

# ITEP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung  
Jahresbericht 2010

INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK



## Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Technische Physik  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Telefon +49 721/608-23501

[www.kit.edu/itep](http://www.kit.edu/itep)

Texte: B. Bornschein, C. Day, W. Fietz, W. Goldacker,  
J. Haag, H. Neumann, M. Noe, T. Schneider

Fotos und Grafiken:  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Titelbild: Windowless Gaseous Tritium Source  
Demonstrator für das Projekt KATRIN

Gestaltung + Druck: Schrift & Druck Hammer GmbH

Juni 2011

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Ergebnisse aus den Forschungsbereichen</b>	<b>6</b>
Fusionsmagnete	6
Supraleitende Hochfeldmagnete	12
Supraleitermaterialentwicklung und Energieanwendungen	18
Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)	24
Vakuumtechnik	30
Kryotechnik	36
Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN	40
<b>Lehre und Bildung</b>	<b>46</b>
Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen	46
Diplom-, Bachelor-, Master-, Studien-, Techniker- und Doktorarbeiten	47
ITEP Kolloquien 2010	49
<b>Zahlen und Daten</b>	<b>50</b>
Organigramm	50
Personalstand 2010	50
Personalveränderungen im Jahr 2010	51
Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien	52
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>53</b>
Veröffentlichungen Programm „Kernfusion“	53
Veröffentlichungen Programm „Rationelle Energieumwandlung“	57
Veröffentlichungen Programm „Struktur der Materie“	62
Eingeladene Vorträge	65
Schutzrechtsbestände	67
<b>Kontakt</b>	<b>69</b>

# Vorwort

Das Institut für Technische Physik (ITEP) versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum für Fusions-, Supraleitungs- und Kryotechnologie. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in folgenden Bereichen:

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

Die Arbeiten des ITEP sind langfristig in den Programmen „Fusion“, „Rationelle Energieumwandlung und -nutzung (REUN)“ sowie „Astroteilchenphysik“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren verankert.

Bei der Bearbeitung seiner komplexen und meist multidisziplinären Aufgaben kann das ITEP auf einzigartige große Versuchseinrichtungen, Labors und entsprechende technische Infrastruktur zurückgreifen. Einige Beispiele: Das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) ist das weltweit einzige zivil genutzte Labor mit einem geschlossenen Tritiumkreislauf. Die Toroidal-Spulen-Testanlage Karlsruhe (TOSKA) dient zum Testen großer Magnete für die Fusion und zur Entwicklung von Komponenten für zukünftige Fusionskraftwerke. In der Testanlage für die ITER-Modellpumpe (TIMO) werden Kryovakuumpumpen entwickelt. Ein Hochfeldmagnetlabor steht zur Entwicklung von supraleitenden Magneten hoher Felder, ein kryogenes Hochspannungslabor zur Untersuchung der Hochspannungsfestigkeit kryogener Isolierstoffe bereit. In kryogenen Materiallabors untersuchen Forscherinnen und Forscher des ITEP elektrische und mechanische Eigenschaften von Materialien bei extrem tiefen Temperaturen.

Das Jahr 2010 brachte neben wissenschaftlichen Ergebnissen einige besondere Herausforderungen und Ereignisse mit sich, die ich im Folgenden kurz darstellen möchte.

Im Arbeitsbereich Fusionsmagnete erreichte das ITEP bei der Entwicklung der Hochstromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) für das Fusionsprojekt Wendelstein 7-X einen wichtigen Meilenstein: Die beiden Prototypstromzuführungen wurden erfolgreich mit bis zu 20 000 Ampere getestet; sie erfüllen sämtliche Anforderungen. Parallel dazu wurden die Serienstromzuführungen gefertigt und wurde eine Anlage zum Testen der Serienstromzuführungen aufgebaut. Das kryogene Materiallabor wurde um eine Torsionsanlage erweitert, die gleichzeitig Zugkräfte bis 160 000 Newton und Momente bis 1 000 Newtonmeter ermöglicht.

Das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) wird im internationalen Fusionsexperiment ITER ([www.iter.org](http://www.iter.org)) die Bereitstellungspakete zur Wasserdetriitierung und kryogenen Isotopentrennung übernehmen. 2010 wurde der Vertrag über ein Konzept zur Wasserdetriitierung unterzeichnet; daneben startete die Entwicklung von neuen Membranverfahren zur Rückgewinnung von kleinsten Tritiummengen in großen Heliumdurchsätzen. Zugleich begann das Ersetzen der Leittechnik für die Tritiuminfrastruktursysteme im TLK. Dabei gingen die ersten zwei Systeme bei minimaler Stillstandszeit erfolgreich in Betrieb.

Der Bereich Vakuumtechnik des ITEP ist bei ITER verantwortlich für Design, Bereitstellung und Test der Kryovakuumpumpen. 2010 lagen die Arbeitsschwerpunkte auf dem Erstellen des Built-to-Print-Designs des Prototyps der ITER-Torus-Kryopumpe und auf weiteren experimentellen Arbeiten zur Designvalidierung. Der Umbau der Anlage TIMO zum Test dieser Vakuumpumpe wurde nahezu abgeschlossen. Ergänzend kamen der weitere Ausbau einer experimentellen Datenbank für Vakuumströmungen im gesamten Bereich der Knudsen-Zahl sowie die Modellierung und Simulation von Vakuumströmungen hinzu.

Im Bereich Supraleitermaterialentwicklung stellt die Entwicklung von wirtschaftlichen, verlustarmen und hochstromtauglichen Leiterkonzepten eine Kernaufgabe dar. 2010 startete eine Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe zur Untersuchung von Wechselstromverlusten in Hochtemperatur-Supraleitern unter Leitung von Dr. Francesco Grilli. Erste Ergebnisse bestätigen, dass sich filamentierte Roebel-Leiter dazu eignen, Verluste zu reduzieren. Weiterhin setzten die Forscher die Entwicklung von Multileiterkonzepten mit Magnesiumdiborid-Supraleitern fort. Was die energietechnischen Anwendungen der Supraleitung betrifft, startete 2010 ein neues EU-Projekt zur Entwicklung eines Mittelspannungs-Strombegrenzers ([www.eccoflow.org](http://www.eccoflow.org)). Zudem wurde ein strombegrenzender Transformatorerfolgreich aufgebaut und getestet.

Das Hochfeldlabor des ITEP verfügt mit seinen Testanlagen bis zu 20 T (25 T im Aufbau) über eine einzigartige Ausstattung, die es mit dem Know-how seiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter seit nun fast 25 Jahren höchst erfolgreich in die Entwicklung von Hochfeld-NMR-Systemen einbringt. 2010 vereinbarte das ITEP mit einem langjährigen Industriepartner die gemeinsame Entwicklung von Hochfeld-NMR-Systemen mit Hochtemperatur-Supraleitern. An einer HTS-Leiterprobe wurden internationale Rekordwerte für die Stromdichte bei 20 T erzielt.

Der Bereich Kryotechnik entwickelt und erweitert unter anderem die umfangreichen und komplexen Kryosysteme für das Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment



**Richtfest am Ersatzbau für das Bürogebäude Bau 410.**

Beim Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN ([www-ik.fzk.de/tritium/](http://www-ik.fzk.de/tritium/)) ist das ITEP seit Projektbeginn für Aufbau und Betrieb der Tritiumkreisläufe, Aufbau und Betrieb der Kryoversorgung sowie die Bereitstellung der supraleitenden Magnete verantwortlich. 2010 bildeten Auslieferung und Aufbau des sogenannten WGTS-Demonstrators zur Überprüfung der Strahlrohrkühlung einen wesentlichen Projektmeilenstein. Weiterhin wurde das am TLK entwickelte Laser-Raman-Verfahren zur präzisen Messung der Isotopenzusammensetzung von gasförmigem Tritium erstmals an zirkulierendem Tritiumgas verwendet und in der Nachweisgrenze wesentlich verbessert.

Was personelle Veränderungen betrifft, stieg die Zahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Ausbildung, wie Studentinnen und Studenten der Dualen Hochschule, Diplomanden, Doktoranden und Trainees, 2010 erfreulicherweise weiter an. Schmerzlich traf uns die Nachricht vom Tod unseres äußerst verdienten langjährigen Mitarbeiters Gerhard Hellriegel. Er war verantwortlicher Gruppenleiter für die Mess- und Regeltechnik im Tritiumlabor Karlsruhe.

In der Lehre wurden die von Mitarbeitern des ITEP gehaltenen oder unterstützten Vorlesungen weiter ausgebaut. Das Angebot umfasst nun insgesamt mehr als zehn Vorlesungen, überwiegend in den Bereichen Supraleitung, Fusion und Kryotechnik. Zahlreiche vom ITEP organisierte nationale und internationale Seminare, Sommerschulen und Workshops ergänzen das Lehrangebot.

Im Dezember 2010 wurde am Ersatzbau für unser Bürogebäude Bau 410 das Richtfest gefeiert. Ich danke allen Beteiligten ganz herzlich. Mein ganz besonderer Dank gilt unserem Vizepräsidenten Dr. Peter Fritz, dem Architekturbüro Behnisch, den beteiligten internen und externen Mitarbeitern und den ausführenden Firmen.

2010 wurden Mitarbeitern des ITEP einige besondere Auszeichnungen und Berufungen zuteil. Dr. Francesco Grilli erhielt anlässlich der ASC Konferenz den begehrten Van Duzer-Preis für die beste Publikation in den „IEEE Transactions of Applied Superconductivity“. Dr. Sonja Schlachter wurde in das Executive Board der renommierten Zeitschrift „Superconductor Science and Technology“, Dr. Steffen Grohmann in die Kommission „Cryophysics, cryoengineering“ des International Institute of Refrigeration berufen.

Mein ganz besonderer Dank gilt allen Partnern des ITEP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie für die ebenso vertrauensvolle wie fruchtbare und erfolgreiche Zusammenarbeit im Jahr 2010.

Herzlichst Ihr

Mathias Noe



*Kalter 4,5 K Kontakt der HTS Stromzuführung für 20 000 Ampere.*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

Im Bereich Fusionsmagnete ist das ITEP am nationalen Projekt W7-X sowie an den internationalen Projekten JT-60SA und ITER beteiligt. Überdies ist es mit vorbereitenden Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO befasst.

### Entwicklung und Bau von Stromzuführungen für W7-X und JT-60SA

#### Arbeiten für Wendelstein 7-X

Das ITEP hat 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, zwei Prototyp- und 14 Serienstromzuführungen, sind über Kopf einzubauen. Daher werden sie mit Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) ausgerüstet, wodurch auch die erforderliche Kälteleistung weitaus geringer ist. Die Stromzuführungen sind für einen Maximalstrom von 18,2 kA ausgelegt.

2009 hatte das ITEP die Fertigung der beiden Prototypstromzuführungen weitgehend abgeschlossen. 2010 wurden diese zusammen mit einem vom IPP bereitgestellten supraleitenden Stromverbindungsbügel zu einer Testeinheit verbunden und in einem Testkryostaten an TOSKA angeschlossen. Im Sommer 2010 lief erfolgreich der detaillierte Test; daraufhin wurde die Fertigung der 14 Seriennstromzuführungen freigegeben.

Inzwischen hat am KIT die Serienfertigung begonnen. 2011 soll die Serienfertigung fortgesetzt werden, und es sollen die ersten Abschlusstests an Serienstromzuführungspaaren laufen.

#### Arbeiten für JT-60SA

2007 erklärte sich Deutschland bereit, einen Teil des von der EU an Japan zugesagten Pakets für den Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA zu liefern. Auch bei diesem Projekt hat das ITEP den Bau der Stromzuführungen übernommen. Die Rahmendaten wurden 2009 mit der EU und Japan ausgehandelt; Anfang 2010 wurde der Vertrag unterzeichnet.

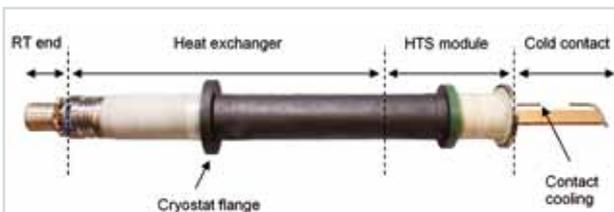


Abb. 1: Prototypstromzuführung nach dem Zusammenbau.

2009 war das Grobdesign entstanden; 2010 wurde weiter an der Konstruktion gearbeitet. Zurzeit werden Anschlussbereiche an JT-60SA zusammen mit der europäischen Agentur Fusion for Energy (F4E) und Japan fixiert. Als Basis für die Konstruktion dienen die Ergebnisse eines Prototyptests. Dafür verwendete das ITEP die für den W7-X Prototyptest gebaute Testeinheit; der Test lief unter für JT-60SA relevanten Bedingungen, das heißt im Pulsbetrieb. 2011 soll die Konstruktion abgeschlossen und festgeschrieben werden; anschließend soll die Beschaffung der Materialien und Komponenten beginnen.

#### Stromzuführungs-Testanlage CuLTka und Vorbereitung von TOSKA auf den Test der W7-X Prototypstromzuführungen

Insgesamt sind 16 Stromzuführungen für W7-X und 26 Stromzuführungen für JT-60SA zu testen.

Dafür wird eine neue Testanlage Current Lead Test facility Karlsruhe (CuLTka) aufgebaut und in die bestehende Kryo-Infrastruktur des ITEP integriert. CuLTka wurde so konzipiert, dass sowohl der Überkopfbetrieb der Stromzuführungen für W7-X als auch der Normalbetrieb der Stromzuführungen für JT-60SA möglich ist.

Um den Test der W7-X Prototypstromzuführungen möglichst bald abzuschließen, führte das ITEP diesen Test 2010 an TOSKA durch. Die ersten Serientests 2011 wird es so lange ebenfalls an TOSKA durchführen, bis CuLTka fertiggestellt ist. Die Anlage CuLTka wird auf diese Tests spezialisiert sein. Im Vergleich zu TOSKA erlaubt sie dadurch eine wesentlich höhere Testfrequenz, was erforderlich ist, um alle Stromzuführungen für



Abb. 2: Testkryostat für den Test der W7-X Prototypstromzuführungen an TOSKA.

W7-X und JT-60SA fristgerecht fertigzustellen. Der Bau der Serienstromzuführungen für W7-X sowie die entsprechenden Abnahmetests sollen bis Ende 2012 abgeschlossen sein. Anschließend sollen die 26 Stromzuführungen für JT-60SA gebaut werden; diese sollen bis Ende 2015 an CuLTka getestet werden.

### Untersuchung transienter Hochspannungen an ITER Spulen

Die elektrischen Spannungsbelastungen innerhalb der ITER PF3 Spule und der ITER PF6 Spule wurden für die Schnellentladung, den Nennbetrieb sowie für zwei Fehlerfälle mit einem Erdschluss berechnet. Schon bei den Spannungen an den Spulenanschlüssen wurden Werte zu bis 23 Prozent über den bisher von der ITER Organisation (IO) angegebenen Maximalwerten ermittelt. Bei den Spannungen an der Windungsisolierung wurden Werte berechnet, die um mehr als eine Größenordnung höher sind als die Werte, die in bisherigen Publikationen der IO für diese Isolierungsart angegeben sind.

Die stark unterschiedlichen Ergebnisse für die maximale Spannungsbelastung der Windungsisolierung erklären sich dadurch, dass die IO eine lineare Spannungsverteilung innerhalb der Spule annimmt. Diese Annahme begründet sie nicht. Forscher des ITEP haben anhand unterschiedlicher Modellbildungen nachgewiesen, dass schnelle Anregungen, beispielsweise ein Erdschluss, stark nichtlineare Spannungsverteilungen innerhalb der beiden untersuchten Spulen bewirken.

### Kryogene Materialtests und mechanische Tests von supraleitenden Kabeln

#### Arbeiten für ITER

Zur Qualifikation des Materials und des Herstellungsprozesses für die verschiedenen Kabeltypen bei TF, CS und PF Spulen nahm das ITEP Tests am Stahlhüllmaterial vor. Dabei zeigten sich drastische Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften, besonders in der Duktilität. Ein Maß dafür lässt sich durch die maximal erreichte Dehnung definieren. So ergaben sich für eine japanische TF Referenzprobe, kompaktiert und gegläht, Werte über 30 Prozent, bei einer europäischen Probe im gleichen Zustand dagegen Dehnungswerte unter 15 Prozent. Um diesen Effekt genauer zu untersuchen, wurden SEM-Bilder der Bruchoberflächen aufgenommen. Darauf zu erkennen sind prägnant ausgebildete sogenannte Dimple Patterns bei der japanischen duktilen Probe und demgegenüber eine extrem körnige Oberfläche bei der europäischen Probe. Die Korngrenzen bilden dabei offenbar die Schwachstellen.

Weitere Arbeiten dienen der mechanischen Qualifikation des Herstellungsprozesses der Radialplatten. Dabei sind zwei Methoden relevant: Die Herstellung durch Schmieden besitzt den Vorteil, dass sich große Elemente kostengünstig fertigen lassen. Nachteilig wirken sich dabei die eingebauten Eigenspannungen aus, welche bei der Einarbeitung der Nuten für das TF-Kabel ausgeglichen werden müssen.

Eine Alternative stellt die Herstellung durch Hot Isostatic Pressure (HIP) dar. Dabei werden Eigenspannungen vermieden. Allerdings bringt HIP im Vergleich zum Schmieden den Nachteil mit sich, dass die Formstücke kleiner sind und der Herstellungsprozess teurer ist.

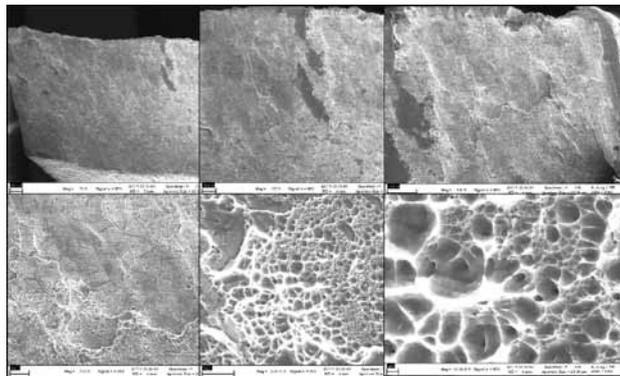


Abb. 3: SEM-Bilder der japanischen Referenzprobe mit deutlichem duktilem Dimple Pattern.

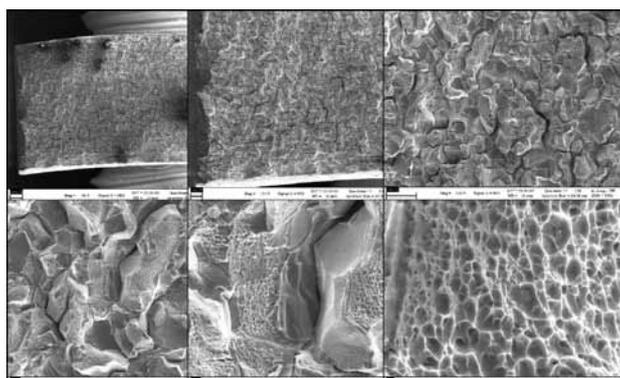


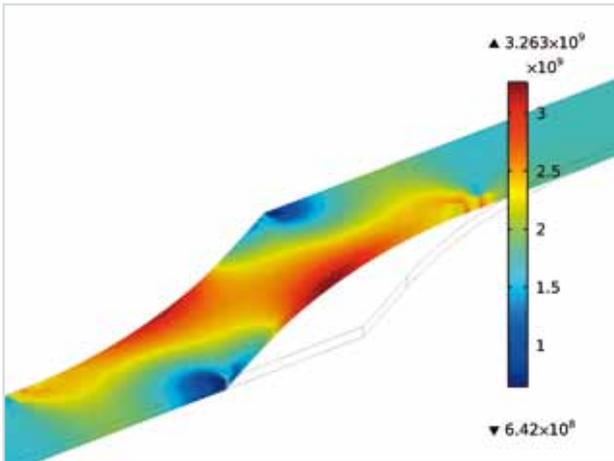
Abb. 4: SEM-Bilder der europäischen Probe mit Schwachstellen entlang der Korngrenzen.

Das ITEP nahm an Material aus beiden Herstellungsmethoden Zugversuche und Bruchzähigkeitsuntersuchungen vor. Dabei zeigte sich, dass das geschmiedete Material, was die Bruchzähigkeit betrifft, weit über den geforderten Werten liegt. Die Proben aus dem HIP Prozess hingegen befinden sich nur knapp an oder über der Grenze von  $180 \text{ MPam}^{0.5}$ . Dies liegt an der äußerst feinkörnigen Struktur des so hergestellten Materials, welche die Risseinleitung begünstigt.

Bei der Prüfung von Prototypen elektrischer HV-Trenner zur Verrohrung der supraleitenden Magnete sollen, neben elektrischen Tests und He-Druck Tests, mechanische Belastungen in Zug, Druck, Biegung und Torsion aufgebracht werden. Daher nahm das ITEP eine Torsionstesteinrichtung mit einer maximalen Zugkraft von 160 kN und einem Moment von 1000 Nm in Betrieb. Erste Tests bei Raumtemperatur waren erfolgreich. Zurzeit führt das ITEP abschließende Kalibrierungen der Sensoren durch.

Weiterhin liefen Vorbereitungen für zwei Verträge im Bereich kryogener Materialtests. So hat sich das Labor CryoMaK für einen ITER-Servicevertrag über drei Jahre sowie für einen F4E-Vertrag über vier Jahre beworben.

Dabei werden zahlreiche mechanische Tests an Kleinproben bis hin zu ganzen Komponenten zu bewältigen sein.



**Abb. 5: FEM Berechnung der Spannungsverteilung eines Roebel-Bands unter axialer Belastung.**

### Vorbereitende Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO

Studien und Analysen zu aktuell verfügbaren HTS-Materialien zeigen deutlich, dass sich mit HTS der zweiten Generation (RE-Ba-Cu-O-Bandleiter) in künftigen Fusionsreaktoren Magnetspulen bei vergleichsweise hohen Temperaturen von 65 K betreiben lassen. Dies eröffnet die Chance auf ein einfacheres Kühlkonzept, das Kälteleistung einspart, und somit auf einen einfacheren und effizienteren Fusionsreaktor. Die Arbeiten am ITEP zur Entwicklung von HTS-Kabeln für Fusionsmagnete der nächsten Generation konzentrierten sich 2010 im Wesentlichen auf zwei Themen: Reduktion der AC-Verluste von Einzelbändern durch Laserstrukturierung sowie Entwicklung eines Kabelkonzepts für HTS-Bandleiter für Ströme  $> 10$  kA in Feldern  $> 10$  T und bei Temperaturen  $> 50$  K. Details zu diesen Arbeiten sind im Abschnitt des Forschungsbereichs Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen beschrieben.

### Elektromechanische Untersuchungen im Magnetfeld – FBI

Im Rahmen einer Doktorarbeit werden mechanische Eigenschaften von Roebel-Leitern modelliert und experimentell untersucht. Belastungen in axialer Richtung, Biegung und Torsion spielen dabei eine zentrale Rolle. Zunächst wurde der Einfluss der Geometrie betrachtet, um Spannungsüberhöhungen bei mechanischer Belastung zu minimieren. Mit diesen Erkenntnissen werden optimierte Roebel-Leiter zusammengesetzt, um sie in Hochstrom-Rutherford-Kabeln zu verwenden.

