

ITP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung
Jahresbericht 2008

INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK

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: B. Bornschein, C. Day, L. Dörr, W. Fietz,
W. Goldacker, H. Neumann, M. Noe, T. Schneider

Fotos und Grafiken: Forschungszentrum Karlsruhe

Gestaltung + Druck: Schrift & Druck Hammer GmbH

Mai 2009

Inhalt

Vorwort	4
Ergebnisse aus den Forschungsbereichen	6
Fusionsmagnete	6
Supraleitende Hochfeldmagnete	10
Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen	14
Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)	18
Vakuumtechnik	22
Kryotechnik	26
Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN	30
Lehre und Bildung	34
Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen	34
Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten	35
ITP Kolloquium	37
Zahlen und Daten	38
Veröffentlichungen	40
Kontakt	47

Vorwort

Das Institut für Technische Physik (ITP) versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum für Fusions-, Supraleitungs- und Kryotechnologie mit Arbeitsschwerpunkten in den Bereichen

- Technologie für Fusionsmagnete
- Tritiumverfahrenstechnologie
- Vakuumtechnik
- Kryotechnik
- Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen der Supraleitung sowie
- Supraleitende Hochfeldmagnete.

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

Zur Bearbeitung der komplexen und zumeist multidisziplinären Aufgaben stehen sehr große und einzigartige Versuchsanlagen, Labore und die entsprechende technische Infrastruktur zur Verfügung wie z.B. das Tritiumlabor Karlsruhe, die TOSKA Anlage, die TIMO Anlage, das Hochfeldmagnetlabor, das kryogene Hochspannungslabor und das Materiallabor.

Das Jahr 2008 brachte neben den wissenschaftlichen Ergebnissen einige besondere Herausforderungen und

Ereignisse mit sich, die ich im Folgenden kurz erwähnen möchte.

Qualifizierte Ausbildung und Lehre sind ein wesentlicher Bestandteil der Aufgaben unseres Instituts und ich freue mich sehr, dass die gemeinsamen Anstrengungen auf dem Gebiet erste sichtbare Erfolge aufweisen. Die Anzahl der in Ausbildung befindlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wie z. B. BA-Studenten, Diplomanden, Doktoranden und Trainees ist erfreulich angestiegen und erste Absolventen konnten bereits in unser Institut integriert werden. Bedingt durch den altersbedingten Ruhestand vieler erfahrener Leistungsträger in den vergangenen Jahren ist die Ausbildung und Einarbeitung jüngerer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein wichtiger Prozess, der noch längst nicht abgeschlossen ist.

Für das W7-X Projekt und den japanischen Tokamak JT60-SA werden vom ITP die Stromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern entwickelt, gebaut und getestet. Wichtige Bausteine dieser Stromzuführungen wurden erfolgreich getestet und der Aufbau der Testanlage wurde weitergeführt. Der Umbau der TOSKA Anlage zum Test der nicht-planaren supraleitenden Torusspulen für W7-X wurde in 2008 fertig gestellt. Die vorgesehenen Spulentests in TOSKA wurden jedoch nicht mehr für erforderlich erachtet.



Teilnehmerinnen und Teilnehmer des ersten Karlsruhe-Dresden Doktorandenseminars zu Materialien und Anwendungen der Supraleitung in der Burg Bad Liebenzell

Das Tritiumlabor Karlsruhe ist bei ITER vorgesehen, wichtige Bereitstellungspakete zur Wasserdetritionierung und der kryogenen Isotopentrennung zu bearbeiten. Bei beiden Arbeitspaketen konnten wichtige Fortschritte erzielt werden. So z.B. wurde der Dekontaminationsfaktor bei der Wasserdetritionierung auf sehr hohe Werte von mehr als 2700 gesteigert.

Die Gruppe Vakuumtechnik im ITP ist bei ITER verantwortlich für das Design, die Bereitstellung und den Test der Kryovakuumpumpen. In 2008 wurde die Anlage TIMO zum Test der Kryovakuumpumpen weiter umgebaut und auf die zukünftigen Tests angepasst. Weiterhin wurde der am ITP entwickelte Strömungssimulationscode für Vakuumströmungen – ITERVAC – erfolgreich validiert.

Die Entwicklung von hochstromtauglichen und verlustarmen Leiterkonzepten ist eine wesentliche Aufgabe des Bereichs Supraleitermaterialentwicklung im ITP. In 2008 wurde die sehr erfolgreiche Entwicklung von Roebel strukturierten Bandleitern mit Supraleitern der 2. Generation fortgeführt und es konnte ein weiterer Meilenstein erreicht werden, indem ein Demonstrator-kabel mit einer Stromtragfähigkeit von mehr als 2600 A bei 77 Kelvin entwickelt wurde. Bei den energietechnischen Anwendungen der Supraleitung konzentrierten sich die Arbeiten auf die Strombegrenzerentwicklung und die kryogene Hochspannungstechnik.

Nach mehr als 25 Jahren Betrieb wurde die Modernisierung der Testanlage HOMER I weitergeführt und es wurden erste erfolgreiche Tests durchgeführt zur Charakterisierung von Hochtemperatursupraleitern der 2. Generation für einen zukünftigen 25 T Hochfeld Einsatz.

Die Arbeiten im Bereich der Kryotechnik umfassten im Wesentlichen die weitere Entwicklung komplexer und sehr großer Kryosysteme wie z. B. für TOSKA und KATRIN und den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Kälteanlagen. Für das Projekt KATRIN wurden wichtige Bausteine der Kryoversorgungsleitung und der Kryomesstechnik erfolgreich in Betrieb genommen.

In 2008 wurde gemeinsam mit dem Leibniz Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung in Dresden ein Doktorandenseminar für Materialien und Anwendungen der Supraleitung initiiert. Die Erstausgabe dieses Seminars fand auf der Burg Bad Liebenzell im Schwarzwald statt und wurde vom ITP organisiert. Weiterhin wurde vom Haus der Technik ein Seminar zur Supraleitung angeboten, welches erstmals vom ITP durchgeführt wurde.

Gemeinsam mit dem BMWi, dem IFW Dresden und dem Industrieverband Supraleitung wurde an historischer Stätte, im so genannten Wasserwerk dem ehemaligen Bundestag in Bonn, erstmalig ein Workshop zur Zukunft und Innovation von Hochtemperatur-Supraleitern in der Energietechnik veranstaltet. Mit mehr als 150 Teilnehmern aus Forschung, Universität und Industrie wurde das große Interesse an der Supraleitertechnologie deutlich dokumentiert. Diese Veranstaltung wird zukünftig alle zwei Jahre wiederholt.



Dr. Christian Day, Bereichsleiter Vakuumtechnik wurde in den Vorstand der deutschen Vakuumgesellschaft berufen.

Eine besondere Auszeichnung wurde Herrn Dr. Christian Day, Bereichsleiter Vakuumtechnik im ITP zuteil. Herr Dr. Day ist in 2008 in den Vorstandsrat der Deutschen Vakuumgesellschaft (DVG) gewählt worden. Die DVG fördert alle technischen Aktivitäten auf dem Gebiet vakuumgestützter Wissenschaften und vertritt diese in den internationalen Gremien. Herr Dr. Day, der mit seinem Forschungsbereich die Hochvakuumssysteme für den ITER-Reaktor entwickelt, setzt sich in der DVG insbesondere für die Etablierung einer exzellenten wissenschaftlichen Ausbildung auf dem Gebiet der Vakuumtechnik ein.

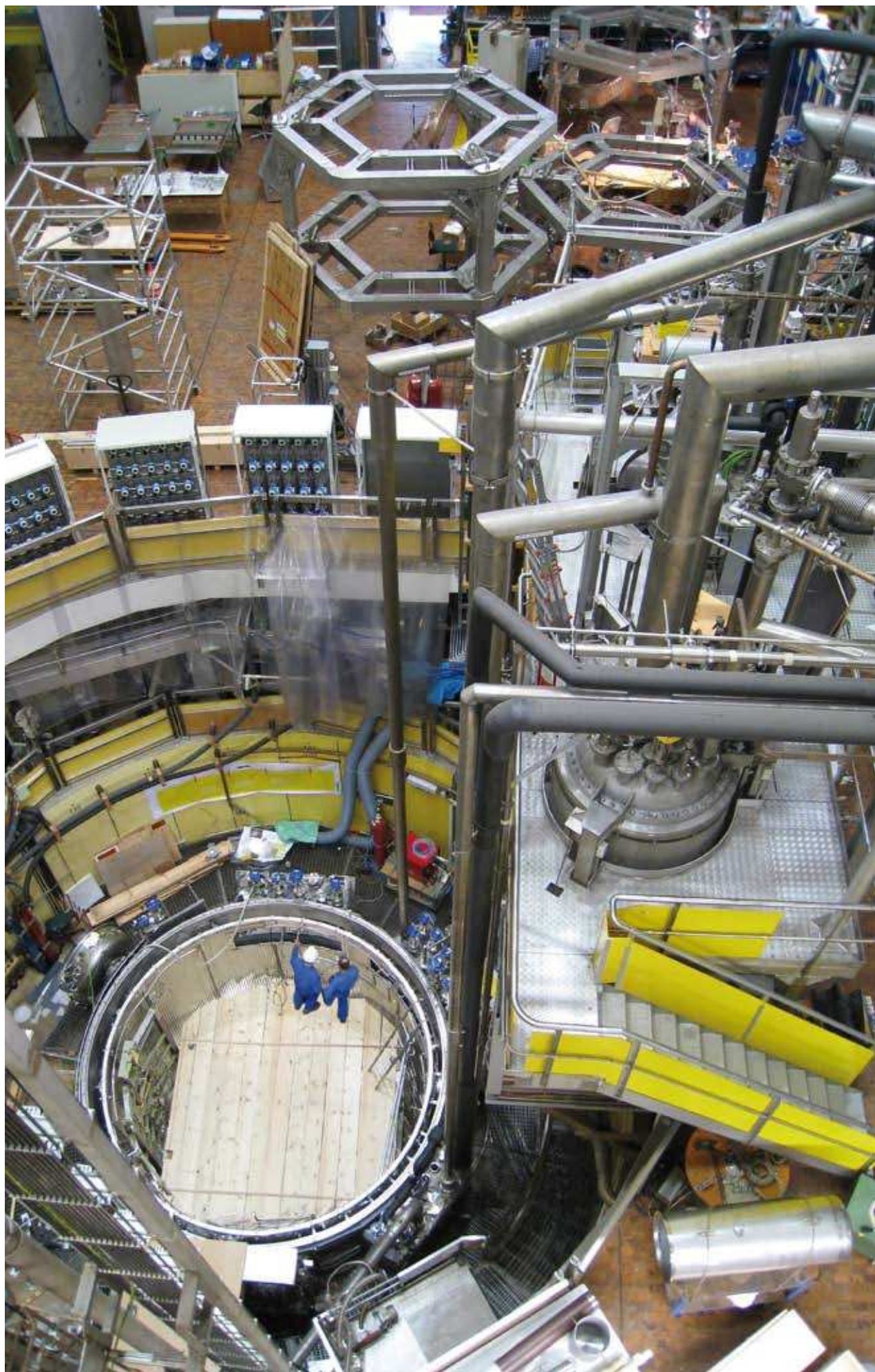
Vom International Council of Large Electric Systems (CIGRE) wurde 2008 eine neue Arbeitsgruppe zum Thema Strombegrenzer installiert, in die ich als internationaler Experte für supraleitende Strombegrenzer berufen wurde. Wesentliche Aufgaben dieser Arbeitsgruppe sind die Untersuchung verschiedener Anwendungsmöglichkeiten für neuartige Strombegrenzer und die Zusammenfassung der Anforderungen.

Ende 2008 hat am ITP ein erfolgreiches Wiederholungsaudit der Verwaltungsberufsgenossenschaften stattgefunden. Inhalt dieses Audits war das 2005 erstmalig in Europa für ein wissenschaftlich-technisches Institut eingeführte Arbeitsschutzmanagementsystem. Das Thema Arbeitssicherheit und damit die Gesundheit unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist ein wesentlicher Faktor für die Leistungsfähigkeit und den Erfolg unseres Instituts. Ich danke allen Beteiligten vom Institut und den Partnerorganisationen für den hervorragenden Einsatz.

Nicht zuletzt gilt mein ganz besonderer Dank allen Partnern des ITP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie für die sehr vertrauensvolle und außerordentlich fruchtbare Zusammenarbeit in 2008.

Herzlichst Ihr

Mathias Noe



TOSKA Übersicht während der Vorbereitung für W7-X Spulentests

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

Das ITP ist im Bereich Fusionsmagnete in das nationale Projekt W7-X sowie in die internationalen Projekte JT-60SA und ITER eingebunden und führt vorbereitende Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO durch.

Vorbereitung von W7-X Spulentests in TOSKA

Um weitere Verzögerungen beim Aufbau des Stellarators W7-X durch nicht rechtzeitig positiv getestete Spulen zu vermeiden, wurde in 2007 beschlossen den Test der nicht-planaren W7-X Spulen in der Testanlage bei CEA Saclay durch eine zusätzliche Testmöglichkeit in der ITP-Spulentestanlage TOSKA abzusichern.

Hierzu wurde die Kryo-Infrastruktur von TOSKA umfangreich erweitert, so dass Einbau, das gleichzeitige Abkühlen von drei W7-X Spulen und ein anschließender sequentieller Test möglich wurden. Steuer-, Mess- und Regeltechnik wurden durch entsprechende Erweiterungen und Anpassungen an die neue Aufgabe angepasst. Vier Stromzuführungen wurden in den TOSKA Kryostaten integriert, die einen Stromanschluss über eine von IPP bereitgestellte Verbindung („Leiter“) ermöglicht. Die Hochstrom-Schalter und die Anbindung an das 50 kA Netzgerät wurden für die notwendigen kurzen Schaltzeiten umgebaut und der sequentielle Betrieb der drei Spulen wurde durch entsprechende Hochstromverbinder bereitgestellt. Die Datenerfassung wurde komplett erneuert und alle relevanten Daten werden in einer von IPE(FZK) bereitgestellten Datenbank gespeichert. Die TOSKA Anlage ist seit November 2008 nach einem erfolgreichen Vakuumtest betriebsbereit.



Hochstrom-Verbinder um drei Spulen individuell mit Strom bis 18,2 kA zu beaufschlagen.

Entwicklung und Bau von Stromzuführungen für Wendelstein 7-X und JT-60SA

Arbeiten für Wendelstein 7-X

Das ITP hat Ende 2006 die Aufgabe übernommen, 16 Stromzuführungen für das Plasma-Experiment Wendelstein 7-X (W7-X) zu entwickeln, zu bauen und zu testen. W7-X wird vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald aufgebaut und soll 2014 in Betrieb gehen. Die Stromzuführungen (2 Prototypen und 14 Serien-Stromzuführungen) müssen überkopf eingebaut werden und werden deshalb mit Hochtemperatursupraleitern (HTSL) ausgerüstet, wodurch auch eine weitaus geringere Kälteleistung erforderlich ist. Die Stromzuführungen werden für einen Maximalstrom von 18,2 kA ausgelegt.

Nachdem in 2007 die Randbedingungen geklärt und das Grobdesign abgeschlossen worden war, wurde 2008 die Konstruktion der Stromzuführungen durchgeführt und mit verschiedenen Vortests abgesichert. Des Weiteren sind fast alle Komponenten beschafft worden, die für den Bau der Prototyp- und Serienstromzuführungen benötigt werden. Mit der Fertigung der beiden Prototypstromzuführungen wurde begonnen. Hierbei wurde zusammen mit der Industrie eine paschenfeste Hochspannungsisolation erfolgreich erprobt.

In 2009 sollen die beiden Prototypstromzuführungen fertig gestellt werden um danach zusammen mit einem vom IPP bereitgestellten supraleitenden Stromverbindungsbügel zu einer Testeinheit verbunden werden. Diese Testeinheit soll in 2010 in der Spulentestanlage TOSKA getestet werden.

Arbeiten für JT-60SA

In 2007 hat sich Deutschland bereiterklärt, einen Teil des von der EU an Japan zugesagten Pakets für den Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA zu übernehmen. Das ITP hat auch hier den Bau der Stromzuführungen übernommen. Im Herbst 2008 ist der erste Teil der Finanzierung geklärt worden, der die Beschaffung aller Materialien für den späteren industriellen Bau der Serienstromzuführungen absichert. Derzeit werden in Verhandlungen mit der EU und Japan die Rahmendaten verabschiedet und sollen in 2009 vertraglich festgelegt werden.

Die Konstruktion der 26 Stromzuführungen für JT-60SA ähnelt dem Design für die W7-X Stromzuführungen, muss jedoch an die neuen Randbedingungen angepasst werden (Maximalstrom 26 kA bzw. Pulsbetrieb). 2008 ist das Grobkonzept erstellt worden. Nach Fixierung der Rahmendaten soll in 2009 das Grobdesign erarbeitet werden. Die Konstruktion wird dann in 2010 durchgeführt werden. Basis für die Konstruktion sollen die Er-

gebnisse des Prototypentests sein. Hierfür soll die für den W7-X Prototypentest gebaute Testeinheit nach dem dort vorgesehenen Test im „Normalbetrieb“ (d. h. raumtemperaturseitiges Ende ist oben) aber unter JT-60SA relevanten Bedingungen (Pulsbetrieb) nochmals getestet werden.

Stromzuführungs-Testanlage CuLTKa

Insgesamt sollen 16 Stromzuführungen für W7-X und 26 Stromzuführungen für JT-60SA getestet werden. Hierfür wird eine neue Testanlage CuLTKa (Current Lead Test facility Karlsruhe) aufgebaut und in die bestehende Kryo-Infrastruktur des ITP integriert. CuLTKa wird so konzipiert, dass sowohl der Überkopfbetrieb der Stromzuführungen für W7-X als auch der „Normalbetrieb“ der Stromzuführungen für JT-60SA möglich ist.



Hochstromkontakt einer Stromzuführung für die Verbindung zu Spulen bei tiefen Temperaturen (ganz oben)

Demonstrator eines Hochtemperatur-Supraleiter Moduls für eine Stromzuführung (oben)

Wärmetauscher für eine Stromzuführung (li.)

Die Hauptarbeiten für CuLTKa betreffen den kryotechnischen Aufbau, jedoch müssen sowohl der Stromanschluss für 30 kA zum existierenden Netzteil hergestellt als auch die elektrische (hochspannungsfeste) Verdrahtung, die Datenerfassung und Signalverarbeitung aufgebaut bzw. in die bestehende Infrastruktur der TOSKA-Anlage integriert werden.

Ausblick

Die politisch gewollte Priorisierung des Aufbaus der TOSKA-Anlage für den Test von nicht-planaren W7-X Spulen in 2007-2008 hat zu Verzögerungen bei den Stromzuführungen für W7-X geführt; zusätzlich musste der Aufbau von CuLTKa vorgezogen werden, da die TOSKA-Infrastruktur für den geplanten Test der Prototypstromzuführungen nicht zur Verfügung stand. Die derzeitigen Planungen gehen von einer Fertigstellung des Prototyppaares Ende 2009 sowie der Testanlage CuLTKa Ende 2010 aus. Der Bau der Serienstromzuführungen für W7-X sowie deren Abnahmetests sollen bis 2012 abgeschlossen sein. Anschließend sollen die 26 Stromzuführungen für JT-60SA in der Industrie gebaut und in CuLTKa bis 2014 getestet werden.

Untersuchung transienter Hochspannungen an ITER Spulen

Große Magnetspulen bauen im Falle von Schnellabschaltungen hohe Spannungen auf, die insbesondere bei schnellen Schaltvorgängen und im Fehlerfall beherrscht werden müssen. Der komplexe Aufbau des Spulensystems eines Fusionsreaktors und die naturgemäß großen Induktivitäten und Kapazitäten führen zu einem komplexen elektrischen Netzwerk, in dem sich bei schnellen Schaltvorgängen kurzfristig interne, lokale Spannungsüberhöhungen ausbilden können. Diese transienten Spannungen sind einer direkten Messung nicht zugänglich und müssen über komplexe Simulationen erfasst werden, um klare Aussagen über die notwendigen Isolationskonzepte zu erhalten.

Das ITP hat für ITER die Berechnung der transienten Spannungen an Toroidal- (TF) und Poloidalfeldspulen (PF) übernommen. Hierzu wurde z. B. die PF3 und PF6 Spule von ITER in einem detaillierten Finite-Elemente Programm nachgebildet, um die besonders kritischen Resonanzfrequenzen der Spulen zu ermitteln. Hierbei ergaben sich Resonanzfrequenzen bei 20.6 kHz und 28.6 kHz und ein starker Einfluss der verwendeten Instrumentierungskabel.

Im nächsten Schritt sollen gemeinsam mit ITER und dem europäischen ITER Home Team Fehlerfälle definiert werden, aus denen dann die später möglicherweise resultierenden Spannungsüberhöhungen folgen. Damit können dann für ITER die notwendigen Isolations- und Prüfkonzepte ausgelegt werden.

