführung

Das Forschungszentrum Karlsruhe und die Universität Karlsruhe (TH) hatten vor 1977 ein gemeinsames „Institut für Experimentelle Kernphysik“ mit drei Teilinstituten (IEKP I, II, III). Dessen ursprüngliche Aufgaben waren die kernphysikalische Forschung sowie die Entwicklung von Komponenten für supraleitende Teilchenbeschleuniger, das heißt vor allem von Dipol- und Quadrupol-Magneten (IEKP III) und von Kavitäten (IEKP II).

Da das Thema Beschleuniger für das Forschungszentrum schon vor 1977 seine Relevanz verlor, entwickelte sich das IEKP III in Richtung technischer Anwendungen der Hochstrom-Supraleitung. Bereits 1975/76 übernahm es eine völlig neue Aufgabe: die Entwicklung einer supraleitenden Torusfeldspule für das erste internationale Fusionsmagnet-Projekt, den „Large Coil Task“ (LCT) im Rahmen eines „Implementing Agreements“ der Internationalen Energieagentur (IEA). Neben den Fusionsmagnetentwicklungen liefen Arbeiten zur

Magnetscheidung und zur Kühlung supraleitender Generatoren an, jeweils in enger Kooperation mit Industrieunternehmen.

Dieser Entwicklung entsprechend beschloss der Aufsichtsrat des Forschungszentrums 1977 die Aufteilung des Instituts aufseiten des Forschungszentrums in ein „Institut für Kernphysik“ (IK), mit den Aufgaben Kernphysik und Hochfrequenz-Supraleitung sowie ein „Institut für Technische Physik“ (ITP) mit Aufgaben in der Hochstrom-Supraleitung und Kryotechnik. Aufseiten der Universität blieb das Institut zunächst unverändert. Professor Dr. Werner Heinz leitete weiterhin das nur mit wenigen Mitarbeitern ausgestattete IEKP III in Personalunion mit dem ITP insgesamt. Der für die Supraleitungsgrundlagen an das IEKP III berufene Professor Dr. Helmut Wühl wurde zugleich Leiter der entsprechenden Abteilung des ITP.

Die ersten zehn Jahre

Schon in den ersten Jahren konsolidierte das ITP sein Programmportfolio rasch in Bereichen, die größtenteils heute noch relevant sind:

- **Fusionsmagnete**
Diese Arbeiten wurden etliche Jahre begleitet von Studien für Fusionsanlagen gemeinsam mit anderen Instituten des Forschungszentrums sowie mit Kollegen in den USA (University of Wisconsin/Madison und LLNL).
- **Magnete für Forschung und Technik**
heute „Hochfeldmagnete“
- **Supraleitungsgrundlagen**
Die Arbeit auf diesem Gebiet endete mit der Pensionierung von Professor Wühl 2002. Dafür war bereits 1980 ein heute noch höchst wichtiger Bereich dazugekommen, nämlich die
- **Entwicklung von Hochstrom-Supraleitern**
- **Entwicklung von nichtmetallischen Strukturwerkstoffen**
Diese floss im Rahmen der Fusionsmagnetentwicklung später in die auch heute noch wichtige Charakterisierung von metallischen Strukturwerkstoffen bei tiefen Temperaturen ein.
- **Kryotechnik und Kryophysik**
Die Kryotechnik bildete eine zentrale Aufgabe für alle Experimentierbereiche.

Die Arbeit am ITP war bereits in den ersten acht bis zehn Jahren von großen experimentellen Projekten und deren Ergebnissen geprägt.

Als größte Aufgabe ist das **Fusionsmagnet-Projekt LCT** zu nennen, geleitet zunächst von Dr. Krauth, nach dessen Wechsel zur Firma VAC (heute EAS) von Dr. Ulbricht. Das ITP hatte Leiter, Spule und Spulentestanlage TOSKA in enger und fruchtbarer Kooperation mit den Fachunternehmen entwickelt (Abb. 1). Der erfolgreiche Betrieb der Spule nicht nur in der neuen TOSKA-Anlage (Abb. 2), sondern auch im Verbund mit den fünf Spulen der anderen Projektpartner in der großen Testanlage des Oak Ridge National Laboratory (ORNL) in den USA (Abb. 3) übertraf alle Erwartungen. Zahlreiche Experten des Instituts wurden bis 1987 abwechselnd für rund ein Jahr in das ORNL delegiert und arbeiteten dort mit großer Begeisterung. Zudem erwies sich die Genehmigung zum Bau der TOSKA-Anlage im ITP als eine weit über das LCT-Projekt hinausweisende wichtige Entscheidung: Bis heute ist sie

zusammen mit weiteren Ausbaustufen der Anlage von großer Bedeutung für die Arbeiten des Instituts zu Fusionsmagneten. Diese Arbeiten haben sicher auch die Gründung des Projekts „Kernfusion“ 1982 im Forschungszentrum mit angestoßen. Seit damals ist das Forschungszentrum Karlsruhe auch eine eigenständige EURATOM-Assoziation im Europäischen Fusionsprogramm.

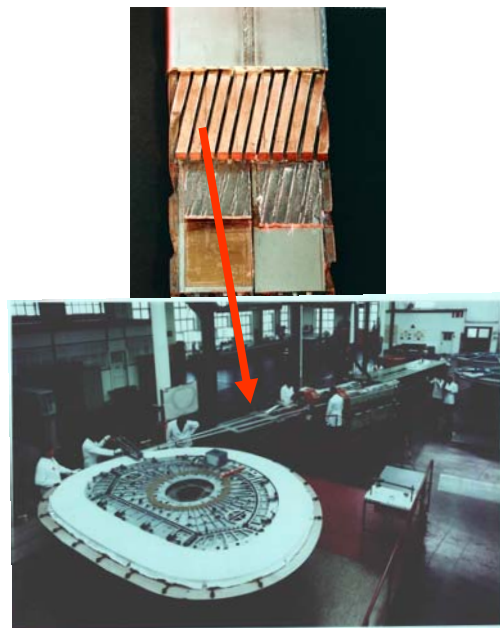


Abb. 1: Der Leiter der EURATOM LCT-Spule, als erster zwangsgekühlter Leiter für Fusionsmagnete (Fertigungsentwicklung bei VAC, heute EAS) und das Wickeln einer Doppelscheibe der LCT-Spule bei Siemens.

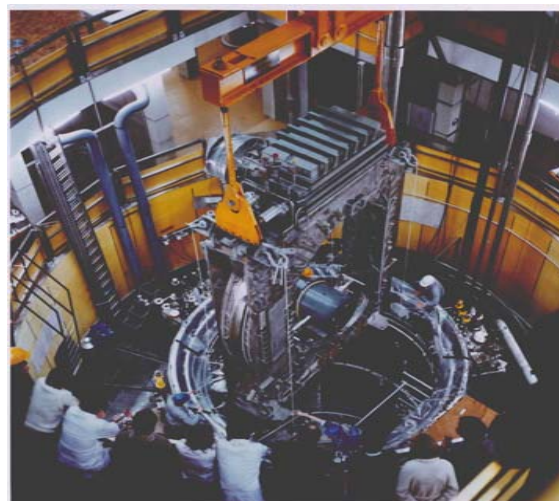


Abb. 2: Der erste Test der LCT-Spule in der neuen TOSKA-Anlage

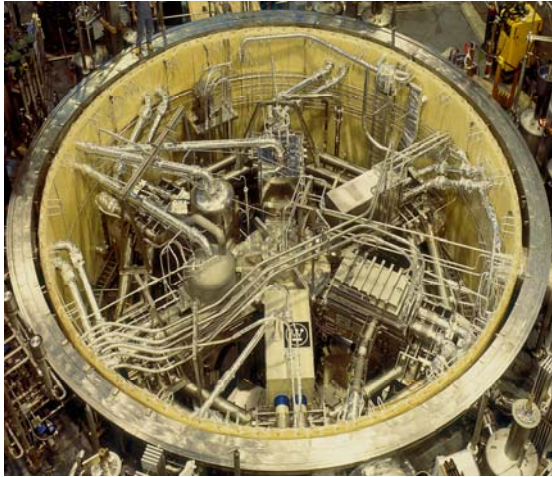


Abb. 3: Die Testanlage im ORNL mit allen sechs Spulen im Torusverbund

Am ITP war vor dem LCT-Projekt, zunächst von Dr. Dustmann, nach dessen Ausscheiden von Dr. Jüngst, ein kleiner Torus TESPE mit einer Vorstufe des LCT-Leiters als Lernobjekt aufgebaut worden. Er wurde später bei Magnetsicherheits-Experimenten und zur Qualifizierung des W7-X Leiters eingesetzt (Abb. 4).

Die Fusionsmagnetentwicklungen waren in diesen ersten zehn Jahren von **Studien** begleitet, deren Ziel eine kompakte 14 MeV-Neutronenquelle für erste Wand und Blanketentwicklung war (Dr. Maurer). Diese Studien basierten auf dem Prinzip einer Tandem-Spiegelmaschine, da ihre Zugänglichkeit für Testobjekte besonders attraktiv erschien. Die Entwicklung der Spiegelmaschine wurde in den USA intensiv mit großen Experimenten betrieben, vor allem im LLNL. Daher wurden die Studien mit amerikanischen Partnern vom dem LLNL und von der Universität Wisconsin in Madison durchgeführt. Natürlich waren auch Reaktorinstitute des Forschungszentrums Karlsruhe beteiligt, nämlich das Institut für Reaktorsicherheit (IRS) und HIT (Abb. 5). Mit der Entscheidung des US-DOE, das Spiegelschlusskonzept nicht weiter zu verfolgen, wurden diese Studien beendet. Die dabei gewonnene Expertise floss in die inzwischen begonnenen internationalen Konzeptentwurfsarbeiten der IAEA zu reaktorrelevanten Tokamak-Systemen ein (INTOR, später dann ITER: „Conceptional Design Activity“).



Abb. 4: Der TESPE-Torus als Vorexperiment zum LCT und für spätere Magnetsicherheits-Experimente sowie W7-X Leiteruntersuchungen



Abb. 5: Die TASKA-M Studie für eine 14 MeV Neutronenquelle auf der Basis einer Tandem-Spiegelmaschine

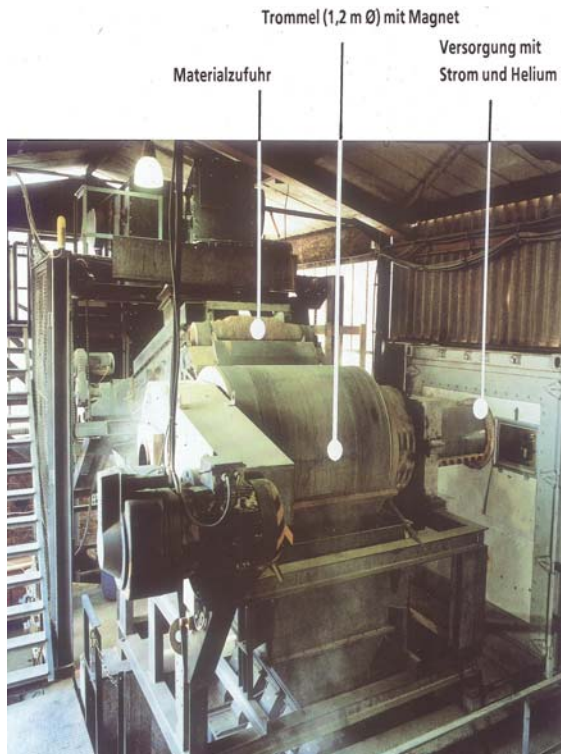


Abb. 6: Der supraleitende Magnetscheider ESCOS für die Firma KHD

Der Bereich **Magnete für Forschung und Technik** war zunächst auf eine industriennahe Aufgabe fokussiert: die Entwicklung eines leistungsstarken supraleitenden Magnetscheiders mit dem Industriepartner KHD (Dr. Jüngst, Abb. 6). Der Erfolg dieses Projekts führte bei KHD zu einem industriellen Nachfolgeprojekt und zu dessen Einsatz bei einem Bergbauunternehmen in der Türkei. Ein großer Marktdurchbruch blieb dem Industriepartner allerdings aus verschiedenen Gründen versagt.