### Highlight 1 Test der HTS-Prototypstromzuführungen für Wendelstein 7-X

Das ITEP baute zwei Prototypstromzuführungen, fügte sie zusammen mit einem supraleitenden Verbindungsbügel zu einer paschenfesten Anordnung und installierte sie in einem Testkryostaten. Den Testkryostaten baute es an den Vakuummessel der Anlage TOSKA an und verband ihn mit dem Kryosystem, dem Datenverarbeitungs- und Kontrollsystem sowie der Hochstromanlage. Nach dem Abkühlen der Testanordnung Anfang Juni 2010 begann ein vierwöchiger Test der Stromzuführungen unter verschiedensten stationären und transienten Bedingungen. Schwerpunkte lagen auf Verlustmessungen ohne und mit Strombetrieb, Stromtests bis 20 kA, Ramptests, Langzeittests bei 18,2 kA, Temperaturmarge- und Kühlmittelverlusttests.

Wie die Tests ergeben haben, entsprechen beide Stromzuführungen in allen Parametern den Erwartungswerten: Die Wärmeverluste auf dem 4,5 K Niveau betragen  $(2.1 \pm 1)$  W; der Heliummassenstrom bei einem Betriebsstrom von 18,2 kA beträgt 1,38 g/s. Die Temperaturmarge beträgt mehr als 26 K, was genug Reserve für

den späteren Betrieb in Wendelstein 7-X gewährleistet. Im Fall eines Kühlmittelverlusts bei 18,2 kA Betriebsstrom dauert es etwa 18 Minuten, bis ein Quench im HTS-Teil der Stromzuführungen auftritt.

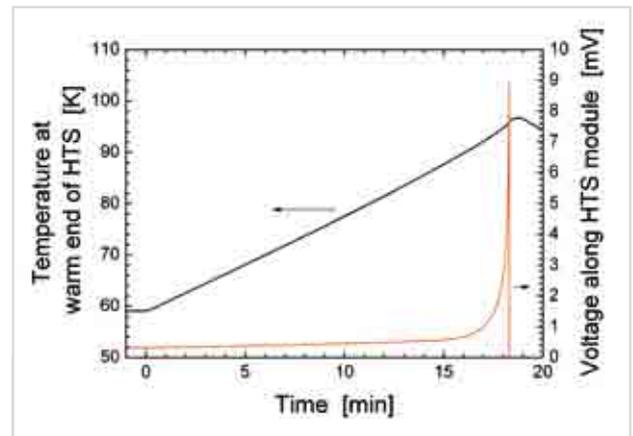


Abb. 7: Temperatur und Spannung während der Simulation des Kühlmittelausfalls.

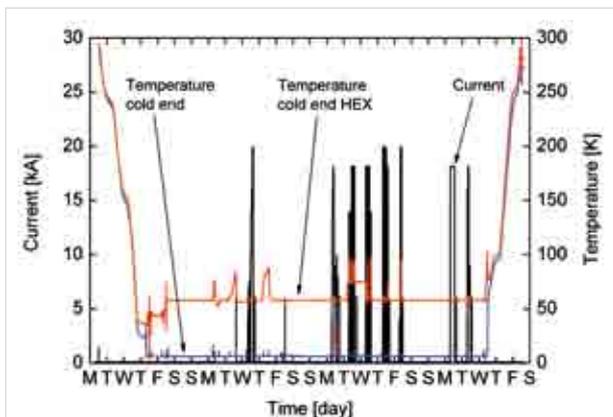


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf des Prototyptests von der Abkühlung über den Experimentbetrieb bis zum Aufwärmen.

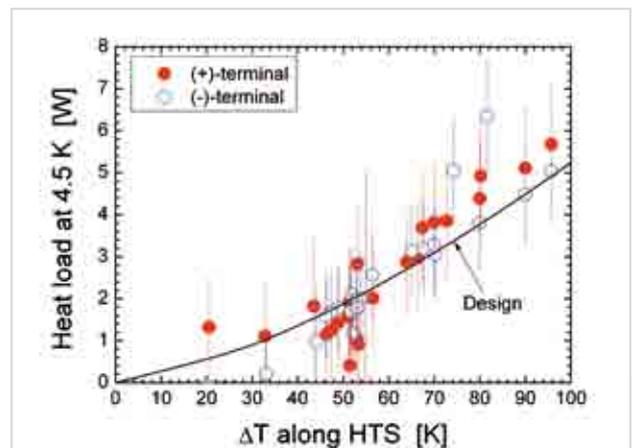


Abb. 8: Wärmelast auf dem 4,5 K Niveau in Abhängigkeit des Temperaturgradienten über das HTS-Modul.

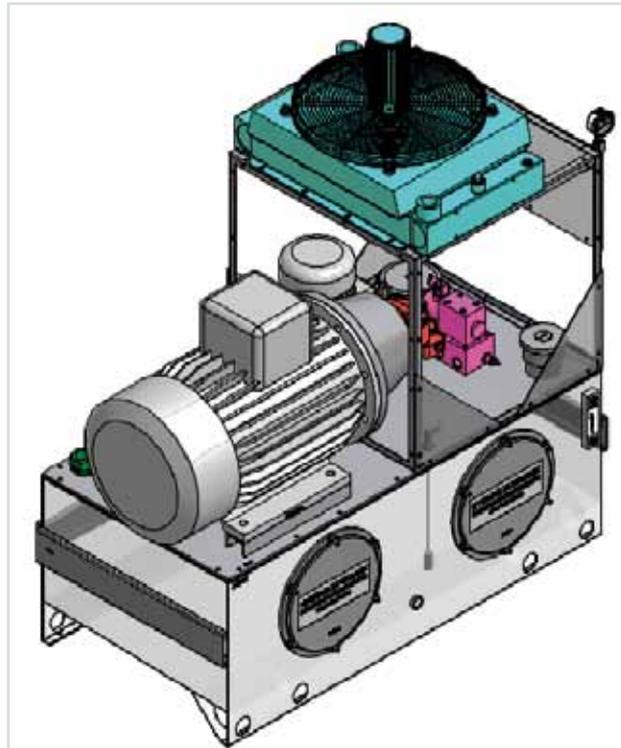
**Highlight 2****ITER Service Contract:****„Provision of Conductor Jacket  
Mechanical Testing Reference Laboratory“**

Das CryoMaK Labor ist von der ITER Organization zum Referenzlabor bestimmt worden, um die erforderlichen kryogenen mechanischen Materialtests zur Qualifizierung und Qualitätssicherung durchzuführen (ITER Service Contract IO/10/4300000292). Dabei sind für 2010/2011 ein Budget von 180 000 Euro und optional für 2012/2013 eine Summe von 120 000 Euro vorgesehen. Zu untersuchen ist vornehmlich das Kabelhüllmaterial der Toroidal-, Poloidal- und Zentralfeldspulen. Dabei sind Zug- und Ermüdungsversuche sowie bruchmechanische Tests vorzunehmen. Erste Tests liefen bereits.



**Abb. 9:** Bruchfläche mit  $\varnothing$  4 mm einer Ermüdungsprobe aus PF Hüllmaterial, nach rund 25 000 Zyklen bei einer Belastungsamplitude von 100 MPa bis 1100 MPa bei 4.2 K.

Um die Prototypen von HV-Trennern für den experimentellen Fusionsreaktor ITER zu qualifizieren, sind Tests der strukturellen Integrität (He-Dichtigkeit, elektrische Isolation) erforderlich. Um aber die Bedingungen im Betrieb zu simulieren, sind zusätzliche Belastungstests vorgesehen, unter anderem mechanische Torsions- und Zugtests im CryoMaK Labor. Dabei sollen die Komponenten mehrfach einem Drehmoment von bis zu 100 Nm unterworfen werden. Um dies zu realisieren, ging eine kryogene Testeinrichtung zur mechanischen Axial- und Torsionsbelastung in Betrieb. Die maximale Zugkraft beträgt 160 kN, das maximale Drehmoment 1000 Nm. Dazu wurde ein neuer Ölkompresseur (ca. 43 l/min) für die Hydraulik installiert.



**Abb. 10:** Inbetriebnahme der kryogenen Testeinrichtung zur mechanischen Axial- und Torsionsbelastung.



*HOMER II – Hochfeld-Experimentieranlage mit Einsatzflansch und Dreifach-Testspulensatz.*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

### Das HochfeldmagnetLabor (HFL)

Die Resonanz von Besuchern ebenso wie die Reaktion von Partnern in internationalen Projekten zeigen, dass das Hochfeldlabor mit seinen Experimentieranlagen JUMBO, HOMER I und HOMER II einen einzigartigen Charakter besitzt. Im Jahr 2010 nutzten die Forscherinnen und Forscher des ITEP die Möglichkeit zu hochauflösenden E(I)-Messungen mit extrem hohen Transportströmen von bis zu 2000 A bei Magnetfeldern bis 20 T und Badtemperaturen von 1,8 K, um unter anderem das inzwischen enorm gestiegene Potenzial des Hochtemperatursupraleiters YBCO nachzuweisen.

### Ausbau der Anlage HOMER II

Der Bau von Hochfeldeinsatzspulen, die in einem Hintergrundmagnetfeld bis zu 20 T betrieben werden, verlangt detailliertes Wissen über das physikalische Verhalten der eingesetzten Supraleiter vor allem unter der elektromechanischen Belastung. Diese notwendigen Kenngrößen ermitteln die Wissenschaftler des Bereichs Supraleitende Hochfeldmagnete mithilfe von speziellen Testobjekten (Dreifach-Spulensatz), die an einem separaten Magnetflansch mit einer Vierfach-Stromzuführung montiert sind und in der freien Bohrung der Experimentieranlagen eingesetzt werden. Dabei wickeln sie die Supraleiter auf drei im Durchmesser steigende, ineinander geschachtelte Spulenkörper. Die E(I)-Messung nehmen sie dann beispielsweise in der HOMER I-Anlage in einem Hintergrundfeld bis zu 15 T bei Temperaturen von 4,2 K bis 1,8 K unter simultaner Lorentzkraft-Belastung vor. Die mit dieser Anordnung gewonnenen Ergebnisse sind in Design und Bau der am ITEP entwickelten supraleitenden Hochfeldanlagen HOMER I und HOMER II und der in Kooperation mit dem Industriepartner Bruker BioSpin GmbH entwickelten NMR-Spektrometer-Magnete eingeflossen.

Ein Ausbau von HOMER II in den Feldbereich von 24 bis 25 T erfordert den Bau eines neuen Magnetflanschs mit einem Dreifach-Spulensatz. Im Jahr 2010 hat der Bereich Supraleitende Hochfeldmagnete den Magnetflansch und die Testobjekte fertiggestellt. Abbildung 1 zeigt die aufwendige Konstruktion des Magnetflanschs, das nebenstehende Foto den vollständigen Flansch, der zum Einsatz in die HOMER II-Anlage bereit ist.

Diese Anordnung ermöglicht es nun, unter einer simultanen Lorentzkraft-Belastung  $F_L = r \cdot B \cdot I_{\text{mag}}$  die E(I; B, T,  $F_L$ )-Kennlinien von potenziellen Hochstrom-Hochfeld-Supraleitern unter realistischen Bedingungen zu bestimmen, das heißt in einem Hintergrundmagnetfeld von 20 T bei Heliumbadtemperaturen von 1,8 K auf einem maximalen Durchmesser von 180 mm mit Transportströmen bis zu 2000 A.

Zusätzlich schlossen die Forscher 2010 die Erweiterung des Quenchdetektionssystems der HOMER II-Anlage

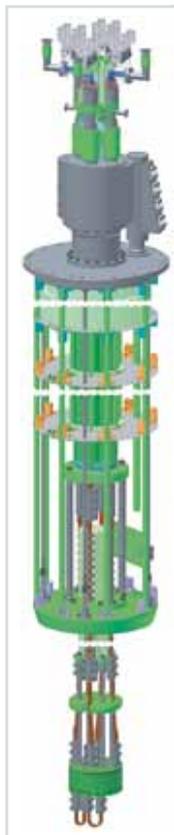


Abb. 1:  
Konstruktionszeichnung des  
Magnetflanschs mit Dreifach-  
Spulensatz.

weitestgehend ab. Quenchdetektoren werden im Allgemeinen zum sicheren und stabilen Betrieb supraleitender Magnetsysteme eingesetzt. Bei der HOMER II-Anlage stellen sie eine unverzichtbare Komponente dar. Solche hochkomplexen Quenchdetektoren sind aber nicht als kommerzielle Produkte erhältlich, sodass schon frühzeitig Eigenentwicklungen erforderlich waren. Die Arbeiten zum Quenchdetektoraufbau im Hochfeldlabor reichen von der grundlegenden Erstellung des Platinenlayouts und der Platinen über die Auswahl und Beschaffung der Komponenten bis hin zur Bestückung und zum Komplettzusammenbau. Abbildung 2 zeigt die fertig bestückten Platinen und den kompletten Quenchdetektor.

### Modernisierung der Anlagen im HFL

Die JUMBO-Anlage wird in stetigem Wechsel in zwei verschiedenen Spulenkonfigurationen betrieben. Nach einem routinemäßigen Umbau der Anlage quenchte die 15-T-Konfiguration des Magnetsystems unerwartet. Eine daraufhin veranlasste Inspektion der Stromzuleitungen ergab, dass der supraleitende Bus zwischen Hauptspulen und der Nb<sub>3</sub>Sn-Einsatzspule nach langjährigem Betrieb (Magnetfeld- und Temperaturzyklen) verschleißbedingt erneuert werden musste. Als Modernisierungsmaßnahme integrierten die Wissenschaftler



Abb. 2a

eine umfangreiche PC-Überwachung der Busleitungen und Magnetspulen nach dem Vorbild von HOMER I.

Wartung und Modernisierung der HOMER I-Anlage umfassten 2010 das Vorlauf- und das Rücklaufventil sowie das Bypassventil. Dabei wurden pneumatische Stellungsregler in die Ansteuerung des Vorlauf- und des Bypassventils eingebaut, um eine exaktere Regelung zu ermöglichen und Druckluftverluste zu minimieren. Das Rücklaufventil erhielt einen kontinuierlichen Stellungsrückmelder. Die neuen Komponenten wurden ins Prozessleitsystem integriert und gingen erfolgreich in Betrieb. Der heiße Sommer und viele parallel laufende Experimente in den Versuchshallen des ITEP zeigten eine große Gefahr, dass sich die Netzgeräte durch zu heißes Kühlwasser spontan abschalten. Um die supraleitenden Magnetsysteme vor einer solch ungewollten Abschaltung und damit vor einer möglichen Zerstörung zu schützen, wurden Temperaturfühler und Druckmessumformer in das Kühlwassersystem implementiert. Aufbau und Anbindung der Messstellen an einen neuen AS-i Strang, SPS-Integration und Visualisierung mit WinCC sind abgeschlossen. Zur stabilen Regelung der Badtemperatur während des Experiments wurde ein weiterer 19"-Einschub mit PID-Regler in der HOMER I-Messkabine eingebaut und in die SPS eingepflegt.

### Supraleitercharakterisierung

Die Bandbreite der in den Experimentieranlagen des Hochfeldlabors untersuchten technischen Supraleiter reichte 2010 von äußerst dünnen NbTi-/Nb<sub>3</sub>Sn-Supraleitern für die Undulatorprojekte in EuCARD und bei ANKA über Hochfeld-Hochstrom-(NbX)<sub>3</sub>Sn-Leiter des NMR-Magnettechnologie-Projekts bis hin zu vielen verschiedenen YBCO-Hochtemperatur-Supraleitern internationaler Hersteller. Um die E(I)-Kennlinien der YBCO-Bandleiter zu bestimmen, wurden zahlreiche neue Testobjekte für JUMBO und HOMER I (siehe Abbildung 3) konstruiert und in den Werkstätten gefertigt. Dabei



Abb. 2b: Quenchdetektor von HOMER II.

wurden optimierte Terminals zur Stromspeisung und neue Wicklungsgeometrien realisiert.

Die entscheidende Probe bestanden die neuen Testobjekte im Juni bei einer Messung eines YBCO-Bandleiters in Kooperation mit der Firma Bruker HTS GmbH. In der Homer I-Anlage wurde ein Rekordwert des kritischen Stroms von 1975 A bei 4,2 K mit einem zur Bandfläche parallelen Feld von 18 T gemessen. Weiterführende Messungen bei einer reduzierten Temperatur von 1,8 K zeigten  $I_c$ -Werte von etwa 2000 A in einem angelegten Magnetfeld von 20 T.

Ergänzend zur experimentellen Charakterisierung beschäftigte sich das Team mit der theoretischen Beschreibung und Analyse der E(I)-Kennlinien.

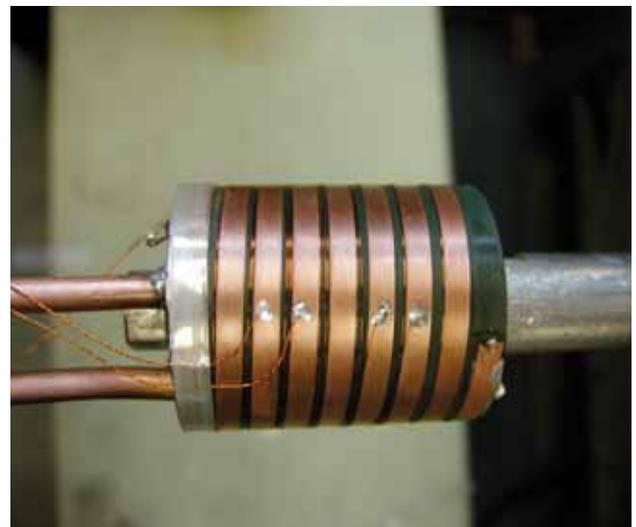


Abb. 3: Testobjekt mit YBCO-Wicklung.

## KATRIN

Ein Forschungsschwerpunkt am KIT liegt auf dem internationalen Großexperiment KATRIN (Karlsruher Tritium Neutrino Experiment) zur Bestimmung einer modellunabhängigen Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von  $200 \text{ meV}/c^2$ . Der Aufbau dieses Experiments gliedert sich in das Quell- und Transportsystem, bestehend aus der Tritiumquelle WGTS und der Tritium-pumpstrecke mit DPS2-F und CPS, sowie das Nachweissystem mit zwei elektrostatischen Spektrometern und dem Halbleiterdetektor zur Elektronenanalyse. Im Rahmen dieses Projekts wirkt das ITEP federführend in der Tritiumprozess-technik, der Kryotechnik und der Magnet-technologie. Bei der WGTS sowie DPS2-F und CPS sind supraleitende Magnete zur Strahlführung implementiert, die ein Magnetfeld auf der Strahlachse zwischen 3,6 T und etwa 5,6 T erzeugen.

Während sich die seit 2009 am KIT installierte Komponente DPS2-F in der Testphase befindet, traten beim industriellen Aufbau der WGTS Schwierigkeiten bei der Fertigung und dem Test der insgesamt sieben supraleitenden Solenoide auf. Dies führte zu einer intensiven Diskussion über Magnetdesign, Schutzkonzept und Quenchsicherheit der Magnete. Im Zentrum dieser Diskussion standen auch um die im Schutzkonzept verwendeten Dioden; diese wurden im Hochfeldlabor einer intensiven genaueren Prüfung unterzogen. Abbildung 4 zeigt den konzeptionellen Aufbau zur Diodenmessung in der JUMBO-Experimentieranlage. Die unter Variation der Temperatur von 4,2 K bis  $0^\circ \text{ Celsius}$  bei Betriebsströmen bis 350 A vorgenommenen zeitabhängigen Messungen zeigten die teilweise Zerstörung der Dioden. Diese Ergebnisse veranlassten neue Berechnungen und Simulationen bei den beteiligten Industriepartnern.

In weiteren intensiven Diskussionen ging es um das Schutzkonzept, die Ergebnisse der Persistent-Mode-Messungen der einzelnen Magnete und die generelle Betriebsart der supraleitenden Magnete des KATRIN-Experiments. Abschließende Ergebnisse sind im Jahr 2011 zu erwarten.

## EuCARD

Ein wesentliches Ziel des EU-Projekts EuCARD ist die Entwicklung von supraleitenden Dipolmagneten der 20-T-Klasse, wie sie unter anderem für einen mittel- bis langfristig geplanten Upgrade von LHC erforderlich

sind. Das Dipol-Design beinhaltet eine äußere Spule mit einer freien Bohrung von 100 mm aus  $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ , die einen Feldbeitrag von 14 T liefert, und einen aus Hochtemperatursupraleitern (HTS) gewickelten Einsatzmagneten, der 6 T liefern soll. Aktuell untersuchen die Forscher die Eignung der kommerziell verfügbaren HTS Bi-2212 und YBCO-Bandleiter. Dazu wurde 2010 unter anderem eine aus Pancake-Wicklungen bestehende YBCO-Spule vom französischen Projektpartner CNRS gefertigt und ersten Tests unterzogen. Weitergehende Untersuchungen der HTS-Solenoiden nimmt das ITEP 2011 in der HOMER I-Experimentieranlage vor.

Ziel eines weiteren Tasks von EuCARD sind die Entwicklung und der Bau supraleitender Undulatoren. Dazu sollen nach dem sogenannten Restacked Rod Prozess (RRP) von Oxford Instruments hergestellte Hochstrom- $\text{Nb}_3\text{Sn}$ -Leiter verwendet werden. In dem für die Anwendung relevanten Feldbereich von 3 bis 5 T liegen für den üblicherweise oberhalb von 10 T eingesetzten Supraleiter jedoch keine Daten bezüglich kritischer Stromdichte  $J_c$  und n-Wert vor. Daher untersuchte das ITEP in der Experimentieranlage JUMBO mehrere Testwicklungen des Leiters auf ihr physikalisches Verhalten. Die Experimente zeigten, dass nicht nur  $I_c$  und n-Wert, sondern auch die auf den nur 0,5 mm starken Leiter wirkenden Lorentzkraft-Belastungen dessen Einsatz begrenzen.

## NMR-Magnettechnologie

In intensiver langjähriger Zusammenarbeit mit der Firma Bruker BioSpin GmbH entwickelt das ITEP neuartige supraleitende Höchstfeldmagnete für die hochauflösende NMR-Spektroskopie des Partners und unterstützt diesen bei der weltweiten Markteinführung und Qualitätssicherung. Seit mehr als zehn Jahren untersuchen Forscher in dem dafür eingerichteten NMR-Magnettechnologie-Projekt kommerzielle technische Supraleiter und qualifizieren sie durch hochauflösende E(I)-Messungen in den Anlagen JUMBO und HOMER I. Die untersuchten Supraleiter unterscheiden sich in Herstellungsverfahren, Materialzusammensetzung, Abmessungen und physikalischen Eigenschaften, was eine Vielzahl von Versuchsaufbauten verlangt. Neben den Supraleitern charakterisieren die Wissenschaftler aber auch die aus den Leitern hergestellten supraleitenden Verbindungen und optimieren ihre Resistivität. Experimente und Ergebnisse sind Industriegeheimnisse und unterliegen daher der Vertraulichkeit.