Kryogene Materialtests und mechanische Tests von supraleitenden Kabeln

W7-X und ITER

Begleitend zu den Fusionsexperimenten W7-X und ITER wurden zahlreiche mechanische Tests durchgeführt. So wurden im Jahr 2008 ca. 200 Zugtests an verschiedenen Materialien wie GFK, geschweißtem Aluminium, Al-Bronze (2.0966), Stahl (1.4429) oder Inconel 716 bei Temperaturen von 77 K und 4.2 K durchgeführt. Ergänzt wurden die Zugtests durch weitere Charakterisierungen wie bruchmechanische Eigenschaften als auch die thermische Ausdehnung von Stählen und Isolationsmaterialien.

Speziell für ITER wurde eine systematische Untersuchung begonnen um das mechanische Verhalten des Stahlmantels um das supraleitende Kabel für die Torodialfeldspulen (TF) zu messen. Hier wurden mehrere 316LN Stahlrohre in verschiedenen Kompaktierungszuständen einer anschließenden Temperaturbehandlung ausgesetzt, vergleichbar zu der Glühbehandlung eines supraleitenden Kabels. Aus diesen Rohrstücken wurden schließlich so genannte Flachzugproben gefertigt um sowohl die Zug- als auch die bruchmechanischen Eigenschaften messen zu können. Bei den bisher gemessenen Proben bei 4.2 K zeigt sich bei einem Verformungsgrad von ca. 12% zum einen eine Erhöhung der Prüfstärke $Rp0.2$, zum anderen eine starke Reduzierung der maximalen Dehnung.

Während der Fertigung der TF-Leiter muss dies berücksichtigt werden, da die deutliche Verfestigung und Versprödung von 316LN durch das Kompaktieren der Stahlhülle zu Problemen bei dem anschließenden Wickeln der Spule führen kann.

316LN Rohr Verformungsgrad	$R_{p0.2}$	Gesamt- dehnung
0 %	~1100 MPa	> 30 %
12 %	~1300 MPa	< 20 %
Werte bei 4.2 K aufgenommen		



Während der Fertigungsphase der Magnete für ITER ist mit einer hohen Anzahl an zusätzlichen Routine-Zugmessungen bei kryogenen Temperaturen zu rechnen (bei W7-X fallen über 200 Zugmessungen pro Jahr an). Um einen entsprechenden Messaufwand bewältigen zu können, wurde ein Kryostat mit einer Zugvorrichtung und einer maximal Belastung von 100 kN vorbereitet.

Hier sollen in einem Abkühlvorgang bei 4.2 K mit einem eigens konstruierten Probenschlitten bis zu 10 Proben nacheinander bis zum Versagen getestet werden können. Dies erlaubt eine wesentlich effizientere Durchführung dieser Routine-Tests. Zurzeit laufen die erforderlichen messtechnischen und konstruktiven Arbeiten für den notwendigen Probenschlitten.

Elektromechanische Untersuchungen im Magnetfeld – FBI

Im Hinblick auf die Anwendung von Hochtemperatursupraleiter (HTS) in der Fusionstechnologie sollen entsprechende HTS Bänder in der FBI-Anlage untersucht werden. Hierzu ist es allerdings notwendig Temperaturen von über 4.2 K bis hin zu 77 K zu erreichen.

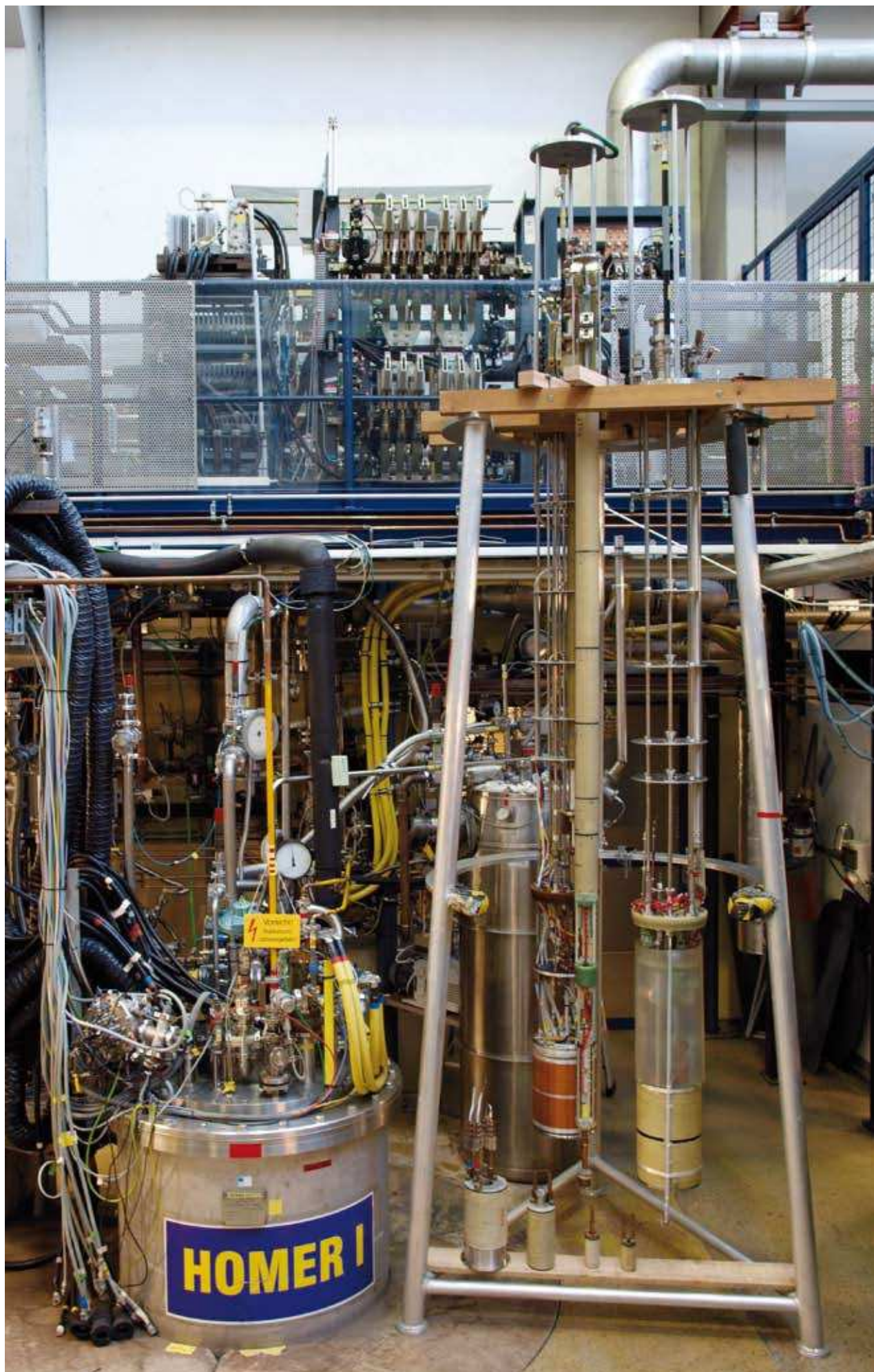
Hierzu wird ein temperaturvariabler Einsatz benötigt, der in dem begrenzten Volumen des vorhandenen Magneten verwendet werden kann. Verschiedene Konzepte wurden realisiert und in Vorversuchen getestet. In der nächsten Zeit sollen diese nun unter Realbedingungen in der FBI-Anlage geprüft werden.

Bei erfolgreichen Ergebnissen an HTS-Bändern und verseilten Kabeln sollen auch Experimente an entsprechend großen HTS-Kabeln für Fusionsmagnete ermöglicht werden. Hierzu wird jedoch ein wesentlich größeres Testvolumen im Magneten benötigt. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden verschiedene Konzepte erarbeitet wie dies realisiert werden kann. Im wesentlichen ist jedoch ein Spalt-Magnet mit ausreichend großem Spalt und homogenen Magnetfeldbereich notwendig, der bei gegebener Finanzierung für künftige Untersuchungen im Hinblick auf DEMO eingesetzt werden kann.

Vorbereitende Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO

Bereits in 2007 hat das ITP Studien und Analysen aktuell verfügbarer Hochtemperatur-Supraleitermaterialien vorgenommen. Das Ergebnis der Studien zeigt klar auf, dass der Hochtemperatursupraleiter RE-123 (auch „coated conductor“ genannt) die Chance bietet, bei künftigen Fusionsreaktoren Magnetspulen bei vergleichsweise hohen Temperaturen von 65 K zu betreiben. Dies eröffnet die Chance auf ein einfacheres Kühlkonzept unter Einsparung von Kälteleistung und somit auf einen einfacheren und effizienteren Fusionsreaktor.

Als Konsequenz hat das ITP begonnen erste Konzepte für Hochstrom-Kabel aus „coated conductor“ Material zu entwickeln. Details zu diesen Arbeiten werden beim Forschungsbereich „Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen“ beschrieben.



25 Jahre HOMER I: Hintergrundmagnetsystem und variable Hochfeldeinsatzspulen

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

Die Arbeiten der Gruppe „Supraleitende Hochfeldmagnete“ im Jahr 2008 sind in zwei wichtigen Teilgebieten angesiedelt. Zum einen lag das Augenmerk auf den Strom-Spannungs-Untersuchungen an potenziellen, kommerziell verfügbaren, technischen Hochstromsupraleitern für den Einsatz in hohen Magnetfeldern ($B \geq 20$ Tesla) bei tiefen Temperaturen bis 1.8 Kelvin. Zum anderen wurden für die bevorstehenden Projekte die Experimentieranlagen des Hochfeldlabors, die seit mehr als 25 Jahre im Routinebetrieb sind, modernisiert bzw. hinsichtlich höherer Magnetfelder weiter ausgebaut.

Supraleiter-Charakterisierung

In den Experimentieranlagen des Hochfeldlabors wurden 2008 hauptsächlich moderne $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ - und Hochtemperatur-Supraleiter der 1. und 2.-Generation hinsichtlich ihres Einsatzpotenzials zum Bau von Hochfeld-Einsatzspulen untersucht. Daher stand das $E(I)$ -Verhalten dieser Leiter in Magnetfeldern bis 20 T, Strömen bis 1500 A, Temperaturen bis 1.8 K und Lorentzkraftbelastungen größer 200 MPa im Vordergrund. Des Weiteren wurden Experimente zum Quenchverhalten, zur thermischen Stabilität, zur Stabilität gegenüber externen Feldänderungen, sowie zum Hot-Spot-Verhalten durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass es besonders bei HTS-Supraleiter der 2ten Generation (YBCO-Bandleiter) aufgrund ihres Schichtaufbaus (Abb. 1) bei Störungen des supraleitenden Zustandes und durch den Einfluss von hohen Transportströmen zu irreversiblen Degradationen bis hin zur thermischen Zerstörung kommen kann. Dieses Verhalten wird in Zukunft sowohl theoretisch an Hand von

FEM-Modellrechnung, als auch durch experimentelle Anordnungen näher untersucht. Trotz dieser Problematik konnten erfolgreiche Messungen zur $I_c(B)$ - und $n(B)$ -Bestimmung besonders der YBCO-Bandleiter der Firma SuperPower und American Superconductor, aber auch Bi2223-Leiter der Firma Sumitomo bei Magnetfeldern bis 20 T und Badtemperaturen bis 1.8 K durchgeführt werden.

Experimentieranlagen:

Komponentenentwicklung:

• Rampengeneratoren:

Um einen sicheren, stabilen Betrieb von bis zu drei stark induktiv gekoppelten supraleitenden Spulenstromkreisen zu gewährleisten, ist der Betriebsmodus der Hochstromnetzgeräte von der Spannungsregelung auf die Stromregelung umgestellt worden. Im Gegensatz zur Spannungsregelung, bei der es durch externe Störungen zu Stromschwankungen im Magnetkreis gefolgt von induzierten Spannungen in den supraleitenden Spulen und damit zu einer ungewollten Abschaltung des Gesamtsystems kommen kann, wird im stromgeregelten Modus über einen externen Rampengenerator eine feste, hochstabile Änderungsrate des Stromes vorgegeben. Die Steuereinheit des Netzgerätes erzeugt die dafür notwendige Ladespannung, äußere Störungen wie z. B. Widerstandsänderungen in den Zuleitungen werden ausgegletzt. Induzierte Spannungen in den Einzelsektionen werden somit reduziert, der Betrieb ist sicherer. Hochstabile Rampengeneratoren sind jedoch kein kommerzielles Produkt. Daher musste eine Eigentent-

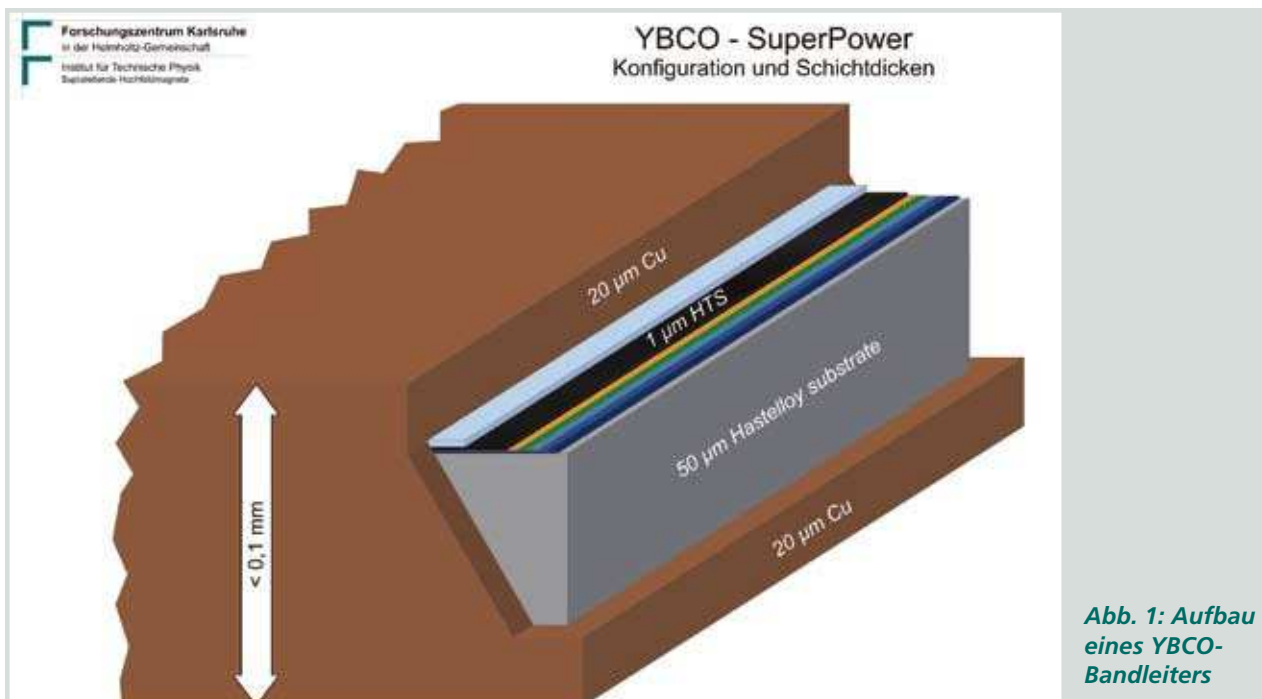


Abb. 1: Aufbau eines YBCO-Bandleiters

wicklung gestartet werden, bei der die zugrunde liegende Idee durch moderne Platinentechnik und hochstabile Elektronikbauteile realisiert wurde. Die entstandenen Prototypgeneratoren erreichen für das HOMER I-System eine maximale Genauigkeit des Sollwertes von ca. 1 mT bei einer minimalen Feldänderungsrate von 0,1 mT/s und einer Langzeitstabilität besser als 1 mT. Sie sind zusätzlich gegen äußere elektromagnetische Störeinflüsse optimal abgeschirmt.

- **Stromzuführungen:**

Eine wesentliche Komponente zum Betrieb von supraleitenden Spulen sind die Stromzuführungen, die den eingespeisten Magnetbetriebsstrom vom Raumtemperatur (RT)-Flansch in den Kryostaten zu den Spulenschlüssen leitet. Da dabei ein Temperaturgradient von ca. 300 °C zu überwinden ist und Ströme bis 3000 A transportiert werden, müssen die Stromzuführungen geringe thermische Verluste aufweisen. Für den neuen Inneneinsatz der HOMER II-Anlage wird eine Vierfach-Stromzuführung mit einem Gesamtstrom von 8000 A benötigt. Bei der Konstruktion dieser Stromzuführung wurden mit Hilfe von FEM-Analysen und begleitende Messungen sowohl der Stromzuführungskopf (Abb. 2), als auch alle stromführenden Kupferanteile hinsichtlich der elektrischen Verluste untersucht und optimiert. Alle notwendigen Komponenten, Strahlungsschilde und die Stromdurchführungen für das 1.8 K-Magnetbad wurden ausgelegt, konstruiert und zur Fertigung der ITP-Verbundwerkstatt übergeben.

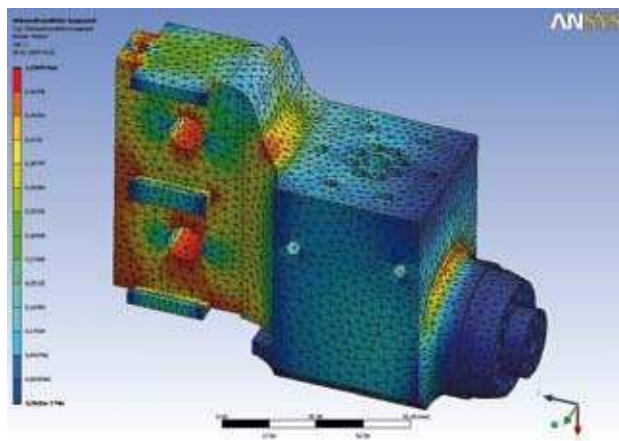


Abb. 2: FEM-Analyse des RT-Stromzuführungskopfes

- **Potenzialtrenner:**

Im Rahmen der Fusionsarbeiten für das W7-X-Projekt wurden zur Inbetriebnahme der TOSKA-Anlage Potenzialtrenner benötigt. Potenzialtrenner, die das Magnetpotenzial vom Potenzial der Schutzerde trennen, sind in der kryogenen und elektrischen Versorgung eines Magnetkryostaten essentielle Bestandteile. Die Spezifikationen der kryogenen Potenzialtrenner umfassen, neben der mechanischen Festigkeit, auch eine Hochspannungs- und Druckfestigkeit bei einer gleichzeitig raumsparenden Ausführung. Das vorhandene Know-how aus der Eigenfertigung der Potenzialtrenner konnte auf die Spezifikationen (13 kV Hochspannungsfestigkeit, 30 bar Druckfestigkeit, Leckraten $< 10^{-6}$ mbar l/sec) der TOSKA-Anlage übertragen werden. Es wurde eine Kleinserie von 10 Stück gefertigt, mit einer neuen Prüfeinrichtung im Hochfeldlabor auf ihre Hochspannungstauglichkeit hin untersucht und im Frühjahr 2008 an das TOSKA-Team übergeben.

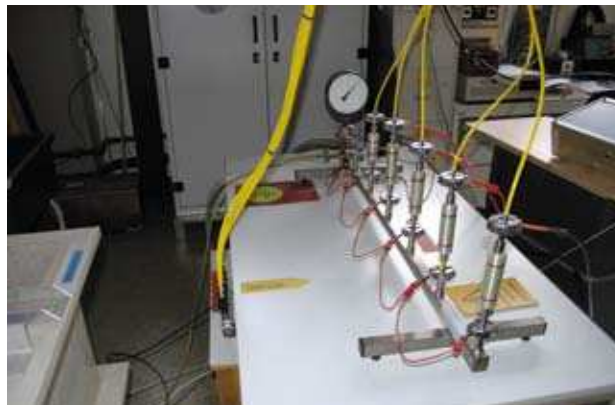


Abb. 3: Hochspannungs-Prüfplatz für Potenzialtrenner

- **JUMBO:**

Die Jumbo-Anlage ist aufgrund ihrer Kompaktheit und geringen Betriebskosten ein unersetzliches Experimentiersystem, um einmal standardisierte Messungen zum $I_c(B)$ -Verhalten technischer Supraleiter durchzuführen, aber auch um neue, komplexere Fragestellungen wie z. B. die Stromumverteilung in diesen Leitern in Angriff zu nehmen. Eine weitere Fragestellung befasst sich mit den Untersuchungen der elektrodynamischen Fluss-Instabilitäten der HTS-Schichtsupraleiter bzw. konventioneller Supraleiter mit Filamentdurchmesser $> 100 \mu\text{m}$. Ein hierzu eigens entwickeltes, kontinuierliches $E(I)$ -Messprogramm benötigt jedoch die Minimierung der externen, transienten Störsignale unter das eigentliche Messsignal. Daher wurde 2008 an der komplette Anlage der Potenzialausgleich der metallischen Komponenten überprüft und gegebenenfalls erweitert, sowie alle Signal- und Datenleitungen einer neuen Schirmung unterzogen. Die durchgeführten Schutzmaßnahmen und Schirmungen sind vom TÜV Mannheim überprüft und zertifiziert worden. Zusätzlich wurde an das Netzgerät zur Transportstrom-Steuerung unser neuer, innovativer Rampengenerator implementiert.