Das ITP nahm dann ein Arbeitsgebiet auf, das bis heute eine zentrale Rolle im Institutsprogramm spielt – die Hochfeld-Magnetentwicklung (Dr. Turowski bis zu seinem Tod 1995, danach Dr. Schneider). In der ersten Zehnjahresperiode wurde das Testsolenoidsystem HOMER I in einer ersten Ausbaustufe entwickelt, wobei für eine Feldstärke $> 8 \text{ T}$ zunächst ein NbTiHf-Leiter eingesetzt wurde, später dann selbstverständlich Nb₃Sn (Abb. 7).

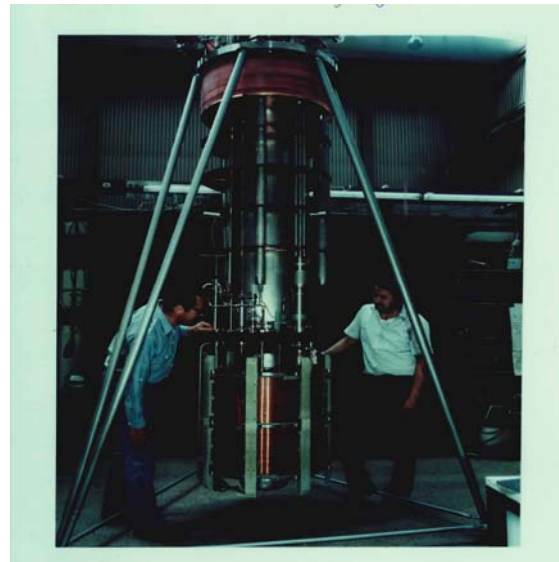


Abb. 7: Das Hochfeldmagnetsystem HOMER I in seiner ersten Ausbaustufe

Auch wurde die bei CEA Grenoble entwickelte Kühltechnik eines 1,8 K He-Bades unter Atmosphärendruck weiterentwickelt und eingesetzt, um höhere Feldstärken zu ermöglichen.

Sowohl bei diesen Arbeiten als auch bei den Fusionsmagnetentwicklungen zeigte sich zunehmend die Bedeutung einer Weiterentwicklung von **Hochfeld-Hochstromleitern**. Dafür gelang es 1980, Dr. Flükiger vom MIT anzuwerben. Er baute diesen Bereich mit allen erforderlichen Mess- und Fertigungseinrichtungen im erweiterten Labormaßstab auf. Dies sollte sich auch und vor allem für die 1987 einsetzende Entwicklung der neu entdeckten Hochtemperatur-Supraleiter (HTS) als bedeutungsvoll erweisen (siehe unten).

In der **Kryotechnik** (DI Lehmann), die bereits vor der Gründung des ITP eine zentrale ingenieurtechnische Bedeutung hatte, wurden neben der Ausstattung der Experimentierplätze auch neue eigenständige experimentelle Untersuchungen aufgenommen, allem voran der Aufbau der HELITEX-Anlage zur Entwicklung von Flüssig-He-Pumpen und zur Untersuchung von He-Zwangsströmungskreisen (Abb. 8/9). Diese Arbeiten erwiesen sich als höchst bedeutsam für die Fusionsmagnetentwicklung, beispielsweise schon für das Projekt LCT (zunächst Dr. Krafft, dann DI Lehmann und DI Zahn).

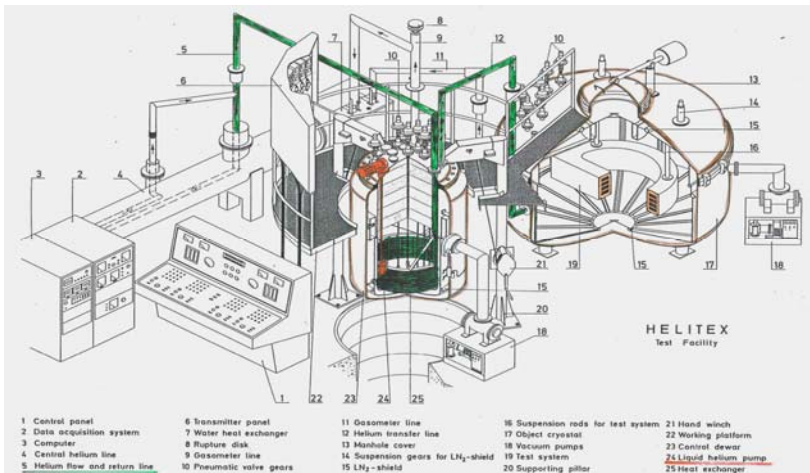


Abb. 8/9: Die HELITEX-Anlage zur Entwicklung von LHe-Pumpen und zur Untersuchung von He-Zwangsströmungskreisen

Die Beschäftigung mit **Kryophysik und Energietechnik** begann mit der Kühlung von supraleitenden Turbogeneratoren. Zur Entwicklung solcher Generatoren liefen vor allem bei Siemens, aber auch bei BBC (heute ABB) große Programme. Dr. Hofmann baute am ITP ein anspruchsvolles rotierendes He-System auf, mit dem die Physik des Heliums in einem Turboläufer untersucht werden konnte (Abb. 10). Es kam zur fruchtbaren Kooperation mit den beiden genannten Industriepartnern.

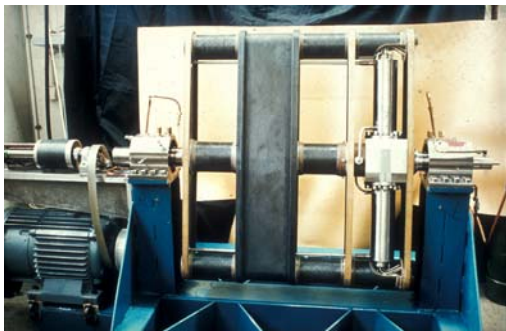


Abb. 10: Anlage ROTAX zur Untersuchung der Kühltechnik supraleitender Turbogeneratoren

Die Arbeiten im Bereich **Supraleitungsgrundlagen** (Professor Wühl) waren stark auf das Verständnis der technischen Leiter (NbTi und Nb₃Sn) wie auch auf potenzielle neue technische Leiter ausgerichtet. Diese betrafen das System Nb₃Ge, den Supraleiter mit dem zum damaligen Zeitpunkt höchsten T_c von ~ 22 K (Dr. Schauer), sowie den technisch attraktiv erscheinenden Faserleiter Nb-C-N (Dr. Dietrich). Mit der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleiter wurden aber alle Grundlagenarbeiten auf das Verständnis der neuen Materialien ausgerichtet.

Am 31. Dezember 1984 verstarb der Institutsleiter Professor Heinz. Der Aufsichtsrat beschloss die Weiterführung des ITP und berief Professor Dr. Peter Komarek zum neuen Leiter. Dieser wurde zugleich als Honorarprofessor Mitglied der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Karlsruhe. Professor Wühl blieb Abteilungsleiter im ITP und als Angehöriger des IEKP Mitglied der Physikfakultät der Universität.

Entwicklung des ITP seit 1987

Fusionsmagnetentwicklung

(Dr. Ulbricht bis Februar 2003, danach Dr. Fietz)

Noch während der LCT-Spulentests 1986/87 im ORNL begann das zweite große Fusionsmagnetprojekt „Entwicklung und Bau einer Poloidalfeldspule, die schnell gepulst werden kann“. Auch dabei stand zuerst die Entwicklung des Leiters im Vordergrund, gefolgt von der Entwicklung der hochspannungsfesten Stromzuführungen und, für die Tests in TOSKA, dem Aufbau einer Hochleistungsschaltanlage. Die Entwicklung des komplexen Leiters stellte den Industriepartner vor große fertigungstechnische Probleme, und trotz des experimentellen Erfolgs der POLO-Spulentests in TOSKA (Abb. 11) musste das Leiterkonzept als zu teuer für weitere Fusionsmagnetprojekte eingestuft werden. Die erarbeitete Hochspannungstechnik hingegen erwies sich als zukunftsweisend für die weiteren Fusionsmagnetprojekte und Aufgaben in der Energietechnik.

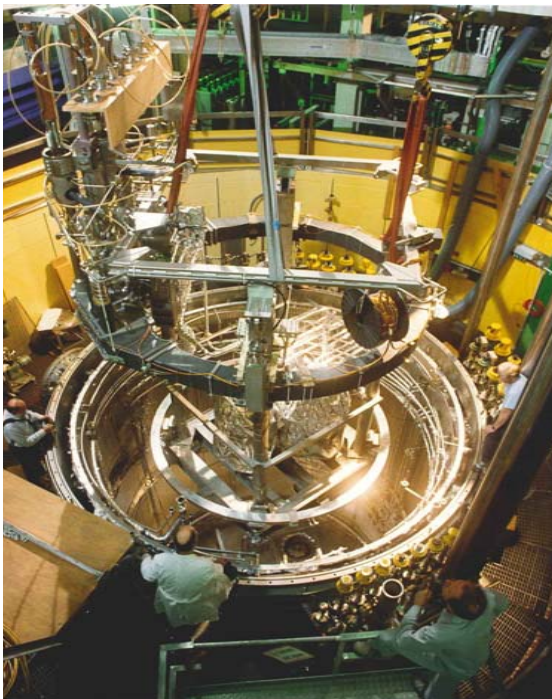


Abb. 11: Test der POLO-Spule in TOSKA

Noch während der Arbeiten an POLO war mit dem IPP Garching vereinbart worden, die Entwicklung der nichtplanaren supraleitenden Spulen für den Stellarator W7-X gemeinsam durchzuführen. Die wesentlichen Beiträge von Forschungszentrum Karlsruhe/ITP bestanden darin, eine Einzellänge des entwickelten Leiters in der zu STAR umgebauten TESPE-Anlage zu testen und danach die in der Industrie gebaute Prototypspule in TOSKA zu erproben. Letzteres geschah 1998 (Abb. 12); der erfolgreiche Test war Bedingung für die Freigabe der Serienfertigung der W7-X-Spulen in der Industrie. Schon im Vorfeld und im Hinblick auf künftige große Experimente war kräftig in die kryotechnische Infrastruktur des ITP investiert und diese um eine leistungsstarke He-Kälteanlage (2 kW @ 4 K) erweitert worden.

Der bedeutendste Schritt danach war die Erweiterung der TOSKA-Anlage (Mess- und Regeltechnik, Schaltanlage etc.) für den Test einer ITER Toroidalfeld-Modellspule (TFMC) (Abb. 13). Dieses Projekt war die bis dahin größte experimentelle Aufgabe, die das Institut bewältigte. Die Ergebnisse erfüllten die Erwartungen, auch die der Partner, voll und ganz.