## 1200 MHz NMR-Projekt

Ein ambitioniertes neues NMR-Projekt zielt darauf, eine NMR-taugliche HTS-Einsatzspule zum Aufbau eines NMR-Spektrometers mit Protonenresonanzfrequenzen von etwa 1200 MHz zu entwickeln. Grundlage der erfolgreichen Realisierung einer solchen Einsatzspule ist eine vollständige Charakterisierung und Qualifizierung der kommerziell erhältlichen HTS-Bandleiter bei Heliumtemperaturen und Hintergrundmagnetfeldern bis 20 T. In der ersten Projektphase untersuchen Wissenschaftler des ITEP daher ausgesuchte YBCO-Bandleiter in den Anlagen JUMBO und HOMER I auf ihre grundsätzlichen Eigenschaften bis 1,8 K und 20 T.

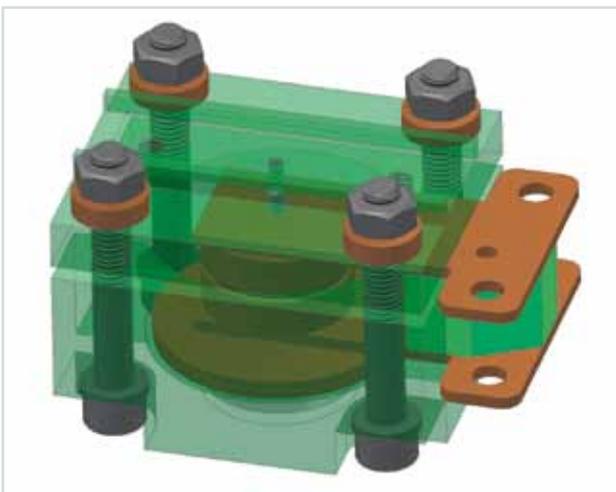


Abb. 4: Diodengehäuse zur  $U(I)$ -Messung.



## Highlight in 2010: Fortsetzung der 25-jährigen Kooperation zwischen dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Bruker BioSpin GmbH

### Zeittafel

1985: Beginn der Zusammenarbeit zwischen dem damaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe und dem Industriepartner Bruker Analytische Messtechnik GmbH in der Entwicklung von supraleitenden Höchstfeldmagneten für NMR-Analytik und NMR-Tomographie

1991: Inbetriebnahme des weltweit ersten 750-MHz-NMR-Prototyp-Magneten am damaligen Forschungszentrum Karlsruhe

1995: Inbetriebnahme des weltweit ersten 800-MHz-NMR-Spektrometers in Frankfurt

1996: Fortführender Vertrag über die Entwicklung eines 900-MHz-Magnetsystems

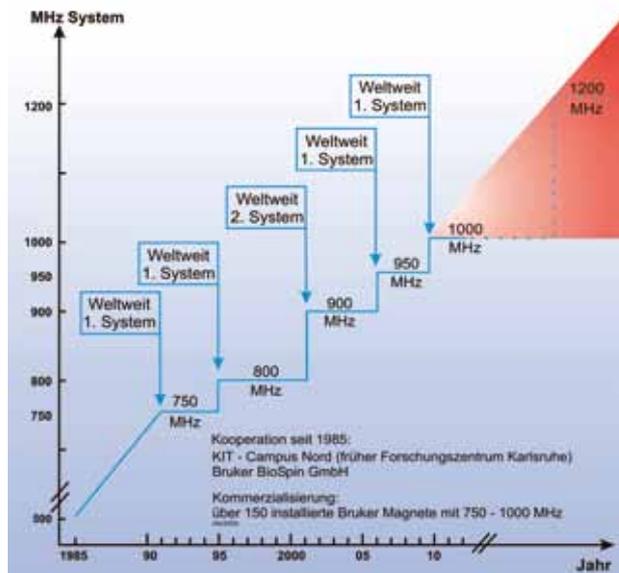
2001: Kooperationsvertrag über die Untersuchung eines 1000-MHz-NMR-Spektrometers

2009: Installation des weltweit ersten 1000-MHz-NMR-Spektrometers in klassischer Technologie bei Bruker

2010: Vereinbarung über die Entwicklung einer NMR-tauglichen HTS-Einsatzspule

Das KIT und die in Karlsruhe ansässige Firma Bruker BioSpin GmbH blickten im Jahr 2010 auf eine ausgesprochen fruchtbare und erfolgreiche 25-jährige Zusammenarbeit in der Entwicklung von supraleitenden Magnetsystemen für die hochauflösende NMR-Spektrometrie zurück (siehe Abbildung 5). Die am ITEP entwickelten innovativen grundlegenden Magnettechniken, vor allem auf den Gebieten der technischen Supraleiter und des supraleitenden Spulenbaus, aber auch in der Kryostattechnik, bei steter Weiterentwicklung und Qualitätssicherung, ließen Produkte höchster Qualität entstehen und trugen dazu bei, dass Bruker BioSpin zum Weltmarktführer aufstieg.

Diese erfolgreiche Zusammenarbeit in der NMR-Magnetentechnologie setzen die Partner offiziell durch einen im Oktober 2010 ratifizierten Vertrag (Abbildung 6) fort. Ziel des neuen Projekts mit einer Laufzeit von fünf Jahren ist, eine aus Hochtemperatur-Supraleitern gewickelte NMR-taugliche Einsatzspule zu entwickeln. Mit dieser Einsatzspule soll dann ein hochauflösendes NMR-



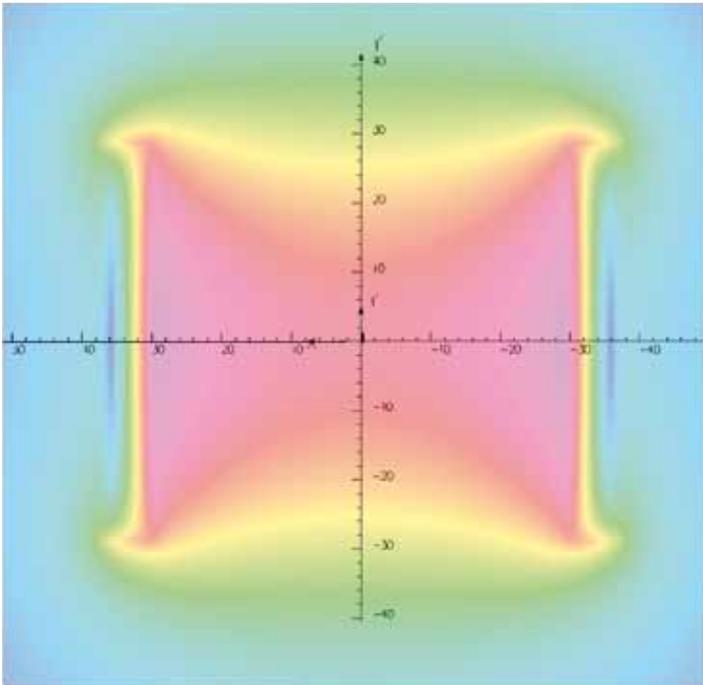
**Abb. 5: Zeitliche Entwicklung der supraleitenden Magnetsysteme für die hochauflösende NMR-Spektroskopie für Frequenzen ab 750 MHz.**

Spektrometer mit einer Protonenresonanzfrequenz von 1200 MHz realisiert werden, was einem zentralen Magnetfeld von 28,2 Tesla entspricht.

Während beim Bau der NMR-Magnetsysteme bis 1 000 MHz ausschließlich die ausgesprochen gut erforschten und kommerziell erhältlichen Tieftemperatur-Supraleiter NbTi und  $(\text{NbX})_3\text{Sn}$  eingesetzt werden, müssen für ein Magnetsystem mit einem Zentralfeld größer als 25 T zur Herstellung der innersten Hochfeldspulen die modernsten Hochtemperatur-Supraleiter verwendet werden. Dafür sind unter den verfügbaren HTS die Bi2223-HTS der ersten Generation der japanischen Firma Sumitomo sowie die favorisierten YBCO-basierten Bandleiter der zweiten HTS-Generation denkbar. Potenzielle Leiterhersteller sind American Superconductors (AMSC), SuperPower Inc. und Bruker HTS GmbH, eventuell auch japanische und koreanische Firmen.



**Abb. 6: Feierliche Vertragsunterzeichnung am 21. Oktober 2010. Sitzend von links nach rechts: Dr. G. Roth (Bruker BioSpin), Dr. B. Gewiese (Bruker BioSpin), Dr. A. Kurz (KIT-Präsidium), Dr. P. Fritz (KIT-Präsidium). Stehend von links nach rechts: Prof. Dr. P. Komarek (ITEP), Dr. Th. Schneider (ITEP), Prof. Dr.-Ing. M. Noe (Institutsleiter ITEP), Fr. K. Sauer-Roesner (KIT-Rechtsabteilung), Dr. T. Kröner (KIT-Innovationsmanagement), Prof. Dr. A. Kasten (Bruker BioSpin).**



*Feldberechnung für eine MgB<sub>2</sub>-Spule (links oben), Herstellung der Spule (rechts oben) und geglähte Spulen vor dem Vergießen mit Wachs (unten).*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Supraleitende Materialien und Energieanwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

Die Arbeiten der Gruppe Supraleitende Materialien und Energieanwendungen konzentrierten sich 2010 auf die Entwicklung von Konzepten für AC-verlustarme Leiter und Kabel für energietechnische Anwendungen sowie Fusionsmagnete der nächsten Generation. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Herstellung von niederohmigen Kontakten zwischen Hochtemperatur-Supraleitungen (HTS)-Bandleitern der zweiten Generation im Rahmen des Projekts „Highway“ des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi). Innerhalb eines von der Europäischen Weltraumorganisation ESA geförderten Projekts der European Aeronautic Defence and Space Company (EADS) zum Thema „Hydrodynamische Abschirmung“ fertigte die Gruppe  $MgB_2$ - und Coated-Conductor-Spulen für Vibrationstests, mit denen die mechanischen Belastungen bei einem Raketenstart simuliert wurden. Im Bereich Energietechnische Anwendungen designten, entwickelten und testeten die Forscherinnen und Forscher im Rahmen der Projekte ECCOFLOW (EU) und EN-SYSTROB (Bundeswirtschaftsministerium) Module für supraleitende Fehlerstrombegrenzer.

### Supraleitende Materialien

#### Konzepte für AC-verlustarme REBCO-Bandleiter und Kabel

Die Arbeiten zu AC-verlustarmen HTS-Bandleitern der zweiten Generation (REBCO – RE-Ba-Cu-O; RE – Element der Seltenen Erden) konzentrierten sich auf Konzepte zur Verlustreduktion durch Strukturierung von Einzelbändern, auf die Entwicklung von AC-verlustarmen Roebel-Kabeln und auf die Entwicklung von Konzepten für Hochstromkabel für Fusionsmagnete mit Stromtragfähigkeiten  $> 10$  kA in Magnetfeldern  $> 10$  T und bei Temperaturen  $> 50$  K. Die Roebel-Kabelgeometrie ermöglicht eine Verlustreduktion durch Transposition der Einzelbänder eines Kabels und somit auch des Strompfads. Eine weitere Verlustreduktion lässt sich erreichen, indem die Einzelbänder, aus denen das Kabel zusammengesetzt ist, modifiziert werden, beispielsweise durch

1. Reduktion der Hystereseverluste durch Reduktion der Breite der meanderförmigen Einzelbänder,
2. Reduktion der Breite des Strompfads durch Filamentarisierung oder
3. Verringerung des Aspektverhältnisses (Breite/Dicke) des Kabels durch Verseilen von Bandstapeln anstelle von Einzelbändern.

Die Arbeiten 2010 konzentrierten sich auf die 2. Möglichkeit, das heißt die Filamentarisierung von Einzelbändern.

Die Filamentarisierung ließ sich durch paralleles Schlitzten der Supraleiterschicht in Bandrichtung mithilfe eines Picosekunden-Lasers realisieren (siehe Abbildung 1). Der Schlitzprozess erwies sich als reproduzierbar und zuverlässig. Es wurde keine signifikante Verschlechterung der Stromtragfähigkeit durch das Schlitzten festge-

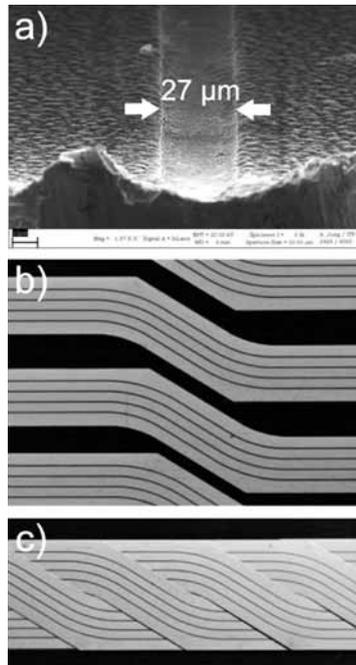


Abb. 1: REM-Aufnahme eines 27 Mikrometer breiten, mit einem Picosekunden-Laser hergestellten Schlitzes in der Supraleiterschicht eines REBCO-Bandleiters (a), geschlitzte Roebel-Strands (b) und Roebel-Kabel mit geschlitzten Strands (c).

stellt. Eine effektive Verringerung der Verluste durch die Filamentarisierung wurde sowohl in geschlitzten Einzelstrands als auch in einem Roebel-Kabel mit geschlitzten Strands beobachtet.

Der Einsatz von HTS-Magneten in Fusionsreaktoren der nächsten Generation, das heißt in DEMO und folgenden Reaktoren, verspricht die Effizienz der Reaktoren stark zu erhöhen und die Komplexität durch Vermeidung eines Kälteschildes zu verringern. Die extrem hohen Anforderungen, wie Stromtragfähigkeiten  $> 10$  kA in Magnetfeldern  $> 10$  T bei Temperaturen  $> 50$  K, kombiniert mit hohen Anforderungen an die mechanische Stabilität und geringe AC-Verluste, erfordern völlig neue Leiterkonzepte für REBCO-Bandleiter der zweiten Generation. Eine einfache Hochskalierung der Roebel-Technik reicht nicht aus, um die Anforderungen an einen Fusionsleiter zu erfüllen. Ein neuartiges Konzept ist die Verwendung von Roebel-Kabeln als Strands für ein größeres Rutherfordkabel (Abbildung 2). Die Transposition der gestanzten Bänder im Roebel-Kabel und die Transposition der Roebel-Kabel selbst tragen im Rutherfordkabel effektiv zur Reduktion der AC-Verluste bei. Die Gruppe Supraleitende Materialien und Energieanwendung stellte die Idee des Rutherfordkabels mit Roebel-Strands (CCRC – Coated Conductor Rutherford Cable) im ITEP vor und begann mit dem Bau eines kurzen Demonstratorkabels (Abbildung 3).

Im Vorfeld nahmen die Forscherinnen und Forscher zahlreiche Messungen an REBCO-CC Kurzproben vor, um die Feld- und Winkelabhängigkeit der Stromtragfä-

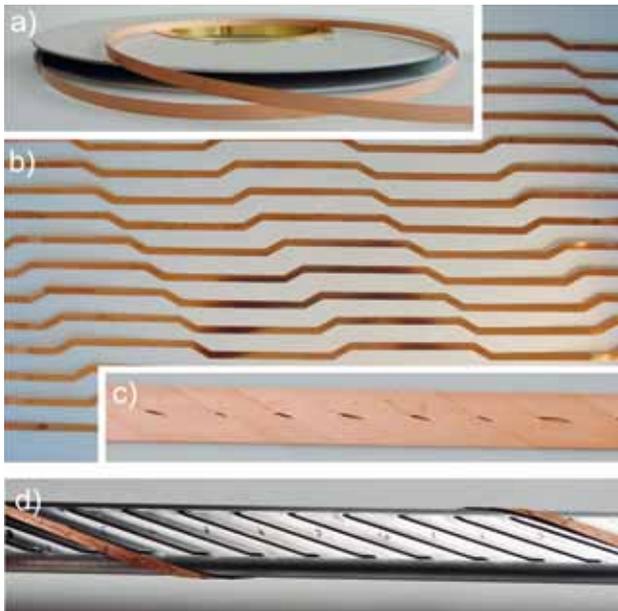


Abb. 2: Kommerzielles REBCO-CC Band (a), gestanzte Bänder (b), Roebel-Kabel (c), Rutherford Kabelformer mit einem Roebel-Strand (d).



Abb. 3: CAD-Design des CCRC Demonstratorkabels.

higkeit zu bestimmen. Darüber hinaus konstruierten sie eine spezielle Apparatur, mit der sich der mechanische Einfluss beim Überstieg der Roebel-Strands zwischen Ober- und Unterseite des Rutherfordkabels simulieren lässt. Die Ergebnisse der Messungen an einzelnen Bändern zeigen, dass bei einer Formerdicke von zehn Millimetern nur ein geringer Einfluss auf die Stromtragfähigkeit des Bandes besteht. Die maximale Degradation des Bandes betrug bis zu Wicklungswinkeln (Winkel zwischen Roebel-Strand und Formerachse auf Ober- beziehungsweise Unterseite des Formers) von 90 Grad nur etwa vier Prozent. Im Jahr 2011 wird die Gruppe das CCRC-Demonstratorkabel voll mit zehn Roebel-Kabeln, die wiederum aus zehn Einzelbändern bestehen, bestücken und die Stromverteilung im Kabel wie auch den Einfluss der Eigenfeldeffekte untersuchen.

### Konzepte für AC-verlustarme MgB<sub>2</sub>-Kabel

Während eines Gastwissenschaftleraufenthalts im Rahmen des EU-Projekts NESPA entstanden AC-verlustarme Kabel aus kommerziellen MgB<sub>2</sub>-Drähten der Firma Hyper Tech Research. Der 0,83 Millimeter betragende Durchmesser der in unreaktiertem Zustand gelieferten Drähte wurde durch Drahtziehen auf 0,57 Millimeter reduziert. Danach wurden die Drähte mithilfe einer 2009 entwickelten Kabelmaschine verseilt und anschließend reagiert. Es zeigte sich, dass die Stromtragfähigkeit eines Kabels aus sechs MgB<sub>2</sub>-Drähten der Summe der Stromtragfähigkeiten von sechs einzelnen, unverseilten MgB<sub>2</sub>-Drähten entspricht. Das heißt, es wurde keine Degradation festgestellt (siehe Abbildung 4). Für 2011 sind AC-Verlustmessungen an den MgB<sub>2</sub>-Kabeln geplant.

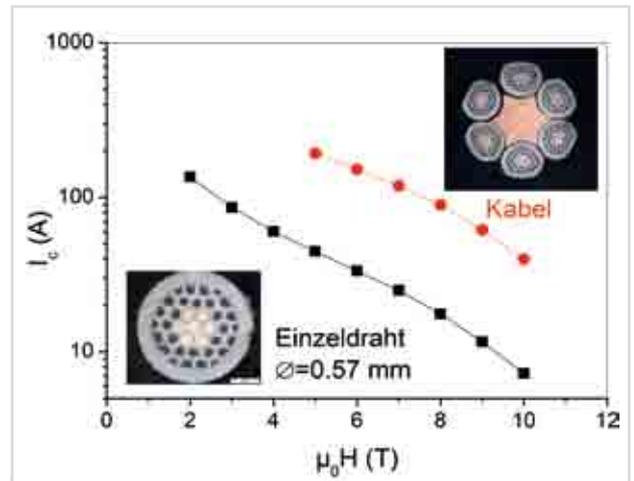


Abb. 4: Vergleich der Stromtragfähigkeiten eines einzelnen MgB<sub>2</sub>-Drachts und eines aus sechs Einzeldrähten hergestellten Kabels.

### Laminierung von supraleitenden YBCO-Bändern

Zur Herstellung von Leitern für Wechselstromanwendungen entwickeln die Forscher strukturierte YBCO-Bandleiter. Für die Strukturierung der Bänder erarbeiteten sie ein Laserstrukturierungsverfahren. Das ITEP bestellte eine Laserstrukturierungsanlage. Die Lieferung war für Mitte März 2011 vorgesehen.

Die Wissenschaftler konzentrierten ihre Arbeiten auf die Laminierung von YBCO-Bandleitern. Dabei untersuchten sie Ag-Diffusions- und Klemmkontakte sowie YBCO/YBCO-Verbindungen. Sie charakterisierten die Proben am Rasterelektronenmikroskop sowie mithilfe von U-I-Messungen. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Charakterisierung durch U-I-Messungen.

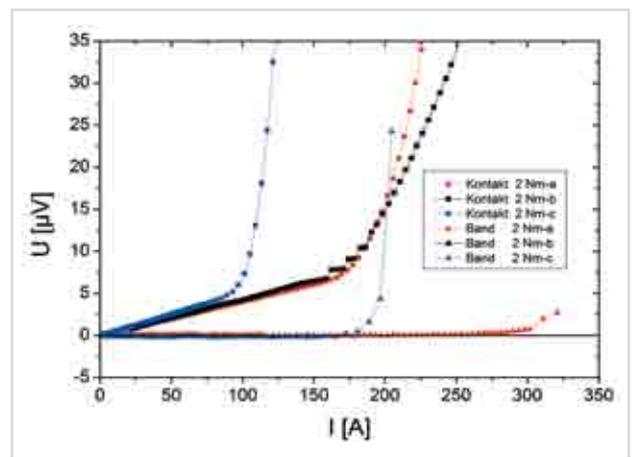


Abb. 5: Drei Ag-Diffusionskontakte, mit 2 Nm verschraubt.

### Labor für AC-Verluste

2010 stattete das ITEP die Apparatur zur Messung von Magnetisierungsverlusten mit einem neuen Instrumenteninterface aus und schrieb das Messprogramm in einer modernen Labview-Umgebung neu. Die modernisierte Apparatur wurde dazu eingesetzt, die Magnetisierungsverluste von REBCO-Bändern und Roebel-Kabeln zu bestimmen. Darüber hinaus begannen die Wissenschaftler, ein neues System zur Bestimmung von Transportstromverlusten zu errichten. Mithilfe eines Transformators lassen sich Verluste für Stromamplituden oberhalb von 1 kA messen (Abbildung 6).

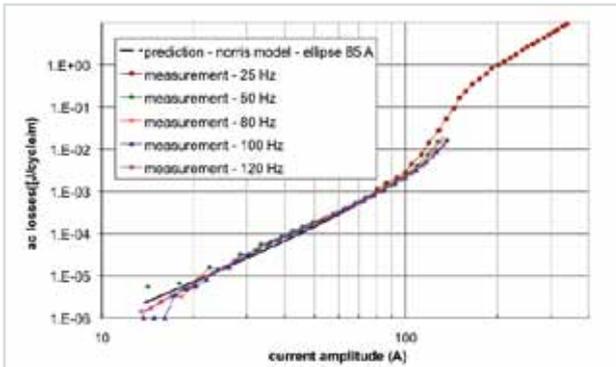


Abb. 6: Transportstromverluste eines BSCCO-Bands.