- **HOMER I:**

Nachdem 2007 am NbTi-Magnetsystem der HOMER I-Anlage ausführliche Revisionsarbeiten an der elektrischen Verschaltung und an der 1.8 K – Unterkühlereinheit durchgeführt wurden, standen im letzten Jahr Modernisierungen der Spulenstromsteuerung und -überwachung sowie der Quenchdetektion an. Zur Steigerung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Stromsteuerung im Netzgerätebetrieb sind die neuen hochstabilen Rampengeneratoren integriert worden. Jeder Generator wurde auf die Erfordernisse des gewünschten Stromes (3000 A, 1500 A bzw. 1000 A) und der zulässigen Stromrampen individuell angepasst. Mit der Einführung einer kontinuierlichen Überwachung sowohl der Magnetströme, als auch gesamten Magnetpotentiale, Pick-up Spulen und Hallsonden steht nun eine neue Online-Kontrolleinheit des HOMER I-Magnetsystems zur Verfügung. Die begonnene Erneuerung des Quenchdetektionssystem wurde auf die 15 T-Magnetkonfiguration ausgeweitet. Außerdem musste aufgrund der starken induktiven Kopplung zwischen den untersuchten Hochstrom-Supraleitern und den Hintergrundmagnetspulen die redundanten Quenchdetektoren mit Doppelfunktionen ausgerüstet werden und eine intelligente Abstimmung zwischen den Detektoren bei internen bzw. externen Feldänderungen eingeführt werden.

HOMER II:

Die derzeitige Magnetfeldkonfiguration mit 20 T in 185 mm freier Bohrung wird zu höheren Zentralmagnetfeldstärken ausgebaut. Um höchste Magnetfeldbeiträge der zukünftigen Einsatzzspulen zu erhalten, muss die Transportstromtragfähigkeit der eingesetzten Supraleiter maximal ausgenutzt werden. Daher ist es notwendig, die potenziellen technischen Supraleiter in der Nähe des späteren Betriebspunktes hinsichtlich ihres kritischen Stromes und ihrer simultanen Lorentzkraftbelastbarkeit zu charakterisieren. Hierzu wurde ein Dreifach-Testspulensatz konzipiert, konstruiert und gefertigt. Der notwendige Inneneinsatz wurde im Berichtszeitraum konstruiert und zur Fertigung in der ITP-Verbundwerkstatt freigegeben (s. Abb. 4). Dieser Inneneinsatz besteht aus einem Edelstahlflansch als Basis für die mechanische Stützstruktur, Al-Strahlungsschilden zur Reduktion der thermischen Einstrahlung, einer thermischen Barriere zwischen dem 4.2 K und dem 1.8 K Bad mit Helium II-tauglichen Stromdurchführungen, der oben erwähnten Vierfach-Stromzuführung für insgesamt 8000 A Transportstrom, verlustarme Stromverbindungen zwischen Stromzuführung und Testobjekt sowie Terminals und Messleitungsdurchführungen vom 1.8 K- bis RT-Bereich.

Magnet-Test-Anlage II (MTA II):

Die MTA II dient als Testbett zur Aufnahme von badgekühlten Magnetsystemen mit einem Gesamtvolumen von ca. 1,7 m³, die mit maximal drei Magnetstromkreisen bei Temperaturen von 4.2 K bis 1.8 K betrieben

werden können. MTA II ist ein vertikaler Helium-Weithals-Badkryostat von etwa 5 m Länge bestehend aus Vakuumbehälter, Stickstoff- und Heliumschild und einem Helium-Einsatz.



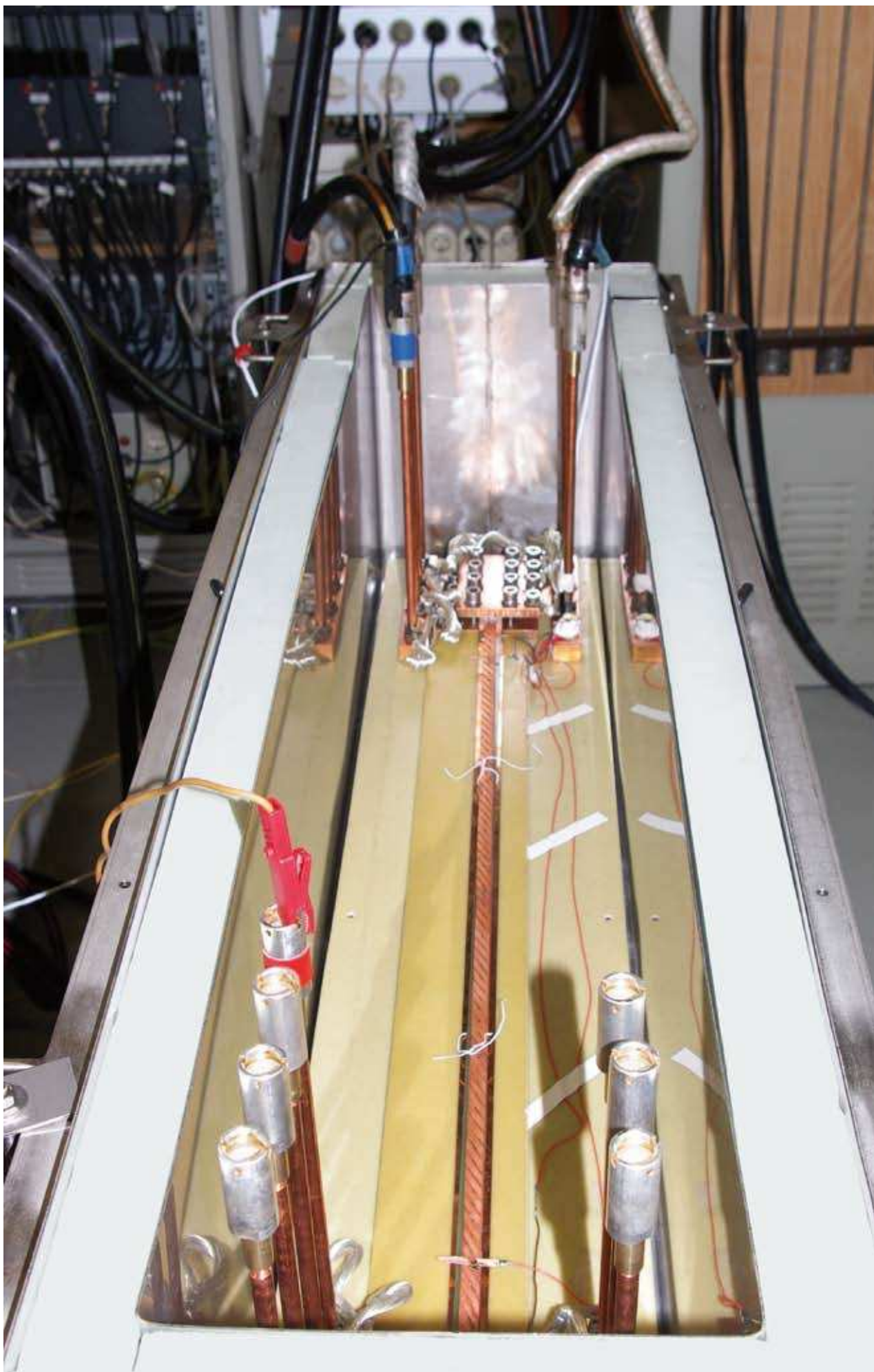
Abb. 4:
Inneneinsatz
für HOMER II
mit Vierfach-
Stromzu-
führung und
Dreifach-
Testspulensatz

Der MTA II-Kryostat wurde erfolgreich installiert und getestet. Auf dem Weg zur Fertigstellung der kompletten Anlage wurde nun die Arbeitsbühne im Bereich der MTA II erweitert. Die Bühne dient als Plattform für die Aufnahme der Rohrleitungen der kryogenen Versorgung, d.h. flüssig Stickstoff und flüssig Helium Zu- und Ableitungen, Abpumpleitungen für den 1.8 K Betrieb, Abgasleitungen, Steuerung der Stromzuführungskühlung sowie Quenchgasrohre. Des Weiteren wird dort die elektrische Versorgung

der Anlage mit Netzgeräten, Stromschienen, Schaltablage und Schutzwiderstände installiert. Die komplette Arbeitsbühne wurde ausgelegt und Ende des Jahres fertig gestellt (Abb. 5).



Abb. 5: Neue Arbeitsbühne im Bereich der MTA I



Ein 2.6 kA Roebelkabel im IN2-Testkryostaten mit 7-fach geteilter Transportstromspeisung

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

Supraleitermaterialentwicklung

Die Supraleiterentwicklung konzentrierte sich auf Magnesiumdiborid (MgB_2), den Hochtemperatursupraleiter YBCO-Bandleiter und mit beschränkter Aktivität auch auf BSCCO(2212)-Rundleiter im Hinblick auf die mögliche Anwendung für Fusionsmagnete. Für alle Materialien wurde im Hinblick auf die Wechselstromanwendung und hohe Transportströme die Entwicklung verseilter Kabel in Angriff genommen. Darüber hinaus wurden für Magnesiumdiborid weiterhin sehr dünne Drähte entwickelt und Partnern zu Testzwecken für die Weltraumanwendung zugänglich gemacht.

Entwicklung von YBCO-Bandleitern

Im Hinblick auf zukünftige wechselstromverlustarme Bandleitervariationen wurden Untersuchungen zur Laminierung und supraleitenden Verbindung von Bandleitern durchgeführt. Dabei kamen verschiedene Kontaktierungsdünnschichten aus deponierten Metallen oder lössungsdeponiertes Supraleitermaterial zur Anwendung. Erste niederohmige Kontakte wurden realisiert

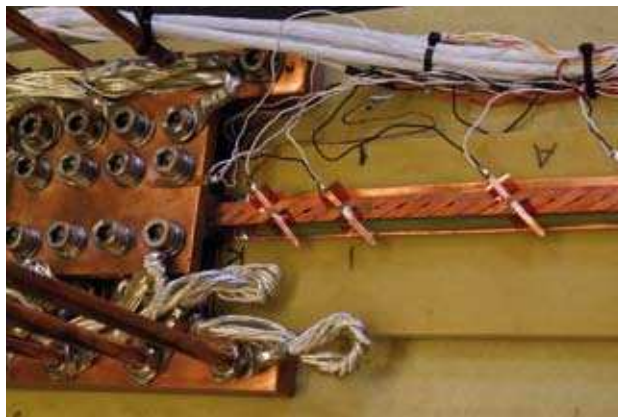
Roebelkabel aus YBCO-Bandleitern

Wechselstromverlustarme Roebelkabel für hohe Betriebsströme sind seit ihrer ersten Vorstellung 2005 durch das ITP in der ständigen Fortentwicklung für den Einsatz in verschiedenen zukünftigen energietechnischen Anwendungen. Das Kabelkonzept ist insbesondere für Wicklungen geeignet. Je nach Anwendung werden einige kAmpère (Motoren, Transformatoren) bis hin zu >20 kAmpère (zukünftige Fusionsmagnete) gefordert. Mit einem neuen Kabeldesign konnte bei gleichbleibend kurzer Transposition der Einzelleiter (Strands) deren Zahl auf 45 verdreifacht werden. In einem Kabelstück von 1.1 m Länge wurde dadurch ein Transportstrom von 2,6 kAmpère im stabilen Betrieb bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff (77 K) erreicht. Das neue Kabeldesign erlaubt eine weitere Erhöhung der Zahl der gebündelten Leiter, sodass Kabel der 5 kA-Klasse generell möglich sind. Das neue Kabeldesign erlaubte wertvolle Untersuchungen zum Stromverteilungsverhalten im Kabel selbst und zur Strombeaufschlagung am Kabelende.



Roebelkabel mit 1.1 m Länge und Transportstrom von 2.6 kA bei 77 K

In einer zweiten Linie wurde erfolgreich die Entwicklung schmalere Roebelkabel begonnen, die als verlustarme Einzelleiter in einem Höchststromkabel für zukünftige Fusionsmagnete zum Einsatz kommen sollen. AC-verlustmessungen wurden durchgeführt.



Kabelausschnitt und Bereich der Stromeinkopplung des Roebelkabels in Abb. 1



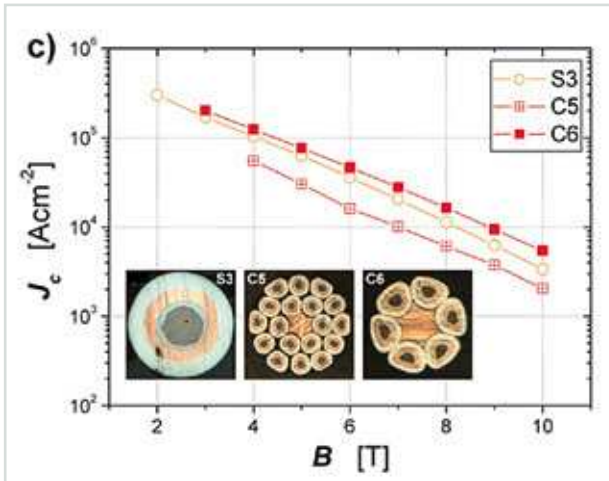
Reduktion der Roebelkabelbreite von 12 mm (unten) auf 4 mm (Mitte) und Stahlbandversuche für 2 mm breite Strukturen (oben)

Verseilte BSCCO(2212) Leiter

Es wurden dünne hochfeste BSCCO-Drähte für ein Verseilkonzept zu Hochstromkabeln, anlehnend an die Bündeltechnik bei herkömmlichen Fusionsmagnetleitern, hergestellt und die Präparationsbedingungen im Detail untersucht. Erste Proben sind für die Charakterisierung bereitgestellt worden.

Magnesiumdiborid-Kabel und Anwendungen

In den letzten Jahren wurden die supraleitenden Eigenschaften von Magnesiumdiborid (MgB_2)-Leitern kontinuierlich verbessert. Obwohl MgB_2 -Leiter im Gegensatz zu HTSL-Bändern recht einfach mit rundem oder quadratischem Querschnitt produziert werden können, wurden bisher weltweit nur wenige Anstrengungen unternommen, die AC-Verluste solcher Leiter zu reduzie-



Feldabhängigkeit der Stromdichten eines einzelnen MgB₂-Drahtes (S3) mit Komposithülle aus Nb/Cu/Edelstahl und von Kabeln, die aus 6 bzw. 18 dieser Einzeldrähte hergestellt wurden

ren oder AC-verlustarme Hochstromkabel aus diesem Material zu entwickeln. Einsatzgebiet ac-verlustarmer MgB₂-Kabel sind rotierende Maschinen, Transformatoren oder Magnete mit hohen Rampengeschwindigkeiten.

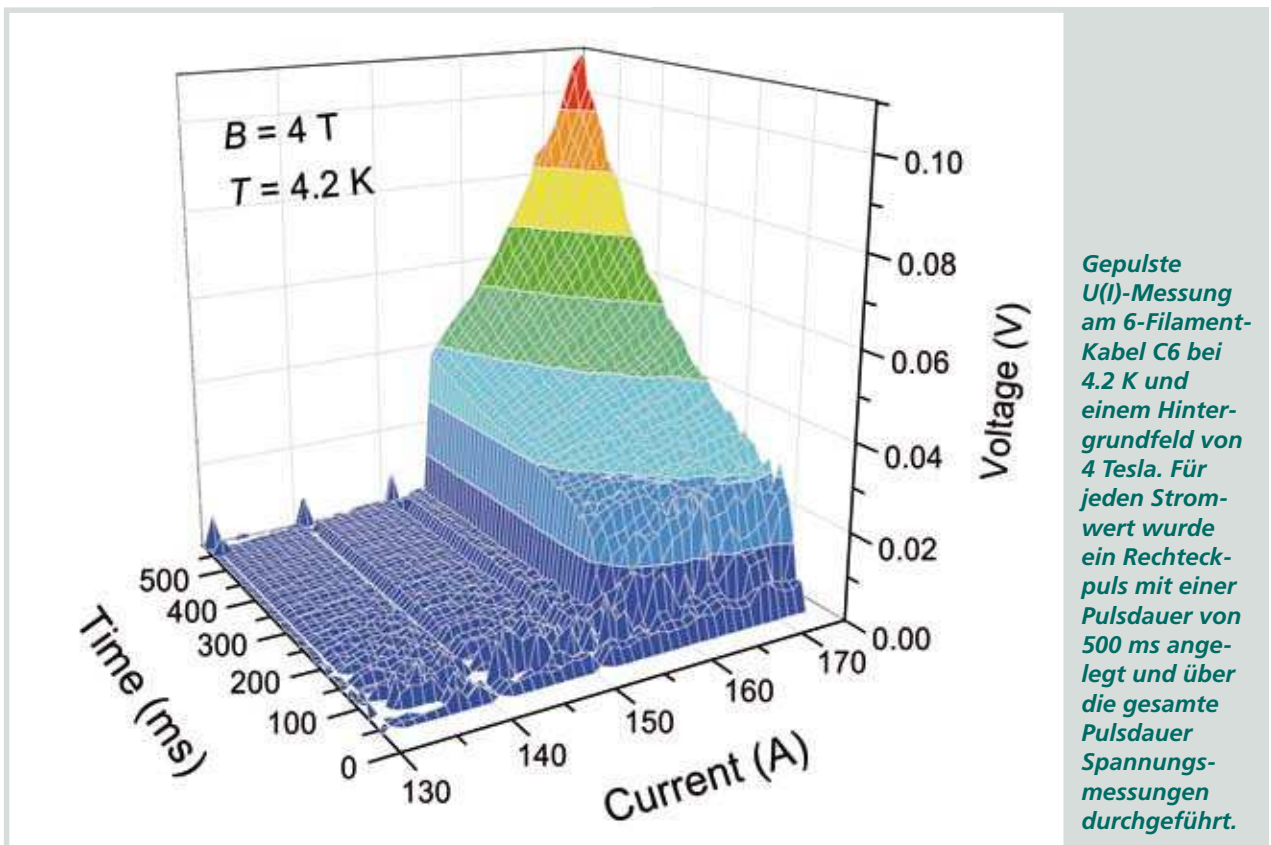
Im Rahmen des EU-Projekts „NESPA“ wurden erste, kurze MgB₂-Kabel aus elektrisch und mechanisch stabilisierten MgB₂-Drähten mit Hilfe der „Cable-and-React-Technik“ (C&R-Technik) hergestellt. Dabei wurden 6 oder 18 dünne, unreaktierte Einzeldrähte ($\varnothing = 346 \mu\text{m}$) mit unterschiedlicher Twistlänge um einen Cu-Kern verseilt. Die fertigen Kabel wurden anschließend durch Verformung kompaktiert und danach einer Wärmebehandlung unterzogen, bei der die MgB₂-Phase gebildet

wurde. Dank der mechanischen Stabilisierung der Einzeldrähte und dank der Anwendung der C&R-Technik konnten dabei kurze Twistlängen zwischen 11 mm und 5 mm realisiert werden, die eine effektive Reduktion der AC-Verluste im Vergleich zu ungetwisteten Leitern garantieren. Bei der Mehrheit so hergestellter Kabel wurde, verglichen mit den Werten der Einzeldrähte, keine wesentliche Verringerung der Stromdichte beobachtet. Einige der Kabel wiesen im gesamten untersuchten oder in begrenzten Feldbereichen sogar höhere Stromdichten auf als die vergleichbaren Einzelstrands. Anhand erster AC-Verlust-Messungen wurden die Beiträge von Supraleiter und Komposithülle ermittelt. Nachdem die Eignung der C&R-Technik zur Herstellung von kurzen MgB₂-Kabeln demonstriert wurde, ist derzeit eine Anlage zur Verseilung größerer Kabellängen im Aufbau.

Für den „Persistent-Mode“-Betrieb von supraleitenden Magneten wurden supraleitende Drahtverbindungen entwickelt, mit einem Restwiderstand $<10\text{-}12 \text{ n}\Omega$. Deren Stromtragfähigkeit im Magnetfeld weist eine ähnliche Feldabhängigkeit auf wie sie in den eingesetzten Einzeldrähten gemessen wurde.

Pulsstrommessung

Für die systematische Untersuchung der thermischen Eigenschaften von Supraleitern wurde eine Apparatur entwickelt, mit deren Hilfe Strompulse mit Pulsdauern von wenigen Millisekunden bis zu einigen Sekunden und Stromstärken bis 1500 A erzeugt werden können. Durch die Variation der Länge des Strompulses kann der Wärmeeintrag systematisch untersucht werden. Abb. 6 zeigt eine am MgB₂-Kabel C6 durchgeführte U(I)-Messung, bei der der Spannungsanstieg bei jedem Stromwert über die Dauer des Rechteckpulses (500 ms) beobachtet wurde. Dadurch können Rückschlüsse auf die thermische Stabilität der Leiter gezogen werden.