Abb. 12: Test der W7-X Prototypspule in TOSKA



Abb. 13: Einbau und Test der ITER TFMC in TOSKA

Die hohen Ströme in den Fusionsmagneten (bei ITER bis 68 kA) veranlassten die Entwicklung von HTS-Stromzuführungen (Dr. Heller) in Abstimmung mit dem EFDA Team und in Zusammenarbeit mit CRPP/Schweiz und NIFS/Japan.

Nach dem Test von 10 kA- und 20 kA-Vorstufen wurde eine ITER-relevante 70 kA-Stromzuführung entwickelt und nach der TFMC in TOSKA erfolgreich getestet (Abb. 14). Dieses positive Ergebnis bewog das IPP Greifswald dazu, das Forschungszentrum Karlsruhe zu beauftragen, die Stromzuführungen für W7-X als HTS-System zu entwickeln, wobei nach erfolgreichem Test eines Prototyps eine industrielle Fertigung vorgesehen war. (Vergleiche die aktuellen „Ergebnisse aus den Forschungsbereichen“.)

Eine Aufgabe, die zunächst im Rahmen der Supraleiterentwicklung begonnen wurde (Professor Flükiger) und dann zunehmend auf die NET- respektive ITER-Leiter konzentriert wurde (DI Specking, nach dessen Pensionierung Dr. Weiss), betraf die Untersuchung der Stromdichteabhängigkeit von Nb_3Sn -Leitern von der mechanischen Belastung. Dazu wurden zwei Testmagnetsysteme aufgebaut, mit denen sich der kritische Strom im Magnetfeld unter mechanischer Dehnung beziehungsweise Querkompression messen lässt (Abb. 15). Die klei-

nere Apparatur (10 kN/3 kA) war für Einzelleiter bestimmt, die größere (100 kN/10 kA) für Leiterbündel, in den vergangenen Jahren speziell für ITER-Subkabel, bei denen ein intensives EFDA-Programm abgearbeitet wurde.

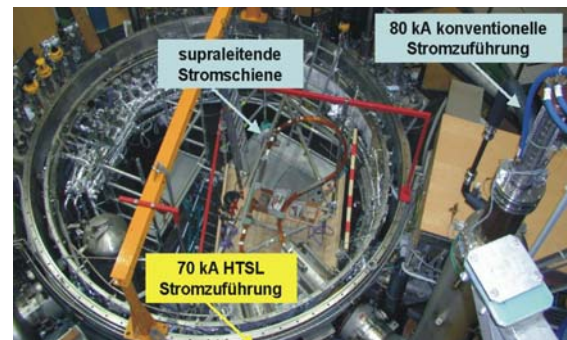
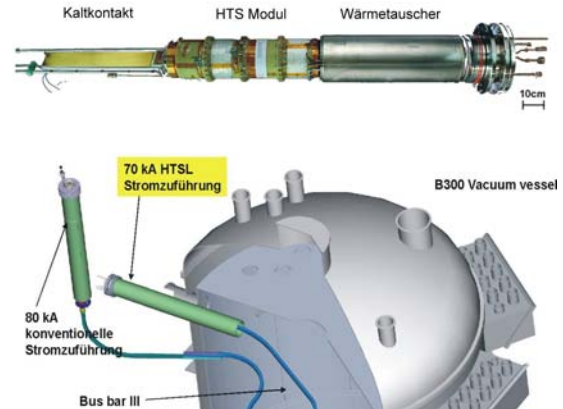


Abb. 14: Entwicklung und Test einer ITER-relevanten HTS-Stromzuführung für 70 kA

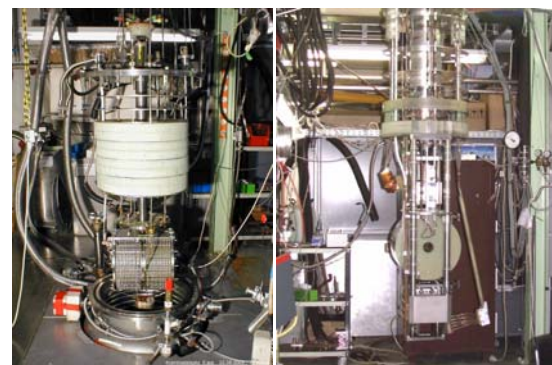


Abb. 15: Die Anlage FBI zur Untersuchung von A 15-Leitern unter mechanischer Belastung

Hochfeld- und NMR-Magnetentwicklung

Das bereits erwähnte Hochfeldmagnetsystem HOMER I erhielt besonderes Gewicht, als 1986/87 die vertragliche Zusammenarbeit des ITP mit Bruker BioSpin zur Entwicklung von Hochfeld-NMR-Magneten begann. Sie startete mit 750 MHz-Systemen (17,2 T im Nutzvolumen) und steigerte sich über die Jahre bis zu 900/950 MHz, der derzeit erreichbaren Grenze mit zulegierten Nb₃Sn-Leitern (Abb. 16).

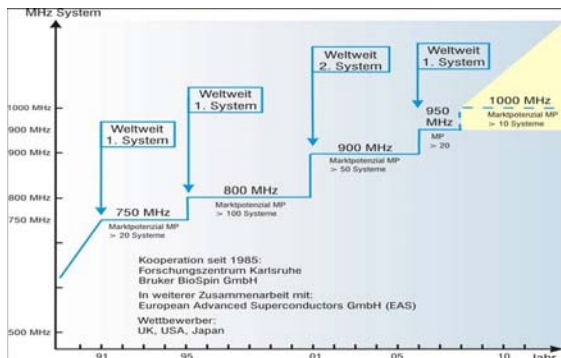
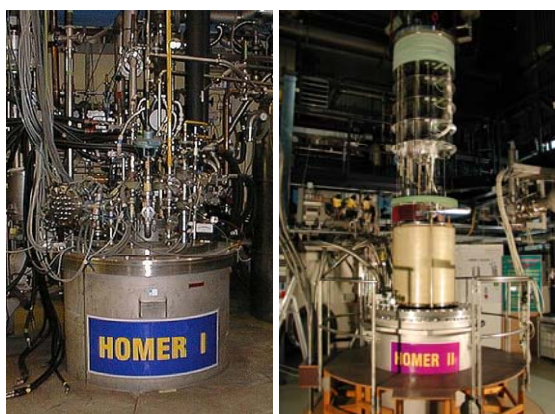


Abb. 16: Chronologie der Entwicklung von NMR-Magneten

HOMER I diente der Leiterqualifizierung und Spulentwicklung in fortschreitenden Ausbaustufen bis hin zu 20 T in einer Nutzbohrung von 5 cm und einer Betriebstemperatur von 1,8 K. Für schnelle Messungen an Leitern wurde mit JUMBO ein weiteres Testmagnetsystem für 10 T in 10 cm Bohrung oder 15 T in 4,4 cm Bohrung erstellt.



15T / Ø160 mm
20T / Ø 50 mm
20 T / Ø 185 mm

Abb. 17: Die Testmagnet-Systeme HOMER I und II

Von Bruker BioSpin gefertigte Serienmagnete wurden anfangs regelmäßig, später nach Bedarf in einem eigenen Testsystem MTA I geprüft. Entscheidend war die Entwicklung der supraleitenden Verbindungen, die unerlässlich sind für den Persistent-Mode-Betrieb

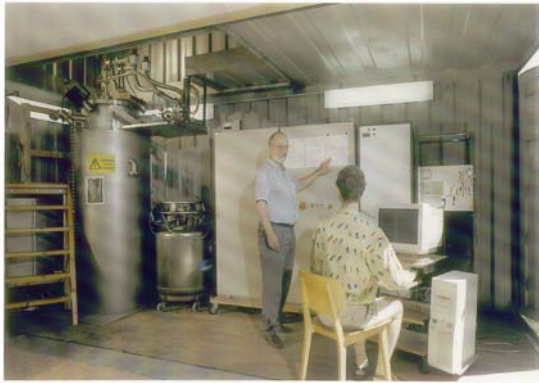
der Magnete mit einer Zeitkonstante von rund 10⁸ Stunden für den Stromabfall über den gesamten elektrischen Widerstand des Magnetsystems. Das bedeutet, dass der Widerstand der einzelnen Supraleiterverbindungen im Bereich von ca. 10⁻¹⁴ Ω bleiben muss.

Der Erfolg der heute noch fortdauernden Zusammenarbeit mit Bruker BioSpin, der dem Forschungszentrum Lizenzeinnahmen bringt, hat dieses zu wichtigen Investitionen für eine längerfristige Fortsetzung der Höchstfeld-Magnetentwicklung bewogen, vor allem auch für NMR. Um in den Bereich von 1000 MHz und darüber vorzustoßen, bedarf es eines größeren Testmagnetsystems und einer größeren Magnettestanlage. Ersteres wurde von Dr. Schneider und seinem Team bis 2006 erfolgreich erstellt – HOMER II, mit 20 T in der außerordentlich großen Bohrung von 18,5 cm, was derzeit den Weltrekord darstellt (Abb. 17). Eine neue Magnettestanlage MTA II mit einem Nutzdurchmesser von rund 1,3 m ist fast fertig aufgebaut.

Parallel dazu hat das ITP mit Bruker BioSpin und dem Leiterhersteller EAS/EHTS im Rahmen eines BMBF-Verbundprojekts die Entwicklung eines 1000 MHz NMR-Systems (23,5 T in der Nutzbohrung) begonnen, wobei erstmals für die Höchstfeldwicklung HTS eingesetzt werden. Dieses Projekt ist bereits weit fortgeschritten; das ITP hat seine Aufgaben im Wesentlichen abgearbeitet.

Supraleitung in der Energietechnik

Dieser Bereich war zunächst auf den supraleitenden magnetischen Energiespeicher (SMES) fokussiert (Dr. Jüngst). Studien haben gezeigt, dass Großspeicher keine ökonomische Perspektive besitzen, Kleinstspeicher für spezielle Anwendungen hingegen wirtschaftlich durchaus aussichtsreich sein können. Mit dem Badenwerk (heute EnBW) und dem Elektrotechnischen Institut (ETI) der Universität Karlsruhe wurde ein Flickerkompensator für die Kompensation rascher lokaler Lastschwankungen entwickelt und in einem Sägewerk im Nordschwarzwald erprobt (Abb. 18). Das ETI zeichnete für die Umrichter-Entwicklung verantwortlich, das ITP für den Supraleitungsteil. Das von der Energienstiftung Baden-Württemberg geförderte Projekt war ein voller Erfolg.



Mobile SMES Power Compensator at a Saw-Mill near Karlsruhe
(from left to right: magnet, power electronics, and control)

Abb. 18: Der SMES Flickerkompensator

Aufgrund dieses Erfolgs vereinbarte das ITP mit DESY den Bau eines 25 MW Pulsleistungsmodulators auf SMES-Basis zur Versorgung der Klystrons für den geplanten TESLA-Linearbeschleuniger – das heutige XFEL-Projekt. Die besondere Herausforderung bei dieser Energieversorgung besteht darin, dass zehnmal in der Sekunde Nadelpulse von 2 ms Dauer mit hoher Leistung benötigt werden. Diese Pulsleistung lässt sich dem Netz nicht ohne Pufferung entnehmen. Eine mögliche Lösung ist ein hoch dynamischer SMES mit entsprechender Leistungselektronik. Während der Supraleitungsteil relativ rasch entwickelt wurde (Abb. 19), bereitete die Leistungselektronik mit den neuartigen Bauteilen (IGBT) Probleme, wurde aber letztlich mit einem spezialisierten Ingenieurbüro (Büro Kupermann) realisiert. Das System wurde bei DESY erfolgreich in Betrieb genommen und ging 2007 in dessen Verantwortung über. Nach der Pensionierung von Dr. Jüngst übernahm Dr. Mathias Noe den Energietechnikbereich.