### Numerische Modellierungen

Die Forscher erweiterten die Methoden für numerische Modellierungen in verschiedene Richtungen:

1. Vergleich im Detail für drei verschiedene Modelle zur Simulation von Supraleiter-Magnet-Heterostrukturen
2. Entwicklung eines neuen Modells zur Bewertung von Eigenfeldeffekten und Stromverteilungen innerhalb von Roebel-Kabeln
3. Entwicklung einer neuen Technik für die Ableitung analytischer Ausdrücke für AC-Verluste in einfachen Geometrien
4. Optimierung eines existierenden 2-D Finite-Elemente-Modells für AC-Verlustberechnungen mit Blick auf praktische Anwendungen (Roebel-Kabel, Strombegrenzer)

### Elektrotechnische Anwendungen

Im Rahmen des BMWi-Konjunkturpaket-Vorhabens ENSYSTROB (FKZ 03KP102B) entwickelten und testeten die Wissenschaftler Prototyp und Komponentenmodul eines supraleitenden Strombegrenzers aus bifilar gewickelten HTS-Bandleitern. In Abbildung 7 ist die Testkomponente des Strombegrenzers dargestellt, an der die Funktionalität des Designs verifiziert wurde.

Um ein kompaktes Design zu realisieren, setzten die Forscher die Technik der bifilaren Pancake-Wicklung ein, mit Leiterpaaren in Back-to-face Anordnung. Die Bandlängen entsprachen mit 2,3 Metern etwa der halben Länge der geplanten Realkomponente. Die niederohmigen Kontakte wurden durch Verpressen der Bänder mit Indiumfolie hergestellt ( $R_{\text{cont}} < 0.5 \mu\Omega$ ). Die spiralenförmigen Isolationsstege wurden aus faserverstärktem Kunststoff realisiert, die Zwillingbänder wurden in die Zwischenräume eingelegt. Erfolgreiche Hochspannungstests mit 10 kV in Luft bei Raumtemperatur lassen auf ein sicheres Verhalten bei der Anwendungstemperatur des flüssigen Stickstoffs schließen. Abbildung 8 zeigt die Messung eines Kurzschlusses mit der Folge eines Überstroms an dieser Komponente. Die Begrenzung des Überstroms ist deutlich im dargestellten Zeitverlauf ausgeprägt.

Im Applikationslabor wurden 2010 eine neue Schaltanlage zur Ankopplung an das 12/20-kV-Netz und ein neuer einphasiger Kurzschlussstrom-Transformator mit der Dauerleistung 1,2 MVA installiert (siehe Abbildung 9). Der Transformator besitzt acht separate Wicklungen (125 V 1200 A Dauerlast), welche sich in der Reihe oder parallel beschalten lassen, um beispielsweise supraleitende Kabel oder Strombegrenzer zu testen.



Abb. 7: Testkomponente eines HTS-Strombegrenzers aus Coated Conductor.

Die Testanlage mit zwei synchronisierten Thyristor-Schaltern erlaubt, das Last- oder Kurzschlussprofil mit zwei separaten Widerstandsnetzwerken zu programmieren. Neben der gewöhnlichen Kurzschlussstrommessung ermöglicht es die Varianten „Erholung unter Last“, „Erholungszeit nach Kurzschluss zur Last“, sowie „Kurzschluss nach der Last/Überlast“. Die Prüflinge lassen sich mit den zweistufigen Überlastprofilen testen, um Anlaufströme nachzubilden.

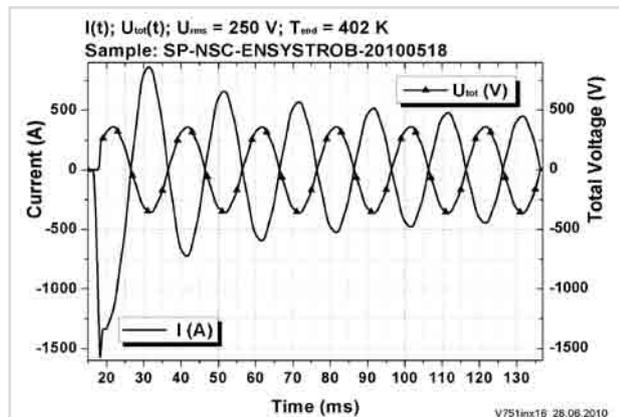


Abb. 8: Kurzschlussstest an einer Strombegrenzermodellkomponente.



Abb. 9: Neue einphasige 1,2-MVA-Dauerlast-Kurzschlussstromtestanlage des ITEP.

### Highlight

#### Supraleiterspulen für Weltraumanwendungen – erfolgreicher Shakertest für $MgB_2$ -Spule

Im Rahmen eines von der ESA geförderten Projekts zum Thema „Flugexperiment-Konzepte für Elektrodynamisches Hitzeschild“ fertigten die Wissenschaftler verschiedene Magnetspulen aus  $MgB_2$ -Drähten und REBCO-Coated-Conductor-Bändern. Die zum Spulenbau verwendeten  $MgB_2$ -Drähte wurden entweder am ITEP selbst hergestellt oder von einem kommerziellen Hersteller (Hyper Tech Research) geliefert. Für die Coated-Conductor-Spulen wurde HTS-Bandleiter der zweiten Generation (REBCO) von SuperPower verwendet. Begleitend zum Spulenbau nahmen die Forscher Messungen der Stromtragfähigkeit im Magnetfeld (Feld- und Winkelabhängigkeit) und mechanische Untersuchungen an Einzelleitern vor.

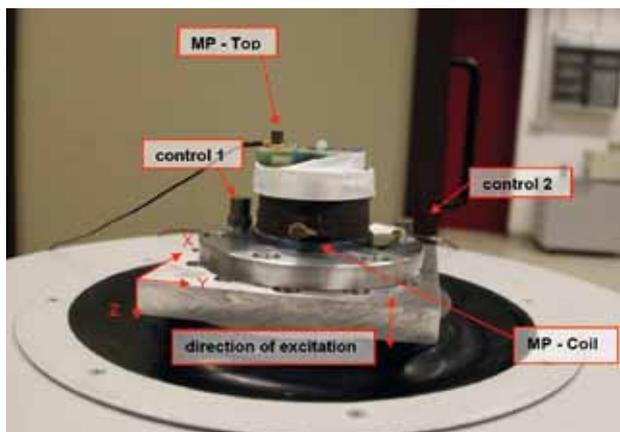


Abb. 10:  $MgB_2$ -Spule auf Shaker montiert für Anregung in axiale Richtung (z-Richtung).

Abbildung 11 zeigt die Stromtragfähigkeiten einer am KIT hergestellten  $MgB_2$ -Kurzprobe und einer aus diesem Draht hergestellten Wind-and-React-Spule als Funktion des maximalen Gesamtfeldes am Leiter. Die Stromtragfähigkeiten der Spule wurden in Hintergrundfeldern von 2, 3 und 4 T gemessen. Das Gesamtfeld berechnet sich als Summe des Hintergrundfelds und des maxima-

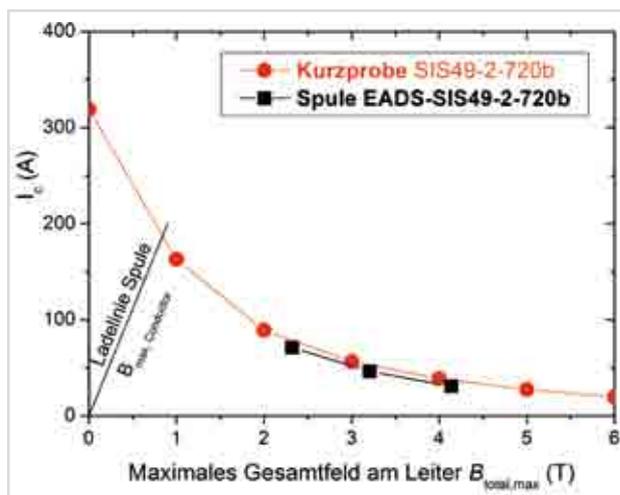


Abb. 11: Stromtragfähigkeiten einer am KIT hergestellten  $MgB_2$ -Kurzprobe und einer aus diesem Draht hergestellten Spule als Funktion des maximalen Gesamtfeldes am Leiter. Die Ladelinie zeigt den Zusammenhang zwischen Spulenstrom und maximalem Feld in der Spule ohne Hintergrundfeld.

len, durch die Spule erzeugten Felds an der Wicklung. Die Ladelinie zeigt den Zusammenhang zwischen Spulenstrom und maximalem Feld in der Spule ohne Hintergrundfeld. Die Stromtragfähigkeit der  $MgB_2$ -Spule erwies sich als nahezu identisch mit der Stromtragfähigkeit der Kurzprobe, eine Degradation des Drahtes wurde nicht festgestellt.

Anschließend an die Experimente am ITEP schickten die Wissenschaftler die Spule zum DLR Berlin, welches einen Shakertest durchführte (Abb. 10). Der Test wurde mit einer Sinusanregung und einem Random-Vibration-Spektrum durchgeführt, das sowohl einen „Qualification Acceptance Vibration Test“ (QAVT) per ESA Empfehlung als auch das Spektrum der vorgesehenen Trägerakete abdeckt. Trotz der hohen mechanischen Belastung während des Shakertests waren keinerlei Veränderungen an der getesteten Spule zu beobachten. Auch die  $U(I)$ -Messungen zur Bestimmung der Stromtragfähigkeit, die anschließend an den Test im ITEP bei Feldern von 2 und 4 T durchgeführt wurden, zeigten keinerlei Veränderung im Vergleich zu den Messungen vor dem Shakertest. Für 2011 sind darüber hinaus Shaker-tests an Spulen geplant, die mit REBCO-Bandleiter hergestellt wurden.

Abbildung 12 zeigt einen Split-Coil-Magneten, der aus zwei mal drei Doppelpancake-Spulen hergestellt wurde. Die Doppelpancake-Spulen wurden mit kommerziellem REBCO-Coated Conductor der Firma SuperPower gewickelt, die einzelnen Lagen mit Kapton®-Folie gegeneinander isoliert. Elektrisch verbunden wurden die einzelnen Doppelpancake-Spulen durch Verlöten mit Kupferblechen. Der Gesamtwiderstand aller Kontaktverbindungen beträgt etwa  $17 \mu\Omega$  bei 77 K. Zur mechanischen Stabilisierung der Wicklungen wurde der Split-Coil-Magnet mit Bienenwachs vergossen. Anschließend wurde die Stromtragfähigkeit des Magneten bei 77 K im Eigenfeld gemessen (Abbildung 13). Der kritische Strom  $I_c$  betrug 20.6 A (E-Kriterium:  $1 \mu V/cm$ , gemessen über die gesamte Spule).

Feldberechnungen mit OPERA-3D und feld- und winkelabhängige  $I_c$ -Messungen an Kurzproben zeigten, dass die Stromtragfähigkeit im Magneten im Wesentlichen durch Feldkomponenten bestimmt wird, die dia-



Abb. 12: Coated Conductor Split-Coil-Magnet, bestehend aus zwei mal drei Doppelpancakes (links) und mit OPERA-3D berechnete Feldverteilung (rechts).

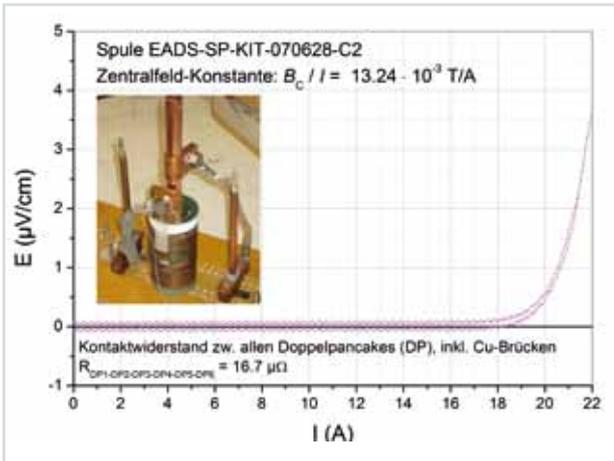
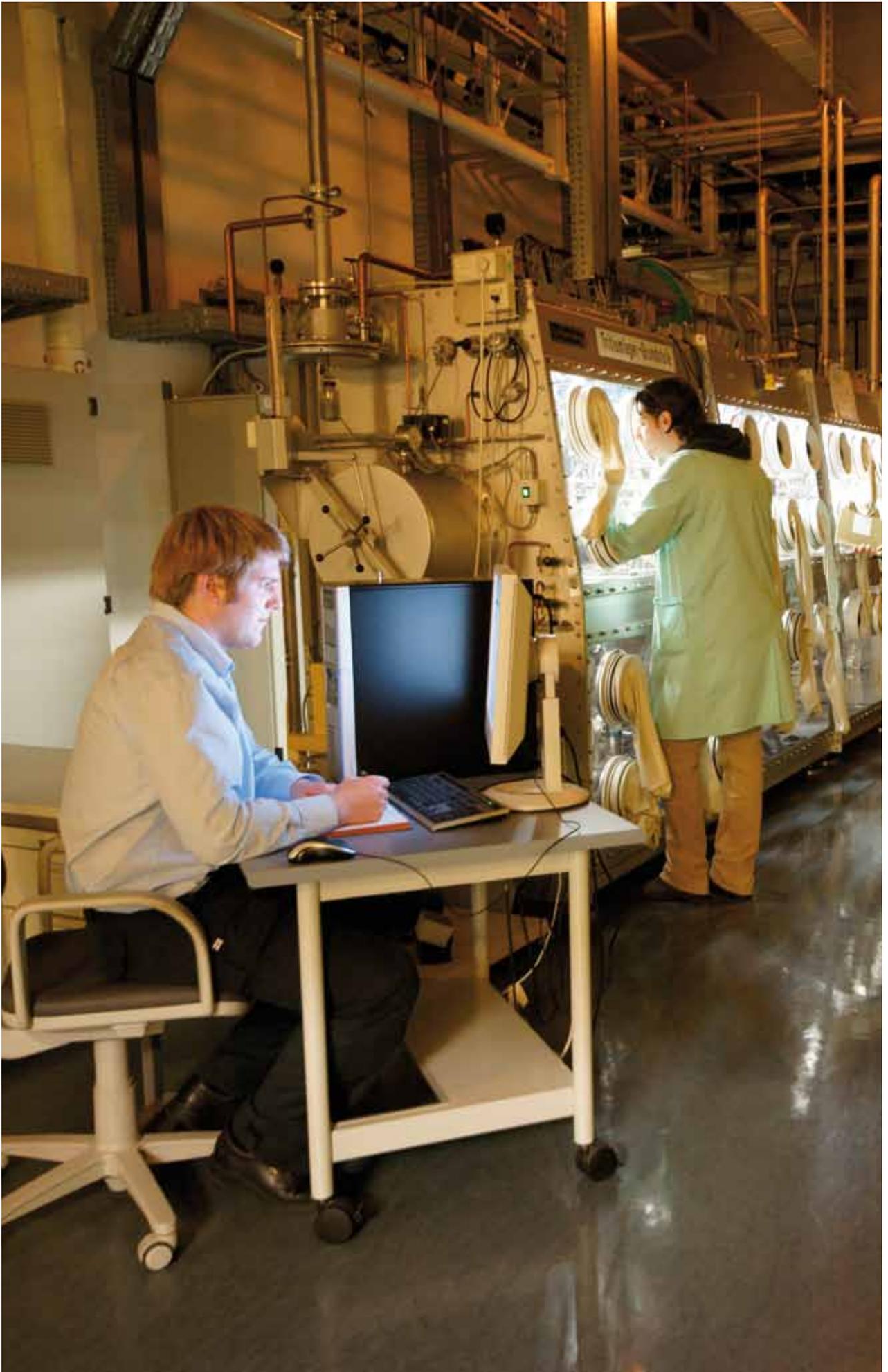


Abb. 13: Bestimmung des kritischen Stroms eines REBCO-CC Split-Coil-Magneten.

gonal (45 beziehungsweise 135 Grad) und senkrecht (90 Grad) auf der Leiteroberfläche stehen. Die maximale diagonale Feldkomponente tritt an den äußeren Enden der Spulen auf und sorgt für ein lokales Absinken des kritischen Stroms auf etwa 19.1 A (abgeschätzt anhand von Feldberechnung und Kurzprobenmessung). Erst bei Strömen von etwa 22.7 A beziehungsweise 23.9 A begrenzen die senkrechte beziehungsweise die parallele Feldkomponente lokal die Stromtragfähigkeit der Spule. Mithilfe der berechneten Spulenkonstante  $B/I = 13.24 \times 10^{-3} \text{ T/A}$  lässt sich das Feld berechnen, das bei  $I_c = 20.6 \text{ A}$  und  $T = 77 \text{ K}$  im Spulenzentrum erzeugt wird:  $B_{z, 77\text{K}} = 273 \text{ mT}$ . Bei tieferen Temperaturen steigen Stromtragfähigkeit und Feldverträglichkeit des Supraleiters stark an. Abschätzungen ergaben, dass sich mit der vorliegenden Spule bei einer Temperatur von 4.2 K eine Feldstärke weit über 3 T realisieren ließe. Für 2011 sind Shakertests an einer REBCO-Spule geplant, die die Weltraumtauglichkeit dieses Materials beweisen sollen.



*Nachwuchskräfte im TLK – der Schritt in die Zukunft*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)

Leitung: Dr. Beate Bornschein

Das Tritiumlabor Karlsruhe 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 1 000 Quadratmetern stehen mehr als zehn Handschuhkastensysteme mit einem Volumen von insgesamt rund 125 Kubikmetern als Einschluss für die tritiumführenden Versuchsapparaturen zur Verfügung. Gründungsaufgabe und umfangreichster Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Ein zweiter Schwerpunkt liegt auf dem Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Elektron-Neutrinos. Demgemäß werden die Arbeiten zu gleichen Teilen innerhalb der Programme „Fusion“ und „Astro“ gefördert.

In den vergangenen zwei Jahren hat das TLK durch Vergabe interessanter Forschungsarbeiten vermehrt Studierende und Doktoranden an sich gebunden (siehe Tabelle). Wissenschaftlicher Nachwuchs ist für die Zukunft des TLK äußerst wichtig, und diesem liegt viel daran, den jungen Menschen eine hervorragende und ausgewogene Ausbildung zukommen zu lassen, die neben den fachlich-wissenschaftlichen Inhalten auch die heute überall gefragten Soft Skills umfasst.

	2007	2008	2009	2010
Diplom/Master	1	2	7	9
Promotion	3	3	4	7

Abb. 1: Abgeschlossene und laufende Arbeiten im TLK.

Im Folgenden werden Arbeiten und Ergebnisse in den Bereichen Betrieb und Infrastruktur des TLK sowie Forschung und Entwicklung zur Fusion kurz vorgestellt. Dem Bereich KATRIN ist ein eigenes Kapitel gewidmet.

### Betrieb und Infrastruktur des TLK

Im Jahr 2010 waren die konventionelle Infrastruktur sowie die Tritiuminfrastruktur im Tritiumlabor für die Forschungsvorhaben der Programme „Fusion“ und „Astro“ uneingeschränkt verfügbar. Aus dem Tritiumlager wurden besonders die Experimentieranlage CAPER, die sowohl betriebliche Aufgaben erfüllt, wie die Detritierung von Abfallgasen, (siehe Abbildung 2) als auch für Forschungs- und Entwicklungszwecke bereitsteht, und das Experiment LOOPINO (siehe Kapitel über KATRIN) mit reinem Tritium versorgt. Die CAPER Anlage

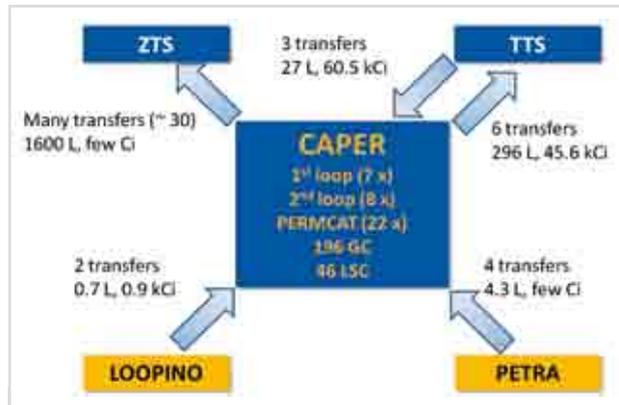


Abb. 2: Überblick über die Tritiumtransfers der Anlage CAPER. Von LOOPINO und PETRA kamen Abfallgase.

stellte zusätzlich spezielle Tritiumgasmischungen für andere Experimente her, die sie damit erst ermöglichte. Die behördlichen Auflagen der neuen Betriebsgenehmigung wurden jederzeit erfüllt. Bei den Aufsichtsbesuchen durch die Genehmigungsbehörde gab es keinerlei Beanstandungen. Meldepflichtige Ereignisse kamen nicht vor.

Durch die Intensivierung der Nachwuchsausbildung stieg die Zahl der im TLK arbeitenden Personen auf über 50, sodass eine Erweiterung der Bürofläche notwendig wurde. Da dies im Gebäude 451 nicht möglich war, wurden die erforderlichen Arbeitszimmer in einem neuen Containerkomplex eingerichtet (Abbildung 3).

Der Schwerpunkt der Leittechnikarbeiten lag auf der ersten Stufe des Ersatzes des TLK-Prozessleitsystems. Da das Altsystem Teleperm-M vom Lieferanten nicht mehr gepflegt wird und Ersatzkomponenten nicht mehr ver-



Abb. 3: Neuer zusätzlicher Bürokomplex für das TLK.

füßbar sind, war der Austausch unumgänglich geworden. Nach einer fast zweijährigen Planungs- und Konzeptphase wurde kurz vor Ende des Jahres 2010 der Umschluss der ersten beiden Automatisierungssysteme realisiert (siehe auch Highlight 2010).

### F&E für ITER

Die aktuellen Arbeiten für den Tritiumkreislauf von ITER konzentrieren sich auf den europäischen Beitrag „Wasserdetritierung und Isotopentrennung (WDS-ISS)“. Dafür entwickelt und untersucht das TLK im Rahmen des Programms „Fusion“ Prozesse zur Wasserdetritierung und zur Wasserstoffisotopentrennung mithilfe der TRENTA Anlage. Ziel dieser Arbeiten ist, wichtige Daten für die ITER Systeme WDS und ISS zu erhalten und somit entscheidend zum ITER Design beizutragen.

Die TRENTA Anlage im TLK besteht wie künftig das ITER System aus den zwei Teilsystemen WDS und ISS. In der WDS wird der bekannte Combined Electrolysis Catalytic Exchange (CECE) Prozess zur Rückgewinnung von Tritium aus tritiiertem Wasser eingesetzt. Die beiden Hauptsysteme des CECE Prozesses sind zum einen zwei Elektrolyse-Einheiten mit einer Gesamtkapazität von 2 m<sup>3</sup>/h Wasserstoffgas, zum anderen eine acht Meter lange Liquid Phase Catalytic Exchange (LPCE) Kolonne. Zur Wasserstoffisotopentrennung dient die kryogene Destillation bei Temperaturen von -253 °C und -247 °C. Sie macht sich die Tatsache zunutze, dass die verschiedenen Spezies (H<sub>2</sub>, HD, D<sub>2</sub>, HT, DT, T<sub>2</sub>) unterschiedliche Siedetemperaturen haben.