Gepulste U(I)-Messung am 6-Filament-Kabel C6 bei 4.2 K und einem Hintergrundfeld von 4 Tesla. Für jeden Stromwert wurde ein Rechteckpuls mit einer Pulsdauer von 500 ms angelegt und über die gesamte Pulsdauer Spannungsmessungen durchgeführt.

Supraleitende energietechnische Anwendungen

Die Arbeiten im Bereich neuartiger Betriebsmittel für energietechnische Anwendungen auf Basis von YBCO-Bandleitern wurden um weitere Anwendungen erweitert. Neben Arbeiten an Modulen für supraleitende resistive Strombegrenzer wurden die Arbeiten auf supraleitende strombegrenzende Transformatoren und Leitungen für Höchststromübertragungsstrecken ausgeweitet.

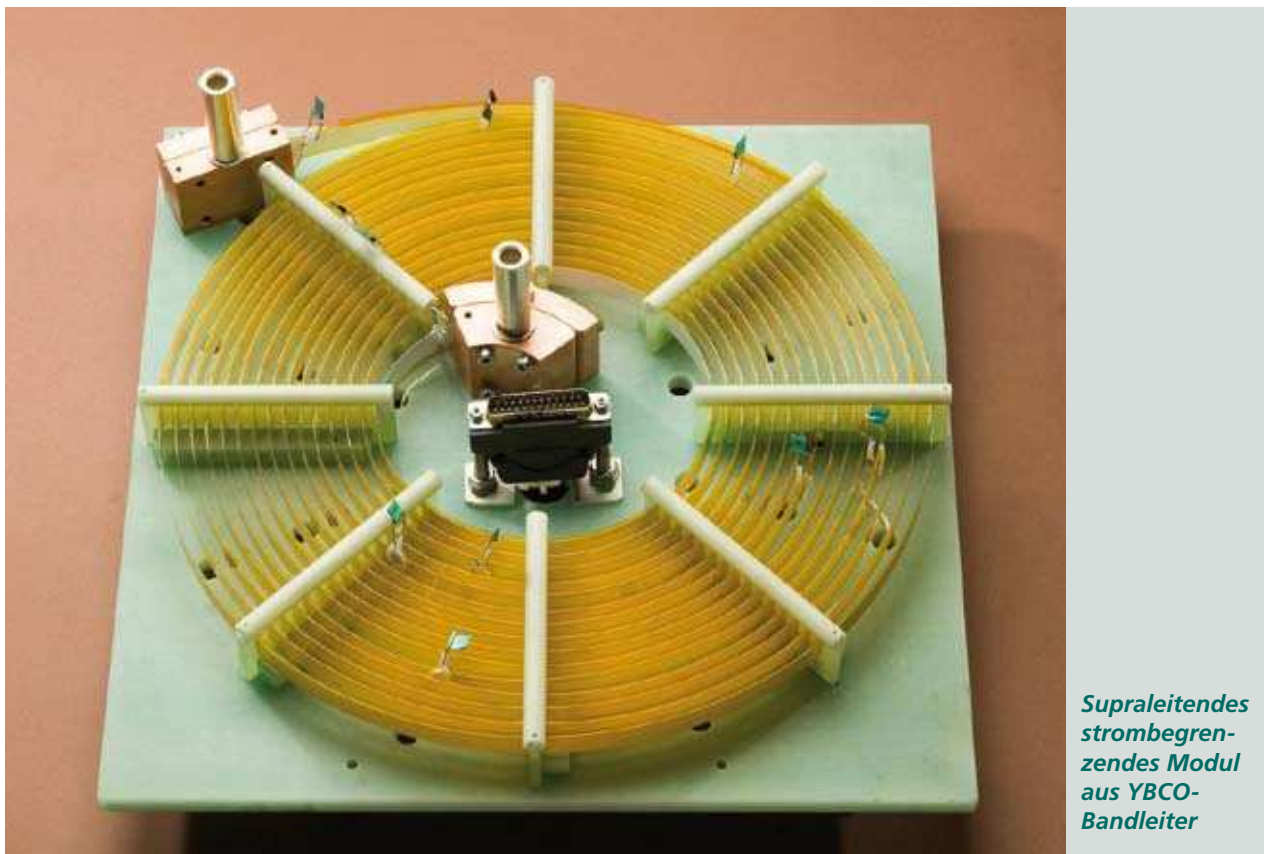
Die Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender Transformatoren umfassten die Integration fehlerstrombegrenzender Eigenschaften und das Rückkühlverhalten nach einem Begrenzungsvorgang. Im Bereich der Höchststromübertragungsstrecken wurde eine Durchführbarkeitsstudie erstellt, die sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

Die Laboreinrichtungen zum Test von supraleitenden Betriebsmitteln wurden ergänzt und ausgebaut. Mit den verfügbaren Testeinrichtungen können Hochtemperatursupraleiter für energietechnische Anwendungen umfassend charakterisiert werden.

Für Hochspannungsmessungen wurde ein neues Versuchsfeld qualifiziert. Der Einsatz von kryogenen Flüssigkeiten als Dielektrika bei hochspannungstechnischen

Betriebsmitteln erfordert eine genaue Kenntnis der jeweiligen dielektrischen Festigkeit. Zur Ermittlung der dielektrischen Festigkeit von Flüssigstickstoff bei Drücken von 1 bar bis 3 bar (abs.) wurden Durchschlags- und Stehspannungsversuche an einer Kugel-Platte-Anordnung in einer neuen Experimentierkabine des kryogenen Hochspannungslabors durchgeführt. Die im Rahmen eines Aufgabenpaketes zur Auslegung eines supraleitenden Strombegrenzers festgelegten experimentellen Zielwerte von 200 kV (effektiv) für Wechselspannung und 360 kV für Standardblitzstoßspannung konnten erreicht werden.

Für die Untersuchung von leistungsstarken Prototypen neuartiger Betriebsmittel für die Energietechnik, wurde in Zusammenarbeit mit der Florida State University in Tallahassee ein neuartiges Testverfahren Power-Hardware-in-the-Loop (PHIL) weltweit erstmalig erfolgreich für transiente Untersuchungen an einem supraleitenden strombegrenzenden Modul erprobt. Dieses Testverfahren ermöglicht Untersuchungen von energietechnischen Betriebsmitteln ohne die üblichen kosten- und zeitintensiven Vorbereitungen.



Supraleitendes strombegrenzendes Modul aus YBCO-Bandleiter



Abb. 3: Elektrolyse-Einheiten im Caisson

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)

Leitung: Dr. Lothar Dörr

Das TLK ist ein in Europa und Amerika einzigartiges Halbleitertechnikum mit einer Umgangsgenehmigung für 40 g ($1,5 \cdot 10^{16}$ Bq) Tritium, 100 kg abgereichertes Uran sowie Rubidium und Krypton als Prüfstrahler zu Kalibrierzwecken. Auf einer Experimentierfläche von mehr als 1000 m² stehen mehr als 10 Handschuhkastensysteme mit einem gesamten Volumen von etwa 125 m³ als Einschluss für die Tritium führenden Versuchsanlagen zur Verfügung. Gründungsaufgabe und umfangreichster Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Der zweite Schwerpunkt liegt im Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Elektronantineutrinos.

Betrieb und Infrastruktur TLK

Die konventionelle sowie die Tritiuminfrastruktur im Tritiumlabor war zur Unterstützung der Forschungsvorhaben für das Programm Kernfusion uneingeschränkt verfügbar. Aus dem Tritium-Lager wurde insbesondere die Experimentieranlage zur Entwicklung der Plasmaabgasreinigung für ITER (CAPER) mit reinem Tritium versorgt. Nach der Prozessierung in CAPER wurde das Tritium gereinigt, aufkonzentriert und wieder im Lager gespeichert (siehe Abb. 1).

Die behördlichen Auflagen der neuen Betriebsgenehmigung wurden jederzeit erfüllt. Es gab keine Beanstandungen bei den Aufsichtsbesuchen durch die Genehmigungsbehörde. Meldepflichtige Ereignisse kamen nicht vor.

Für den Betrieb der Kryo-Transferline des Karlsruhe Tritium Neutrinoexperiments (KATRIN) wurde die Software zur Automatisierung und Visualisierung des Prozesses erstellt. Schwerpunkt der Leittechnikarbeiten war jedoch die Entwicklung einer Bausteinbibliothek als Grundlage für die PCS7 Projektierung der Visualisierung und Automatisierung der KATRIN-Tritiumkreisläufe, des Hauptspektrometers, des Vorspektrometers und des Monitorspektrometers. Mit Hilfe dieser Bibliotheken werden für die damit umgesetzten Anlagen einheitliche Automatisierungsfunktionen realisiert sowie für den Operateur eine einheitliche Bedienoberfläche (siehe Abb. 2) gewährleistet.

Die MSRE-Arbeiten konzentrierten sich auf die Erweiterung der Automatisierungstechnik für den parallelen Betrieb der Experimentiereinrichtung zur Wasserdetritierung mit der Anlage zur kryogenen Wasserstoffdestillation (TRENTA Experimente).

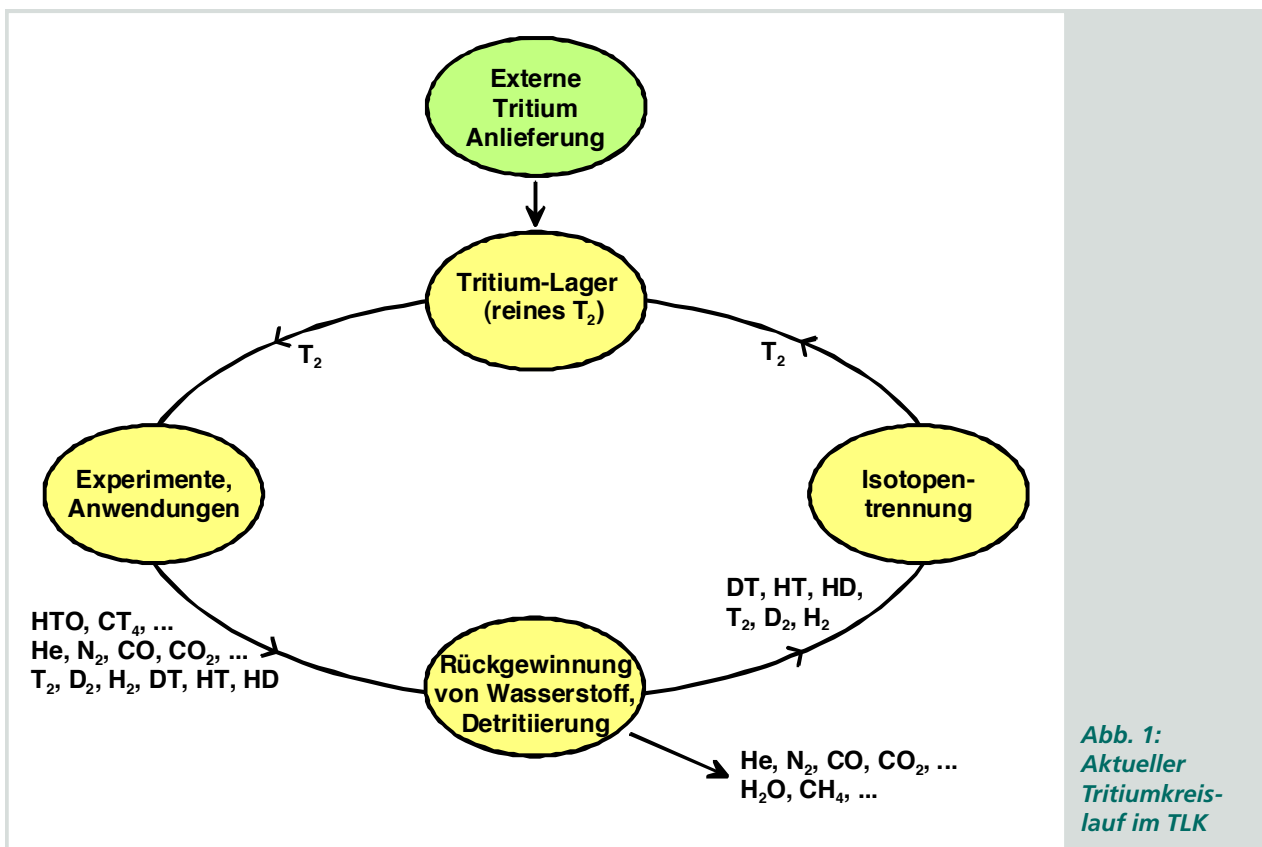
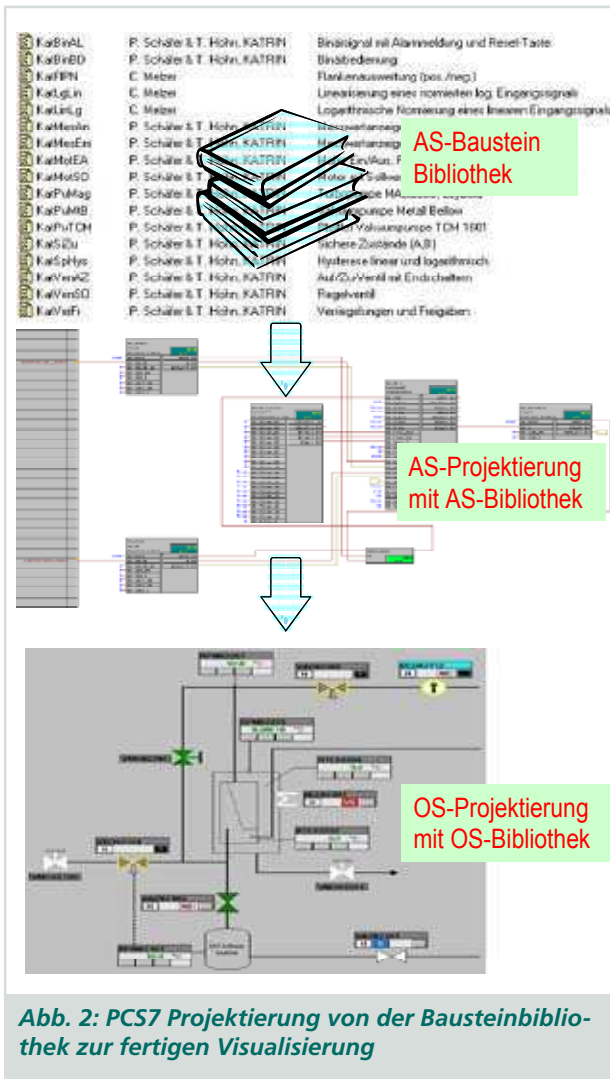


Abb. 1:
Aktueller
Tritiumkreis-
lauf im TLK



Für den vorgesehenen Anschluss der KATRIN-Transporthalle an die Halle des TLK wurde die bestehende Lüftungsanlage erweitert und zusätzliche Tritium-Raumluftmonitore beschafft.

TRENTA-Experimente

Im Rahmen des Programms Kernfusion werden im Tritiumlabor Prozesse zur Wasserdetritierung und zur Wasserstoffisotopentrennung entwickelt und untersucht. Diese Technologien werden für den Brennstoffkreislauf künftiger Fusionsreaktoren benötigt und im Hinblick auf die dafür benötigten Anforderungen ausgelegt und angepasst. Im TLK werden die Techniken im experimentellen Programm TRENTA dazu entwickelt und miteinander kombiniert.

In TRENTA3, dem Wasser-Detritierung-System (WDS), wird der bekannte CECE (Combined Electrolysis Catalytic Exchange) Prozess zur Rückgewinnung von Tritium aus tritiiertem Wasser verwendet. Die zwei Hauptsysteme des CECE Prozesses sind zum einen zwei Elektrolyse-Einheiten mit einer Gesamtkapazität von 2 m³h⁻¹ Wasserstoffgas (siehe Abb. 3) und eine 8 m lange LPCE (Liquid Phase Catalytic Exchange) Kolonne.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme wurden 2008 zwei Langzeitexperimente (je 4 Wochen) mit TRENTA3 durchgeführt. Hierbei wurde erstmals Wasser mit bis zu 40 GBqkg⁻¹ Tritium in der WDS-Anlage prozessiert und ein Dekontaminationsfaktor von bis zu 4E+4 erreicht.

Zur Wasserstoffisotopentrennung wird die kryogene Destillation bei Temperaturen von 20-30 K angewendet. Im ersten Schritt wurden verschiedene Packing-Materialien für die Kryokolonnen im Rahmen von TRENTA4-pre getestet (siehe Abb. 4). Dabei lag das Augenmerk auf einer effektiven Auftrennung der Isotope, sowie einem möglichst geringen Wasserstoffinventar in der Kolonne. Nach den ersten Experimenten ist das Packing Sulzer CY sehr vielversprechend. Dieses Packing wird in kommenden Experimenten in TRENTA4-pre weiter untersucht, vor allem auf die Einflüsse bei verschiedenen Kombinationen von Protium, Deuterium und Tritium im Prozessgas.



Abb. 4: Kopf der Kryokolonne in der Coldbox

Das Ziel der Experimentserie ist TRENTA4, bei der die beiden Systeme WDS und kryogene Destillation miteinander kombiniert sind. Auf diese Weise ist man in der Lage, das zurück gewonnene angereicherte Tritium von der WDS dem kryogenen System zuzuführen, wo es weiter angereichert und von den beiden anderen Wasserstoffisotopen getrennt wird. In Abb. 5 ist das Fließbild des Kombi-Systems dargestellt, das auch für zukünftige Fusionsreaktoren zur Rückgewinnung von Tritium genutzt werden wird.

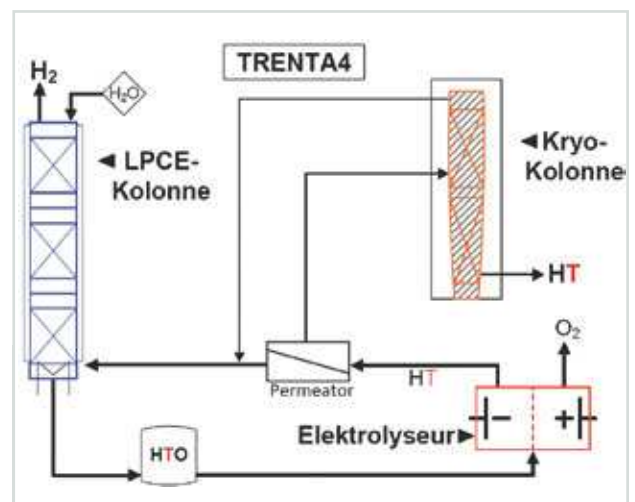


Abb. 5: TRENTA4: WDS + Kryodestillation

Blanket- und Tritiumtechnologie

Ein weiterer Schwerpunkt im Programm Kernfusion ist die Entwicklung von Prozessen zur quantitativen Rückgewinnung von Tritium aus verschiedensten Abgasen.

Hierzu wurde in den vergangenen Jahren der 3-stufige CAPER Prozess entwickelt. Die dritte und letzte Stufe des CAPER Prozess, PERMCAT, ist eine direkte Kombination aus einem Katalysator und einem Palladium/Silber Permeator, der im Gegenstrom über Isotopenaustausch mit Protium betrieben wird. Ein neuer „technischer“ PERMCAT Reaktor, der robuster, konstruktiv einfacher ausgelegt und einfacher zu fertigen ist, wurde in Kollaboration mit FZK/BTI produziert. Abb. 6 zeigt den inneren Aufbau mit 13 parallel angeordneten Membranrohren in einem Rohr, die von einem gemeinsamen Katalysatorbett umgeben sind. Diese Komponente wurde auch konzipiert, um hoch tritiiertes Wasser zu prozessieren. Die inaktive Inbetriebnahme und erste Experimente mit Austauschreaktionen zwischen H_2O und D_2 zeigten vielversprechende Ergebnisse. Es wurden trotz erhöhtem Durchsatz bessere Ergebnisse als mit dem früheren Design erzielt. Die Ergebnisse geben auch berechtigte Hoffnung für neue Anwendungen des PERMCAT Prozesses außerhalb des Tokamak Exhaust Processing Systems.