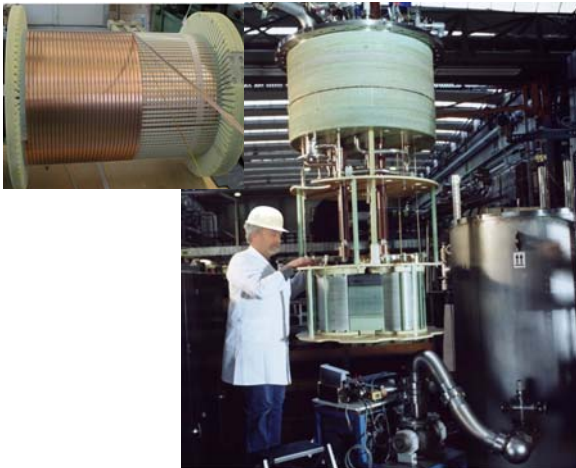


Abb. 19: Der 25 MW Pulsleistungsmodulator für DESY

Mit zunehmender Reife der HTS ging das ITP die Entwicklung elektrischer Betriebsmittel an. Als besonders attraktiv gilt der supraleitende Strombegrenzer. Energieversorgungsunternehmen bestärkten das ITP, mit dessen Entwicklung zu beginnen. Mit Industriepartnern, allen voran Nexans und ACCEL, sowie der RWE als Energieversorgungsunternehmen, wurde ein repräsentatives Projekt für die Mittelspannungsebene definiert, und zwar ein 10 kV/10 MVA Begrenzer, und als BMBF-Projekt realisiert (CURL 10, Abb. 20). Das ITP testete unter anderem sämtliche 90 Begrenzer-elemente aus Bi(2212)-Rohren. Anschließend wurde das System ein Jahr lang an der Umspannstation Netphen der RWE betrieben und danach für zwei Jahre, bis Mitte 2007, Dauertests am ITP unterzogen.



Abb. 20: Der supraleitende Strombegrenzer CURL10

Der Erfolg dieses Projekts führte zur Definition eines Nachfolgeprojekts für die Hochspannungsebene (110 kV) unter Federführung von Nexans und erneuter Beteiligung des ITP. (Vergleiche die aktuellen „Ergebnisse aus den Forschungsbereichen“.)

Tiefemperatur-Hochspannungstechnik

Untersuchungen von Bauteilen auf ihre Hochspannungsfestigkeit bei tiefen Temperaturen begleiten sämtliche Aufgaben in der Energietechnik, aber auch in der Fusionsmagnetetechnik. Dazu wurde bereits in der Phase von POLO in einer der ersten Ausbaustufen ein Tieftemperatur-Hochspannungslabor aufgebaut und kontinuierlich genutzt, zunächst für 100 kV, inzwischen erweitert auf mehr als 200 kV (DI Fink, Abb. 21). Neben Bauteiluntersuchungen für die eigenen Projekte erfüllte das ITP laufend Aufträge von Industriepartnern, beispielsweise für Energieübertragungskabelprojekte.



Abb. 21: Das Tieftemperatur- Hochspannungslabor

Supraleiterentwicklung

Die Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleiter (HTS) 1986/87 bewirkte eine intensive Ausrichtung der Leiterentwicklung auf diese Materialien und auf daraus resultierende Leiter.

Professor Flükiger und, nachdem dieser 1990 als Ordinarius an die Universität Genf gegangen war, Dr. Goldacker gingen mit ihrem Team rasch die Entwicklung der als Erstes aussichtsreichen Bi(2232) Vielkernleiter an. Sie sorgten für die notwendige Laborinfrastruktur, wie temperaturgenaue Glühöfen und Pulverhandhabung, und verwirklichten mit nationalen und internationalen Partnern BMBF- und EU-Projekte, beispielsweise für einen wechselfeldverlustarmen Leiter (Abb. 22). Auch der zunächst in der Herstellung noch schwierigere, langfristig aber aussichtsreichere YBCO-Leiter wurde mit anderen deutschen Institutionen im Rahmen eines virtuellen Institut der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren unter Federführung des ITP untersucht.

Die Bi-Leiter sind inzwischen zum Industrieprodukt geworden. Bei den YBCO-Leitern steht für das Institut die Konfektionierung von Hochstrom-Leitern im Vordergrund. Auch dabei ist der Arbeitsgruppe ein viel beachteter Schritt gelungen – die Herstellung eines Leiters für mehr als 1000 A in Roebel-Technik (Abb. 23).

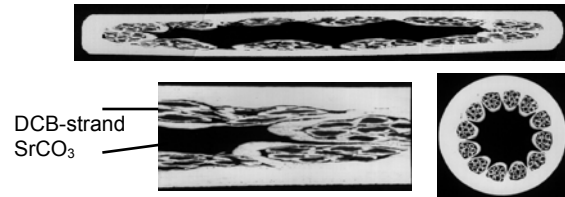


Abb. 22: Bi-Vielkernleiter für AC



Abb. 23: YBCO-Hochstromleiter in Roebel-Technik

Eine neue Herausforderung für das Leiterentwicklungsteam ergab sich 2001 mit der Entdeckung von Supraleitung in MgB_2 mit einer Sprungtemperatur von 39 K. Die relativ einfache Herstellbarkeit und das interessante hohe kritische Feld machen diesen Supraleiter attraktiv für Anwendungen im Bereich von 20 K. Die Arbeiten verlaufen bis jetzt höchst erfolgreich und sichern dem Team eine internationale Spitzenposition. Die Mitwirkung im EU-Projekt „Hipermag“ (Abb. 24) und erste Erfolge bei der Anwendung des Supraleiters, etwa als wärmeleitungsarme Stromzuführung in einem Satelliten (Abb. 25) und als Füllstandsonde für Flüssigwasserstofftanks, bestätigen die Kompetenz des ITP in diesem Bereich.

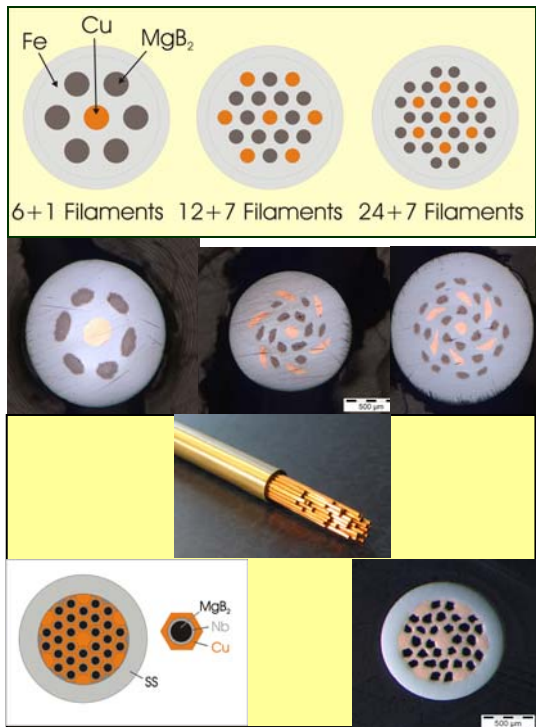


Abb. 24: Applikationsorientierte MgB_2 Leiterentwicklung (EU-Projekt Hipermag)

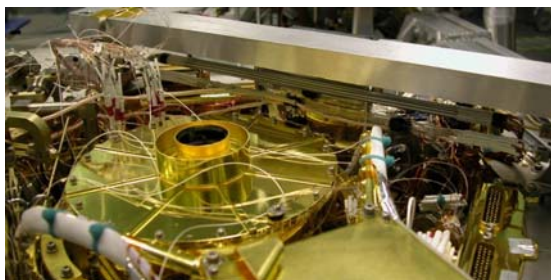


Abb. 25: Satelliten-Stromzuführung

Charakterisierung von Tieftemperatur-Strukturmaterialien

Die Aufgabe, Tieftemperatur-Strukturmaterialien zu charakterisieren, leitet sich von den Anforderungen der Fusionsmagnete ab; das gilt speziell für ITER. Die Festigkeit der Stähle bei den extrem tiefen Temperaturen stellt ein zentrales Thema dar, auch für die Genehmigungsbehörde.

Nur wenige Labors weltweit haben geeignete Einrichtungen zur Messung der kritischen Größen bis herab zu 4 K erstellt. Dr. Nyilas errichtete am ITP zwei Messplätze, einen für Standardproben (60 t Zugmaschine) und einen speziell für Miniaturproben (2,5 t) mit hochpräzisen Wegaufnehmern, und nahm neben den Messungen für ITER auch umfangreiche Messungen für Industrieunternehmen vor (Abb. 26). Nach der Pensionierung von Dr. Nyilas übernahm Dr. Weiss diesen Bereich.

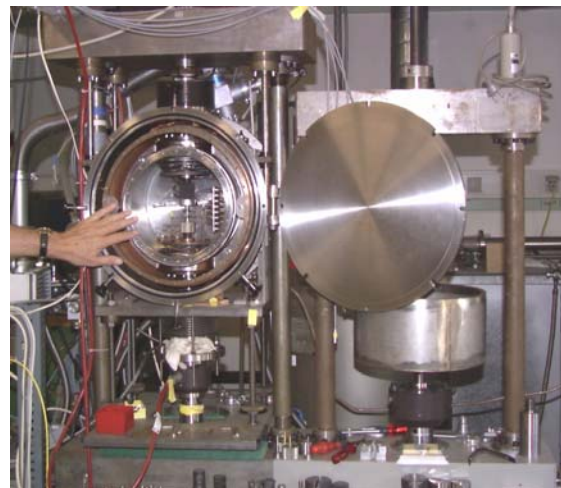


Abb. 26: Messplätze zur Charakterisierung von Tieftemperatur-Strukturmaterialien
a) für Miniaturproben (2,5 t)
b) für Standardproben (60 t)

Tritium-Vakuumentchnik

Mit der Pensionierung von Dr. Rinninsland wurde die Hauptabteilung „Ingenieurtechnik“ des Forschungszentrums Karlsruhe aufgelöst. Die darin tätige Arbeitsgruppe zur Entwicklung von tritiumfesten Vakuumpumpen für Fusionsanlagen (DI Mack) wurde 2000 in das ITP integriert. Ihr Hauptarbeitsgerät für Experimente wurde die Kryopumpen-Testanlage TIMO (Abb. 27), die aus einem Umbau der Kryoanlage HELITEX hervorgegangen war. Erste Herausforderung war die Untersuchung einer ITER-Modellpumpe im Maßstab 1:2.

Zwei weitere Herausforderungen bestanden in Entwicklung und Bau einer Kryopumpe und eines Kontrollkryostaten für den NBI-Teststand MANITU im IPP Garching sowie Design und Herstellung der Kryopumpe für das aktive Gas Handling System in JET. Mit diesen Leistungen qualifizierte sich die Gruppe (seit der Pensionierung von DI Mack unter der Leitung von Dr. Day) als auf diesem Gebiet weltweit führendes Team für die Entwicklung der 1:1 Kryopumpen von ITER. (Vergleiche die aktuellen „Ergebnisse aus den Forschungsbereichen“.)