Was die Lizenzierung von ITER betrifft, liegt der Fokus auf dem Tritiuminventar in der Isotopenanlage. Dieses Inventar hängt von Art und Menge des in der Destillationskolonne zu verwendenden Packing-Materials ab. Wichtigste Aufgabe im Jahr 2010 war die Fortsetzung des Tests verschiedener Packing-Materialien, besonders des sogenannten CY-Packings, das zu den Gewebe-Packings gehört und das ersten Vorexperimenten nach vielversprechende Eigenschaften besitzt. Im Rahmen eines Tasks der europäischen Agentur Fusion for Energy (F4E) führte das TLK mehrere einwöchige Messkampagnen durch und testete die verschiedenen Packings mit unterschiedlichen H-D-Gemischen in der Kryokolonne. Gleichzeitig wandelte es das Design der Kolonne leicht ab. Nach ersten Ergebnissen der Auswertungen ist das Wasserstoffinventar, das sich bei Normalbetrieb in der Kryokolonne einstellt, bei allen getesteten Packings etwas höher als allgemein erwartet. Was die Anforderungen an die ITER ISS betrifft, waren die Ergebnisse insgesamt vielversprechend. Derzeit diskutiert das TLK mit F4E und ITER, inwieweit eine erneute Testreihe mit einer ITER ähnlichen Kolonne gleichen Durchmessers wiederholt werden sollte.

Parallel zu den Messkampagnen mit der Kryokolonne trieb das TLK die Arbeiten zur verfahrenstechnischen Zusammenführung der WDS und der ISS zur TRENTA Gesamtanlage TRENTA 4 voran (siehe Abbildung 4). Dabei konzentrierten sich die Tätigkeiten auf die elektrischen Arbeiten für das lokale Steuersystem der technischen Anlage, die finale Modifikation der Wärmeübertrager in der Kryokolonne und die Anpassung der Kälteanlage an den erweiterten Operationsmodus. Eine weitere wichtige Arbeit war der Aufbau eines zweiten begehbaren Abzugs zur Einhausung der Speicherbehälter für tritiierten Wasserstoff und tritiiertes Wasser.



**Abb. 4:** Blick auf die TRENTA Anlage: Im Vordergrund links ist die geöffnete Kryokolonne zu sehen. Die schwarze Kolonne am rechten Bildrand gehört zur WDS. Bei dem blauen Gerät im Hintergrund handelt es sich um die Linde-Kälteanlage für die ISS.

Im Rahmen eines europaweiten Konsortiums, bei dem Personal des TLK die Projektleitung innehat, entstanden die ersten Prozessflussdiagramme und Designstudien für die ITER Speicherbehälter für tritiiertes Wasser als Teil der zukünftigen ITER-WDS. Sie wurden von F4E und ITER akzeptiert. In diesem Zusammenhang lief auch eine HAZOP Studie, das heißt Sicherheitsanalyse, erfolgreich ab, was den Weg für weitere Designarbeiten ebnete.

Neben den Designarbeiten erstellte das TLK eine eigene Simulationssoftware für die in der WDS und ISS ablaufenden Prozesse und schuf damit die Möglichkeit, verschiedene Designvorschläge für ITER in ihren Auswirkungen direkt zu testen. Die Simulationssoftware wurde zuvor erfolgreich mit den experimentellen Daten der TRENTA Experimente abgeglichen.

Mit der TRENTA Anlage kann das TLK künftig das von der WDS zurückgewonnene Tritium direkt der Kryokolonne (ISS) zuführen und damit das Kombisystem testen, das auch für zukünftige Fusionsreaktoren wie ITER zur Rückgewinnung von Tritium genutzt werden wird. Gleichzeitig wird die TRENTA Anlage in Zukunft als Teil der TLK Tritiuminfrastruktur tritiiertes Abfallwasser des TLK prozessieren und damit den geschlossenen Tritiumkreislauf des TLK vervollkommen.

### Analytik im TLK

Die Beherrschung der qualitativen und quantitativen Analyse der sechs Wasserstoffisotopologen H<sub>2</sub>, HD, D<sub>2</sub>, HT, DT, und T<sub>2</sub> sowie anderer tritiiertter Verbindungen (beispielsweise HTO) bildet eine wesentliche Voraussetzung für den Umgang mit Tritium und stellt hohe Ansprüche an Experimentatoren und Ausrüstung. Wegen der großen Bedeutung der Analytik für das TLK werden die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten programm- und gruppenübergreifend koordiniert und durchgeführt. 2010 konzentrierten sich die Arbeiten auf folgende Gebiete:

- Laser-Raman-Spektroskopie an tritiierten Wasserstoffisotopologen. Dabei nahm das TLK erstmals Messungen an fast reinem Tritium über mehr als zwei Wochen vor (Gasdruck etwa 200 mbar)

- Entwicklung eines neuen Verfahrens zur präzisen Bestimmung von Volumina

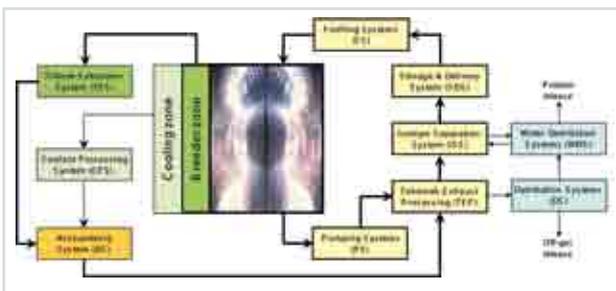
Parallel zu den reinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten optimierte das TLK Kalorimeter, Ionisationskammern und Gaschromatographen sowie bestehende Kalibrierverfahren weiter. Die genannten Instrumente werden standardmäßig genutzt und bilden das Rückgrat der Analytik im TLK.

### Blanket- und Tritiumtechnologie

Innerhalb des Programms „Fusion“ stellt im Hinblick auf den zukünftigen Demonstrationsfusionsreaktor DEMO die Rückgewinnung von Tritium aus dem Brutblanket eine große technische Herausforderung dar. Um praktische Erfahrung zu sammeln, sollen in einem ersten Schritt verschiedene Konzepte an dem im Aufbau befindlichen experimentellen Fusionsreaktor ITER getestet werden (siehe Abbildung 6).

Das TLK hat in den vergangenen beiden Jahren wesentlich zu einem intensiven Prozessreview der betreffenden Systeme beigetragen. Der Fokus lag auf der Frage, wie sich der Prozess vereinfachen lässt, um ihn zuverlässiger und robuster zu machen. Das neu vorgeschlagene und akzeptierte System enthält im Extraktionssystem ein Getterbett und eine Adsorptionskolonne, gefolgt von einem Palladiummembranreaktor (Permeat), um das Tritium in molekularer und oxidiert Form aus dem Blanket zu extrahieren. Da diese Technologien am TLK entwickelt wurden, wird sich das TLK auch intensiv an den zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben beteiligen.

Verglichen mit ITER sind die technischen Anforderungen an den äußeren Tritiumkreislauf von DEMO sehr viel größer (etwa Faktor 1000 in den Flüssen). Daher ist es nicht möglich, die technischen Prozesse einfach zu skalieren. Vielmehr sind neue Prozesse zu konzipieren. Dabei werden kontinuierliche Prozesse bevorzugt, um das Tritiuminventar in den betreffenden Systemen zu minimieren und starke Temperaturschwankungen durch Abkühlung oder Aufheizung zu vermeiden.

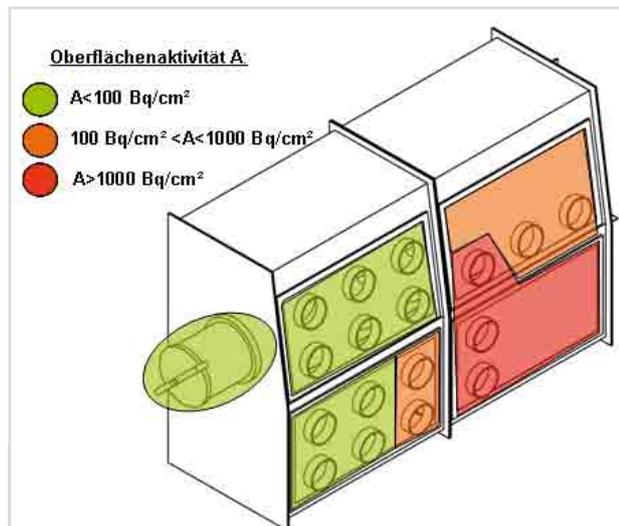


**Abb. 6:** Schematische Darstellung des inneren (rechts) und äußeren (links) Tritiumkreislaufs eines Fusionsreaktors: Der innere Tritiumkreislauf ist für das Abpumpen des verunreinigten Tritium/Deuterium-Brennstoffs, dessen Reinigung und das Wiedereinspeisen des korrekt eingestellten Brennstoffgemischs zuständig. Im äußeren Tritiumkreislauf wird das durch eine Kernreaktion der Fusionsneutronen mit Lithium im Blanket erzeugte Tritium aus diesem mithilfe eines Spülgases (Helium) ausgespült, im anschließenden Tritiumextraktionssystem von diesem extrahiert und nach erfolgter Bilanzierung dem inneren Brennstoffkreislauf zur Verfügung gestellt.

Das vom TLK vorgeschlagene kontinuierliche Konzept erfordert einen Permeat, um Tritium aus Wasser zurückzugewinnen, und einen selektiven Permeator als Vorstufe, um das Helium des Blanket-Spülgases weitestgehend abzuseparieren. In diesem Zusammenhang hat das TLK die Zusammenarbeit mit dem Institut für Thermische Verfahrenstechnik (TVT) des KIT im vergangenen Jahr intensiviert. Sowohl eine Doktor- als auch eine Masterarbeit wurden begonnen. Ziel der Zusammenarbeit ist zu zeigen, dass ein mehrstufiger Permeationsprozess basierend auf neuartigen Zeolithmembranen machbar ist. Dazu baute das TLK im Jahr 2010 eine experimentelle Apparatur zum Test von Membranprototypen auf und nahm sie in Betrieb. Die Experimente sollen im nächsten Jahr fortgeführt werden, um genügend Daten für das Design des Extraktionssystems für DEMO zu sammeln.

Eine der ersten Sicherheitsstudien für ITER betont die Notwendigkeit, ein zusätzliches System zu installieren, das hochaktives Wasser (bis HTO, 1,4 MCi/kg) detritieren kann. Im Rahmen eines Servicevertrages mit ITER beteiligte sich das TLK an einer Studie, die verschiedene Verfahren gegenüberstellt. Parallel dazu wurde die experimentelle CAPER Anlage erweitert, um eines der Konzepte (Wasserdetritierung mit dem Permeat) mit tritiiertem Wasser (bis HTO) unter realistischen Bedingungen experimentell zu überprüfen.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im Labor war die Fortführung der Sanierung der ältesten TLK Handschuhbox, der sogenannten PETRA Box. Dabei betritt das TLK Neuland. Um einen Überblick zu erhalten, kartierte es zuerst die Oberflächenkontamination innerhalb der Box (siehe Abbildung 5). Ziel ist, die Box bis Ende 2011 weitestgehend zu entkernen.



**Abb. 5:** Karte der Oberflächenkontamination an den Innenseiten der PETRA Handschuhbox im TLK.

### Highlight in 2010: Ersatz des Prozessleitsystems

Die TLK Gruppe Mess- und Automatisierungstechnik (MAT) hatte 2009 die Planungen für den Ersatz der sechs Automatisierungssysteme Teleperm-AS488 und der zugehörigen Simatic-S5-Schränke zur Binärsignalverarbeitung durch Simatic PCS7-AS417 für die Automatisierung der Tritium-Infrastrukturgewerke im TLK erfolgreich abgeschlossen. Im Jahr 2010 galt es, diese Planungen praktisch umzusetzen.



Abb. 7: Schränke für Teleperm-AS488 und Simatic-S5.

Allgemein wurde vereinbart, dass die Spezialisten der Gruppe MAT alle Softwarearbeiten sowie die Projektkoordination übernehmen sollten, während die Hardwarearbeiten, wie beispielsweise der Aufbau der Schaltschränke und die Verdrahtungen, an einen externen Partner gehen sollten. So war es möglich, einerseits den Zeit- und Kostenaufwand gering zu halten, andererseits aber der ausgesprochen speziellen Konfiguration im Tritiumlabor gerecht zu werden. Die Gruppe MAT verfügt über ebenso umfangreiche wie detaillierte Kenntnisse und Fertigkeiten in der Mess- und Automatisierungstechnik, erreicht und ausgebaut durch intensive Aus- und Weiterbildung.

Die Arbeiten begannen 2010 in der Phase I mit dem Ersatz der Automatisierungssysteme AS3 (Tritium-Transfersystem) und AS4 (Tritiumlager). Sie waren zeitlich und technisch eng abgestimmt mit der Firma Siemens. Diese war als Systemlieferant für Lieferung, Montage und Verdrahtung der gesamten benötigten Hardware verantwortlich. Die Spezialisten des TLK nahmen zeitgleich eigenständig sämtliche Programmier- und Projektierungsarbeiten offline vor. Begleitend dazu unterzogen sie die neue Software mithilfe von speziellen Systemen intensiven Funktionstests. Sie setzten dabei die Baugruppen SimbaPro von Siemens zur Simulation der gesamten Prozesssignale (Ein-/Ausgabe-Peripherie) ein. Zur flexiblen Steuerung dieser Baugruppen wurden spezielle Programme mit Labview von National Instruments entwickelt.

Für die Softwarearbeiten wurde ein Aufwand von rund zwei Personenjahren veranschlagt, wobei die Ausführung zeitlich eng mit dem Fortgang der Hardwarearbei-

ten verzahnt war. Die Firma Siemens hatte im Jahr zuvor gemeinsam mit der Gruppe MAT die Durchführbarkeit einer toolgestützten automatischen Migration geprüft. Wie diese Machbarkeitsstudie ergab, hätte eine solche Migration im vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmen nicht zum gewünschten Erfolg geführt. Grund dafür sind die vielen speziellen Funktionsbausteine und automatischen Ablaufsteuerungen, die sich nicht automatisch umsetzen lassen. Siemens hatte Anfang der 1990er-Jahre beim Aufbau der Automatisierungstechnik für das Tritiumlabor allein zur Entwicklung dieser Spezialbausteine und Ablaufsteuerungen sowie deren Implementierung zur Steuerung aller sechs Automatisierungssysteme einen zeitlichen Aufwand von rund acht Personenjahren gehabt.



Abb. 8: Blick in den Automatisierungsraum des TLK mit den alten Automatisierungsschränken.

Die Entscheidung, sämtliche Software-Arbeiten eigenständig durchzuführen, ersparte dem TLK im Jahr 2010 Kosten von rund 200 000 Euro, die für einen externen Auftrag zu veranschlagen gewesen wären. Zudem entfiel der erhebliche zeitliche Aufwand für softwaretechnische Abstimmungen und Festlegungen an einen externen Auftragnehmer. Als Grundlage für die Automatisierung und Visualisierung dient die im TLK entwickelte und bereits bei der Automatisierung von KATRIN

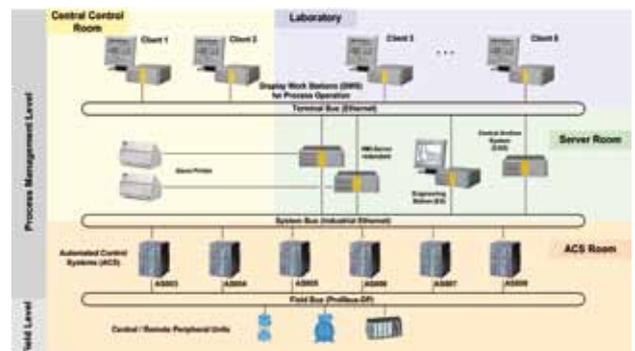


Abb. 9: Schematische Darstellung der leittechnischen Komponenten des Prozessleitsystems im Tritiumlabor mit sechs Automatisierungssystemen, sechs speicherprogrammierbaren Steuerungen und Automatisierungsschränken, einem Netzwerkschrank für den Anlagenbus und den Terminalbus mit entsprechenden Glasfaserleitungen, zwei redundanten OS-Servern, einem zentralen Daten-Archivserver, acht Bedienstationen, einer Engineeringstation sowie mehr als 200 E/A-Peripheriebaugruppen und 4,2 Kilometern (2,1t) 32-adrige Rangierkabel mit Steckern.

Subsystemen eingesetzte und erprobte PCS7-Bausteinbibliothek. Sie wurde für dieses Projekt spezifisch erweitert und angepasst.

Der Laborbetrieb, besonders auch der Betrieb der zu ersetzenden Automatisierungssysteme und der damit automatisierten tritiumführenden Gewerke, war während der gesamten Programmier- und Installationsarbeiten zu keinem Zeitpunkt betroffen oder gar eingeschränkt. Eine besondere Herausforderung stellte der parallele Betrieb von neuen Systemen und noch nicht ersetzten Altsystemen dar. Dazu wurde ein Gateway eingesetzt, das umfangreiche Daten zwischen den heterogenen Systemen austauschen muss.

Mitte November 2010 wurden die beiden Altsysteme abgekoppelt und durch die neuen ersetzt. Eine vollständige Neu-Inbetriebnahme war nicht erforderlich, weil begleitende Tests in der Entwicklungsphase erfolgreich verlaufen waren, Siemens die Verdrahtungen hardwareseitig überprüfte und die vorhandenen Rangierverteiler zusammen mit der Feldverdrahtung komplett erhalten wurden. So übernahmen die neuen Systeme die Aufgaben der Altsysteme nach nur zweitägigem Stillstand der betroffenen Anlagen. Der Betrieb lief auch über die Jahreswende hinweg reibungslos.

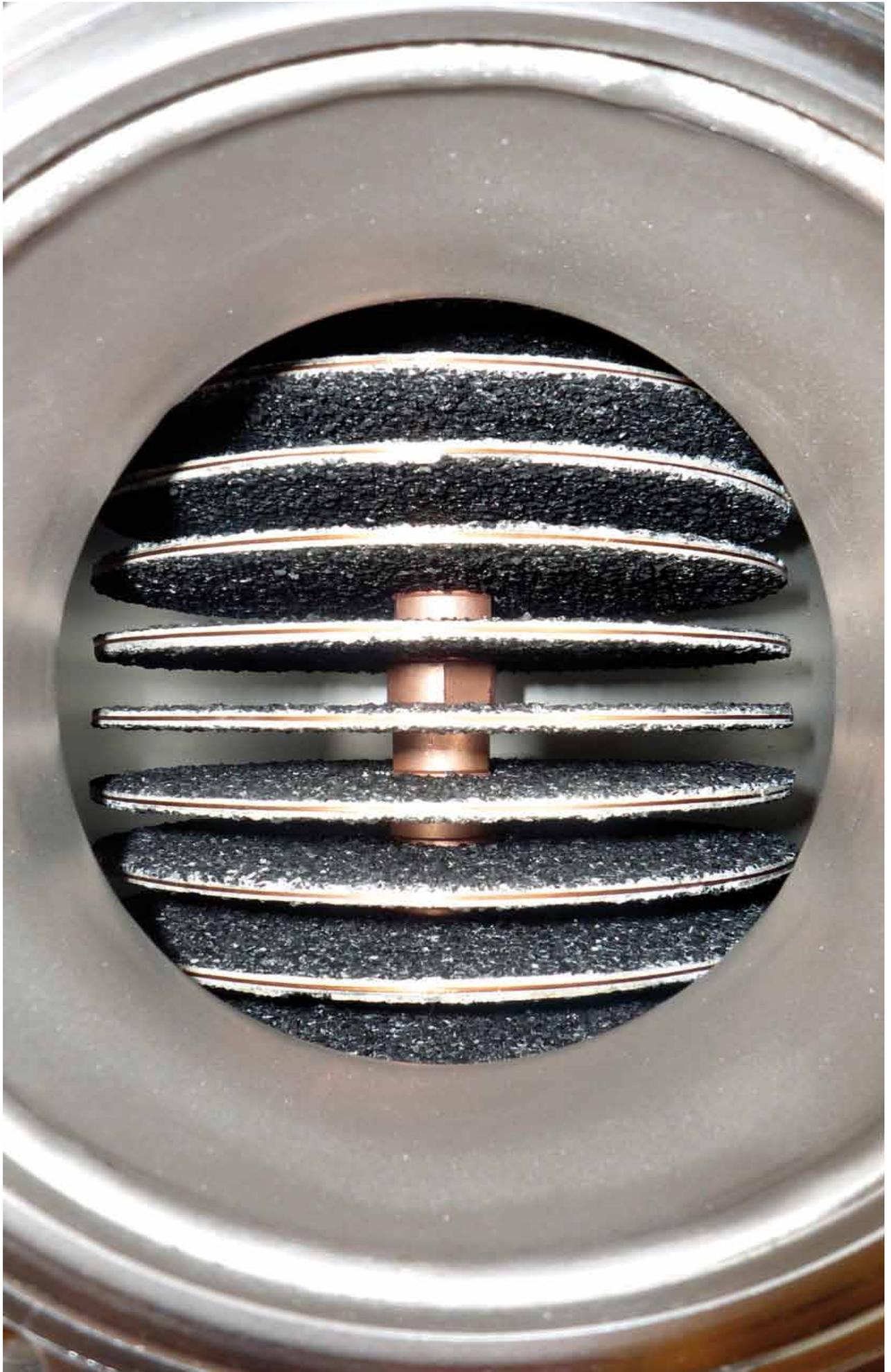
Im Jahr 2011 gilt es, die neuen Systeme an ihrer Zielposition aufzustellen und zeitgleich die Altsysteme zurückzubauen. Im folgenden Jahr werden dann im Rahmen der Phase II die nächsten beiden Automatisierungssysteme ersetzt. In einer dritten Phase, die erst Ende 2012 weitestgehend abgeschlossen sein wird, werden die restlichen zwei Automatisierungssysteme ersetzt.

Die Kosten für Lieferung, Montage und Verdrahtung aller benötigten Komponenten in sämtlichen drei Pro-

jektphasen durch die Firma Siemens belaufen sich auf insgesamt rund 600 000 Euro. Der durch die Eigenleistung des TLK bei der Erstellung der Software eingesparte Betrag liegt ebenfalls in dieser Höhe.



*Abb. 10: Neue Steuerung Simatic PCS7-AS417 mit analogen und digitalen E/A-Peripheriebaugruppen.*



Prototyp einer Kryosorptionspumpe für SIS100/FAIR

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Die Aktivitäten des Forschungsbereichs Vakuumtechnik waren im Jahr 2010 eindeutig geprägt von den Arbeiten für ITER im Rahmen von Verträgen mit der europäischen Agentur Fusion for Energy (F4E). Vor allem führten die Forscherinnen und Forscher die Detaildesigns für die Prototyp-Torus-Kryopumpe (PPC) und die Kryopumpe für die Neutralteilcheninjektion (NBI) weiter. Außerdem unternahmen sie zusätzliche Experimente, um die Konstruktion für bestimmte Komponenten abzusichern. Darüber hinaus bereiteten sie die Kryopumpen-Testanlage TIMO-2 auf die geplanten Tests der PPC vor.