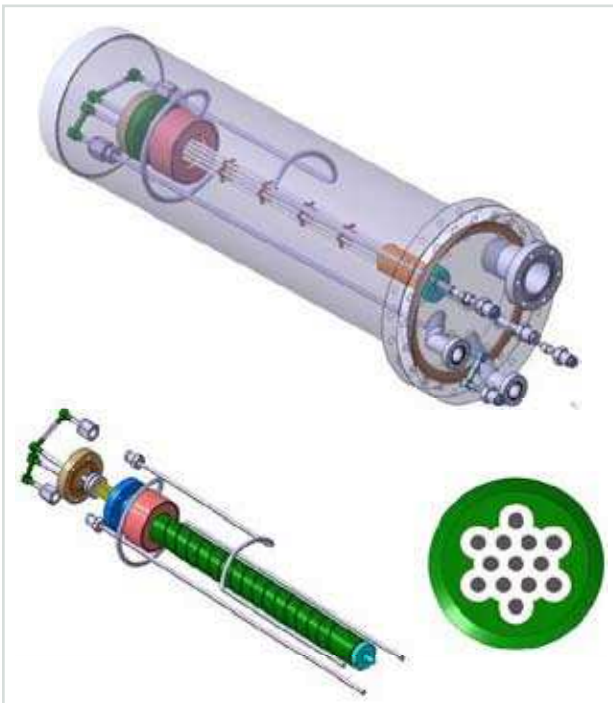


Abb. 6: Der neue PERMCAT Reaktor

Innerhalb des Programms Fusion ist im Hinblick auf DEMO die Rückgewinnung von Tritium aus dem Brutblanket eine große Herausforderung. Bisher wurden nur Konzepte mit semi-kontinuierlichen Prozessen (verschiedene Fallen im Adsorptions- oder Regenerationsmodus) studiert. Im vergangenen Jahr wurde ein neues kontinuierliches Konzept vorgeschlagen (Abb. 7). Die Kernkomponenten des Prozesses sind ein PERMCAT, um Tritium aus Wasser zurück zu gewinnen, und ein selektiver Permeator als Vorstufe. Materialien, die eine hohe

Selektivität für eine Komponente und gleichzeitig eine Kompatibilität mit tritiiertem Wasser aufweisen, müssen noch identifiziert werden. Das Prozessieren von tritiiertem Wasser mit dem PERMCAT Reaktor wird im nächsten Jahr in der Anlage CAPER getestet werden.

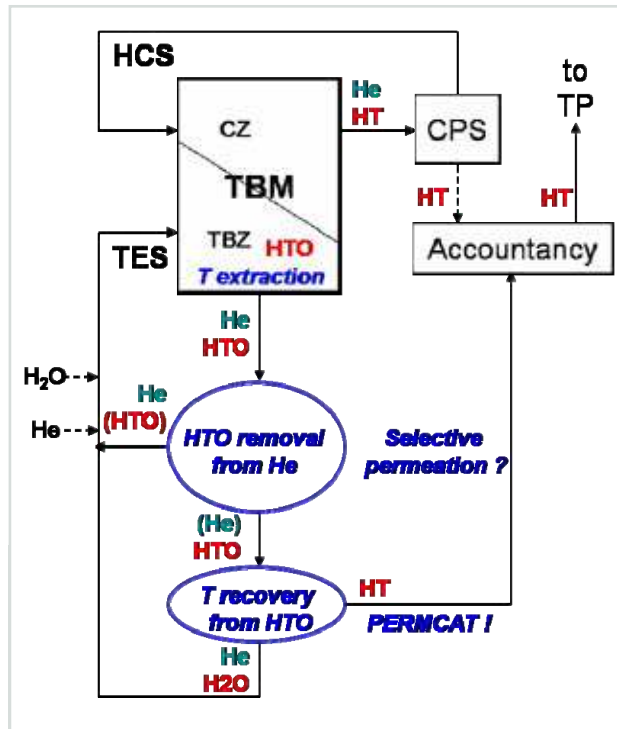


Abb. 7: Konzept zur Rückgewinnung von Tritium aus Brutblankets

Analytik im TLK

Die Beherrschung der qualitativen und quantitativen Analyse der 6 Wasserstoffisotopologe H_2 , HD , D_2 , HT , DT und T_2 sowie anderer tritierter Verbindungen (z. B. HTO) ist eine notwendige Voraussetzung für jeden Umgang mit Tritium und stellt hohe Ansprüche an die betreffenden Experimentatoren und ihre Ausrüstung.

Um die im Hinblick auf ITER und DEMO (Programm Fusion) sowie KATRIN (Programm SdM) auftretenden analytischen Herausforderungen adäquat begegnen zu können, hat das TLK 2008 die analytischen Arbeiten im Rahmen der Umstrukturierung organisatorisch gebündelt. F&E im Bereich Analytik wird nun programm- und institutsübergreifend koordiniert und durchgeführt.

F&E Schwerpunkte im Jahr 2008 waren die Entwicklung eines Infrarotspektroskopiesystems an flüssigem Wasserstoff und Laser Raman Spektroskopiemessungen an gasförmigen tritiierten Wasserstoffisotoplogen (erstmalig im TLK). Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem IEKP der U Karlsruhe 2 Diplomarbeiten gestartet und die Zusammenarbeit mit der U Swansea (Wales) intensiviert.



Abb. 2: Die neue ITER-prototypische Kryotransferleitung wird in TIMO-2 in Betrieb genommen.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Das Jahr 2008 war gekennzeichnet durch die Weiterführung des Designs der großen Kryopumpen bei ITER, nämlich für die Neutralteilcheninjektion und das Torusvakuumssystem. Im Rahmen von bestehenden Aufträgen wurde das Fundament für den Bau der Prototypen beider Pumpen gelegt, der in naher Zukunft europaweit ausgeschrieben werden soll. Darüber hinaus wurde die Testanlage TIMO-2 in weiten Bereichen ertüchtigt und für die bevorstehenden Tests vorbereitet. Auf diese Weise konnte die Zeit bis Spätjahr 2008 sinnvoll genutzt werden, in der die Fusionsagentur 'Fusion For Energy' (F4E) noch nicht handlungsfähig war und daher keine neuen Entwicklungsaufträge vergeben konnte. Als Highlight wurde in diesem Jahr ein komplettes und sehr detailliertes Rechenmodell des Divertor- und Toruspumpensystems erstellt. Erste Ergebnisse zeigen, dass durchaus noch Möglichkeiten zur weiteren Optimierung der Strömungsführung existieren. Dazu finden derzeit Diskussionen mit ITER statt.

ITER-Kryopumpen

Der Bau der Prototyp-Toruskryopumpe wurde in Folge kaufmännischer Probleme bei der vorgesehenen Herstellerfirma nicht begonnen. Damit bestand die Möglichkeit, die diesjährigen Designänderungen bei ITER in einem Revisionschritt noch zu berücksichtigen. Es ist geplant, das überarbeitete Design bis 2010 abzuschließen und die Herstellung der Pumpe neu auszuschreiben.

Das Design der Kryopumpen für die ITER-Neutralteilcheninjektoren (NBI) zur Diagnostik und zur Heizung konnte bis zu einem großen Detaillierungsgrad entwickelt werden. Dazu wurde ein neues Kryopumpkonzept umgesetzt, das gegenüber dem klassischen Konzept eine deutlich größere Einfangwahrscheinlichkeit bietet und auch hinsichtlich der Wärmelasten mit den ITER-Anforderungen voll kompatibel ist. Ein Katalog begleitender Rechnungen (Mechanische FEM-Analysen, vakuumtechnische Rechnungen mit Monte Carlo Simulationen, Druckverlustrechnungen, Überprüfung von Regenerationszuständen, Berechnung elektromagnetischer Lasten) war nötig um das Design für alle Betriebsszenarien von ITER zu validieren. Die Schnittstellen mit der ITER-Kryoversorgung wurden zusammen mit CEA Grenoble festgelegt. Das Kryopumpensystem eines Neutralteilcheninjektors besteht aus zwei identischen Pumpen (8 m lang; 2,4 m hoch), die jeweils aus 8 identischen Modulen zusammengesetzt sind. Abb. 1 zeigt ein solches NBI Kryopumpmodul. Die Kryopumpe für die ITER-Neutralteilchenheizung stellt mit 36 m² beschichteter Pumpfläche ein Saugvermögen von 4800 m³/s für den prozessierten Wasserstoff zur Verfügung. Dafür wären nach dem klassischen Design 50 m² nötig gewesen.

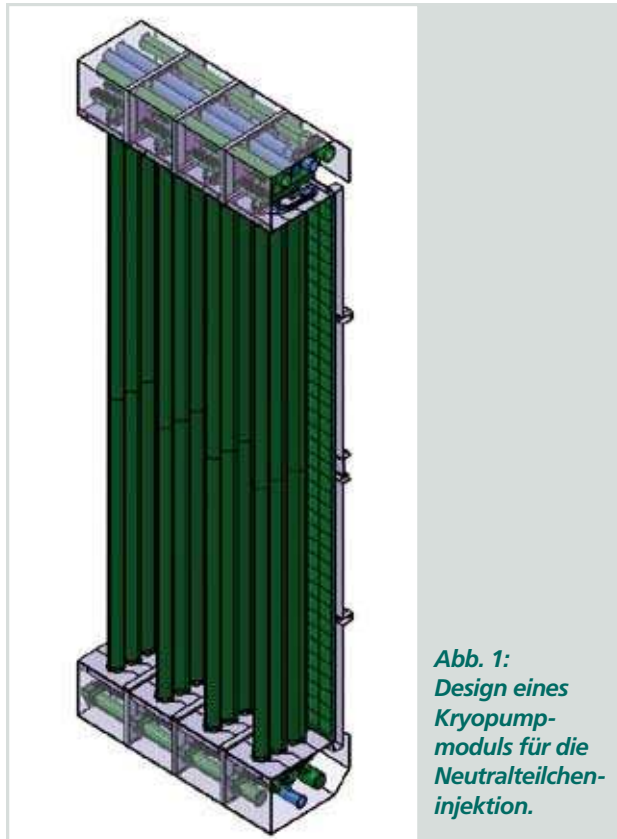


Abb. 1:
Design eines
Kryopump-
moduls für die
Neutralteilchen-
injektion.

Für die Neutralteilcheninjektion wird unter Führung von Consorzio RFX in Padua, Italien ein umfassendes Testbett entstehen (Investitionskosten ca. 200 Mio. €). Auch dort sind wir für die Kryopumpen verantwortlich. Im Rahmen eines Auftrages von F4E haben wir bereits damit begonnen, das Design der NBI Kryopumpe an die spezifischen Gegebenheiten des Testbetts anzupassen (andere Kryoversorgung; zusätzlicher Platzbedarf für extensive Messinstrumentierung, insbesondere zur Tomographie des Teilchenstrahls).

Mit JET besteht seit mehreren Jahren eine Zusammenarbeit. Im Rahmen dieses Projekts wurde eigens eine Kryopumpe gebaut, die in JET unter realen Tokamakbedingungen, insbesondere unter Tritium betrieben wurde. In diesem Jahr wurde das in der Pumpe verbleibende Resttritiuminventar nach den durchgeführten Dekontaminationsmaßnahmen gemessen; dies war einer der letzten noch offenen Punkte zum vorgeschlagenen Kryosorptionskonzept für ITER. Die Meßergebnisse waren unkritisch. Die sehr erfolgreiche Zusammenarbeit mit JET wurde damit vorerst beendet. Die Pumpe bleibt bei JET eingebaut und soll als leistungsfähige Kryopumpe für die zukünftigen Versuchskampagnen dort weiterhin eingesetzt werden.

In Zusammenarbeit mit der GSI, Darmstadt wurden die in der Gruppe entwickelten, typischen aktivkohlebeschichteten Kryopaneln erfolgreich für Anwendungen bei sehr kleinen Drücken (unterhalb der Werte für Fusionsanwendungen) charakterisiert. Damit ergeben sich vielfältige neue Anwendungen dieser Technik im Bereich des Ultrahochvakuums, wie es üblicherweise bei Teilchenbeschleunigeranlagen auftritt.

TIMO-2

Die Anlage TIMO-2 wird eine Schlüsselrolle bei den bevorstehenden Tests der Prototyp-Toruskryopumpe spielen. Hier wurde im Jahr 2008 eine neue, flexible Kryoleitung zwischen Kaltventilbox und Testbehälter gefertigt und installiert, siehe Abb. 2. Damit wird in der Phase der Serienpumpentests eine kürzestmögliche Umrüstzeit von einer Pumpe auf die andere erreicht. Das Design dieser Leitung wurde nach ITER-Vorgaben erstellt. Eine Kryoleitung mit der Druckstufe PN25 und flexiblen Johnston-Verbindungen wurde so zum ersten Mal realisiert. Die Erfahrungen im Betrieb der Leitung an TIMO-2 werden für ITER sehr wichtig sein.

Bei der Abnahme der Leitung wurde auch das komplett neu aufgebaute Datenerfassungs- und -speicherungssystem sowie das neue Steuerungssystem (SIEMENS PCS7) von TIMO-2 erfolgreich erprobt.

Schließlich wurde noch das explosionsgeschützte Vorvakuum pumpsystem an TIMO-2 erneuert, so dass jetzt mit etwa 2000 m³/h eine 1:1 Simulation der Pumpbedingungen an ITER möglich sein wird.

Vakuumphysik

Im Bereich Vakuumphysik wurden die Grundlagenarbeiten zur Vakuumströmung im Übergangsbereich zwischen hochverdünnter und laminarer Strömung weiter fortgesetzt. Dabei wurde das Messprogramm in der Anlage TRANSFLOW für lange Kanäle (d. h. Verhältnis Länge/Durchmesser von 60) in voll ausgebildeter Strömung abgeschlossen. Die Messungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen, die auf Simulationen mit dem ITERVAC Code zurückgehen. In einer Zusammenarbeit mit der Universität Volos, Griechenland konnte nach einem neu entwickelten mathematischen Verfahren die Boltzmann-Gleichung für die in TRANSFLOW untersuchten Fälle (kreisrunder, quadratischer, dreieckiger und trapezförmiger Querschnitt), siehe Abb. 3, im gesamten Strömungsbereich gelöst werden. Auch diese Werte stimmen mit der Messung und ITERVAC sehr gut überein.

Ein entsprechendes Messprogramm für kurze Kanäle (d. h. Verhältnis Länge/Durchmesser von 10) wurde mit einem einfachen kreisrunden Rohr begonnen. Der Vergleich mit ITERVAC zeigt größere Abweichungen (in der Größenordnung 10 – 15%) als bei längeren Rohren. Da die Boltzmann-Gleichung für kurze Rohre nicht mit vertretbarem Aufwand gelöst werden kann, haben wir uns entschieden, die Masseströme mit der Direct Simulation Monte Carlo Methode zu berechnen. Die nötigen Programme dafür sind jedoch noch im Aufbau.

Ein großer Meilenstein wurde in der Modellierung des ITER-Divertorvakuumsystems erreicht, das 54 einzelne Kassetten umfasst, siehe Abb. 4. Hier gelang es zum ersten Mal mit dem ITERVAC-Programmpaket für ein äußerst kompliziertes Vakuumnetzwerk alle relevanten Teilströme zu modellieren.



Abb. 3: Gemessene Kanalprofile in TRANSFLOW.

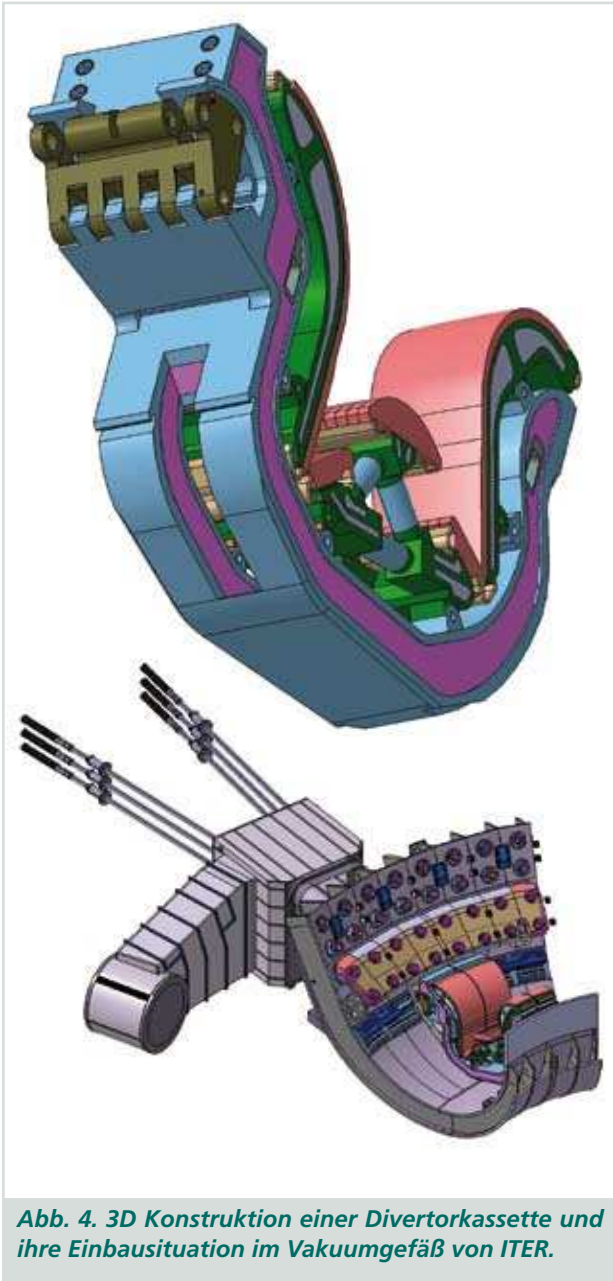


Abb. 4. 3D Konstruktion einer Divertorkassette und ihre Einbausituation im Vakuumgefäß von ITER.

Das Modell enthält 1500 Zellen, die Rechenzeit für einen Betriebspunkt beträgt durchschnittlich 8 h. Als Hauptergebnis konnte nachgewiesen werden, dass der rezyklierte Massenstrom zurück ins Plasma von mindestens gleicher Größenordnung ist wie der gepumpte Massenstrom. Damit gelang eindrucksvoll ein quantitativer Nachweis der Wirksamkeit des Divertorsystems zum Ausschleusen des Fusionsabgases aus der Toruskammer. Als nächster Schritt soll versucht werden, das Divertorsystem so zu verändern, dass größere Massenströme zum Toruspumpensystem hin möglich werden.

Schließlich wurde der neue Monte Carlo Code ProVac3D zur Berechnung von Dichte- und Druckprofilen für komplexe Vakuumsysteme weiter entwickelt und schließlich zur Beschreibung der Dichteprofile im ITER Neutralteilcheninjektor routinemäßig eingesetzt. Damit wurde es möglich, die Positionen der einzelnen beamline Komponenten so festzulegen, dass sich ein optimales Druckprofil für die Neutralteilchen ergibt.

ITER-Vakuumsysteme

Die Arbeiten auf dem Gebiet von ferrofluidischen Wellendichtungen für tritiumkompatible mechanische Vorpumpen wurden eingestellt, weil die Vorpumpen Bestandteil des amerikanischen Pakets für ITER sein werden.

Dafür wird ein neuer Schwerpunkt die Entwicklung von Technologien zur Suche, Identifikation und Quantifizierung von Vakuumlecks in ITER sein. In einer ersten Studie wurden Methoden der optischen Infrarot- und UV-Spektroskopie zur Detektion von Wasser und seinen Dissoziationsprodukten auf Ihre Verwendbarkeit in ITER näher untersucht.

Im Rahmen eines weiteren Auftrags von ITER wurde damit angefangen, die großen ITER-Vakuumsysteme einer systematischen Risikoanalyse zu unterziehen. In dieser Arbeit werden die komplexen Systeme und ihre Kühlwasserkreisläufe hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit charakterisiert, um die Auswirkungen von eventuellen Lecks auf den Betrieb von ITER abschätzen zu können.



Helium-Überhebeeinrichtung

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Kryotechnik

Leitung: Dr. Holger Neumann

Kryotechnik für die FUSION

Die kryotechnischen Arbeiten für das Programm FUSION konzentrierten sich im wesentlichen auf den Umbau der TOSKA für den Test supraleitender Magnete, der Entwicklung und dem Bau von supraleitenden Stromzuführungen und der Konzeptionierung der Versorgung eines entsprechenden Versuchstandes (CuLTka) inklusive der Einbindung in die bestehende Kryoinfrastruktur. Alle diese Arbeiten sind für das Fusionsexperiment W7X in Greifswald bestimmt.

Umbau der TOSKA für den Test supraleitender Magnete

Die Revisions- und Umbauarbeiten für den Test von W7X-Fusionsmagneten konnten dieses Jahr abgeschlossen werden. Hierzu wurden die neue Verrohrung und Sensorik komplett gefertigt, mit neuen Kryoverhüllungen montiert und erfolgreich leckgetestet. Hierzu gehören alle Arbeiten im B300, im B250, in den Flanschkästen und dem Messigel. Auch das Grundgestell zur Aufnahme der Stahlrahmen mit den supraleitenden Spulen wurde auf GfK-Stützen und Widerlager montiert. Neue Schalt-schränke wurden aufgebaut, die Kapillaren rangiert und in der Durchführung des B300 verlötet.



Ventile und Sensorik im B300

Die Stromzuführungen wurden elektrisch isoliert, nachgearbeitet, leckgetestet und inklusive neuer Sensorik eingebaut.

Vorbereitungsarbeiten für den Test von W7X-Stromzuführungen

Die Arbeit zum Aufbau einer Anlage zum Testen von Stromzuführungen wurde aufgenommen. Hierzu wurden zunächst nochmal alle Randbedingungen zusammengetragen. Die Arbeiten zum R&I-Schema, die Anpassungen der Bühne und ein Grobdesign zum Testkryostaten konnten begonnen werden.