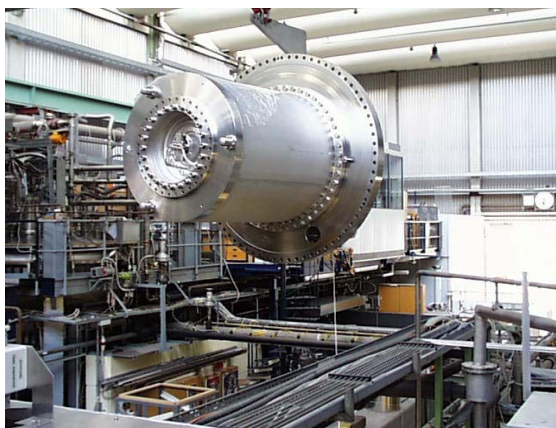


Abb. 27: ITER-Modellpumpe in TIMO

Kryotechnik

(Dr. Neumann)

Bereits im Abschnitt zur Fusionsmagnetentwicklung ist erwähnt, dass die kryotechnische Infrastruktur durch die Großinvestition in eine 2 kW-He-Kälteanlage erweitert wurde. Deren Einbindung in das Kältekreislaufsystem des Instituts war eine zentrale Aufgabe der Gruppe (DI Lehmann, DI Spath) in den Jahren 1990/92 (Abb. 28).



Abb. 28: Die He-Kälteanlage für 2 kW äquivalent bei 4,5 K

Das inzwischen immerhin schon über 15 Jahre betriebene System hat sich dank sorgfältiger Wartung durch die Betriebsmannschaft hervorragend bewährt und sorgt zusammen mit der nun schon fast 40 Jahre alten 300 W-Anlage für eine reibungslose Kälteversorgung aller Experimente am Institut.

Stets hatte der Kryobereich auch eigenständige Entwicklungsaufgaben zu erfüllen. Zu erwähnen ist neben dem Kalibrierlabor für Temperatur- und Druck-Messfühler vor allem auch der Teststand THISTA zur Untersuchung optimaler thermischer Isolationen, besonders Superisolationen (Abb. 29). An ihm bearbeitete

die Gruppe auch immer wieder Aufträge für die Fachindustrie.



Abb. 29: THISTA-Anlage zur Untersuchung thermischer Isolationen (Beispiel: Test der Kryohülle eines supraleitenden Energieübertragungskabels)

Mitwirkung am internationalen Projekt KATRIN

Das Forschungszentrum Karlsruhe begann 2001 in internationalem Rahmen mit der Konzeption eines Großexperiments zur Absolutbestimmung der Neutrinomasse aus dem Betafall des Tritiums mit einer Genauigkeit von 0,2 eV. Dieses Experiment bedarf eines großen Aufwands, was Kryotechnik, supraleitende Magnete und Vakuumtechnik betrifft. Es lag nahe, die Expertise des ITP in diesen Bereichen einzubringen. Das Institut übernahm die Verantwortung für Konzeption und Test der industriell gefertigten supraleitenden Magnete, für Konzeption und Aufbau der Kälteversorgung sowie für Design und Layout des Vakuumpumpensystems für Quelle, Transportstrecke, Vor- und Hauptspektrometer (Abb. 30). Darüber hinaus sorgte Dr. Noe zusammen mit Dr. Bonn (Universität Mainz) für die technische Koordination des Projekts in einer ersten Phase. Für die spätere Betriebsphase ist vorgesehen, dass das ITP sich auch um den Kältebetrieb kümmert.

Etlche Komponenten wurden inzwischen erstellt und getestet, wie die Kälteanlage, die Vorspektrometernagnete und ganz wesentlich der Hauptspektrometertank, dessen aufwendige Dichtheitsprüfung für den Ultra-Hochvakuumbetrieb mehrere Monate dauerte (DI Herz). Die Magnetstrecken werden derzeit in Fachunternehmen gefertigt. (Vergleiche die

aktuellen „Ergebnisse aus den Forschungsreichen“.)

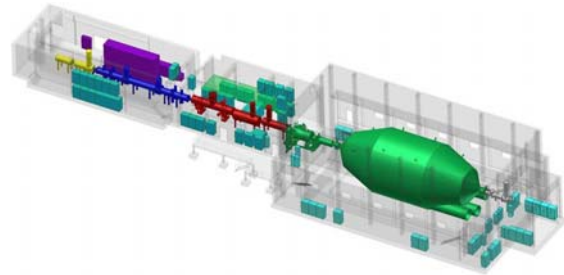


Abb. 30: Gesamtansicht von KATRIN

Gyrotronentwicklung (1989 bis 1999 am ITP)

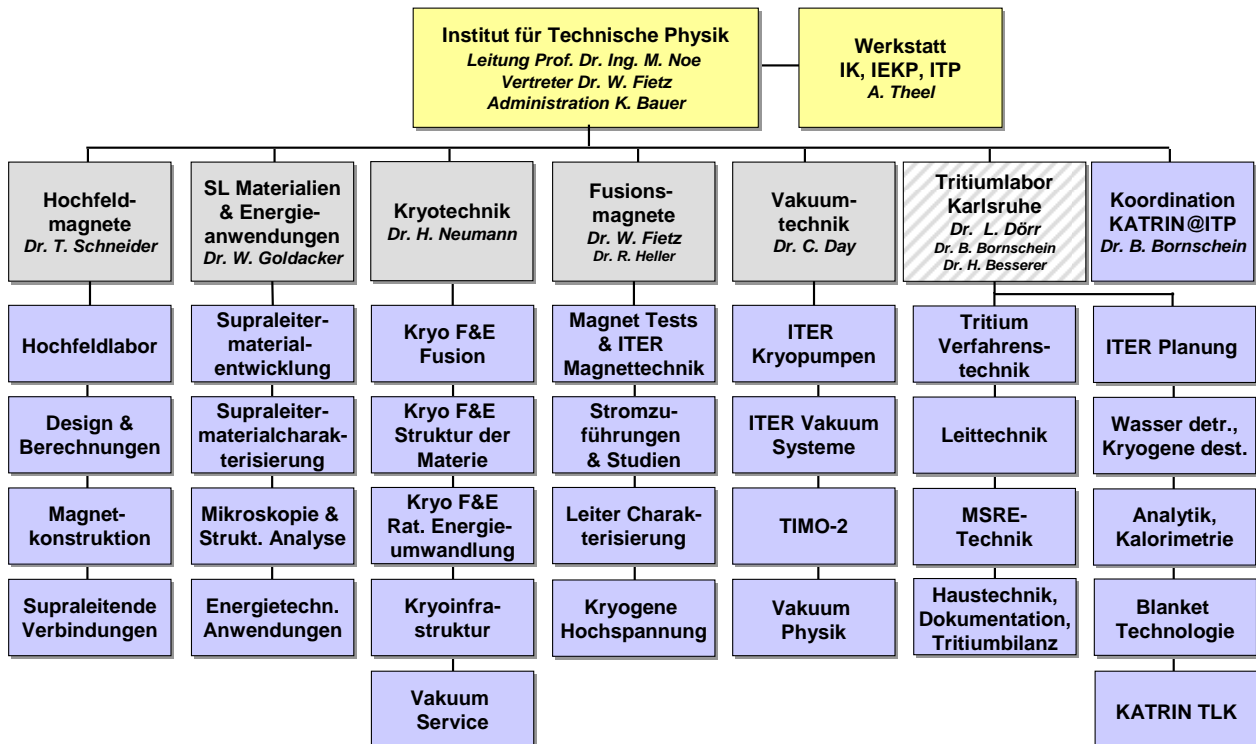
Nach der Pensionierung von Professor Dr. Anselm Citron beschlossen die Entscheidungs-gremien, das IK II aufzulösen. Die im IK II aufgebaute Arbeitsgruppe zur Entwicklung von Hochleistungs-Gyrotrons für die ECRH-Heizung von Fusionsplasmen unter der Leitung von Dr. Hochschild wurde in das ITP integriert. Wegen der zunehmenden Attraktivität dieses Arbeitsgebiets vereinbarten das Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik (IEH) der Universität und das Forschungszentrum, bei der weiteren Gyrotronentwicklung zusammenzuarbeiten. Das IEH stellte dafür eine frei werdende C3-Stelle bereit.

Auf diese Stelle wurde 1990 Professor Dr. Manfred Thumm berufen; dieser wurde zugleich zum Leiter der Gyrotronabteilung im ITP ernannt. Rasch gelang es der Gruppe, Gyrotrons mit Leistungen (1 MW) und Pulsdauern (> 100 ms) zu entwickeln, welche die Fachwelt wenige Jahre zuvor noch nicht für möglich gehalten hätte. Damit wurde die Entwicklung ab etwa 1995 stark auf die ITER Ziele ausgerichtet. Im Rahmen der vom BMBF gewünschten substanziellen Mitwirkung des Forschungszentrums Karlsruhe am Stellarator W7-X übernahm das ITP darüber hinaus die Erstellung des gesamten Mikrowellen-Heizsystems von W7-X mit bis zu zehn Gyrotrons (140 GHz).

1999 verließ Professor Thumm mit seinem Team das ITP. Er war zum Leiter des neuen „Instituts für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik“ berufen worden, das nach der Pensionierung von Professor Dr. Kessler aus dem vormaligen INR entstanden war.

Zahlen und Daten

Organigramm (ab 31.12.2007)



Personalstand (31.12.2007)

Gesamt (ohne Gastwissenschaftler und Praktikanten)	154
Akademiker (davon 4 Trainees, 3 EU-Abgeordnete)	56
Ingenieure	47
Sonstige	38
Gastwissenschaftler	9
Doktoranden	5
Diplomanden	3
BA-Studierende	5
Praktikanten	4

Veröffentlichungen

Programm „Kernfusion“ (FUSION)

Antipenkov, A.

Gas evacuation dynamics from ITER torus and NBI cryopumps in their fast regeneration mode: task description.

51st IUVSTA Workshop on Modern Problems and Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S, July 9-12, 2007

Antipenkov, A.; Day, Chr.; Adami, H.D.

Tritium test of a ferrofluidic rotary seal.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., September 16-21, 2007

Antipenkov, A.; Day, Chr.; Le, T.L.; Müller, D.; Stahlschmidt, O.

Hydrogen operation of fusion specific forevacuum pumps.

17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007

Bekris, N.; Coad, J.P.; Skinner, C.H.; Damm, E.; Nägele, W.

Thermal release rate of tritium trapped in bulk and plasma exposed surfaces of carbon specimens obtained from JET divertor.

Journal of Nuclear Materials, 367-370(2007)

S.1254-59

DOI:10.1016/j.jnucmat.2007.03.254

Bekris, N.; Coad, J.P.; Sugiyama, K.; Caldwell-Nichols, C.; Tanabe, T.; Kloppe, B.; Rolli, R.

Ex-situ tritium removal from JET tiles using RF inductive heating.

8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, September 30 Sept - October 5, 2007

Beloglazov, S.; Chiocchio, S.; Glugla, M.; Kuehn, I.; Lux, M.; Martin, E.; Wagner, R.; Weber, V.

Systematic fuel cycle systems engineering from 2D flow diagrams to 3D layout.

8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, September 30 Sept - October 5, 2007

Beloglazov, S.; Glugla, M.; Fanghänel, E.;

Perevezentsev, A.; Wagner, R.

Performance of a 1:1 ITER metal hydride storage bed in comparison with requirements.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Besserer, U.; Dörr, L.; Glugla, M.