Dazu kamen erste Überlegungen für die Vakuumsysteme an einem kommerziellen Fusionskraftwerk nach ITER. Diesem Thema wird sich eine bei EFDA eigens neu etablierte Arbeitsgruppe widmen.

Als zweiten Schwerpunkt trieb der Bereich Vakuumtechnik im Jahr 2010 die Entwicklung und Validierung von Softwarewerkzeugen zur Beschreibung der Vakuumströmung in allen drei Strömungsbereichen – molekular, Übergang, Kontinuum – weiter stark voran. Zum ersten Mal implementierte er die eigenen Codes an einem Supercomputer, wodurch sich die Rechenzeit ganz beträchtlich reduzierte. Als besonderes Highlight gelang es, eine Kryopumpe komplett quantitativ zu modellieren.

Der Bereich Vakuumtechnik hat sich im Jahr 2010 deutlich weiterentwickelt. Durch sein Engagement in zwei europäischen Trainingsnetzwerken macht er die führende Rolle des ITER in der Vakuumtechnik noch deutlicher sichtbar.

### Die Prototyp-Torus-Kryopumpe

Das Entwicklungsprogramm des Torus-Kryopumpensystems von ITER sieht vor, einen Prototyp der Kryopumpe zu bauen und in der Anlage TIMO-2 am ITER gründlich

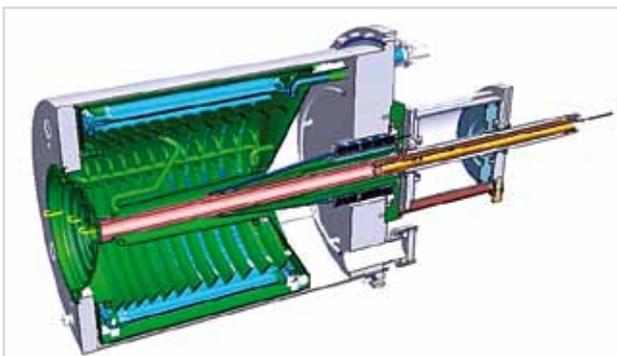


Abb. 1: 3D-CAD-Modell der Prototyp-Torus-Kryopumpe.

zu testen. Der Prototyp soll schon so gebaut werden, dass er sich später als Ersatzkryopumpe bei ITER einsetzen lässt. Daher ist es erforderlich, sämtliche Vorschriften und Auslegungsrichtlinien für nukleare Komponenten einzuhalten. Besonders gilt es, den Designprozess mit einem ausgiebigen Katalog begleitender Rechnungen zu belegen: Festigkeitsberechnungen, thermomechanische und hydraulische Berechnungen, seismische Ereignisse etc. Diesen Katalog hat der Bereich Vakuumtechnik 2010 weitestgehend abgearbeitet. Abbildung 1 zeigt den derzeitigen Entwicklungsstand der Pumpe. Zu sehen sind die Hauptbaugruppen: das Einlassventil, die thermischen Schilde (grün) und die Kryopanelle (hellblau).

Die Pumpe ist zylindrisch geformt mit einer Länge von 2054 Millimetern und einem Durchmesser von 1776 Millimetern. Das thermische Schildsystem wird mit kaltem Helium bei 80 K gekühlt, das aktivkohlebeschichtete Kryopanelsystem wird im Betrieb mit superkritischem Helium auf 4.5 K gekühlt. Das Kryopanelsystem stellt eine pumpende Oberfläche von mehr als elf Quadratmetern bereit, wodurch sich Saugvermögen in einer Größenordnung von 75 m<sup>3</sup>/s realisieren lassen.

Die Torus-Kryopumpe enthält ein integrales Einlassventil zur Steuerung des eingehenden Gasstroms von der Plasmakammer und zum Schließen unter Regenerationsbedingungen. Für die Dichtung des Ventils am Pumpenkörper wird ein statischer metallischer Ring verwendet. Dessen Verhalten bei dieser ungewöhnlichen dynamischen Anwendung war allerdings nicht bekannt. Um das Design abzusichern, bauten die Forscher daher eine Testanlage auf, an der sie quantitativ die Abhängigkeit der resultierenden Leckrate von der Schließkraft untersuchten (siehe Abbildung 2).

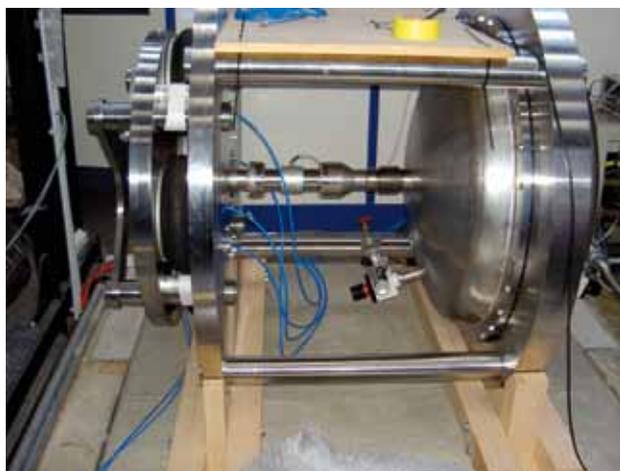


Abb. 2: Anlage zum Test statischer Metaldichtungen.

In Bezug auf die ITER-Pumpe entschieden sie daraufhin, für das Einlassventil (Abbildung 3) eine Kraft von 125 kN mit einem pneumatischen Antriebszylinder (500 Millimeter Durchmesser, 7 bar Druckdifferenz) zu erzeugen.



Abb. 3: Design des Antriebs für das Pumpeneinlassventil.

Die Umbaumaßnahmen an der Versuchsanlage TIMO-2 sind inzwischen abgeschlossen. Dies erlaubt es, auch die beiden neu festgelegten zusätzlichen ITER-Betriebsmodi in TIMO-2 mit der eingebauten PPC zu fahren. Dies ist zunächst eine Versorgung mit 4.3 K statt 4.5 K. Am ITEP wird dies einfach dadurch realisiert, dass das Flüssig-Helium-Bad im Kontrollkryostat der Versuchsanlage auf einen geringeren Druck abgepumpt wird. Zudem wird eine Versorgung mit 100 K realisiert. Diese Erhöhung gegenüber dem Standardtemperaturniveau von 80 K resultiert aus den Ergebnissen früherer Versuche und gestattet eine fast hundertprozentige Freisetzung von Wasserstoff bei der Standardregeneration der Kryopumpe. Bei TIMO-2 wird gasförmiges Helium bei 100 K im Wärmetausch gegen flüssigen Stickstoff er-



Abb. 4. Die neue 100 K-Anlage für TIMO-2 – bereit für die PPC-Tests.

zeugt, der bei dieser Temperatur unter einem Siededruck von etwa 8 bar steht. Abbildung 4 zeigt die neue 100 K Anlage.

**ITER NBI-Kryopumpen**

Der Forschungsbereich Vakuumtechnik des ITEP ist auch für die Entwicklung und das Design der ITER NBI-Kryopumpen verantwortlich. Ähnlich wie bei den Toruspumpen ist auch bei den NBI-Kryopumpen ein Test im Maßstab 1:1 vorgesehen. Diese Kryopumpen, von denen es bei ITER acht Stück geben wird, zeichnen sich durch ihre enorme Größe aus – sie sind jeweils bis zu acht Meter lang und bis zu 2,5 Meter hoch. Es handelt sich um komplexe Bauteile, die zudem noch in verschiedenen Teilen

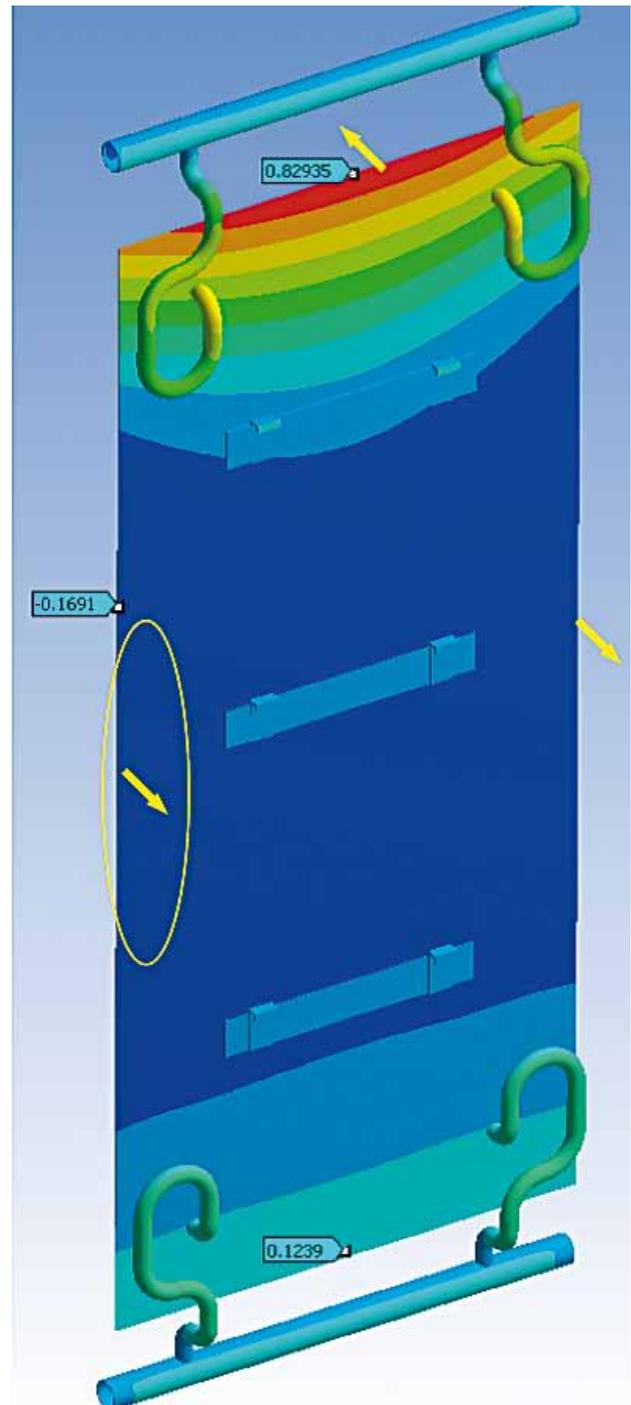


Abb.5: Berechnung der Durchbiegung in Millimetern, nach vorne (negativ) und nach hinten (positiv), eines thermischen Schilds während des Abkühlens von 300 K auf 80 K.

stark unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sein werden – von 4 K bis 470 K. Daher floss viel Arbeit in begleitende mechanische FEM-Untersuchungen. Bei der einer solchen Größe addieren sich thermische Ausdehnungs- oder Schrumpfungseffekte schnell zu einigen Zentimetern. Normalerweise werden Metallbälge eingesetzt, um die dabei auftretenden mechanischen Spannungen aufzunehmen; dies soll aber bei ITER möglichst vermieden werden, da die Lebensdauer der Bälge begrenzt ist. Abbildung 5 zeigt eine einschlägige Berechnung für ein thermisches Schild. Anstelle von Bälgen werden flexible Rohrleitungsbögen eingesetzt.

Ein weiterer kritischer Punkt im Betrieb dieser enorm großen Pumpsysteme ist eine optimale Kryoversorgung, besonders mit einem akzeptabel kleinen Druckverlust bei gleichmäßiger Verteilung in die parallelen Kühlkreisläufe. Bedingt durch die Verwendung sogenannter hydrogeformter Bauelemente ist es allerdings nicht möglich, den Druckverlust verlässlich vorherzusagen. Daher legten die Forscher 2010 einen Schwer-

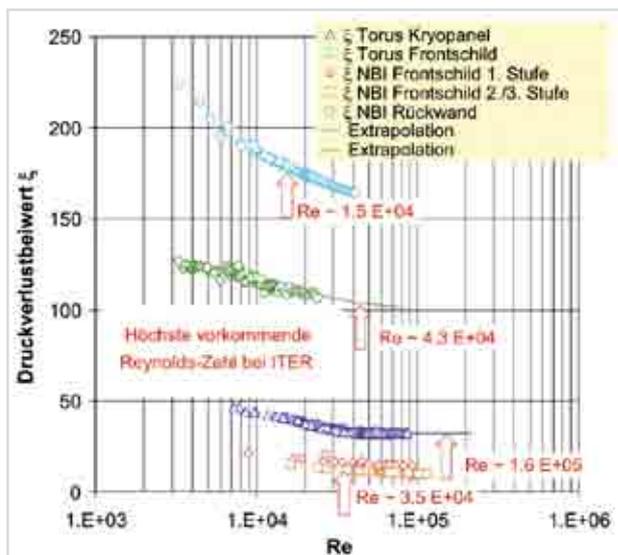


Abb. 6: Druckverlustbeiwerte  $\xi$  als Funktion der Reynolds-Zahl für verschiedene hydrogeformte Komponenten.

punkt auf Messungen von hydrogeformten Komponenten. Mit den Resultaten entwickelten sie ein komplettes thermohydraulisches Modell der Kryopumpe. Dabei achteten sie darauf, dass trotz der hohen Masseströme an kryogenem Helium nur minimale Druckverluste auftreten. Abb. 6 zeigt einige Messergebnisse.

### Modellierung von Vakuumströmungen

Bei der Modellierung von Vakuumströmungen erzielte der Forschungsbereich 2010 bemerkenswerte Ergebnisse. Die Versuchsanlage TRANSFLOW war fast das ganze Jahr über in Betrieb. Es wurden verschiedene kurze Strömungskanäle vermessen. In kurzen Kanälen kommt es nicht zu einer voll ausgebildeten Strömungsform, sodass die Ansätze der vereinfachten kinetischen Strömungstheorie nicht mehr gültig sind. Daher entwickelten die Forscher einen 2D Monte Carlo Code, beruhend auf dem DSMC Verfahren, das auch intermolekulare Wechselwirkungen berücksichtigt.

Um eine gute Konvergenz zu erreichen, muss das numerische Gitternetz optimiert werden. Daher wird der Code an jede Geometrie individuell angepasst. Rechnungen wurden für alle experimentell untersuchten Kanäle durchgeführt: für das kurze zylindrische Rohr in verschiedenen Längen, für ein Rohr mit Durchmesser-sprung sowie für die Geometrie zweier paralleler Platten.

Durch Vergleich von Messungen an Rohren mit verschiedenen Oberflächen, sonst aber identischen Abmaßen, wurde der Akkommodationskoeffizient extrahiert, der die Impuls-Wechselwirkung der Teilchen mit der Oberfläche beschreibt.

Mit seinen vielfältigen experimentellen Aktivitäten um die Anlage TRANSFLOW und den theoretischen Code-Entwicklungen in einer Gruppe besitzt der Bereich Vakuumtechnik ein eindeutiges Alleinstellungsmerkmal. Die Experimente liefern einen ständig wachsenden Datenpool zur Validierung neuer Rechencodes. Auf dieser Basis ist für 2011 geplant, ein neues offen programmiertes Berechnungswerkzeug zu entwickeln, um die zugrunde liegenden Korrelationen kontinuierlich weiter verfeinern und immer auf den neuesten Datenstand zurückgreifen zu können.

### Highlight in 2010: Simulation einer Kryopumpe im Übergangsbereich

Bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten ist der Forschungsbereich Vakuumtechnik des ITEP in der Kryopumpenentwicklung tätig und hat sich darin eine weltweit führende Position erarbeitet. In dieser Zeit haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler umfassende Erfahrungen mit der Auslegung und dem Verhalten von Kryopumpen gesammelt.

Das große Saugvermögen, das Kryopumpen aufbringen können, wird üblicherweise dazu verwendet, äußerst kleine Enddrücke in einem Vakuumsystem zu erzeugen. In der Fusion hingegen geht es vor allem darum, möglichst große Gasflüsse zu pumpen, und zwar bei einem moderaten Vakuum. Bei dieser Anwendung wird die Kryopumpe im sogenannten Übergangsbereich betrieben, das heißt, der Druck im Innern der Hochvakuumpumpe ist so hoch, dass die Teilchen nicht nur mit der Wand, sondern auch untereinander zusammenstoßen.

Diese Strömungsform ist besonders kompliziert und aufwendig zu beschreiben. Eine rechnerische Auslegung war bisher schlicht nicht praktikabel. Aus diesem Grund wurden Kryopumpen für diese Anwendungen meist nach Erfahrung ausgelegt. Dazu wurden erforderlichenfalls mit einem sogenannten Monte Carlo Code Rechnungen für die freie molekulare Strömungsform ausgeführt – die Geometrien werden dabei vereinfacht, die intermolekularen Stöße vernachlässigt – und die Ergebnisse anschließend auf die Bedingungen der Übergangsströmung extrapoliert. Die Forscher des ITEP konnten dazu auf die exzellent dokumentierte Datenbasis aus den TIMO-Versuchen zurückgreifen, sodass die Extrapolationen zuverlässig funktionierten.

Ermuntert durch die höchst erfreulichen Fortschritte bei der Code-Entwicklung versuchte der Bereich Vakuumtechnik im Jahr 2010 nun, eine Kryopumpe im Übergangsbereich zu simulieren, und zwar die ITER-Modellpumpe, deren Pumpcharakteristik von den Experimenten der letzten Jahre bestens bekannt ist (siehe Abbildung 7).

Die Idee war, zwei komplementäre Monte Carlo Rechenverfahren so zu kombinieren, dass gerade ihre Stärken ausgenutzt werden und ihre Schwächen nicht stören.

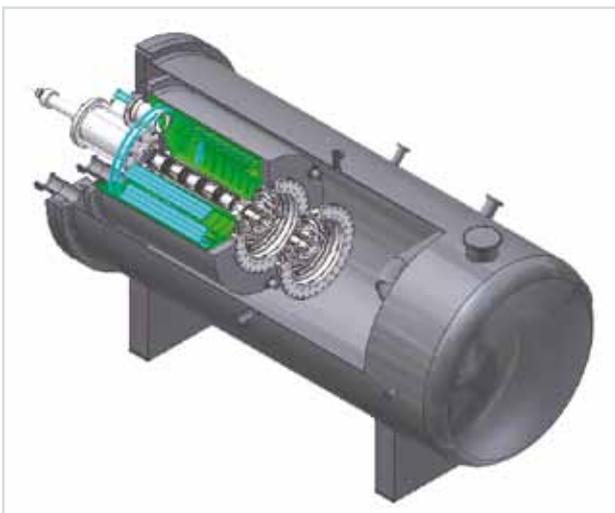


Abb. 7: In TIMO eingebaute Modellpumpe.

Den ersten Schritt bildete eine klassische Testpartikel Monte Carlo (TPMC) Simulation. Allerdings wurde der In-house-Code ProVac3D eingesetzt, der gegenüber anderen Codes den Vorteil besitzt, auch geometrisch komplexe Strukturen beschreiben zu können. Dank des zugrunde liegenden Konzepts kann dieser Code auch nicht isotherme Systeme erfassen – ein weiteres Erfordernis, um eine Kryopumpe mit Flächen bei 4 K, 80 K und Raumtemperatur gut zu simulieren. Die Modellpumpe besteht aus komplexen kryogenen Teilen – Kryopaneln, thermische Schilde – weist aber sonst eine einfache zylindrische Geometrie auf. Der neue Ansatz machte sich zunutze, dass alle Gebiete um die kryogenen Komponenten, bedingt durch die tiefen Temperaturen, niedrige Dichten haben, sodass die Grundannahmen der TPMC näherungsweise sehr gut erfüllt sind. Schließlich wurden alle kryogenen Bereiche (siehe Abbildung 8) durch ein pumpendes Ersatzvolumen beschrieben. Mit diesem Ersatzvolumen ging es in die nächste Simulationsstufe (Abbildung 9).

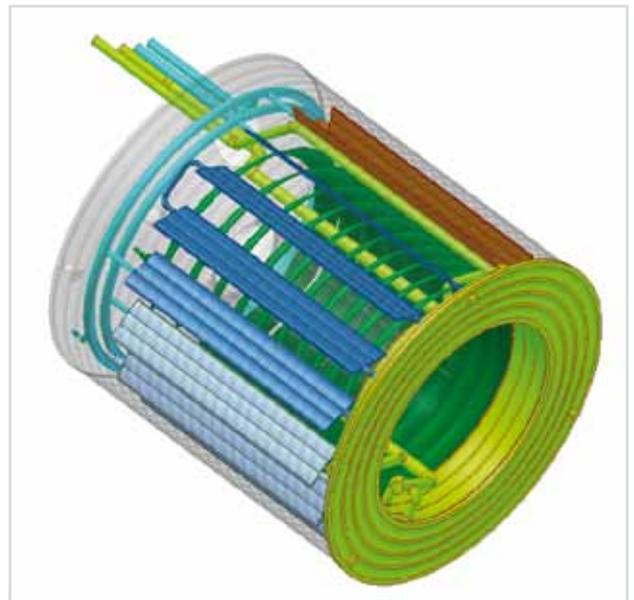


Abb. 8: Die kryogenen Teile der Pumpe werden durch ein Ersatzvolumen (Zylinderschale) ersetzt.

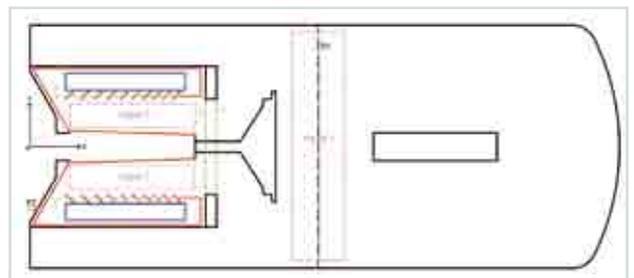


Abb. 9: Vereinfachtes 2D-Modell des TIMO-Aufbaus.

Dafür entwickelten die Wissenschaftler einen Code basierend auf dem DSMC-Verfahren (Direct Simulation Monte Carlo). Dieses Verfahren ist mathematisch und vom Rechenaufwand her höchst anspruchsvoll, bietet aber innerhalb der gemachten Annahmen eine exakte Beschreibung der Strömungsform bei korrekter Berücksichtigung intermolekularer Wechselwirkungen. Der Hauptnachteil des Verfahrens – es lassen sich nur relativ einfache Geometrien beschreiben, wenn die Rechenzeit

akzeptabel bleiben soll – war wegen des vorangegangenen Tricks mit dem Ersatzvolumen nicht von Bedeutung.

Die Ergebnisse waren ausgesprochen überzeugend. Abbildung 10 vergleicht die berechneten mit den gemessenen Saugvermögen für verschiedene Ventilpositionen und Gasarten bei einem konstant gehaltenen Gasfluss.