Aufbau neuer Schaltschränke mit Druckaufnehmern

Kryotechnik für REU

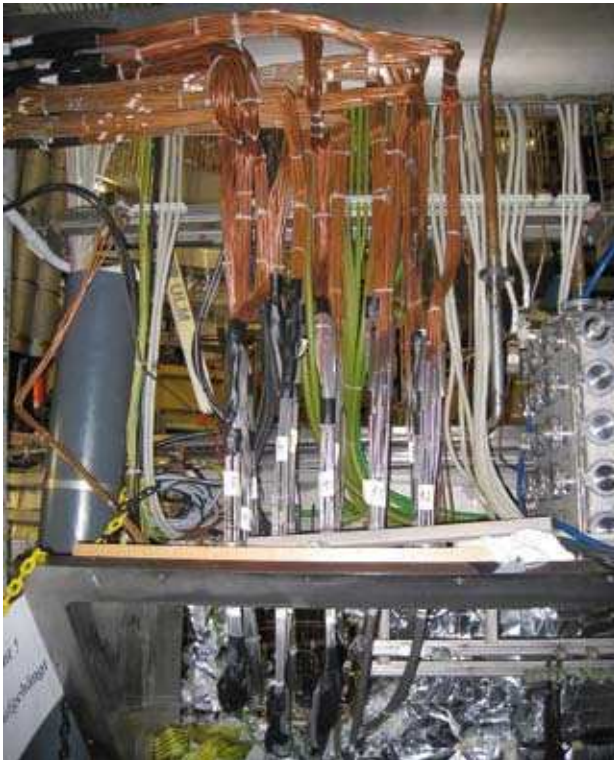
Auch in diesem Jahr wurden wieder Versuche an verschiedenen Superisulationsarten für die Industrie durchgeführt.

Darüber hinaus wurde ein neuer Testzylinder mit mehreren T-Stellen gebaut, der die gleiche Oberfläche, wie ein vorhandener Zylinder mit $\varnothing_a = 219$ mm und einer Höhe von ca. 1.9 m hat.

An einer kapazitiven Füllstandsmesseinrichtung für flüssiges Neon, die 2007 entwickelt wurde, wurden umfangreiche Untersuchungen zur Bestimmung der Messunsicherheit durchgeführt.

Die optischen Faser-Bragg-Sensoren konnten erstmals als Weggeber eingesetzt werden. Bis zu einer Temperatur von 77 K waren die ersten Ergebnisse sehr zufrieden stellend und zeigten erwartungsgemäß ein lineares Verhalten. Weitere Untersuchungen zu tieferen Temperaturen unter Verwendung geeigneter Materialien sollen im nächsten Jahr folgen.

Für die Messung der Temperaturen einzelner Supisulationslagen wurde ein FBG-Sensor mit Wellenlängenmul-

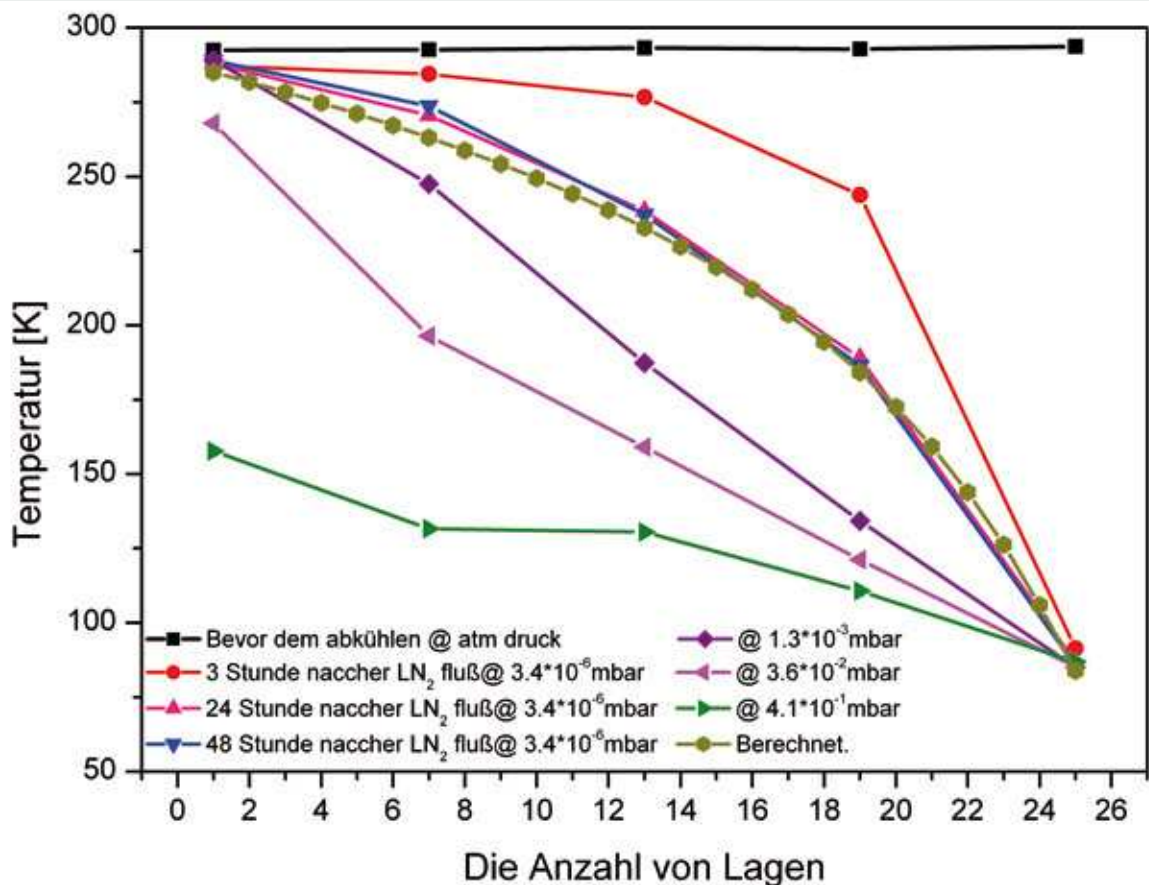


Kapillardurchföhren in den B300

tiplex eingesetzt. Hierzu wurden einige Vorversuche durchgeföhrt, die u. a. zeigen sollten, ob die mechanische Fixierung mittel eines Aluminiumtapes einen Einfluss auf die Temperaturermittlung hat, was demnach nicht der Fall ist.

Um Temperaturen unterhalb von ca. 25 K mittels FBG-Sensoren zu ermitteln ist es notwendig diese mit einem Material zu beschichten, welche auch im unteren Temperaturbereich noch schrumpfen und so die Gitterabstände des Bragg-Gitters verkleinern. Hierzu wurden weitere Kontakte mit Firmen und Forschungseinrichtungen aufgebaut.

In Zusammenarbeit mit der Fa. Siemens soll der Kühlkreislauf eines künftigen HTSL-Generators untersucht werden, der mit Neon betrieben werden soll. Zur Berechnung der thermodynamischen Verhältnisse in diesem rotierenden Thermosyphon-Prozess wurde ein Simulationsprogramm entwickelt. Durch die Rotation wird der vorgesehene Supersolationsstapel mechanisch zusammengepresst, was erfahrungsgemäß eine stark degradierende Isolationswirkung zur Folge hat. Hierzu wurden erste Versuche am thermischen Isolationsteststand THISTA durchgeföhrt. Weitere Überlegungen sollen zur Berechnung des Wärmedurchganges eines durch Rotation belasteten Supersolationsstapel führen. Für die Messung der Neontemperaturen und des Massenflusses bieten sich die FBG-Sensoren an, da diese die Strömung nicht beeinflussen und somit auch keinen Druckverlust bewirken. Für die Untersuchung der Signalübertragung wurde eine optische Drehdurchföhung beschafft. Weiterhin sollen die FBG-Sensoren für die Messung des Massenstromes qualifiziert werden. Um einen künftigen rotierenden Versuchsstand mit einem Aussendurchmesser von einem Meter und Rotationen von bis zu 4200 Umdrehungen pro Minute zu betreiben wurde eine Versuchshalle des IHM geräumt und die Belüftungsanlage wieder in Gang gesetzt.



Gemessene und berechnete Lagentemperaturen eines Supersolationsstapels

Kryoinfrastruktur

Neben umfangreichen Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten, umfassten die Arbeiten die Erweiterung, Anpassung und Betrieb vorhandener sowie Planung, Erstellung und Inbetriebnahme neuer Tieftemperaturexperimentiereinrichtungen für die Forschungsvorhaben.

Die 300 W-(1,8K)-He-Tieftemperaturanlage war 2008 ca. 1.987 im Betrieb, wovon 88 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 149 Stunden auf Spülbetrieb sowie dem Kalt- und Warmfahren der Anlage entfielen, so dass 1.750 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich geleistet wurden.

Die 2 kW-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage war 2008 ca. 824 Stunden im Betrieb, wovon 405 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 197 Stunden auf Spülbetrieb sowie dem Kalt- und Warmfahren der Anlage entfielen, so dass 222 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich FUSION entfielen.

Insgesamt wurden von den Anlagen ca. 125.197 Liter Helium verflüssigt, wobei 80.951 Liter für Experimente im ITP ausgegeben wurden, während 44.246 Liter an Fremdinstitute ausgegeben wurden.

Neben den Service-Leistungen wurden u. a. auch zahlreiche Verbesserungen an den bestehenden Anlagen durchgeführt. So wurde die Wasserkühlung der Kompressoren der 2 kW-Anlage an die Rückkühlwasseranlage angeschlossen.

Darüber hinaus wurden die 300 W- und die 2 kW-Anlage die Migration auf PCS7 vorangetrieben und hierfür Server und Clients installiert. Weiterhin wurde hier auch ein neuer Datenkonzentrator auf PCS7-Basis eingerichtet und hierfür ein Gateway zwischen Teleperm CS275 und PCS7 Ethernet Bussystem aufgebaut.

Der Kompressor der 300 W-Anlage wurde einer Revision unterzogen, bei welcher einige Verschleißteile ausgewechselt wurden. Für eine verbesserte Ölabscheidung wurde ein neues Kühlaggregat eingebaut. Auch das defekte Joule-Thompson Ventil am 5.000-Liter-Tank wurde repariert, indem das Ventilgestänge nachgearbeitet wurde, welches deutliche Fraßspuren aufwies.

An vielen Anlagenteilen wurden die Anschlussstellen mit Steckern ausgestattet, so dass künftig ein schnellerer Wechsel bei Ausfall einer Komponente möglich ist.

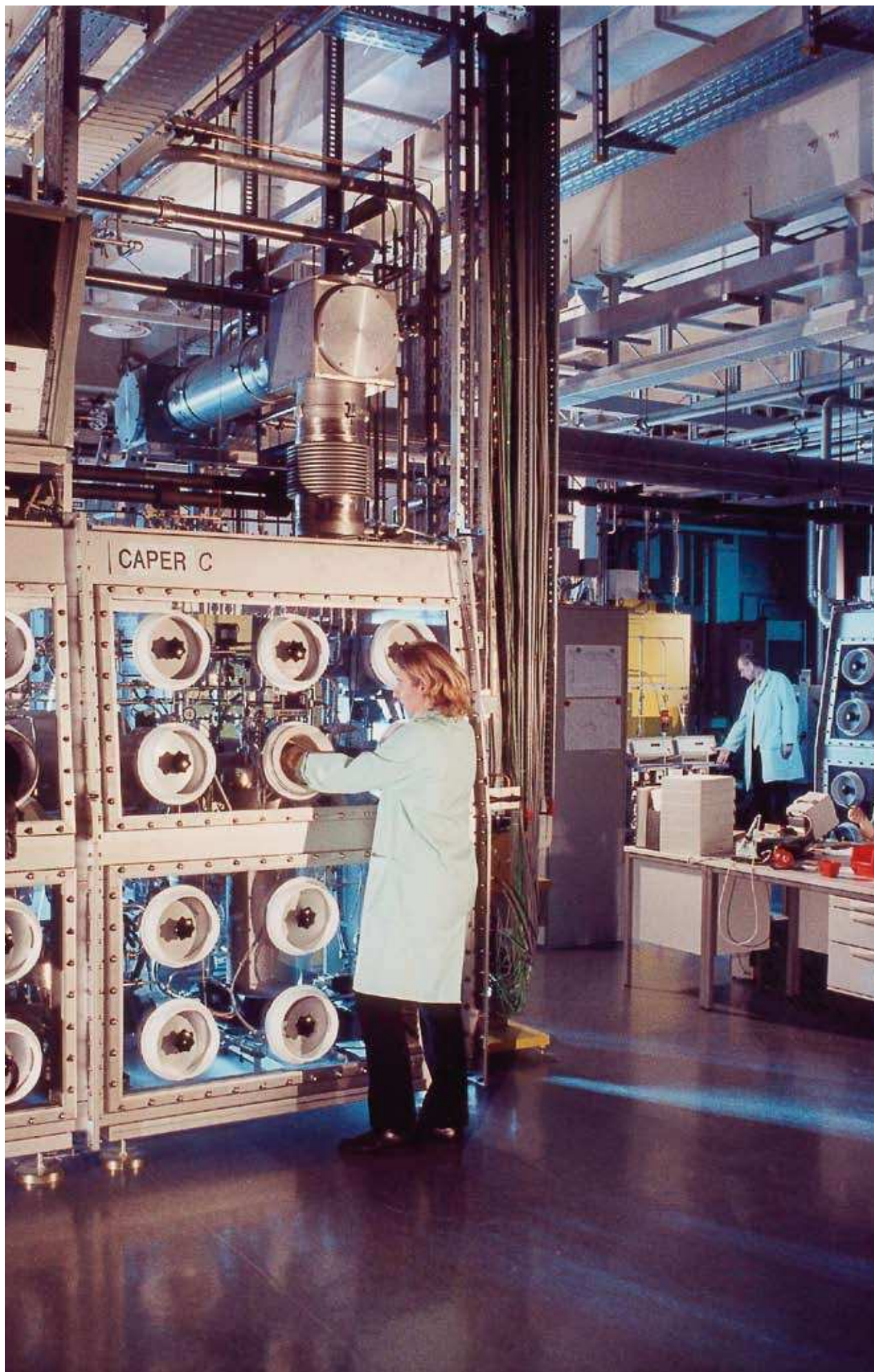


Anschluss der 2 kW-Anlage an die Rückkühlwasseranlage



PCS7 Server und Clients für 300 W, und 2 kW-Anlage





Blick in das Tritium-Labor Karlsruhe.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Koordination: Dr. Beate Bornschein

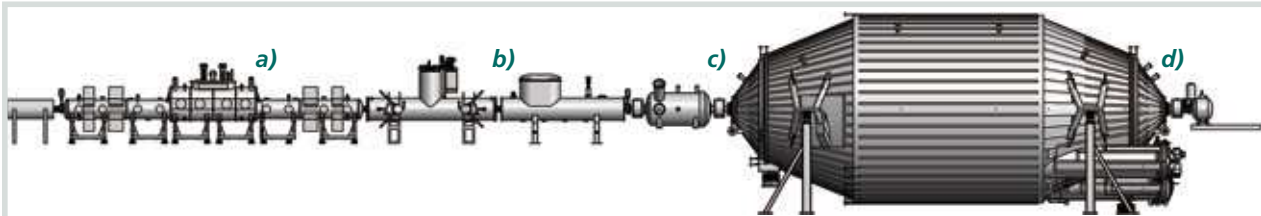


Abb. 1: Schematische Darstellung des internationalen Großexperimentes KATRIN. Die bei β -Zerfällen in einer hochintensiven fensterlosen molekularen Tritiumquelle (WGTS, (a)) entstehenden Elektronen werden über eine Tritiumpumpstrecke mit den aktiven und passiven Elementen DPS2-F und CPS (b) zu einem System (c) aus zwei elektrostatischen Spektrometern (Vor- und Hauptspektrometer) geführt. Die analysierten Elektronen werden in einem Halbleiterdetektor (d) nachgewiesen.

Der Experimentaufbau ist 70 m lang und hat mehr als 20 supraleitende Solenoiden, deren Magnetfeld die Zerfallselektronen adiabatisch von der Quelle zum Detektor führen.

Einleitung

Ziel des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments KATRIN ist die modellunabhängige Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von 200 meV. Die Motivation für KATRIN ergibt sich 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 β -Zerfall molekularen Tritiums nahe des kinema-

tischen Endpunktes von 18,6 keV. Hierzu 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 (Abb. 1).

Eine weltweite Kollaboration aus mehr als 130 Wissenschaftlern und Ingenieuren unter Federführung des Forschungszentrums ist aktuell dabei, dieses Schlüsselexperiment der Astroteilchenphysik am und im Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) aufzubauen. Die ersten Daten werden 2012 erwartet.

Design, Aufbau und erfolgreiche Durchführung des KATRIN Experimentes stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, insbesondere der Tritiumverfahrenstechnik, der Ultrahochvakuum- und Kryotechnik und der Hochspannungsstabilisierungstechnik.

Im Rahmen des KATRIN Experimentes ist das ITP verantwortlich für die Tritiumprozesstechnik sowie für die Magnet- und die Kryotechnologie und stellt für diese Tasks die Leitung. Mehr als 95 % des Arbeitsumfanges des ITP im KATRIN Projekt ist im so genannten Quell- und Transportsystem angesiedelt, das in Abb. 3 als Blockbild dargestellt ist, und das wegen der Handhabung von Tritium komplett im TLK aufgebaut wird.

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 Monitoringsystem (CMS-R) im rückwärtigen Teil und das Transportsystem im vorderen Teil (Richtung Spektrometer). Das Transportsystem hat die Aufgabe, die Tritiumzerfallselektronen



Abb. 2: WGTS Magnetkryostat. Die technologischen Anforderungen an den 16 m langen Kryostat sind herausfordernd, sein technischer Aufbau ist äußerst komplex. Das System hat 12 kryogene Kreisläufe und es werden 6 verschiedene Fluide (He, Ne, N₂, Ar, T₂ und Kr) eingesetzt.

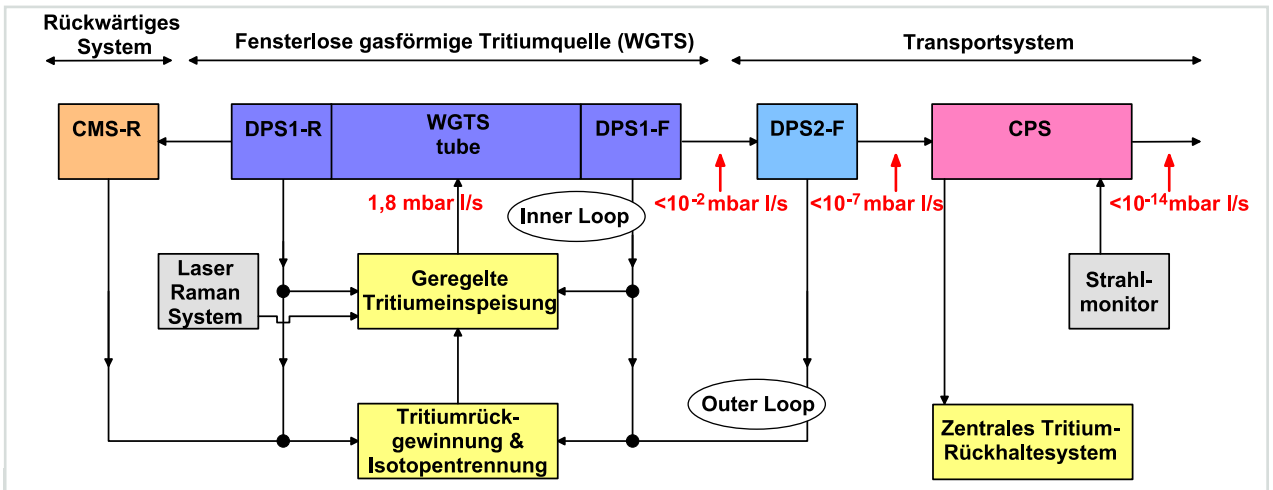


Abb. 3: Blockbild der KATRIN Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des Tritiumlabors Karlsruhe.

ins Spektrometer zu leiten und gleichzeitig über Pumpen den Tritiumgasfluss ins Spektrometersystem um mehr als 12 Größenordnungen zu reduzieren. Dies geschieht einerseits mit Hilfe einer differentiellen Pumpstrecke (DPS2-F) und andererseits – als letzte Stufe – mit 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 Tritiumgaseinspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werte von über 95 % halten. Durch das gleichzeitige Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases erhält man im Endeffekt eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS (= „Tritiumquelle“).

Sowohl DPS2-F als auch CPS sind supraleitende Magnetsysteme von 7 bzw. 9 m Länge. Sie werden wie die WGTS bei externen Firmen gefertigt und fertigungsbegleitend vom ITP betreut. Im Folgenden wird über den Stand der Arbeiten berichtet.