Tritium confinement, retention and releases at the Tritium Laboratory Karlsruhe.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Bornschein, B.; Corneli, D.; Glugla, M.; Günther, K.; Le, T.L.; Simon, K.H.

Experimental validation of a method for performance monitoring of the impurity processing stage in the TEP system of ITER.

Fusion Engineering and Design, 82(2007)

S.2133-39

DOI:10.1016/j.fusengdes.2006.12.010

Caldwell-Nichols, C.J.; Demange, D.; Bekris, N.; Glugla, M.

Post service examination of a tritium permeator and a turbomolecular pump from the CAPER facility at the Tritium Laboratory Karlsruhe.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

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

Modeled tritium inventories within the ITER fuel cycle systems in typical fueling scenarios.

17th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, Albuquerque, N.M., November 12-16, 2006; Fusion Science and Technology, 52 (2007) S. 659-66

Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Dörr, L.; Glugla, M.; Hellriegel, G.; Murdoch, D.; Schäfer, P.; Welte, S.; Wurster, W.

Commissioning of water detritiation and cryogenic distillation systems at TLK in view of ITER design.

Fusion Engineering and Design, 82 (2007) S.

2126-32

DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.04.001

Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Dörr, L.; Glugla, M.; Murdoch, D.

Integrated tests of water detritiation and cryogenic distillation in view of ITER design.

Fusion Science and Technology, 52(2007)

S.667-71

Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Dörr, L.; Glugla, M.; Murdoch, D.

Integrated tests of water detritiation and cryogenic distillation in view of ITER design.

17th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, Albuquerque, N.M., November 12-16, 2006

Cristescu, I.R.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Glugla, M.; Murdoch, D.

Tritium inventories and tritium safety design principles for the fuel cycle of ITER.

Nuclear Fusion, 47(2007) S.S458-S463

DOI:10.1088/0029-5515/47/7/S08

Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Dörr, L.; Hellriegel, G.; Michling, R.; Schaefer, P.; Welte, S.; Wurster, W. Experiments on water detritiation and cryogenic distillation at TLK. Impact on ITER fuel cycle sub-systems interfaces.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Cristescu, I.R.; Cristescu, I.; Glugla, M.; Murdoch, D.; Ciattaglia, S.

Uncertainty assessment and analysis of ITER in VV tritium inventory determination.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Day, C.
Basics and applications of cryopumps.
Brandt, D. [Hrsg.]
CAS-CERN Accelerator School and ALBA
Synchrotron Light Facility : Course on Vacuum in Accelerators, Platja d'Aro, E, May 16-24, 2006
Geneve : CERN, 2007 S.241-74
(CERN Accelerator School)
ISBN 978-92-9083-294-2
Also publ.in the web

Day, C.
Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 28.Februar - 2.März 2007

Day, C.
A course on cryogenic vacuum pumping systems.
Indo-US Joint School on Cryogenics, Superconductivity, Vacuum and Low Temperature Measurement Technique, New Delhi, IND, November 19-23, 2007

Day, Chr.
The ITER vacuum system. An overview.
18.Congresso Nazionale Sulla Scienza e Tecnologia del Vuoto, Firenze, I, April 2-4, 2007

Day, Chr.
ITER and its vacuum systems.
Symp.on Vacuum Based Science and Technology, Greifswald, September 5-7, 2007

Day, Chr.
The ITER vacuum system.
Internat.Symp.on Vacuum Science and Technology, Mumbai, IND, November 28-30, 2007

Day, Chr.
The need to model the ITER high vacuum systems in transitional flow regime – an engineering perspective.
51st IUVESTA Workshop on Modern Problems and Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S, July 9-12, 2007

Day, C.; Antipenkov, A.; Dremel, M.; Haas, H.; Hauer, V.; Mack, A.; Murdoch, D.K.; Wykes, M.
R&D and design for the cryogenic and mechanical vacuum pumping systems of ITER.
Vacuum, 81(2007) S.738-47
DOI:10.1016/j.vacuum.2005.11.050

Day, C.; Haas, H.
Experimental confirmation of the ITER cryopump high temperature regeneration scheme.
8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, September, 30 Sept - October 5, 2007

Day, Chr.; Haas, H.; Dremel, M.
TIMO - an experimental data base for the design of the large ITER cryosorption pumping systems.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13),

Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007

Day, C.; Hauer, V.
Adsorption on activated carbons at cryogenic temperatures.
9th Internat.Conf.on Fundamentals of Adsorption, Giardini Naxos, I, May 20-25, 2007

Day, Chr.; Hauer, W.
TRANSFLOW - a test rig to measure conductances in the transitional flow regime.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007

Demange, D.; Glugla, M.; Günther, K.; Le, T.L.; Simon, K.H.; Wagner, R.; Welte, S.
Tritium processing tests for the validation of upgraded PERMCAT mechanical design.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Demange, D.; Welte, S.; Glugla, M.
Experimental validation of upgraded designs for PERMCAT reactors considering mechanical behaviour of Pd/Ag membranes under H₂ atmosphere.
Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.2382-2389
DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.05.049
24th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2006), Warszawa, PL, September 11-15, 2006

Dörr, L.; Besserer, U.; Bekris, N.; Bornschein, B.; Caldwell-Nichols, C.; Demange, D.; Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Glugla, M.; Hellriegel, G.; Schäfer, P.; Welte, S.; Wendel, J.
A decade of tritium technology development and operation at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Fink, S.; Fietz, W.H.; Miri, A.
High voltage investigations for ITER coils.
Fusion Engineering and Design, 82(2007)S.1443-46
DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.03.021

Glugla, M.; Antipenkov, A.; Beloglazov, S.; Caldwell-Nichols, C.; Cristescu, I.R.; Cristescu, I.; Day, C.; Doerr, L.; Girard, J.P.; Tada, E.
The ITER tritium systems.
Fusion Engineering and Design, 82(2007)S.472-87
DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.02.025

Glugla, M.; Beloglazov, S.; Carlson, B.; Cho, S.; Cristescu, I.R.; Cristescu, I.; Chung, H.; Girard, J.P.; Green, D.; Hayashi, T.; Murdoch, D.; Perevezentsev, A.; Shu, W.; Song, K.M.; Tada, E.; Taylor, C.; Willms, S.; Yamanishi, T.
Recent progress in ITER tritium plant systems design and layout.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Grisolia, C.; Counsell, G.; Dinescu, G.; Semerok, A.; Bekris, N.; Coad, P.; Hopf, C.; Roth, J.; Rubel, M.; Widdowson, A.; Tsitrone, E.; JET EFDA Contributors

Treatment of ITER plasma facing components: Current status and remaining open issues before ITER implementation.

Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.2390-98

DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.05.047

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

Grisolia, C.; Semerok, A.; Weulersse, J.M.; Le Guern, F.; Fomichev, S.; Brygo, F.; Fichet, P.; Thro, P.Y.; Coad, P.; Bekris, N.; Stamp, M.; Rosanvallon, S.; Piazza, G.

In-situ tokamak laser applications for detritiation and co-deposited layers studies.

17th Internat.Conf.on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-17), Hefei, CH, May 22-26, 2006

Grisolia, C.; Semerok, A.; Weulersse, J.M.; Le Guern, F.; Fomichev, S.; Brygo, F.; Fichet, P.; Thro, P.Y.; Coad, P.; Bekris, N.; Stamp, M.; Rosanvallon, S.; Piazza, G.

In-situ tokamak laser applications for detritiation and co-deposited layers studies.

Journal of Nuclear Materials, 363-365(2007) S.1138-47

DOI:10.1016/j.jnucmat.2007.01.169

Hauer, V.; Boissin, J.C.; Day, Chr.; Haas, H.; Mack, A.; Murdoch, D.; Lässer, R.; Wykes, M.

Design of the ITER torus prototype cryopump. Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.2113-19

DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.07.039

Hauer, V.; Day, C.; Pearce, R.

Assessment of the gas flow paths of the ITER divertor cassettes.

8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, Sept. 30 – Oct. 5, 2007

Hauer, V.; Day, Chr.

ITERVAC - a semi-empirical code for calculations in the transitional flow regime.

51st IUVSTA Workshop on Modern Problems and Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S, July 9-12, 2007

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

Electrical, mechanical and thermal characterisation of Bi-2223/AgAu material for use in HTS current leads for W7-X.

20th Bi-Annual Conf.on Magnet Technology (MT-20), Philadelphia, Pa., August 27-31, 2007

Komarek, P.

HTS based current leads for high current.

1st MaTeFu Summer School on Superconductors for Fusion, Rigi-Kaltbad, CH, June 17-22, 2007

Komarek, P.

Cooling technologies for fusion magnets.

1st MaTeFu Summer School on Superconductors for Fusion, Rigi-Kaltbad, CH, June 17-22, 2007

Komarek, P.

EU-LCT-coil: test and performance.

1st MaTeFu Summer School on Superconductors for Fusion, Rigi-Kaltbad, CH, June 17-22, 2007

Komarek, P.

POLO test and performance.

1st MaTeFu Summer School on Superconductors for Fusion, Rigi-Kaltbad, CH, June 17-22, 2007

Komarek, P.

Benefits for future fusion systems by the use of advanced HTS conductors.

Festkolloquium anlässlich der Verabschiedung von Prof. Campbell, Cambridge, GB, 11.-13.September 2007

Lässer, R.; Antipenkov, A.; Bekris, N.; Boccaccini, L.V.; Caldwell-Nichols, C.J.; Cristescu, I.; Day, Ch.; Gasparotto, M.; Glugla, M.; Dell'Orco, G.; Gabriel, F.; Gastaldi, O.; Grisolia, Ch.; Knipe, S.; Magielsen, A.J.; Möslang, A.; Murdoch, D.; Pearce, R.; Pervezentsev, A.; Piazza, G.; Poitevin, Y.; Ricapito, I.; Salavy, J.F.; Sedano, L.A.; Zmitko, M.

Tritium in fusion: R&D in the EU.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Lietzow, R.; Heller, R.; Neumann, H.

Performance of heat exchanger models in upside-down orientation for the use in HTS current leads for W7-X.

2007 Cryogenic Engineering Conf.and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC- ICMC 2007), Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007

Marchese, V.; Ghidersa, B.E.; Ionescu-Bujor, M.; Ihli, Th.; Jianu, A.

Thermo-hydrodynamic model and temperature control of the HELOKA facility.

Jahrestagung Kerntechnik 2007, Karlsruhe, 22.-24.Mai 2007

Berlin : INFORUM GmbH, 2007 S.612-15 CD-ROM

Matsukawa, M.

JT-60SA Design Team

Latest design status of JT-60SA Tokamak under the EU-JA broader approach agreement.

8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, Sept. 30 - October 5, 2007

Michling, R.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Welte, S.; Wurster, W.

Behavior of solid polymer membrane electrolyzers in use with highly tritiated water.

8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007

Munakata, K.; Beloglazov, S.; Bekris, N.; Glugla, M.; Wagner, R.; Fanghänel, E.

Experimental and simulation study on adsorption of hydrogen isotopes on MS5A at 77 K.

Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.2303-10

DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.07.062

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

- Munakata, K.; Shinozaki, T.; Inoue, K.; Kajii, S.; Shinozaki, Y.; Knitter, R.; Bekris, N.; Fujii, T.; Yamana, H.; Okuno, K.
Tritium release from lithium silicate pebbles produced from lithium hydroxide.
8th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-8), Heidelberg, Sept. 30 - October 5, 2007
- Munakata, K.; Shinozaki, T.; Inoue, K.; Kajii, S.; Shinozaki, Y.; Knitter, R.; Bekris, N.; Fujii, T.; Yamana, H.; Okuno, K.
Tritium release from lithium orthosilicate pebbles deposited with palladium.
13th Internat.Conf.on Fusion Reactor Materials (ICFRM-13), Nice, F, December 10-14, 2007
- Murdoch, D.; Antipenkov, A.; Caldwell-Nichols, C.; Day, C.; Dremel, M.; Haas, H.; Hauer, V.; Jensen, H.
Vacuum technology for ITER.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007
- Murdoch, D.; Cristescu, I.; Day, C.; Glugla, M.; Laesser, R.; Mack, A.
EU fuel cycle development priorities for ITER.
Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.2158-63
DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.07.058
- Murdoch, D.K.; Cristescu, I.; Day, C.; Glugla, M.; Lässer, R.; Mack, A.
Material compatibility issues in EU fusion fuel cycle R&D and design.
Journal of Nuclear Materials, 367-370(2007) S.1366-70
DOI:10.1016/j.jnucmat.2007.03.263
- Nyilas, A.; Shibata, K.; Ogata, T. Phase transformation behavior of austenitic stainless steels upon deformation at cryogenic temperatures.
Evans, D. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-21, 2006
Vol.2 Proc.of the Internat.Cryogenic Material Conf. (ICMC'06)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007 S.37-41
ISBN 978-80-239-8884-0
- Pearce, R.J.H.; Wykes, M.E.P.; Lowry, C.; Day, C.; Hauer, V.
Requirements and progress in vacuum conductance modeling on ITER.
51st IUVSTA Workshop on Modern Problems and Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S, July 9-12, 2007
- Pizzuto, A.; Bayetti, P.; Cucchiario, A.; Decool, P.; della Corte, A.; Di Zenobio, A.; Duchateau, J.L.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Kikuchi, M.; Kizu, K.; Muzzi, L.; Portafaix, C.; Rondeaux, F.; Semeraro, L.; Turtu, S.; Verger, K.; Yoshida, K.; Zani, L.
JT-60SA toroidal field magnet system.
20th Bi-Annual Conf.on Magnet Technology (MT-20), Philadelphia, Pa., August 27- 31, 2007
- Schwarz, M.; Weiss, K. P.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity of BSCCO tapes for current lead applications.
2007 Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC 2007), Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007
- Schwarz, M.; Weiss, K. P.; Schlachter, S.I.; Nyilas, A.; Goldacker, W.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity measurement of DyBCO tapes parallel to tape direction and an approach for the transverse thermal conductivity.
Evans, D.. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-21, 2006
Vol.2 Proc.of the Internat.Cryogenic Material Conf. (ICMC'06)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007 S.177-80
ISBN 978-80-239-8884-0
- Varoutis, S.; Valougeorgis, D.; Day, Chr.
Computational and experimental investigation of flows in long channels of various cross sections under low, medium and high vacuum conditions.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007
- Wang, Y.; Han, J.; Zhao, X.; Li, H.; Guan, Y.; Bao, Q.; Xiao, L.; Link, L.; Zhu, Z.Q.; Dai, S.T.; Hui, D.
Development of a 45 kVA single-phase model HTS transformer.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 16(2006) S.1477-80
DOI:10.1109/TASC.2005.869712
- 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.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.1469-1472
DOI:10.1109/TASC.2007.898963
- Weiss, K. P.; Nyilas, A.; Thoener, M.; Seeber, B.
Tensile properties of Nb₃Sn bronze route wires between 300 K and 4 K.
2007 Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC- ICMC 2007), Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007
- Weiss, K. P.; Schwarz, M.; Lampe, A.; Heller, R.; Fietz, W.H.; Nyilas, A.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.
Electromechanical and thermal properties of Bi2223 tapes.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.3079-82
DOI:10.1109/TASC.2007.899365
- Wesche, R.; Heller, R.; Bruzzone, P.; Fietz, W.H.; Lietzow, R.; Vostner, A.
Design of high-temperature superconductor current leads for ITER.
Fusion Engineering and Design, 82(2007) S.1385-90

DOI:10.1016/j.fusengdes.2007.01.004

Widdowson, A.; Coad, J.P.; Bekris, N.; Counsell, G.;
Forrest, M.J.; Gibson, K.J.; Hole, D.; Likonen, J.;
Parsons, W.; Renvall, T.; Rubel, M.; JET-EFDA
Contributors

Efficacy of photon cleaning of JET divertor tiles.

Journal of Nuclear Materials, 363-365(2007)

S.341-45

DOI:10.1016/j.jnucmat.2007.01.030

Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (REU)

Elschner, S.; Stemmler, M.; Breuer, F.; Walter, H.; Frohne, C.; Noe, M.; Bock, J.
Coil in Coil - components for the high voltage superconducting resistive current limiter CULT 110.
8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Gehring, R.; Jüngst, K.P.; Kudymow, A.; Kuperman, G.; Noe, M.
A 25 MW pulse power modulator based on SMES technology.
Electrical Energy Storage Applications and Technologies Conf. (EESAT), San Francisco, Calif., September 23-26, 2007

Goldacker, W.
ROEBEL assembled ReBCO coated conductors (RACC), a practicable design for a high current low AC loss HTS-cable.
Festkolloquium anlässlich der Verabschiedung von Prof.Campbell, Cambridge, GB, 11.-13.Sept.2007

Goldacker, W.
Status of bending and mechanical tests on HTS.
20th Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2007), Tsukuba, J, November 5-7, 2007

Goldacker, W.; Frank, A.; Heller, R.; Ringsdorf, B.; Schlachter, S.; Schmidt, C.
Critical currents in ROEBEL assembled coated conductors (RACC).
2007 Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC- ICMC 2007), Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007

Goldacker, W.; Frank, A.; Heller, R.; Schlachter, S.I.; Ringsdorf, B.; Weiss, K.P.; Schmidt, C.; Schuller, S.
ROEBEL assembled coated conductors (RACC): preparation, properties and progress.
IEEE Transaction on Superconductivity, 17(2007) S.3398-3401
DOI:10.1109/TASC.2007.899417

Goldacker, W.; Schlachter, S. I.
Preparation and properties of advanced MgB₂ wires and tapes.
Vincenzini, P. [Hrsg.]
Proc.of the 5th Internat.Conf.'Science and Engineering of Novel Superconductors' of the Forum on New Materials, Part of CIMTEC 2006; the 11th Internat.Ceramics Congress and 4th Forum on New Materials, Acireale, I, June 4-9, 2006
Uetikon-Zuerich : Trans Tech Publ., 2006
CD-ROM S.143-52
(Advances in Science and Technology ; 47)
ISBN 3-908158-03-6

Goldacker, W.; Schlachter, S. I.
Status of MgB₂ wire development and first applications.
8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Goldacker, W.; Schlachter, S. I.; Frank, A.; Ringsdorf, B.; Kling, A.; Schmidt, C.
Optimisation of ROEBEL assembled coated conductors (RACC).
20th Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2007), Tsukuba, J, November 5-7, 2007

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Schmidt, C.; Weiss, K.; Schacherer, C.; Schwarz, M.
Investigations on the application of commercial coated conductors in high current ROEBEL cables, FCL and magnets.
Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2007), Jeju, Korea, Nov. 8-10, 2007

Hornung, F.; Kläser, M.; Schneider, Th. Degradation of Bi-2223 tape after cooling with superfluid helium.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.3117-20
DOI:10.1109/TASC.2007.900001

Kinder, H.; Handke, J.; Prusseit, W.; Kudymov, A.; Schacherer, C.; Noe, M.
Switching and Quench propagation in coated conductors for fault current limiters.
71.Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und DPG Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik, Fachverband Tiefe Temperaturen, Regensburg, 26.-30.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.42(2007) TT 12.5

Kläser, M.; Schneider, T.
Entwicklung von NMR-Spektrometern. Eine TT-Erfolgsstory.
Nachrichten - Forschungszentrum Karlsruhe, 39(2007) S.197-203

Kojima, H.; Ito, S.; Hayakawa, N.; Endo, F.; Noe, M.; Okubo, H.
Self-recovery characteristics of high-T_c superconducting fault current limiting transformer (HTc-SFCLT) with 2G coated conductors.
8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Kolb, T.; Noe, M.
Energy research at Forschungszentrum Karlsruhe.
Indo-German Workshop on Major Aspects of Energy Research in India and Germany: The Challenges for the Future, Chennai, IND, June 20-21, 2007

Komarek, P.
Influence of HTS application on cryogenics now and in future.
Bager, G.G. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-21, 2006
Vol.1 Proc.of the 21st Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 21)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007, S.5-12
ISBN 978-80-239-8883-3

Komarek, P.; Noe, M.
Superconducting devices for the optimization of renewable electric power systems.
Vortr.: Deutsche Bundesstiftung Umweltschutz,

Osnabrück, 26. Februar 2007

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

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

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.3499-3502

DOI:10.1109/TASC.2007.899578

Moore, J.D.; Cohen, L.F.; Yates, K.A.; Barkhoda-rov, E.; Perkins, G.K.; Kovac, P.; Husek, I.; Schlach-ter, S.I.; Goldacker, W.; Liu, B.; Caplin, A.D.

Scanning hall probe imaging and point contact An-dreev reflection of MgB₂ tape/wire cross sections. 8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Müller, H.; Hornung, F.; Rimikis, A.; Schneider, T. Critical current distribution in composite supercon-ductors.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.3757-60

DOI:10.1109/TASC.2007.897430

Nast, R.

Research Center Karlsruhe and its Institute for Technical Physics.

School of Materials and Mineral Resources

Engineering, Penang, MAL, December 14, 2007

Nast, R.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Goldacker, W. Development of thin reinforced BSCCO-2212 wires for use in CICC-cables.

8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Nast, R.; Obst, B.; Jung, A.; Kotzyba, G.; Goldacker, W.

The evolution of cube texture in Ni- and Cu-based tapes for YBCO coated conductors.

6th Asian Microscopy Conf., Kuantan, MAL, December 10-12, 2007

Noe, M.

Superconductivity in energy research.

Indo-German Workshop on Major Aspects of Energy Research in India and Germany: The Challenges for the Future, Chennai, IND, June 20-21, 2007

Noe, M.; Kudymov, A.; Fink, S.; Elschner, S.; Breu-er, 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 supercon-ducting fault current limiter using MCP-BSCCO 2212 bulk material.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.1784-87

DOI:10.1109/TASC.2007.898125

Noe, M.; Neumann, C.; Schmitt, H.

Innovative Strombegrenzer - Konzepte, Anwen-dungsmöglichkeiten und Stand der Entwicklung. Hybridantriebstechnik – Energieeffiziente elektri-sche Antriebe : ETG Kongress 2007, Karlsruhe, 23.-24.Oktober 2007

Noe, M.; Schacherer, C.

Status and outlook on superconducting fault current limiter development in Europe.

Internat.Symp.on EcoTopia Science (ISETS07), Nagoya, J, November 23-25, 2007

Noe, M.; Steurer, M.

High-temperature superconductor fault current limiters: concepts, applications, and development status.

Superconductor Science and Technology, 20(2007) S.R15-29

DOI:10.1088/0953-2048/20/3/R01

Okubo, H.; Kurupakorn, C.; Ito, S.; Kojima, H.; Ha-yakawa, N.; Endo, F.; Noe, M.