Da die Funktionalität des Ansatzes durch die gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment ausreichend validiert wurde, verwendeten die Forscher ihn auch zur Berechnung anderer Größen. Dabei machten sie sich einen weiteren Vorteil des DSMC-Verfahrens zunutze: Die DSMC-Lösung erfüllt die Boltzmann-Gleichung, das heißt, dass sich alle makroskopischen Größen wie Geschwindigkeiten, Druck, Dichte, Temperatur und Energieeintrag aus der Simulation heraus berechnen lassen. Dies ist beispielsweise in Abbildung 11 für die Mach-Zahl dargestellt. Es wird offensichtlich, dass bei großen Ventilöffnungen Überschallgeschwindigkeiten am Injektionsrohr induziert werden – also weit stromaufwärts der Pumpe – und dass bei kleinen Ventilöffnungen zusätzlich Überschallgeschwindigkeiten am Ventilkopf resultieren, die das Saugvermögen überproportional herabsetzen. Dies erklärt die steile Abnahme des Saugvermögens bei kleinen Ventilöffnungen, wie in Abbildung 10 gezeigt.

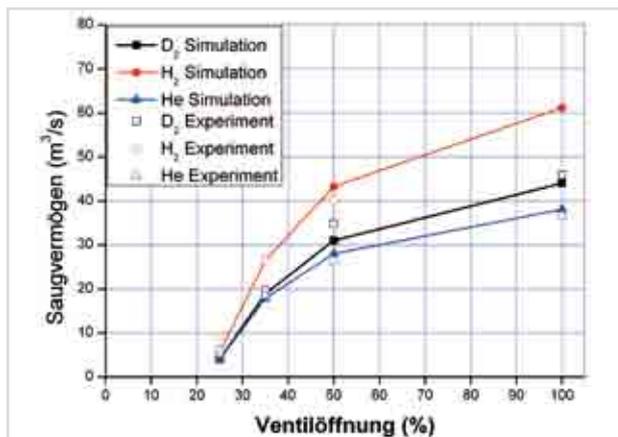


Abb. 10: Vergleich der Simulationsergebnisse mit den TIMO-Messungen.

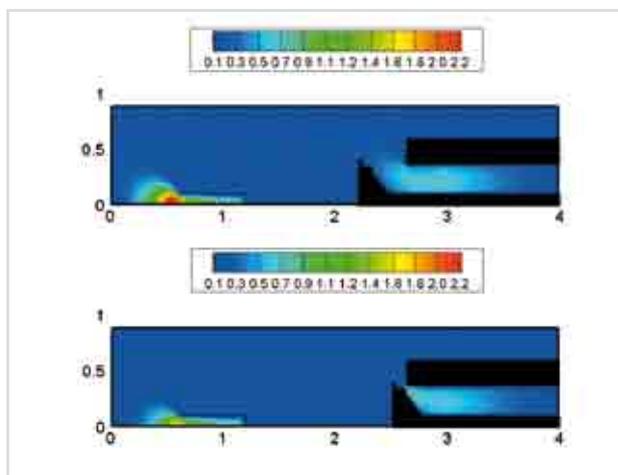


Abb. 11: Darstellung der Machzahl-Konturen für Helium und zwei Ventilpositionen (100 Prozent geöffnet und 25 Prozent geöffnet).

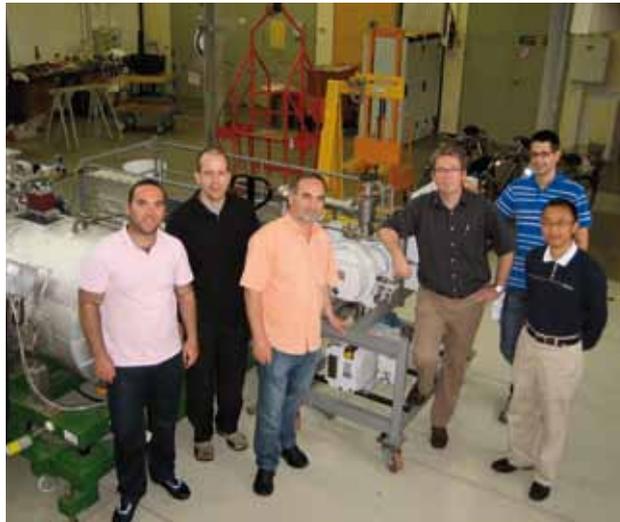


Abb. 12: Die „Vakuumströmer“ vor der Versuchsanlage TRANSFLOW.

Mit diesem Ansatz gelang es wohl überhaupt zum ersten Mal, eine so komplexe Komponente wie eine Kryopumpe im gesamten Strömungsbereich zu simulieren. Dieses überzeugende Ergebnis bildet einen weiteren wichtigen Baustein der Expertise des Forschungsbereichs Vakuumtechnik.

Die Forscherinnen und Forscher entwickeln den erfolgreichen Ansatz weiter. Im ITER-Betrieb soll er zur Steuerung der Kryopumpen eingesetzt werden. Dafür ließe er sich mithilfe einer grafischen Benutzeroberfläche den ITER-Operateuren zugänglich machen. Außerdem ist der Ansatz generell geeignet, Bereiche hoher Neutralgasdichte mit thermischen Gradienten zu simulieren, was beispielsweise bei der Auslegung neuer Divertorkonzepte für DEMO (Super-X) besonders wichtig werden wird.

Die Strömungsgruppe (Abbildung 12) richtet 2011 einen Workshop mit den international führenden Wissenschaftlern auf diesem Gebiet aus.



*Kompressoranlage der 2 kW-Anlage.*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Kryotechnik

*Leitung: Dr. Holger Neumann*

### Kryotechnik für die Fusion

Die kryotechnischen Arbeiten im Programm „Fusion“ konzentrierten sich 2010 darauf, die Prototypstromzuführungen für W7X fertigzustellen und zu testen sowie mit dem Aufbau des Stromzuführungsteststands Current Lead Test facility Karlsruhe (CuLTka) zu beginnen.

### Vorbereitung und Test der W7X-Prototypstromzuführungen

Nach den Planungs- und Konstruktionsarbeiten für den Testkryostat im Jahr 2009 folgte 2010 der Bau des Testkryostaten und dessen Anschluss an TOSKA. Dafür passten die Forscherinnen und Forscher auch die Verrohrung und die Sensorinstallationen von TOSKA an und prüften sie im Rahmen eines erfolgreichen Kalttests. Weiterhin bauten sie eine Transferleitung auf, die den Testkryostat mit den Hauptkryostaten B300 von TOSKA verbindet. Der Testkryostat und das Kühlschild (siehe Abbildung 1) wurden erfolgreich leckgetestet, evakuiert und mehrfach gespült.

Anschließend bauten Wissenschaftler die Prototypstromzuführungen und den Kurzschlussbügel ein und brachten die paschenfeste Isolation an. Diese bestand den Paschentest zunächst nicht; der Fehler ließ sich letztlich aber finden und beheben. Der Prototypentest der Stromzuführung lief ohne Zwischenfälle erfolgreich ab. Die Berechnungen für Temperaturen, Wärmeeinfall und benötigte Massenströme stimmen mit dem gemessenen Werten überein.

Damit ist es weltweit erstmals gelungen, eine supraleitende Stromzuführung, bei der das kalte Ende oben und das warme Ende unten angebracht wurde, zu bauen und erfolgreich zu testen.



*Abb. 2: Installation und Anschluss an B300.*



*Abb. 3: Testkryostat mit Prototypstromzuführungen im Test.*



*Abb. 1: Testkryostat mit Kühlschild.*

### CuLTka – Current Lead Test facility Karlsruhe

Für CuLTka baute der Bereich Kryotechnik zunächst eine Bühne auf, in der sich die einzelnen Kryostaten einbauen lassen. Er richtete eine Messkabine für die entsprechenden Zwecke her und nahm die Innenausbauarbeiten für Strom, Klima etc. vor.

Die Spezifikation für die Kontrollbox mit den dazu gehörenden Transferleitungsabschnitten und das LN<sub>2</sub>-System wurden 2010 weitgehend abgeschlossen, sodass die Ausschreibungen im Frühjahr 2011 an die Industrie verschickt werden können. Die Fertigungszeichnungen für die erste Ventilbox und den zweiten Testkryostaten wurden fertiggestellt, die meisten Materialien und auch Komponenten wurden 2010 bestellt und auch geliefert, sodass auch die Fertigung und die Montage beginnen konnten.

### Kryotechnik für REUN

Im Rahmen des Programms „Rationelle Energieumwandlung und -nutzung (REUN)“ band der Bereich Kryotechnik des ITEP am thermischen Isolationsteststand THISTA ein zusätzliches Regelventil ein, um den Druck im Kryogenreservoir konstant zu halten. Diese Maßnahme ermöglicht Messungen mit erhöhter Konstanz und Genauigkeit unabhängig vom schwankenden Umgebungsdruck.

Um den Degradationseinfluss von T-Stellen beim Einsatz von Superisolation zu untersuchen, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit mehrere Messungen an einem Zylinder mit Querstreben durchgeführt (siehe Abbildung 4), der auf verschiedene Weise mit Superisolation isoliert worden war. Die Oberfläche dieses Zylinders mit Querstreben ist identisch mit der eines zuvor untersuchten glatten Zylinders.



Abb. 4: Isolierter Behälter mit T-Stücken.

Die Ergebnisse an diesem nicht abwickelbaren Körper zeigen eindeutig, dass die Isolationsqualität aufgrund zahlreicher Trennstellen enorm degradiert wird. Daher sind bei komplexen Geometrien Alternativen in Form von Schüttgütern in Betracht zu ziehen.

Es ist geplant, das Kalibrierlabor für Temperatursensoren mit dem Ziel einer Akkreditierung zu modernisieren. Dazu nahm der Bereich Kryotechnik Kontakt mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) auf und schickte ihr einen RhFe-Fühler, der als Standardfühler im Kalibrierkryostaten fungiert, zur Eichung. Für die Modernisierung überarbeitete er ein Rohrleitungs- und Instrumentierungs- (R&I)-Schema des Kalibrierkryostaten und wählte neue Geräte für eine verbesserte Mess- und Prozesstechnik aus. Für die Prozesstechnik ist bereits ein Lastenheft erstellt.

Da sich beim bisherigen Ausbau bereits erste Ausfälle gezeigt hatten, griffen die Wissenschaftler schon 2010 zu mehreren Maßnahmen, um den laufenden Kalibrierbetrieb zu gewährleisten. So ersetzten sie das Heizband für die Heliumanwärmung durch ein Wasserbad mit herausnehmbarem Rohrsystem. Auch den Vakuumpumpstand tauschten sie aus; inzwischen wird eine Turbomolekularpumpe mit Vorpumpe eingesetzt. Zur Absicherung des Pumpstandes dient ein Schieber. Um ein hohes Saugvermögen der Pumpe zu gewährleisten, wurde die Pumpe in einem Aluminiumprofil direkt am Kalibrierkryostaten installiert.

Im Rahmen der Sensorentwicklungen entwickelten die Forscher einen FBG-Massenstromsensor, bei dem ein bewegliches Wanelement aufgrund der Wandschubspannung der Strömung die Dehnung einer Glasfaser mit FBG-Sensor bewirkt. Wesentliche Vorteile dieses Sensors sind:

- Er ist magnetfeldunabhängig,
- Es kommt nicht zu Strömungsverlusten, da keine zusätzlichen Einbauten, welche die Strömung beeinflussen würden, vorhanden sind,
- Nur der Prototypsensor muss kalibriert werden; alle baugleichen Sensoren können diese Kalibrierung nutzen.

Um einen derartigen Sensor zu kalibrieren, wurde eine kryogene Strömungsstrecke konzipiert, ausgelegt und konstruiert. Es ist vorgesehen, diese Strömungsstrecke 2011 bei THISTA aufzubauen, um deren Einrichtungen zu nutzen, wie den Wasserbadanwärmer und vor allem die Laminaflowelemente zur Messung des Massenstroms.

Weiterhin entwickelte der Bereich Kryotechnik einen FBG-Wegmesser für unterschiedlichste Längenmessungen mit einer Genauigkeit von 20 pm/μm. Erste Untersuchungen haben die Eignung bei kryogenen Temperaturen gezeigt. Weitergehende Untersuchungen folgen 2011, wobei die Untersuchung der jeweiligen Materialien und Verbindungen im Vordergrund stehen.

In Verbindung mit dem Bereich Hochfeldmagnete des ITEP bestückte der Bereich Kryotechnik eine Testspule (NbTi) mit FBG-Sensoren. Damit ließen sich die entstehenden mechanischen Spannungen beim Rampen und beim Quench ermitteln. Dieser erste Versuch kann daher für weitere Messungen und ein zukünftiges Messsystem wegweisend sein.



Abb. 5: NbTi-Test-Spule mit FBG-Sensoren.



Abb. 6: LN<sub>2</sub>-Abfüllstation.

### Kryoinfrastruktur

Zu den Arbeiten an der Kryoinfrastruktur gehörten umfangreiche Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufgaben, die Erweiterung und Anpassung und der Betrieb vorhandener sowie die Planung, Erstellung und Inbetriebnahme neuer Tieftemperatur-Experimentier- einrichtungen für die Forschungsvorhaben.

Die 300 W-(1,8K)-He-Tieftemperaturanlage war im Berichtszeitraum 943 Stunden in Betrieb. Davon entfielen 155 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 52 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage, sodass 736 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich geleistet wurden. Die 2 kW-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage war circa 2120 Stunden in Betrieb. Davon entfielen 396 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 239 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage. Damit wurden 1496 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich Fusion erbracht. Insgesamt verflüssigten die Anlagen etwa 123 363 Liter Helium, wobei 76 933 Liter für Experimente im ITEP und 46 430 Liter an Fremdinstitute ausgegeben wurden.

Eine wesentliche Verbesserung bildete die Installation einer automatisierten LN<sub>2</sub>-Abfüllstation (siehe Abbildung 6). Die Benutzung wird durch Einscannen eines Barcodes von nur an eingewiesene Personen ausgegebenen Karten freigegeben. So wird die Benutzung durch nicht sachkundiges Personal vermieden und die Sicherheit erhöht. Des Weiteren wird die abgefüllte Menge abgewogen und kann Fremdinstituten in Rechnung gestellt werden.

Eine weitere Verbesserung brachte der Ersatz der Öldiffusionspumpen durch Turbomolekularpumpen für die Isolationsvakua an der Coldbox und an der Ventilbox der 2-kW-He-Tieftemperaturanlage (siehe Abbildung 7). Bei längerem Betrieb kam es früher zu einer Rückströmung des Öls in den Vakuumraum, was die Superisolation verschmutzte und damit deren Qualität verminderte. Die neuen Turbomolekularpumpen vermeiden eine derartige Verschmutzung und verbessern das Vakuum.

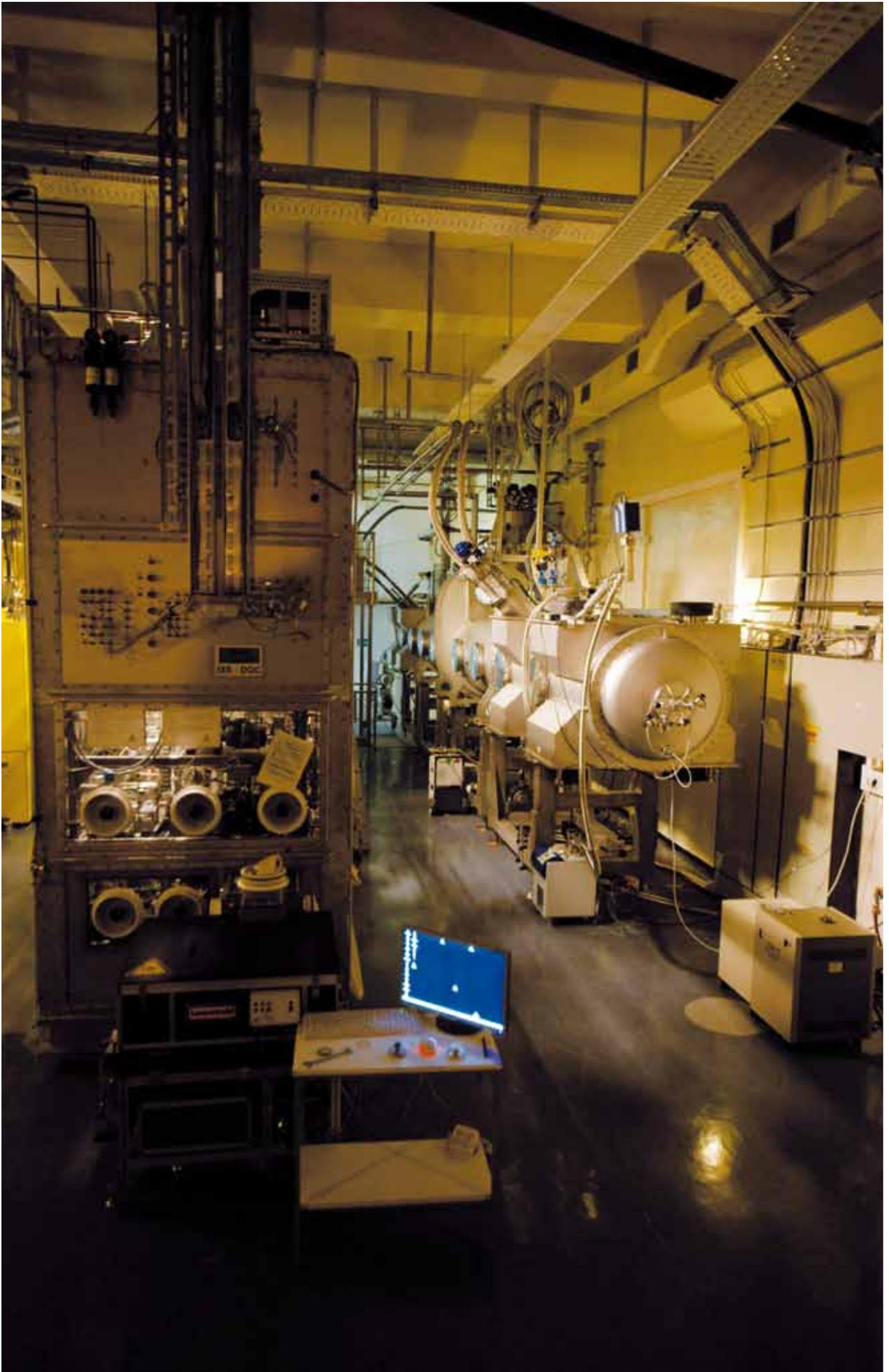
Die drei Verdichter V20, V29 und V40 der Rückgewinnungsanlage wurden nach 2000 Stunden Betrieb einer

Revision unterzogen. Neben dem standardmäßigen Filterwechsel wurden auch die Saug- und Druckventile revidiert. Weitere größere Arbeiten an der 2-kW-Anlage bestanden im Wechsel von Temperatursensoren, der Reparatur eines Ventils und dem Austausch eines Wärmeübertragers für die Rückkühlung.

Zur Anpassung der Kryoinfrastruktur an neue Experimente wurden für CuLTKa die Druckmessumformerschränke konzeptioniert, konstruiert, aufgebaut und leckgetestet. Für KATRIN erweiterten die Forscher das PCS7 System hinsichtlich der LN<sub>2</sub>-Versorgung. Dazu übertrugen sie unter anderem das R&I-Schema in WinCC, programmierten die Steuerbausteine und implementierten sie in die Leittechnik. Das LN<sub>2</sub>-Versorgungssystem ging erfolgreich in Betrieb.



Abb. 7: Turbomolekularpumpen mit Steuerung.

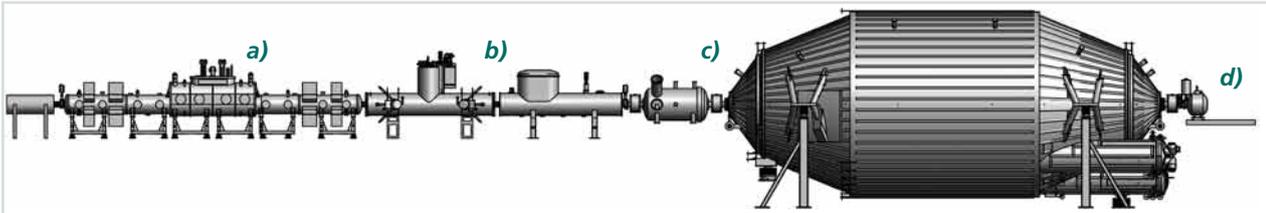


*Es herrscht Ruhe im Labor: rechts der Demonstrator und links die ISS Handschuhbox mit dem LARA Aufbau*

# Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

## Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Leitung: Dr. Beate Bornschein



**Abb. 1:** Schematische Darstellung des internationalen Großexperiments KATRIN. Die bei  $\beta$ -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.

Ziel des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments KATRIN ist die modellunabhängige Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von  $200 \text{ meV}/c^2$ . 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  $\beta$ -Zerfall molekularer Tritiums nahe dem kinematischen Endpunkt von  $18,6 \text{ keV}$ . Dazu werden Elektronen aus einer fensterlosen gasförmigen Tritiumquelle höchster Intensität durch starke Magnetfelder von supraleitenden Magneten adiabatisch durch die 70 Meter lange Experimentiereinrichtung geführt. Ein System aus zwei elektrostatischen Retardierungsspektrometern erlaubt es, die Elektronenenergien mit einer Auflösung von  $0,93 \text{ eV}$  zu bestimmen (Abbildung 1).



**Abb. 2:** WGTS Magnetkryostat. Der 16 Meter lange Kryostat ist technisch äußerst komplex aufgebaut und muss hohe technologische Anforderungen erfüllen. Das System hat zwölf kryogene Kreisläufe; es werden sechs verschiedene Fluide (He, Ne,  $N_2$ , Ar,  $T_2$  und Kr) eingesetzt.

Derzeit ist eine weltweite Kollaboration mit mehr als 150 Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern unter Federführung des KIT damit befasst, dieses Schlüsselexperiment der Astroteilchenphysik am und im Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) aufzubauen. Die ersten Daten werden 2012 erwartet. Design, Aufbau und erfolgreiche Ausführung des Experiments KATRIN stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, besonders die Tritiumverfahrenstechnik, die Ultra-hochvakuum- und die Kryotechnik sowie die Hochspannungsstabilisierungstechnik. Darüber hinaus bedarf es eines funktionierenden Projektmanagements, um die Einteilung der personellen und finanziellen Ressourcen mit den zeitlichen und inhaltlichen Zielen von KATRIN zu vereinbaren.

Im Rahmen von KATRIN ist das ITEP verantwortlich für die Tritiumprozesstechnik sowie für die Magnet- und die Kryotechnologie; es stellt die Leitung auf diesen Gebieten. Die Arbeit des ITEP ist zu über 95 Prozent im sogenannten Quell- und Transportsystem von KATRIN angesiedelt, das in Abbildung 3 als Blockbild dargestellt ist. Wegen der Handhabung von Tritium wird das System komplett im TLK aufgebaut.