WGTS

Die WGTS wird gemäß Auftrag von der Fa. ACCEL ausgelegt und gebaut. Die technische Begleitung der Konstruktion und der Fertigung bei ACCEL seitens des ITP ist sehr aufwändig: Einerseits ist der Aufbau der WGTS sehr komplex und die Anforderungen an die Kühlung ex-

trem hoch (30 K, stabilisiert auf 0,1 K), andererseits wird die WGTS später einen Tritiumdurchsatz von $1,5 \times 10^{16}$ Bq pro Tag (40 g) haben und unterliegt daher als Tritiumführendes System hohen Qualitätsanforderungen.

Hauptaufgaben im Jahr 2008 waren die Bearbeitung der Vorprüfunterlagen, die Durchführung von fertigungsbegleitenden QS-Tests und der Aufbau der 11 Schaltschränke für die Kryo-Steuerung der WGTS.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung spezieller Sensoren für die WGTS, die im institutseigenen Sensorlabor gebaut und getestet wurden. Dazu gehörte u. a. eine Flüssig-Neon-Füllstandeinrichtung, deren Messunsicherheit im Rahmen einer von der Kryogruppe betreuten Diplomarbeit untersucht wurde. Zusätzlich wurden mehr als 20 Dampfdrucksensoren (zur Temperaturmessung im 30 K Bereich mit 30mK Präzision) für die WGTS gebaut und getestet und damit die schon 2006 begonnene Entwicklung neuartiger Sensorsysteme für KATRIN fortgesetzt.

DPS2-F

Bei der DPS2-F, die von der Firma ASG in Genua gefertigt wird, lag der Schwerpunkt der ITP Arbeiten in der Durchführung von fertigungsbegleitenden QS-Tests

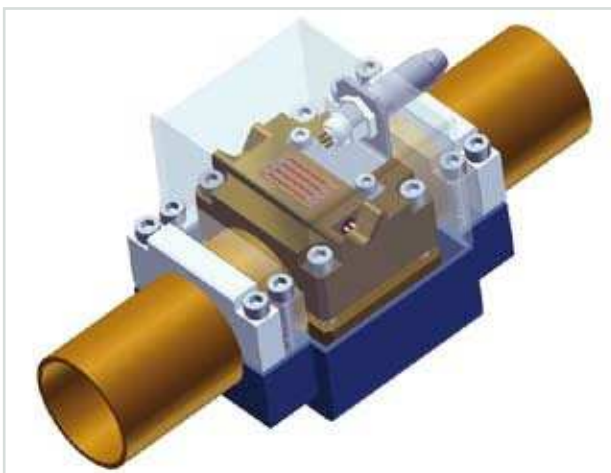


Abb. 4: Temperatursensor mit Vorrichtung für Außenmontage an einem Rohr (hier für den Einsatz in der WGTS vorbereitet).



Abb. 5: DPS2-F in Genua, Vorbereitung auf die Güteprüfung bei der Fa. ASG.



Abb. 6: Kryotransferleitung, die Ventilbox für die WGTS wurde 2008 im TLK installiert.

(z. B. Lecktests) und der Vorbereitung der Güteprüfung des Gesamtsystems in Genua. Diese Prüfung beinhaltet das Kaltfahren des Systems und umfangreiche Magnettests. Dazu wurde das von der Kryogruppe im ITP entwickelte und aufgebaute Kontrollsystem für die Kryosteuerung (inkl. 5 Schaltschränke) nach Genua transportiert und dort in Betrieb genommen. Die Güteprüfung wird im Februar 2009 stattfinden.

CPS

Der CPS Magnetkryostat wurde im Januar 2008 ausgeschrieben; das Verfahren endete mit dem Zuschlag an die Fa. ASG in Genua. Das von KATRIN-Seite geformte CPS Projektteam, bei dem das ITP beide stellvertretende Projektleiter stellt, nahm im Frühjahr 2008 seine Arbeit auf, so dass die Zusammenarbeit mit ASG schnell und effizient starten konnte.

Die Hauptarbeit des Teams konzentrierte sich in den ersten 6 Monaten der Vertragslaufzeit auf die Klärung offener technischer Fragen und der Abstimmung wesentlicher Schnittstellen. Parallel dazu nahmen die Spezialisten der Kryogruppe die Arbeit am Design des CPS Kontrollsystems auf.

Die Fa. ASG legte im Dezember 2008 einen ersten Entwurf des Technischen Design Reports vor. Damit wurde der erste Meilenstein termingerecht erreicht.

Kälteanlage & Kryotransferleitung

Im Jahr 2008 wurden die ersten beiden Abschnitte der Kryotransferleitung, die die Kälteanlage mit der WGTS und der DPS2-F verbinden wird, von der Fa. Cryotherm fertig gestellt, vor Ort montiert und erfolgreich und ohne größere Probleme in Betrieb genommen. Die Kryogruppe des ITP begleitete die Fertigung durch Bearbeitung der Vorprüfunterlagen und fabriksseitige QS-Tests und stellte damit einen reibungslosen und erfolgreichen Projektlauf sicher.



Abb. 7: Einbau von Teilen des Tritiumkreislaufes in die ISS Handschuhbox des TLK.

Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut (u. a. im Rahmen einer Doktorarbeit).

Im Jahr 2008 konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau des Teils, der für die geregelte Tritiumgaseinspeisung zuständig ist. Aus Platzgründen erfolgt der Aufbau in einer schon vorhandenen Handschuhbox (siehe Abb. 7). Bis Ende 2008 waren etwa 50% der Verrohrungs- und MSR- Arbeiten erledigt. Das Gleiche gilt für die Erstellung der neuen AS+OS Bibliothek für das Automatisierungssystem, das durch die TLK eigenen Spezialisten aufgebaut wird. Begleitet wurden die Arbeiten durch die Erstellung einer umfangreichen QS-Dokumentation.

Physikalischer Forschungsschwerpunkt war die Laser Raman Spektroskopie (LARA) an den Wasserstoffisotopologen H_2 , HD, D_2 , HT, DT und T_2 . Hier wurden im Rahmen einer in 2008 gestarteten Diplomarbeit die ersten Tritiumspektren im TLK aufgenommen.

Danksagung

Die Aufgaben im Bereich von KATRIN wurden innerhalb des ITP gruppenübergreifend angegangen und erfolgreich erledigt. Bei allen Teilaufgaben gab es eine enge und fruchtbare Zusammenarbeit mit Studenten, Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftlern vom IK, BTI-F und HAP des FZK und vom IEKP der U Karlsruhe.

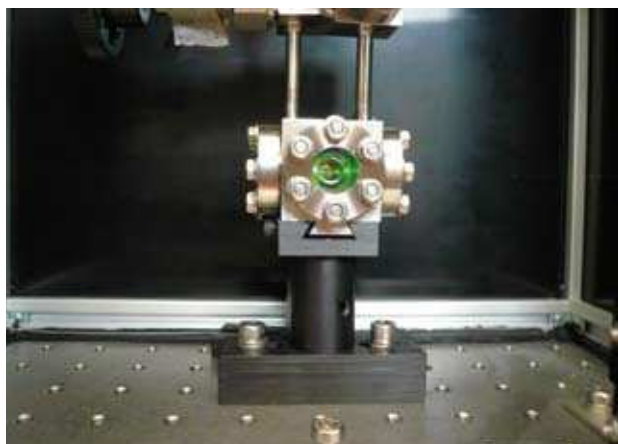


Abb. 8: Laser Raman Zelle. Zu sehen ist der Laserstrahl (grün) beim Durchtritt durch die mit Gas gefüllte Zelle.

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

U Karlsruhe – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
SS 08 Supraleitertechnologie (Noe, Weiss, Schlachter)
WS 08/09 Supraleitende Systeme für Ingenieure (Noe, Neumann, Siegel)

U Karlsruhe – Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik
WS 08/09 Vakuumtechnik I (Day)

U Karlsruhe – Fakultät Maschinenbau
SS 08 Fusionstechnologie (Fietz, Day)
WS 08/09 Fusionstechnologie (Fietz, Day, Weiss)

U Hannover – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
SS 08 Neue Komponenten der elektrischen Energieversorgung (Noe, Berger)

Berufsakademie Karlsruhe –
Fachbereich Maschinenbau
SS 08 Arbeitssicherheit und Umweltschutz (Bauer)
WS 08/09 Konstruktionslehre I (Bauer)
SS 08 Technische Thermodynamik III für Maschinenbauer (Neumann)
WS 08/09 Thermodynamik I für Maschinenbauer (Neumann)

Seminare / Sommerschulen

VDI-Seminar Kryotechnik
27.–29. Februar 2008
Karlsruhe

Haus der Technik, Seminar Kryostatbau
11.–12. September 2008
Essen

Haus der Technik, Seminar Supraleitung
23.–24. September 2008
Karlsruhe

Karlsruhe-Dresden Doktorandenseminar Supraleitung
28.–30. Mai 2008
Bad Liebenzell,

Summer School on Materials and Applications on Superconductivity
11.–18. Juni 2008
Pori, Finnland

International Summer School on Fusion Technologies
01.–12. Sep. 2008
Karlsruhe

MATEFU Trainee Programm
01.–19. Dez. 2008

Lehre und Bildung

Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten

Betreute Studienarbeiten 2008 (* abgeschlossen)

Oliver Näckel*

Untersuchung des Induktivitätsverhaltens von Spulen bei verschiedenen Frequenzen und Temperaturen

Stanislav Cherevatskiy

Verlustberechnung supraleitender Transformatoren

Yuvens Tantra

Untersuchung elektromechanischer und thermischer Eigenschaften technischer Hochtemperatursupraleiter und Strukturmaterialien

Florian Josten*

Prozessevaluierung und -optimierung administrativer Vorgänge im Rahmen einer Datenbankentwicklung

Betreute Diplomarbeiten 2008 (* abgeschlossen)

Florian Josten* (BA Karlsruhe)

Konzepterstellung der Versuchsanlage FBI (Anlage zur Untersuchung des elektromechanischen Verhaltens supraleitender Kabel im Magnetfeld bei kryogenen Temperaturen)

Philipp Keller* (U Hd)

Elektromechanische und thermische Untersuchung an technischen Hochtemperatursupraleitern auf Bi-2223 Basis

Andreas Kosmider (IEKP, U Ka)

Analyse von Wasserstoffisotopomeren in der flüssigen Phase durch Infrarotspektroskopie

Christin Melzer* (BA Karlsruhe)

Entwicklung einer Systemeinheit zur Druckregelung und Überwachung einer Handschuhbox und Erstellung zugehöriger Ausschreibungsunterlagen

Harald Moosmann* (BA Karlsruhe),

Bestimmung der Messunsicherheit eine Flüssig-Neon-Füllstandsmesseinrichtung

Alexander Reiner (HS Karlsruhe)

Entwicklung eines 3D Messtisches für eine Magnetfeldmessung im Raum

Magnus Schlösser (IEKP, U Ka)

Laser-Raman Messungen an gasförmigen H-Isotopomeren für die KATRIN Tritiumquelle

Christopher Entzeroth (Fa. Sulzer Pumpen GmbH, BA Karlsruhe)

Optimierung einer Pumpengrundplatte bezüglich Verformung und Bestimmung der Eigenfrequenz
Zweitgutachten

Carolin Benz (IKET, BA Karlsruhe)

Entwurf für das QM-Handbuch des Instituts für Kern- und Energietechnik nach DIN ISO 9001
Zweitgutachten

Doktorarbeiten 2008 (* abgeschlossen)

André Berger

Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren

Frank Eichelhardt (IEKP, U Ka)

Bestimmung des Tritiumrückhaltevermögens mit einer Argonfrostpumpe

Aleksandra Gotsova (IK, U Ka)

Investigation of the DPS2-F (Differential Pumping Section) for KATRIN

Olaf Mäder

Gleichstrom-Höchststromübertragungsleitungen mit Hochtemperatur-Supraleitern

Robert Michling (U Heidelberg, FB Chemie), Info: bei Prof. Fanghänel

Performances Assessment of Water Detritiation Process

Christian Schacherer

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender Strombegrenzer

Michael Schwarz

Wärmeleitfähigkeit supraleitender Kompositleiter im Temperaturbereich von 4 K bis 300 K

Mark Stemmler (U Hannover)

Entwicklung und Simulation von supraleitenden Hochspannungsstrombegrenzern

Michael Sturm (IEKP, U Ka)

Aufbau und Test des Inner Tritium Loop von KATRIN

Stanimira Terzieva

Preparation and investigation of Roebel-Cables from Coated Conductors

Alexander Winkler

Transient electrical behaviour of ITER PF coils

**BA-Ausbildungen 2008
(*abgeschlossen)****Florian Josten***

Wirtschaftsingenieurwesen, BA Karlsruhe

Christin Melzer*

Elektrotechnik, BA Karlsruhe

Christian Friedmann

Technisches Management, BA Mannheim

Christian Pulch

Wirtschaftsingenieurwesen, BA Karlsruhe

Elisabeth Weiss

Technisches Management, BA Mannheim

Kerstin Brohl

Wirtschaftsingenieurwesen, BA Karlsruhe

Isabelle Ehleben

Maschinenbau, BA Karlsruhe

Clemens Frenzel

Wirtschaftsingenieurwesen, BA Karlsruhe

Fabian Hammerstiel

Maschinenbau, BA Mannheim

Marcus Oberle

Maschinenbau, BA Mannheim

Pit-André Singer

Elektrotechnik, BA Karlsruhe

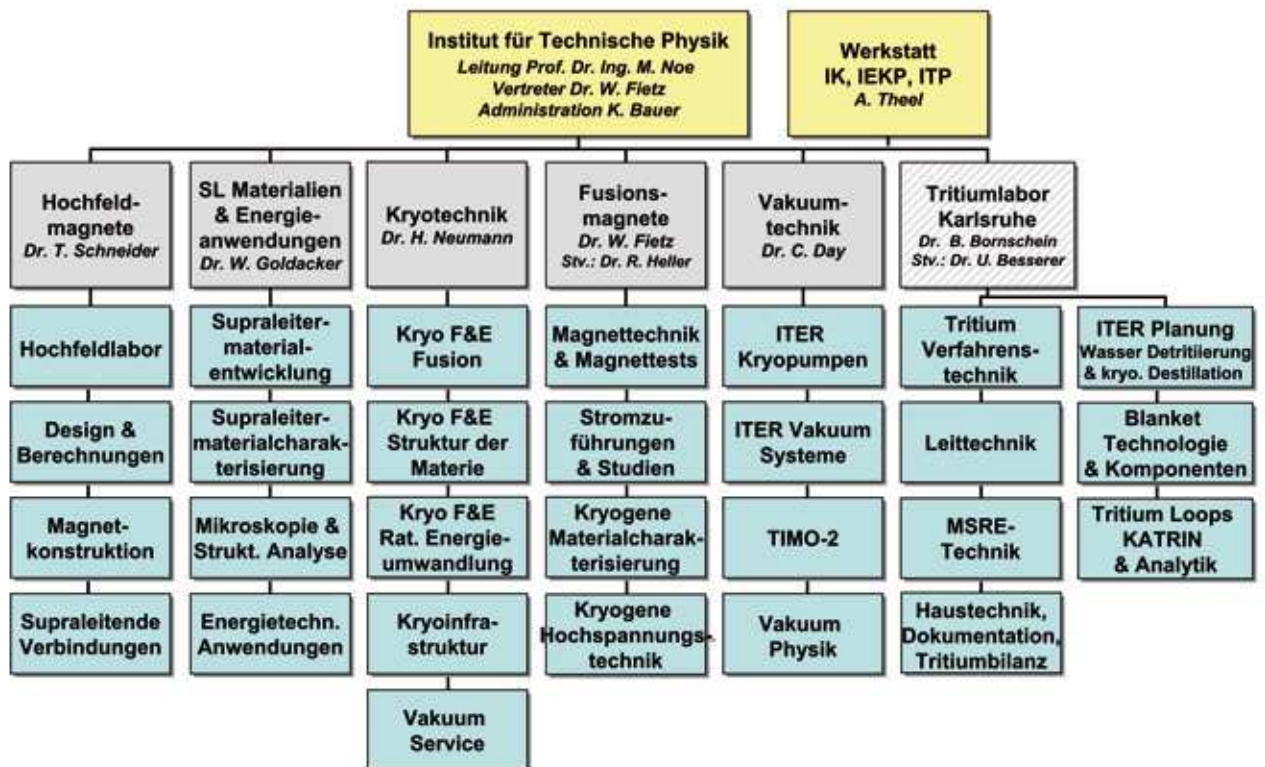
Lehre und Bildung

ITP Kolloquium

29.01.2008	Kryotechnik für KATRIN S. Grohmann	30.09.2008	Wasserdetriierung R. Michling
22.04.2008	Berechnung des transienten Spannungs- verhaltens des ITER CS PF – Spulensystems A. Winkler	07.10.2008	Mess- und Regeltechnik M. Süßer
29.04.2008	Untersuchung des Induktivitätsverhaltens von Spulen bei verschiedenen Frequenzen O. Näckel	14.10.2008	Die Tritiumkreisläufe von KATRIN M. Sturm
06.05.2008	Das kryogene Hochspannungslabor am ITP S. Fink	21.10.2008	KATRIN – Magnetsystem R. Gehring
13.05.2008	Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren A. Berger	29.10.2008	Charakterisierung von YBCO-Bandleitern für supraleitende Strombegrenzer C. Schacherer
03.06.2008	ROEBEL-Kabel aus YBCO-Bändern: AC-Verluste und Anwendungspotential C. Schmidt	04.11.2008	HTSL für Hochfeldmagnete F. Hornung
10.06.2008	Superconducting detectors for VIS and THz radiation M. Siegel (Univ. Karlsruhe)	11.11.2008	Im Auftrag der Fusion – Beispiele aus 35 Jahren Tätigkeit für die Kernfusion H. Jensen
17.06.2008	Bi-2223 Hochtemperatursupraleiter in Stromzuführungen P. Keller	14.11.2008	Measuring and modelling ac losses in HTS F. Grilli
01.07.2008	Messung der Pumpeigenschaften eines 4,2 K Argon-Kondensats für Tritium für die kryogene Pumpstrecke von KATRIN F. Eichelhardt	18.11.2008	Perspektiven der Energieforschung am KIT K.-F. Ziegahn
08.07.2008	Designarbeiten für die Kryopumpen der ITER-Neutralteilcheninjektoren M. Dremel	25.11.2008	Gleichstrom-Höchststromübertragungs- leitung mit Hochtemperatur-Supraleitern O. Mäder
		16.12.2008	Wärmeleitfähigkeit supraleitender Kompositleiter im Temperaturbereich von 4 K bis 300 K M. Schwarz

Zahlen und Daten

Organigramm (31.12.2008)



Personalstand (12.12.2008)

Gesamt

Akademiker
(davon 3 Trainees, 3 EU-Abgeordnete)

Ingenieure und Techniker

Sonstige

Doktoranden
(davon 3 nicht von ITP finanziert)

Diplomanden

BA-Studierende

159 Während 2008:

Gäste 16

Praktikanten 7

Studentische Hilfskräfte 12

Studienarbeiten 3

Veröffentlichungen

Programm „Kernfusion“ (FUSION)

- Abramenko, D.; Afonin, O.; Antipenkov, A.; Kolesnikov, V.; Kurnaev, V.; Vizgalov, I.
Spectroscopic method for water vacuum leak pin-pointing in ITER torus.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Ana, R.G.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Michling, R.; Welte, S.; Wurster, W.
Design and experimental activities in view of WDS-ISS combination in TRENDA, facility.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Antipenkov, A.; Day, Chr.; Adami, H.D.
Tritium test of a ferrofluidic rotary seal.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.35–38
- Bekris, N.; Coad, J.P.; Widdowson, A.; Erbe, A.; Ehrmann, J.; Kloppe, B.; JET-EFDA Contributors
Assessment of the photon-cleaning detritiation method tested at JET.
18th Internat.Symp.on Plasma Surface Interactions (PSI-18), Toledo, E, May 26–30, 2008
- Beloglazov, S.; Glugla, M.; Fanghänel, E.; Perevezentsev, A.; Wagner, R.
Performance of a full-scale ITER metal hydride storage bed in comparison with requirements.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.22–26
- Besserer, U.; Dörr, L.; Glugla, M.
Tritium confinement, retention and releases at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.160–63
- Bornschein, B.; Glugla, M.; Günther, K.; Le, T.L.; Simon, K.H.
Performance investigations of the impurity separation stage of the CAPER reference process for ITER.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Cristescu, I.; Cristescu, I.R.; Dörr, L.; Hellriegel, G.; Michling, R.; Murdoch, D.; Schaefer, P.; Welte, S.; Wurster, W.
Experiments on water detritiation and cryogenic distillation at TLK. Impact on ITER fuel cycle subsystems interfaces.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.440–45
Rochester
- Cristescu, I.; Dörr, L.; Michling, R.; Welte, S.; Wurster, W.
Modification, enhancement and operation of a water detritiation facility at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Cristescu, I.R.; Cristescu, I.; Glugla, M.; Murdoch, D.; Ciattaglia, S.
Uncertainty assessment and analysis of ITER in VV tritium inventory determination.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.9–13
- Day, C.; Haas, H.
Experimental assessment of the ITER cryosorption pump high temperature regeneration.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Day, C.
Extreme high vacuum – practical limitations.
Workshop on Vacuum Science and Technology, Mumbai, IND, May 14–16, 2008
- Day, C.; Antipenkov, A.
How to predict availability and reliability of a complex vacuum system?
2nd Workshop on the Operation of Large Vacuum Systems (OLAV II), Warrington, GB, March 10–12, 2008
- Day, C.; Hauer, V.; Luo, X.; Pearce, R.; Wykes, M.; Piazza, G.
Implications of increased gas throughputs at ITER on the torus exhaust pumping system.
22nd IAEA Fusion Energy Conf., Geneve, CH, October 13–18, 2008
- Day, C.
Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 27.–29.Februar 2008
- Day, Chr.; Murdoch, D.
The ITER vacuum system.
Journal of Physics: Conference Series, 114(2008) S.012013/1-12
DOI:10.1088/1742-6596/114/1/012013
- Day, Chr.; Murdoch, D.; Pearce, R.
The vacuum systems of ITER. Vacuum, 83(2008) S.773–78
DOI:10.1016/j.vacuum.2008.05.010
- Day, Chr.
Thermodynamik und Kernfusion.
Thermodynamik-Kolloquium, Universität Erlangen, 24.–26.September 2008
- 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.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.14–17