High-Tc superconducting fault current limiting trans-former (HTc-SFCLT) with 2G coated conductors.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.1768-71

DOI:10.1109/TASC.2007.897813

Rajinikumar, R.; Nyilas, A.; Süßer, M.; Narayank-hedkar, K.G.; Krieg, G.

Investigation of fiber bragg grating sensors with different coating materials for high sensitivity tem-perature / strain measurements at cryogenic envi-ronment.

Baguer, G.G. [Hrsg.]

Sackmann, C.; Süßer, M.

Ein Temperaturmesssystem für die Kryotechnik. DKV-Tagungsbericht 2006, Dresden, 22.-

24.11.2006

33.Jahrg. Arbeitsabt.I Bd.I S.149-56

Stuttgart : Deutscher Kälte- u. Klimatechnischer Verein, 2006

Schacherer, C.; Kudymow, A.; Noe, M.

Dissipated energy as a design parameter of coated conductors for their use in resistive fault current limiters.

8th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Schacherer, C.; Noe, M.; Kudymow, A.; Schwarz, M.

Comparison of quench behaviour of different coated conductors.

2007 Cryogenic Engineering Conf. and Internat.

Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC 2007),

Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007

Schlachter, S. I.; Frank, A.; Goldacker, W.; Liu, B.; Orschulko, H.; Ringsdorf, B.; Will, A.

Filament microstructure and superconducting prop-erties of MgB₂ wires with thin filaments.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 17(2007) S.2842-45

DOI:10.1109/TASC.2007.899386

Schmidt, C.

The potential of Roebel assembled coated conduc-tor cables.

71.Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und DPG Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik, Fachverband Tiefe Temperaturen, Regensburg, 26.-30.März 2007

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen

Gesellschaft, R.6, B.42(2007) TT 12.3

Schneider, Th.
Supraleitende Höchstfeldmagnete.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe,
28.Februar - 2.März 2007

Schuller, S.; Goldacker, W.; Kling, A.; Krempasky,
L.; Schmidt, C.
Ac-loss measurement of a DyBCO-Roebel assem-
bled coated conductor cable (RACC).
Physica C, 463-65(2007) S.761-765
DOI:10.1016/j.physc.2007.01.063
19th Internat.Symp.on Superconductivity (ISS
2006), Nagoya, J, October 29 - November 1,2006

Stadel, O.; Muydinov, R.; Keune, H.; Schmidt, J.;
Blednov, A.; Dosovitsky, G.; Samoilenkov, S.; Gor-
benko, O.; Kaul, A.; Kotzyba, G.; Nast, R.;
Goldacker, W.
MOCVD of coated conductors on RABiTS.
8th European Conf.on Applied Superconductivity
(EUCAS '07), Bruxelles, B, September 16-20, 2007

Stemme, 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.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,
17(2007) S.2347-50
DOI:10.1109/TASC.2007.899136

Süsser, M.
Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.
VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengenmessung in
Rohrleitungen', Stuttgart, 13.-16.Juni 2007

Süßer, M.
Kryogene Mess- und Regeltechnik.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe,
28.Februar - 2.März 2007

Süßer, M.
Mess- und Regeltechnik.
Seminar Kryostatbau, Haus der Technik, Essen,
13.-14.September 2007

Süßer, M.
Die Temperaturmessung unter schwierigen Rand-
bedingungen mit Dampfdruckthermometern und
Pt500-Temperaturfühlern.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2007, Hannover,
21.-23.November 2007

Süßer, M.
Accurate temperature measurement inside piping.
Bauer, G.G. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-
21, 2006
Vol.1 Proc.of the 21st Internat.Cryogenic Engineer-
ing Conf. (ICEC 21)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007
S.449-52
ISBN 978-80-239-8883-3

Programm „Struktur der Materie“

- Bornschein, B.
Determination of neutrino mass from tritium beta decay.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., Sept. 16-21, 2007
- Bornschein, B.; Day, Chr.; Eichelhardt, F.; Grohman, S.; Kernerta, N.; Kazachenko, O.; Luo, S.; Malyshev, O.; Sharipov, F.
Windowless gaseous tritium source for KATRIN.
51st IUUSTA Workshop on Modern Problems and Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S, July 9-12, 2007
- Bornschein, B.; Dörr, L.; Glugla, M.; Kazachenko, O.
Die KATRIN-Tritiumquelle im Tritiumlabor Karlsruhe (TLK).
Nachrichten - Forschungszentrum Karlsruhe, 39(2007) S.69-74
- Chorowski, M.; Fydrych, J.; Polinski, J.; Süßer, M.
Helium safety relief system for DPS2-F cryostat of the Karlsruhe Tritium Neutrino experiment.
Bauer, G.G. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-21, 2006
Vol.1 Proc.of the 21st Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 21)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007,S.141-44
ISBN 978-80-239-8883-3
- Day, Chr.; Fränkle, F.; Herz, W.; Luo, X.; Wolf, J.; KATRIN-Collaboration
First vacuum measurements with the KATRIN main spectrometer.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007
- Day, C.; Luo, X.; Conte, A.; Bonucci, A.; Manini, P.
Determination of the sticking probability of a Zr-V-Fe nonevaporable getter strip.
Journal of Vacuum Science and Technology A, 25(2007) S.824-30
DOI:10.1116/1.2748799
- Day, Chr.; Luo, X.; Malyshev, O.; Wolf, J.; KATRIN-Collaboration
The vacuum system of the KATRIN neutrino mass experiment.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007
- Fränkle, F.; KATRIN-Collaboration
Elektromagnetische Messungen mit dem KATRIN Vorspektrometer.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und Kerne, Gießen, 12.-16.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.42(2007) HK 33.8
- Gehring, R.; Bornschein, B.; Gil, W.; Grohmann, S.; Noe, M.; KATRIN-Collaboration
The windowless gaseous tritium source for the KATRIN experiment.
20th Bi-Annual Conf.on Magnet Technology (MT-20), Philadelphia, Pa., August 27- 31,2007
- Gil, W.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Gehring, R.; Grohmann, S.; Noe, M.; KATRIN-Collaboration
The KATRIN magnet system.
20th Bi-Annual Conf.on Magnet Technology (MT-20), Philadelphia, Pa., August 27- 31, 2007
- Grohmann, S.; Neumann, H.
Kryogenes Design der Tritiumquelle im Experiment KATRIN.
DKV-Tagungsbericht 2006, Dresden, 22.-24.November 2006
33.Jahrg. Arbeitsabt.I Bd.I S.101-10
Stuttgart : Deutscher Kälte- u.Klimatechnischer Verein, 2006
- Grohmann, S.; Neumann, H.
The cryogenic system of the Karlsruhe Tritium Neutrino experiment KATRIN.
Bauer, G.G. [Hrsg.]
CryoPrague 2006 : Multiconf., Praha, CZ, July 17-21, 2006
Vol.1 Proc.of the 21st Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 21)
Praha : Icaris Ltd.Conf.Management, 2007,S.63-66
ISBN 978-80-239-8883-3
- Grohmann, S.; Neumann, H.
Design of the KATRIN source cryostat.
2007 Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC 2007), Chattanooga, Tenn., July 16-20, 2007
- Gumbsheimer, R.; Steidl, M.; Wüstling, S.; Day, C.; Wolf, J.; Bornschein, L.; Bonn, J.; Weinheimer, Ch.
Elektrostatische Spektrometer und Detektoren für KATRIN.
Nachrichten - Forschungszentrum Karlsruhe, 39(2007) S.75-80
- Herz, W.; Heger, R.; Fuhrmann, U.; Ranzinger, F.
Quality assurance during the fabrication of the main spectrometer for the KATRIN experiment.
17th Internat.Vacuum Congress (IVC-17), 13th Internat.Conf.on Surface Science (ICSS-13), Internat.Conf.on Nano Science and Technology (ICN+T), Stockholm, S, July 2-6, 2007
- Kazachenko, O.; Bornschein, B.; Kernert, N.; Dörr, L.; Glugla, M.; Weber, V.; Stern, D.
Tritium processing loop for KATRIN experiment.
8th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology, Rochester, N.Y., September 16-21, 2007
- Luo, X.; Bornschein, L.; Day, Ch.; Wolf, J.
KATRIN NEG pumping concept investigation.
Vacuum, 81(2007) S.777-81
DOI:10.1016/j.vacuum.2005.11.053
- Luo, X.; Day, Chr.
Test particle Monte Carlo study of the CPS of the KATRIN project.
51st IUUSTA Workshop on Modern Problems and

Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S,
July 9-12, 2007

Malyshev, O.B.; Day, Chr.; Luo, X.; Sharipov, F.
Tritium gas flow dynamics through the source and
transport system of the KATRIN experiment.
51st IUVESTA Workshop on Modern Problems and
Capability of Vacuum Gas Dynamics, Värmdö, S,
July 9-12, 2007

Noe, M.; Grohmann, S.; Gehring, R.; Gil, W.;
Süsser, M.; Neumann, H.; Glueck, F.
Magnet- und Kryotechnologie für KATRIN.
Nachrichten - Forschungszentrum Karlsruhe,
39(2007) S.81-85

Ostrick, B.; Baumeister, H.; Beck, M.; Bonn, J.;
Hillen, B.; Ortjohann, H.W.; Otten, E.; Schlösser, K.;
Smollich, J.; Thümmel, T.; Titov, N.; Diaz, M.U.;
Weinheimer, C.; Zboril, M.; KATRIN-Collaboration
Eine kondensierte ^{83m}Kr Kryptonquelle für KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und
Kerne, Gießen, 12.-16.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.42(2007) HK 33.4

Putselyk, S.
Konzeption der kryogenen Pumpstrecke im Experi-
ment KATRIN.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2007, Hannover,
21.-23.November 2007

Schmitt, U.; KATRIN-Collaboration
Detektorsysteme für das Karlsruhe Tritium Neutri-
noexperiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphy-
sik, Heidelberg, 5.-9.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.42(2007) T 403.5

Sturm, M.; KATRIN-Collaboration
Das KATRIN Experiment: Die kryogene Pumpstrecke
und das Testexperiment TRAP.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und
Kerne, Gießen, 12.-16.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.42(2007) HK 33.7

Wolf, J.; KATRIN-Collaboration
Status des KATRIN Neutrinoexperiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und
Kerne, Gießen, 12.-16.März 2007
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.42(2007) HK 33.3

Patente

Jüngst, K.P.; Kuperman, G.; Noe, M. Strombegrenzer zur Strombegrenzung im Fehlerfall. Zusatzvorrichtung in einem Strombegrenzer zur Begrenzung des Stromes im Fall einer Störung.
DE-PS 10 2004 058 633 (13.12.2005)
EP-OS 1 817 828 (15.8.2007)

Schlenga, K.; Kläser, M.; Arndt, T.
Kryostat mit einem Magnetspulensystem, das eine LTS- und eine gekapselte HTS-Sektion umfasst.
DE-PS 10 2006 012 508 (18.10.2007)
WO-OS 2007/107240 (27.9.2007)

Schneider, T.
Kryostat mit einem Magnetspulensystem, das eine unterkühlte LTS- und eine in einem separaten Heliumtank angeordnete HTS-Sektion umfasst.
DE-PS 10 2006 012 511 (22.11.2007)
WO-OS 2007/107239 (27.9.2007)

Kontakt

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

Telefon +49 7247/82-Durchwahl

E-Mail: Vorname.Nachname@itp.fzk.de

www.fzk.de/itp

Leitung

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

Stellvertretende Leitung

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 Leitung

Dr. Lothar Dörr (-4546)

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)