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. *Fusion Science and Technology*, 54(2008) S.143–48

Dremel, M.; Day, Chr.; Hemsworth, R.
Cryopump design for the ITER heating neutral beam injector.
22nd IAEA Fusion Energy Conf., Geneve, CH, October 13–18, 2008

Dremel, M.; Day, C.; Luo, X.; Hanke, S.
Development of a novel cryopump design for the ITER neutral beam injectors.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Fietz, W.H.; Heller, R.; Kienzler, A.; Lietzow, R.
High temperature superconductor current leads for WENDELSTEIN 7-X and JT60-SA.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008

Fietz, W.H.; Heller, R.; Kienzler, A.; Lietzow, R.
Status of HTS current leads for WENDELSTEIN 7-X and JT60-SA.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Haas, H.; Day, Chr.; Dremel, M.; Hauer, V.; Piazza, G.
Preparing the test facility TIMO-2 for the acceptance tests with the ITER torus cryopumps.
22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008

Hanke, S.; Day, C.
Risk analysis assessment for ITER in-vessel water leaks.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Hauer, V.; Day, C.
Conductance modelling of ITER vacuum systems.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Heiduk, M.; Kopmann, A.; Chilingarian, S.; Fink, S.; Lange, C.; Möhring, T.; Fietz, W.H.
Data acquisition system for W7-X coil testing in TOSKA.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Heller, R.; Fietz, W.H.; Keller, P.; Ringsdorf, B.; Schlachter, S.I.; Schwarz, M.; Weiss, K.P.
Electrical, mechanical and thermal characterization of Bi-2223/AgAu material for use in HTS current leads for W7-X.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 18(2008) S.1443–46
DOI:10.1109/TASC.2008.920567

Heller, R.; Batta, A.; Class, A.; Lietzow, R.; Neumann, H.; Strein, S.; Tischmacher, M.

Modeling of the fin type heat exchanger for the HTS current leads of W7-X and JT60-SA.
CHATS on Applied Superconductivity Workshop, Tsukuba, J, October 30 – November 1, 2008

Heller, R.
Safety analysis of the 70 kA ITER HTS current lead demonstrator.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008

Keller, P.; Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Schlachter, S.I.; Jung, C.; Aubele, A.
Electromechanical and thermal characterization of stacked Bi-2223 tapes at cryogenic temperature.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008

Keller, P.; Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Schlachter, S.
Elektromechanische und thermische Charakterisierung von Bi-2223
Hochtemperaturbandsupraleitern bei kryogenen Temperaturen.
72. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und DPG
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik, Fachverband Tiefe
Temperaturen, Berlin, 25.–29.Februar 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) TT 15.8

Köllö, Z.; Demange, D.; Bornschein, B.; Dörr, L.; Günther, K.; Kloppe, B.
Calibrating a gas chromatograph by means of tritium calorimetry.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

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.; Perevezentsev, A.; Piazza, G.; Poitevin, Y.; Ricapito, I.; Salavy, J.F.; Sedano, L.A.; Zmitko, M.
Tritium in fusion: R&D in the EU.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.39–44

Luo, X.; Dremel, M.; Day, Ch.
ProVac3D and application to the neutral beam injection system of ITER.
26th Internat.Symp.on Rarefied Gas Dynamics, Kyoto, J, July 21–25, 2008
Masiello, A.; Agarici, G.; Bonicelli, T.; Simon, M.; Antoni, V.; De Esch, H.; De Lorenzi, A.; Dremel, M.; Franzen, P.; Hemsworth, R.; Liniers, M.; Marcuzzi, D.; Martin, D.; Piovan, R.; Sonato, P.; Simonin, A.; Svensson, L.; Tanga, A.; Toigo, V.; Zaccaria, P.
European programme towards the 1MeV ITER NB injector.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

- Mayaux, C.; Wykes, M.; Kim, Y.H.; Pearce, R.; Worth, L.; Bersier, J.L.; Poncet, J.M.; Day, C.
Status of the cryogenic interface of the ITER cryopumps.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Michling, R.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Fanghänel, T.; Welte, S.; Wurster, W.
Behavior of solid polymer membrane electrolyzers in use with highly tritiated water.
Fusion Science and Technology, 54 (2008) S.470–74
- Murdoch, D.; Antipenkov, A.; Caldwell-Nichols, C.; Day, C.; Dremel, M.; Haas, H.; Hauer, V.; Jensen, H.
Vacuum technology for ITER.
Journal of Physics: Conference Series, 100(2008) S.062002/1–7
DOI:10.1088/1742-6596/100/6/062002
- Noe, M.; Krämer, H.P.; Wacker, B.; Martini, L.
Field test experience and state of the art of HTS fault current limiter (FCL).
Workshop on Status of Development and Field Test Experience with High-Temperature Superconducting (HTS) Power Equipment, Paris, F, August 26, 2008
- Omura, K.; Kojima, H.; Hayakawa, N.; Endo, F.; Noe, M.; Okubo, H.
Current limiting characteristics of parallel-connected coated conductors for high-Tc superconducting fault current limiting transformer (HTc-SFCLT).
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Pearce, R.; Wykes, M.; Kim, Y.H.; Worth, L.; Antipenkov, A.; Hatchressian, J.C.; Chantant, M.
The development of an ITER leak localisation strategy.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Pizzuto, A.; Semeraro, L.; Zani, L.; Bayetti, P.; Cucchiari, A.; Decool, P.; della Corte, A.; Di Zenobio, A.; Dolgetta, N.; Duchateau, J.L.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Hertout, P.; Kikuchi, M.; Kizu, K.; Lacroix, B.; Muzzi, L.; Nicollet, S.; Polli, G.M.; Portafaix, C.; Reccia, L.; Turtu, S.; Verger, K.; Villari, R.; Yoshida, K.
JT-60SA toroidal field magnet system.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 18(2008) S.505–08
DOI:10.1109/TASC.2008.920827
- Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity measurement of HTS tapes and stacks for current-lead applications.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008
- Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity measurement of BSCCO tapes for current lead applications.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007
Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.445–50 incl.CD-ROM (AIP Conference Proceedings ; 986) (Advances in Cryogenic Engineering Materials; 54) ISBN 978-0-7354-0505-9
- Varoutis, S.; Naris, S.; Hauer, V.; Day, Chr.; Valougeorgis, D.
A study of flows in triangular and trapezoidal channels under low, medium and high vacuum conditions.
10th European Vacuum Conf.(EVC-10), Balatonalmadi, H, September 22–26, 2008
- Weiss, K.P.; Nyilas, A.; Thoener, M.; Seeber, B.
Proof strength behavior of Nb3Sn bronze route wires between 300 K and 4 K.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007
Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.293-300 incl.CD-ROM (AIP Conference Proceedings; 986) (Advances in Cryogenic Engineering Materials; 54) ISBN 978-0-7354-0505-9
- Welte, S.; Ana, G.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Kuntz, B.; Michling, R.
Construction and commissioning of an ITER sized Pd/Ag permeator for a water detritiation experiment.
25th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2008), Rostock, September 15–19, 2008

Veröffentlichungen

Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (REU)

- Elschner, S.; Dommerque, R.; Maier, D.; Steinmeyer, F.; Stemmler, M.; Bock, J.; Noe, M.
First commercial medium voltage current limiters based on BSCCO 2212 bulk components.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Fink, S.; Noe, M.
A facility for testing the dielectric strength of liquid nitrogen.
16th IEEE Internat.Conf.on Dielectric Liquids, Poitiers, F, June 30–July 4, 2008
- Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Ringsdorf, B.; Frank, A.; Weiss, KP.
Behaviour of transport critical currents under various mechanical stresses in coated conductors.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Goldacker, W.; Frank, A.; Kudymov, A.; Heller, R.; Terzieva, S.; Ringsdorf, B.; Kling, A.; Schmidt, C.
Cable modifications to enhance transport currents in Roebel assembled coated conductors (RACC).
22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
- Goldacker, W.; Frank, A.; Heller, R.; Ringsdorf, B.; Schlachter, S.; Kling, A.; Schmidt, C.
Critical currents in ROEBEL assembled coated conductors (RACC).
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007 Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.461–70 incl.CD-ROM (AIP Conference Proceedings; 986) (Advances in Cryogenic Engineering Materials; 54) ISBN 978-0-7354-0505-9
- Goldacker, W.; Frank, A.; Kudymow, A.; Ringsdorf, B.; Heller, R.; Terzieva, S.; Kling, A.; Schmidt, C.
Improvement of superconducting properties in ROEBEL assembled coated conductors.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Goldacker, W.; Frank, A.; Kudymow, A.; Ringsdorf, B.; Terzieva, S.; Kling, A.; Heller, R.; Schmidt, C.
Status and prospects of ROEBEL assembled cables from coated conductors.
Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2008), Side, TR, August 25–29, 2008
- Grohmann, S.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Gehring, R.; Gil, W.; Kazachenko, O.; Neumann, H.; Noe, M.; Weiss, C.
Cryogenic design of the KATRIN source cryostat.
Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007 Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.1277–84 (AIP Conference Proceedings; 985) (Advances in Cryogenic Engineering; 53B) ISBN 978-0-7354-0504-2
- Hornung, F.; Schneider, T.
Upgrade of the 15 T JUMBO facility for time dependent high resolution U(I)-measurements.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- 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)
US-OS 2007/0253131 (1.11.2007)
US-PS 7 327 542 (5.2.2008)
CN-OS 101 073 188 (14.11.2007)
- Komarek, P.
Superconducting power application activities in Europe now and in near future.
NIMS Week (National Institute for Materials Science), Tsukuba, J, July 14–18, 2008
- Kotzyba, G.; Will, A.; Nast, R.; Jung, W.; Goldacker, W.; Stadel, O.
Solution deposited layers for joining coated conductors.
Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2008), Houston, Tex., December 4–6, 2008
- Kudymow, A.; Schacherer, C.; Noe, M.; Goldacker, W.
Experimental investigation of parallel connected YBCO coated conductors for resistive fault current limiters.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Martinez, E.; Munoz, O.; Yang, Y.; Schlachter, S.I.
Analysis of the quench onset and propagation in MgB2 conductors.
Applied Superconductivity Conf.(ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008

- Martinez, E.; Young, E.A.; Bianchetti, M.; Munoz, O.; Schlachter, S.I.; Yang, Y.
Quench onset and propagation in Cu-stabilized multifilament MgB₂ conductors.
Superconductor Science and Technology, 21(2008) S.025009/1-8
DOI:10.1088/0953-2048/21/02/025009
- Neumann, H.
Thermische Isolation.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 27.–29. Februar 2008
- Neumann, H.
Wärmeübertragung an Kryogene – Kühltechniken.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 27.–29. Februar 2008
- Noe, M.
Electrical storage and distribution systems.
HGF-Symp. 'Evolutionary Energy Systems of the Future', Bruxelles, B, November 5, 2008
- Noe, M.; Goldacker, W.; Heller, R.; Fietz, W.; Schneider, T.
HTS applications.
Workshop on Accelerator Magnet, Superconductor, Design and Optimization (WAMSDO 2008), Geneve, CH, May 19–23, 2008
- Noe, M.
Supraleitermaterialentwicklung für energietechnische Anwendungen.
10. Energietechnisches Forum der Fachhochschule Kiel, 14.–15. Oktober 2008
- Nyilas, A.; Weiss, K.P.
Bi-axial strain response of structural materials and superconducting Nb₃Sn wires at 295 K, 7 K and 4 K.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007
Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.116–23
incl. CD-ROM
(AIP Conference Proceedings; 986)
(Advances in Cryogenic Engineering Materials; 54)
ISBN 978-0-7354-0505-9
- Rajinikumar, R.; Süßer, M.; Narayankhedkar, K.G.; Krieg, G.; Atrey, M.D.
Fiber Bragg grating sensors for measuring temperature and strain simultaneously at cryogenic temperature.
Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007
Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.383–90
(AIP Conference Proceedings; 985)
(Advances in Cryogenic Engineering; 53A)
ISBN 978-0-7354-0504-2
- Ramalingam, R.; Süßer, M.; Neumann, H.
Evaluation of temperature distribution of multi-layer insulations using Fiber Bragg Grating sensors.
22nd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
- Roths, J.; Pierer, J.; Andrejevic, G.; Kuttler, R.; Süßer, M.
Investigations of fiber Bragg cryogenic temperature sensors.
22nd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
- Roths, J.; Süßer, M.
Optical system for cryogenic liquid level measurement in small volumes.
22nd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
- Schacherer, C.; Noe, M.; Kudymow, A.; Schwarz, M.
Comparison of quench behaviour of different coated conductors.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Chattanooga, Tenn., July 16–20, 2007
Melville, N.Y.: AIP, 2008 S.494-501 incl. CD-ROM
(AIP Conference Proceedings; 986)
(Advances in Cryogenic Engineering Materials; 54)
ISBN 978-0-7354-0505-9
- Schacherer, C.; Steurer, M.; Noe, M.
Power hardware-in-the-loop testing of a YBCO coated conductor fault current limiting module.
Applied Superconductivity Conf. (ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
- Schlachter, S.I.; Frank, A.; Jung, A.; Runtsch, B.; Orschulko, H.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.
Improvement of grain connectivity and critical fields of MgB₂ superconductors by co-doping with CaB₆ and SiC.
Applied Superconductivity Conf. (ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008
Internat. Conf. on Electronic Materials (IUMRS-ICEM), Sydney, AUS, July 28–August 1, 2008
- Schlachter, S.I.; Frank, A.; Jung, A.; Runtsch, B.; Orschulko, H.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.
Tailoring the J_c(B) dependence of MgB₂ superconductors by co-doping with CaB₆ and SiC.
22nd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
- Schneider, T.
Supraleitende Höchstfeldmagnete.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 27.–29. Februar 2008
- Stadel, O.; Muydinov, R.; Keune, H.; Schmidt, J.; Kotzyba, G.; Nast, R.; Goldacker, W.; Dosovitsky, G.; Blednov, A.
MOCVD and MOD of YBCO and buffer layers on textured metal tapes.
Applied Superconductivity Conf. (ASC 2008), Chicago, Ill., August 17–22, 2008

Stadel, O.; Muydinov, R.; Schmidt, J.; Keune, H.; Wahl, G.; Kotzyba, G.; Will, A.; Nast, R.; Jung, A.; Goldacker, W.; Samoilenkov, S.; Gorbenko, O.; Kaul, A.
MOCVD and MOD process for coated conductors.
72. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und DPG
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik, Fachverband Tiefe
Temperaturen, Berlin, 25.–29. Februar 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) TT 10.1

Süßer, M.
Comparison of cryogenic sensor mounting methods.
Vortr.: Indian Institute of Science, Bangalore, IND,
20. Dezember 2008

Süßer, M.
Comparison of TVO and Cernox low temperature sensors.
22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008

Süßer, M.
Die Auswahl von Tieftemperaturfühlern für den Einsatz in kryogenen Großexperimenten.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008, Ulm,
20.–21. November 2008

Süßer, M.
Introduction to the cryogenic temperature measurement.
Vortr.: Indian Institute of Technology, Mumbai, IND,
25. November 2008

Süßer, M.
Kryogene Mess-, Regel- und Sicherheitstechnik.
Seminar Kryostatbau, Essen, 11.–12. September 2008

Süßer, M.
Kryogene Mess- und Regeltechnik.
VDI-Seminar Kryotechnik, Karlsruhe, 27.–29. Februar 2008

Süßer, M.
Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.
VDI-Seminar Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen, Düsseldorf, 18.–20. Juni 2008

Süßer, M.
Peculiarities of the EN 13648.
Plenarsitzung des Normenausschusses CEN/TC 268, Bruxelles, B, 14. November 2008

Süßer, M.
Tieftemperaturmessung mit Pt500-Temperaturfühlern und Dampfdruckthermometern.
KI Kälte – Luft – Klimatechnik, (2008) Nr.9, S.14–16

Programm „Struktur der Materie“

Fränkle, F.; KATRIN-Collaboration
Das KATRIN Hauptspektrometer: Erste Messergebnisse, Status und Ausblick.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Freiburg, 3.–7. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) T 88.5

Gehring, R.; Bornschein, B.; Gil, W.; Grohmann, S.; Noe, M.
The windowless gaseous tritium source for the KATRIN experiment. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 18(2008) S.1459–62
DOI:10.1109/TASC.2008.920625

Glück, F.; KATRIN-Collaboration
Background electrons in MAC-E filters.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Freiburg, 3.–7. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) T 88.8

Glück, F.; Bornschein, L.; Fränkle, F.; Habermehl, F.; Hugenberg, K.; Leber, M.; Valerius, K.; Weinheimer, C.; KATRIN-Collaboration
Penning discharge in the KATRIN prespectrometer.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Freiburg, 3.–7. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) T 88.7

Gotsova, A.; Kernert, N.; KATRIN Collaboration
Investigations of turbo-molecular pumps in magnetic fields for the KATRIN experiment.
72. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und DPG
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, 25.–29. Februar 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) VA 2.1

Gotsova, A.; Kernert, N.; KATRIN-Collaboration
The differential pumping system of KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und Kerne, Darmstadt, 10.–14. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) HK 34.15

Grohmann, S.; Gil, W.; Weiss, C.
Commissioning of the cryogenic transfer system for the KATRIN experiment.
22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008

Kazachenko, O.; Bornschein, B.; Kernert, N.; Dörr, L.; Glugla, M.; Weber, V.; Stern, D.
Tritium processing loop for KATRIN experiment.
Fusion Science and Technology, 54(2008) S.67–70

Lewis, R.J.; Telle, H.H.; Bornschein, B.; Kazachenko, O.; Kernert, N.; Sturm, M.
Dynamic Raman spectroscopy of hydrogen isotopomer mixtures in-line at TILLO.
Laser Physics Letters, 5(2008) S.522-31
DOI:10.1002/lapl.200810026

Luo, X.; Day, C.
Test particle Monte Carlo study of the cryogenic pumping system of the Karlsruhe tritium neutrino experiment.
Journal of Vacuum Science and Technology A, 26(2008) S.1319–25
DOI:10.1116/1.2956628

Renschler, P.; KATRIN Collaboration
Detektorsystem zum Nachweis niederenergetischer Elektronen für das KATRIN Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Freiburg, 3.–7. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) T 61.8

Schmitt, U.; KATRIN Collaboration
Detektorkonzepte für niederenergetische Elektronen aus dem Tritiumzerfall.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Hadronen und Kerne, Darmstadt, 10.–14. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) HK 10.7

Schöppner, M.; KATRIN-Collaboration
Entwicklung einer Ionenquelle für die KATRIN-Transportstrecke.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Atomphysik, Darmstadt, 10.–14. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) A 24.5

Sturm, M.; KATRIN-Collaboration
Die Tritium-Loops von KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Freiburg, 3.–7. März 2008
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.43(2008) T 31.1

Thümmler, T.
Precision high voltage monitoring for the KATRIN experiment.
2008 Nuclear Science Symp., Medical Imaging Conf. and 16th Room Temperature Semiconductor Detector Workshop, Dresden, October 19–25, 2008

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)
US-OS 2007/0253131 (1.11.2007)
CN-OS 101 073 188 (14.11.2007)
US-PS 7 327 542 (5.2.2008)

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)

Kontakt

Institut für Technische Physik
Forschungszentrum Karlsruhe

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

www.fzk.de/itp

Herausgeber

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Stand Mai 2009

www.kit.edu