Hauptbestandteil ist ein WGTS genanntes supraleitendes Magnetsystem von 16 Metern Länge, das in seinem  $30 \text{ K}$  kalten Strahlrohr die gasförmige Tritiumquelle beherbergt (siehe Abbildung 2). Außerdem befinden sich auf der Strahlachse im rückwärtigen Teil das sogenannte Kalibrations- und Monitoringsystem (CMS-R) und im vorderen Teil – Richtung Spektrometer – das Transportsystem. Dieses hat die Aufgabe, die Tritiumzerfallselektronen ins Spektrometer zu leiten und gleichzeitig über Pumpen den Tritiumgasfluss ins Spektrometersystem um mehr als zwölf Größenordnungen zu reduzieren. Dies geschieht einerseits mithilfe der differentiellen Pumpstrecke DPS2-F und andererseits – als letzte Stufe – mit der kryogenen Pumpstrecke CPS, die bei  $3,5$  bis  $4 \text{ K}$  betrieben wird. Zusätzlich dargestellt sind in Abbildung 4 die Tritium-

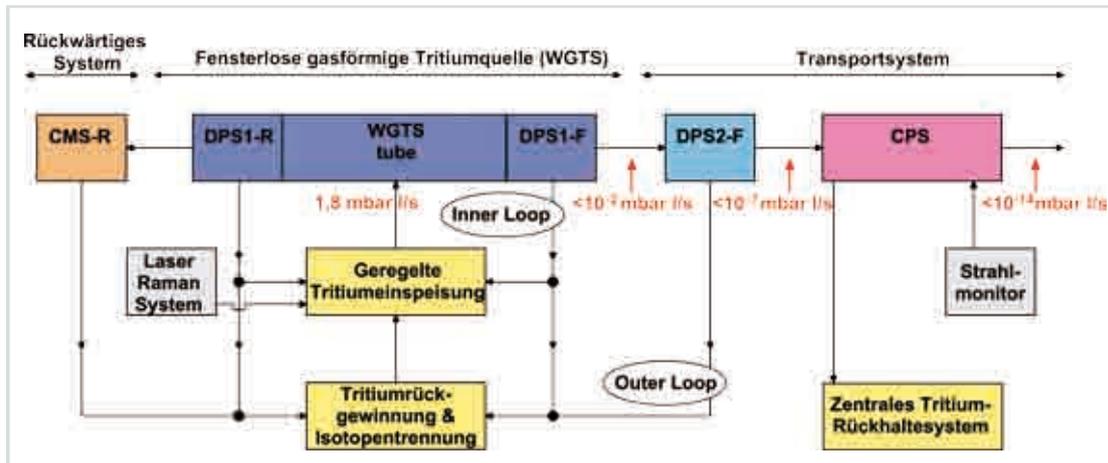


Abb. 3: Blockbild der KATRIN Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des TLK.

kreisläufe (Inner Loop, Outer Loop), die für eine geregelte Tritiumgasinspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werten von über 95 Prozent halten. Das gleichzeitige Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases sorgt letztendlich für eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS (= Tritiumquelle).

Sowohl DPS2-F als auch CPS sind supraleitende Magnetssysteme, sieben beziehungsweise neun Meter lang. Sie werden oder wurden (DPS2-F) wie die WGTS bei externen Firmen gefertigt und fertigungsbegleitend vom ITEP betreut. Im Folgenden ist der aktuelle Stand der Arbeiten dargestellt.

#### WGTS und Demonstrator

Die WGTS wird aktuell von der Firma RI, die Magnete werden von BASC gebaut, beides im Auftrag von VARIAN. Die Firma VARIAN hat durch Kauf der Firma ACCEL den ursprünglichen Vertrag übernommen und dann die Firmen RI und BASC – Teile der ehemaligen ACCEL – mit dem Aufbau beauftragt.

Die technische Begleitung der Konstruktion und der Fertigung bei industriellen Partnern bedeutet für das ITEP großen Aufwand: Zum einen ist der Aufbau der WGTS höchst komplex, und die Anforderungen an die Kühlung sind extrem hoch (30 K stabilisiert auf 0,1 Prozent). Zum anderen wird die WGTS später einen Tritiumdurchsatz von  $1,5 \times 10^{16}$  Bq pro Tag (40 Gramm) haben und unterliegt als tritiumführendes System hohen Qualitätsanforderungen. Wegen des äußerst anspruchsvollen Kühlkonzepts für das Quellrohr wurde zuerst Vorversion der WGTS gebaut, ein sogenannter Demonstrator, der noch nicht die Magnete und den zentralen Heliumtank enthält. Parallel dazu werden die sieben supraleitenden Magnetmodule, der Heliumtank und weitere Unterbaugruppen, die zur differentiellen Pumpstrecke der WGTS gehören, angefertigt.

Während es bei den Magnetmodulen zu technischen Schwierigkeiten beim Hersteller kam, die das Projekt verzögerten und ein noch stärkeres Engagement der ITEP-Magnetspezialisten notwendig machten, verlief das Demonstratorprojekt zufriedenstellend. Der Demonstrator wurde im April 2010 geliefert (siehe Abbildung 4) und auf dem für den Test vorgesehenen Platz im TLK aufgebaut. In den folgenden Monaten wurde die Maschine mit dem Refrigerator verbunden und bezüglich MSR und Automatisierung auf die Erstinbetriebnahme vorbereitet. Kurz vor Weihnachten 2010 wurde der Demonstrator dann das erste Mal auf 30 K gekühlt. Damit war ein wich-



Abb. 4: Anlieferung des Demonstrators und Einbringung in das TLK am 8. April 2010.

tiger Meilenstein des KATRIN Projekts erreicht. Die eigentlichen Stabilitätstests sind für 2011 vorgesehen.

#### DPS2-F

Nach monatelangen Montagearbeiten wurde die von ASG/Genua gelieferte DPS2-F im September 2010 im Rahmen der Abnahmeprüfungen das erste Mal kaltgefahren und getestet (siehe Highlight). Damit war ein weiterer wichtiger Meilenstein von KATRIN erreicht.

#### CPS

Die CPS wird von der Firma ASG in Genua gefertigt. Aufseiten von KATRIN begleitet ein institutsübergreifendes Projektteam die Fertigung. Der Schwerpunkt der Qualitätssicherungsarbeiten im Jahr 2010 lag auf den Kontrollen der Vorprüfunterlagen sowie den Inspektionen in Italien, bei denen unter anderem Schweißnähte überprüft und Lecktests durchgeführt wurden. Parallel dazu beendeten die Kryospezialisten des ITEP die Kalibrierarbeiten an den Sensoren (beispielsweise 16 RhFe Fühler) der CPS und schickten diese rechtzeitig zum Einbau nach Genua.

Die Fertigung der CPS in Genua verlief weitestgehend nach Plan. Alle sieben Magnetmodule bestanden die Kalttests. Beide Flüssigheliumbehälter (11 Liter und 1300 Liter) sowie das Thermische Schild wurden fertiggestellt und bestanden ebenfalls die QS Tests (siehe auch Abbildung 5). Lediglich bei der Herstellung der Strahlrohrelemente kam es zu einer Verzögerung wegen einer unerwarteten Verkürzung einzelner Elemente nach Hartlötarbeiten zum Anbringen von Heiz-



**Abb. 5:** Thermisches Schild der CPS. In der Mitte des mehr als sieben Meter langen Systems ist der große Turm zu erkennen, der später den großen LHe-Behälter aufnehmen wird.



**Abb. 6:** TRITOP Experiment im Aufbau. Zu sehen sind die beiden beteiligten Pumpen – links Normtex („Dreieck“) und rechts die MAG2800-Turbo-pumpe.

leiten. Die Firma ASG ist gefordert, eine Lösung für dieses Problem zu finden. Die Lieferung der CPS ist nun für den späten Herbst 2011 vorgesehen.

### Kälteanlage & Kryotransferleitung

Im Jahr 2010 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Inbetriebnahme der DPS2-F (siehe Highlight) und des Demonstrators (siehe oben). Das nahezu parallele Kalt-fahren dieser höchst komplexen Systeme erforderte eine präzise Planung und Vorbereitung der Arbeiten durch die Kryogruppe des ITEP und ging mit großem Erfolg vonstatten. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt in 2010 lag auf der Planung, Ausschreibung und Fertigungsbegleitung des dritten Teils der Kryotransferlei-tung und der dritten Ventilbox, die für die kryogene Anbindung der CPS notwendig ist.

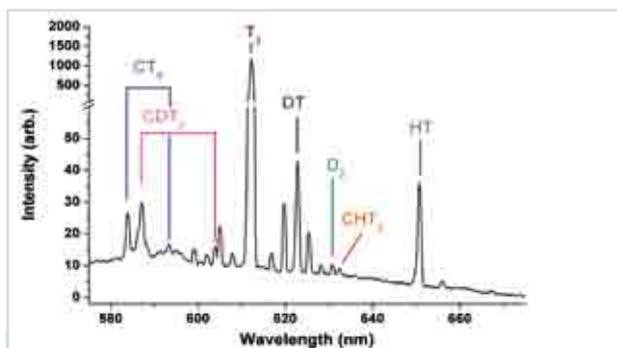
### Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut (unter anderem im Rahmen von Diplom- und Doktorarbeiten). 2010 konzentrierten sich die Hardware-Arbeiten auf den Aufbau der zwei wichtigen Tritiumtestexperimente TRITOP und TRIEX, mit denen spezielle Komponenten unter Tritiumatmosphäre auf ihre Verwendbarkeit für KATRIN geprüft werden. Abbildung 6 zeigt die Hauptkomponenten des TRITOP (Tritium Test of Pump) Experiments, bei dem eine magnetgelagerte MAG2800-Turbopumpe ein Jahr lang demselben Tritiumgasfluss ausgesetzt wird wie später die acht Turbomolekularpumpen an den ersten Pumpkammern der WGTS. Mit TRIEX (Tritium Rear System Experiment) wird die Möglichkeit untersucht, die Tritiumkonzentration in der WGTS mithilfe der Bremsstrahlung zu bestimmen, die in der rückwärtigen Wand der WGTS durch die Zerfallselektronen entsteht. Beide Experimente sollen Anfang 2011 in Betrieb gehen.

Im Fokus der physikalischen Forschung stand die Laser Raman Spektroskopie (LARA) an den Wasserstoffisotopologen  $H_2$ ,  $HD$ ,  $D_2$ ,  $HT$ ,  $HD$  und  $T_2$ . Dabei wurden vor allem Langzeitmessungen mit fast reinem Tritiumgas (bis zu 97 Prozent) im neuen kleinen Testkreislauf LOOPINO durchgeführt. Dieser Kreislauf war 2009 im TLK aufgebaut und in Betrieb genommen worden, um tritiierte Gasgemischungen unter den gleichen Bedingungen zirkulieren zu lassen wie später bei KATRIN. In einer dreiwöchigen Messphase, bei der insgesamt rund 770 Gramm Tritiumgas durch die Apparatur geleitet wurden, wurde nachgewiesen, dass sich die Gaszusammensetzung mit der Zeit ändert und zusätzlich neben den Wasserstoffisotopologen Methan entsteht (siehe Abbildung 7). Beide Effekte lassen sich durch Wasserstoffisotopenaustauschreaktionen und Gas-Wand-Wechselwirkungen erklären – auf einer Edelstahlwand befindet sich Kohlenstoff – und sind auch bei KATRIN zu beachten. 2011 sollen diese Effekte weiter untersucht werden; außerdem soll der Einfluss einer Tritiumatmosphäre auf die bei LARA verwendeten Laserfenster näher erforscht werden.

### Danksagung

Forscherinnen und Forscher des ITEP gingen die Aufgaben für KATRIN bereichsübergreifend an und führten sie erfolgreich aus. Neben dem TLK übernahm naturgemäß der Bereich Kryotechnik einen Großteil der Arbeiten. Alle Teilaufgaben profitierten von einer engen und fruchtbaren Zusammenarbeit mit Studierenden, Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftlern des ITEP, des Instituts für Kernphysik (IK), des Instituts für Experimentelle Kernphysik (IEKP), der Hauptwerkstatt (TID-F) und der KIT-Projektmanagementgruppe (PMQ). Dafür herzlichen Dank!



**Abb. 7:** LARA-Spektrum, aufgenommen im Loopino-Testkreislauf mit einer äußerst reinen Tritiumgas-mischung (circa 97 Prozent), die 21 Tage im Kreislauf war. Die entstandenen Methanspezies (CT<sub>4</sub> etc.) sind deutlich zu erkennen.

### Highlight in 2010: Erstinbetriebnahme der DPS2-F

Nach der Lieferung DPS2-F für KATRIN im Jahr 2009 wurde die Pumpstrecke fast das gesamte Jahr 2010 für die Abnahmeprüfungen vorbereitet. Zu den notwendigen Arbeiten gehörten unter anderem:

- Montage von Hilfsgerüsten und Kabelkanälen,
- Montage aller kryogenen Verbindungsleitungen,
- Aufbau und Verkabelung aller MSR-Schränke und sämtlicher Sensoren (siehe Abbildung 9),
- Installation der Kühlwasser- und Pressluftanschlüsse,
- Installation des Vakuumpumpensystems für das Strahlrohr (siehe Abbildung 10),
- Aufbau einer kleinen Warte im Bau 457 zur Steuerung der DPS2-F vor Ort (siehe Abbildung 8) sowie
- Anpassung der Software für die Automatisierung und Abgleich mit den Automatisierungssystemen von Kryotransferleitung und Refrigerator.

Auch einige technische Probleme, wie beispielsweise eine Undichtigkeit an einem Strahlrohrflansch, waren noch zu lösen. Nachdem auch die erforderlichen Lecktests positiv ausgefallen waren, war die DPS2-F im September 2010 bereit für den ersten Kaltfahrtst.

### Erstes Kaltfahren der DPS2-F

Zum Kaltfahren wird das kryogene System der DPS2-F mit einer Mischung aus Heliumgas von circa 5 K und Heliumgas von circa 300 K durchflutet. Die Mischung wird so eingestellt, dass das Gas anfangs Raumtemperatur hat und dann langsam immer kälter wird. Da die DPS2-F eine Masse von mehreren Tonnen besitzt und das Entstehen mechanischer Spannungen minimiert werden muss, erfolgte ihre Abkühlung äußerst langsam; sie war erst nach rund 20 Tagen beendet (siehe Abbildung 11). Bei diesem ersten Kaltfahrprozess identifizierte das Team einige mögliche technische Verbesserungen, welche die Regelung der Temperaturen künftig etwas vereinfachen werden.

Nach Erreichen der Betriebstemperatur wurden die ersten Magnetfahrversuche unternommen. Dabei wurde schrittweise der Strom durch die Magnete erhöht und abgewartet, ob das System ruhig reagiert. Nachdem ein Strom von etwas mehr als 190 A erreicht worden war, kam es zu einem Quench eines der Magnetmodule.



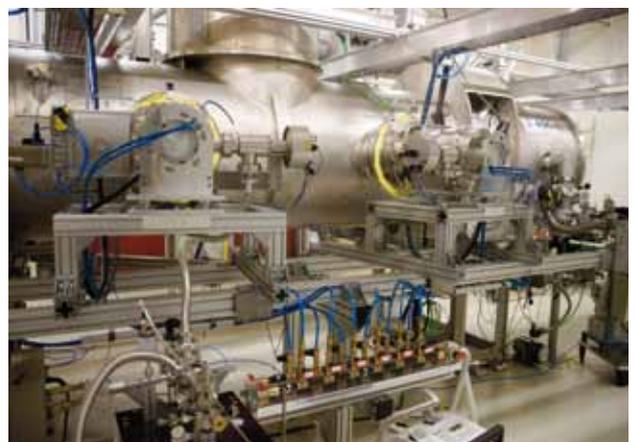
**Abb. 8:** Der kombinierte Betrieb von Refrigerator, Kryotransferleitung mit Ventilbox und DPS2-F erfordert höchste Konzentration und viel Erfahrung.



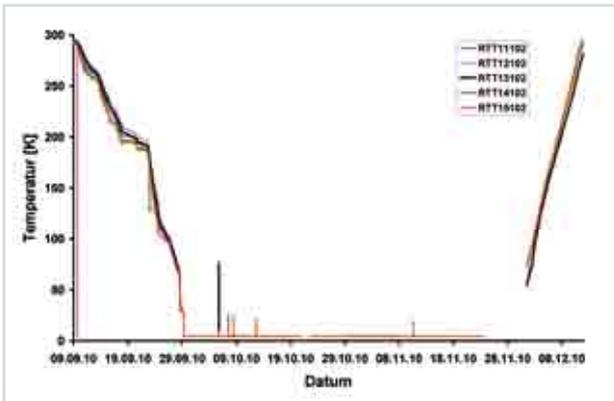
**Abb. 9:** Blick auf die DPS nach Montage aller Verbindungsleitungen (beispielsweise zur Kryotransferleitung).

Quench bedeutet, dass ein Teil der supraleitenden Spule normalleitend wird und durch die nachfolgende Aufwärmung der gesamte Magnet in den normalleitenden Zustand übergeht und sein Magnetfeld verliert. Die im Magneten gespeicherte Energie wird dabei in Wärme umgesetzt, was zu einem schlagartigen Verdampfen des vorrätigen flüssigen Heliums führt.

Nachdem sich dieses Ereignis in den darauffolgenden Tagen wiederholte, entschlossen sich die verantwortlichen Wissenschaftler, die weiteren Inbetriebnahmetests mit einem Magnetstrom von 185 A (statt der spezifizierten 200 A) durchzuführen, was einem Magnetfeld von etwa 5,2 T entspricht. Trotz dieser Maß-



**Abb. 10:** Blick auf die Pumpkammern #2 und #3 und die daran montierten Zugschieber und Turbomolekularpumpen vom Typ MAG2800.



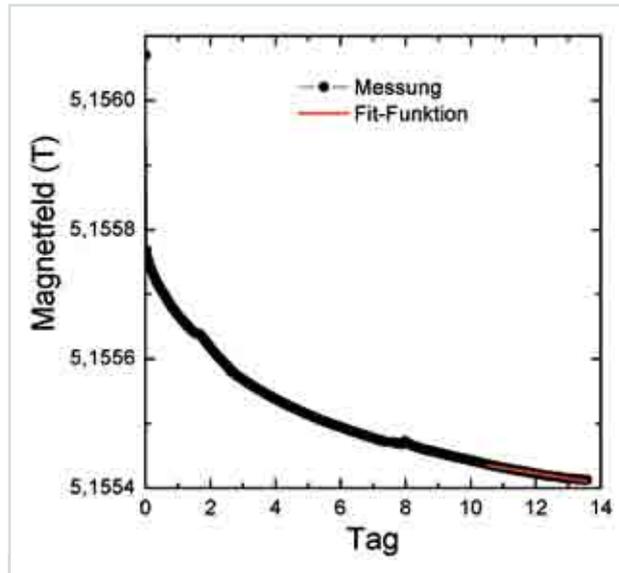
**Abb. 11:** Temperaturkurve der fünf Magnetmodule der DPS während der ersten Inbetriebnahme. Die fünf Spitzen im Oktober und November sind die Temperaturerhöhungen bei den Magnetquenchen beziehungsweise bei einer schnellen Entladung des Felds über die Sicherheitsdioden.

nahme kam es in der Folge noch einmal zu einem Quench, allerdings verursacht durch ein technisches Problem, das erkannt und abgestellt wurde. Die Vertreter der Firma ASG waren in dieser Zeit vor Ort; alle Entscheidungen wurden mit ihnen abgestimmt.

### Messung der Magnetfeldstabilität

KATRIN stellt folgende Anforderung an die Magnetfeldstabilität der DPS2-F: Der Abfall des Felds soll in einem Zeitraum von 60 Tagen (entsprechend einer Messperiode) kleiner als 0,01 Prozent sein. Umgerechnet in eine Zeitkonstante für einen exponentiellen Abfall, muss diese größer als  $5,2 \times 10^{10}$  s sein.

Die Magnetfeldstabilität wurde bei einem Magnetstrom von 185 A mit einer NMR-Sonde von METROLAB gemessen, die in der Mitte des fünften Magnetmoduls montiert war. Ihre Temperatur wurde auf 36°C stabilisiert, um die Luftkondensation an der Sonde zu verhindern. Die gemessene Magnetfeldstabilität zeigt einen exponentiellen Abfall des Magnetfelds mit der Zeit (Ab-



**Abb. 12:** Messung der Magnetfeldstabilität in Modul 5 im Zeitraum vom 26. Oktober bis 9. November 2010. Die rote Linie ist im Text erklärt.

bildung 12). In den ersten drei Tagen nach dem Einschalten in den Persistent-Modus, das heißt autarken Betrieb der Magnete ohne Strom in den Stromzuführungen, ist der Feldabfall viel steiler als in den folgenden Tagen, weil sich die Ströme in den einzelnen Filamenten des Multi-Filament-Supraleiters umverteilen. Deswegen lässt sich der gesamte Verlauf nicht mit einer einzigen Feldabfallszeit beschreiben. Wird die exponentielle Funktion über die Messungen der vorangegangenen Tage gelegt, so ergibt sich eine Feldabfallszeit von  $5,55 \times 10^{10}$  s (siehe rote Linie in Abbildung 13). Dies liegt sehr nah am geforderten Wert und ist damit ein gutes Ergebnis.

Da die Feldabfallszeit mit der Zeit immer kleiner wird, muss KATRIN später nach dem Einschalten des Persistent Modus lediglich einige Tage warten, um in den Bereich der geforderten Abfallzeiten zu kommen.

# Lehre und Bildung

## Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

### Vorlesungen

KIT – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
WS 09/10-10/11 – Supraleitende Systeme für Ingenieure (Noe, Neumann, Siegel)

SS 10 – Supraleitertechnologie (Noe, Schlachter, Weiss)  
SS 10 – Seminar Projektmanagement für Ingenieure (Noe, Day, Grohmann)

KIT – Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

WS 09/10-10/11 – Vakuumtechnik I (Day)  
WS 10/11-10/11 – Kryotechnik (Neumann)

KIT – Fakultät Maschinenbau

WS 09/10-10/11 – Fusionstechnologie I\* (Fietz, Weiss)  
SS 10 – Fusionstechnologie II\* (Bornschein, Day)

Leibniz Universität Hannover – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

SS 10 – Neue Komponenten der elektrischen Energieversorgung\* (Noe)

Dresden International University – Masterstudiengang Wasserstofftechnologie

SS 10 – Kernfusion (Bornschein)

Fachhochschule Karlsruhe – Masterstudiengang Maschinenbau und Mechatronik

WS10/11 – Wärmeübertragung (Grohmann)

Duale Hochschule BW – Fachbereich Maschinenbau

WS 09/10-10/11 – Konstruktionslehre I (Bauer)  
SS 10 – Arbeitssicherheit und Umweltschutz (Bauer)  
WS 09/10-10/11 – Thermodynamik I für Maschinenbauer (Neumann)  
SS 10 – Technische Thermodynamik II für Maschinenbauer (Neumann)

### Seminare / Sommerschulen

1<sup>st</sup> ITEP Young Scientists Seminar  
18.–21. Januar 2010, Schruns, Österreich

VDI-Seminar Kryotechnik  
23.–25. Februar 2010, Karlsruhe

2. Tagung Zukunft und Innovation der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern  
16.–17. März 2010, Bonn

3. Karlsruhe-Dresden Doktorandenseminar zur Supraleitung  
9.–11. Juni 2010, Bad Liebenzell

4<sup>th</sup> ESAS Summer School on Materials and Applications on Superconductivity  
12.–16. Juli 2010, Karlsruhe

CIGRE Workshop on Status of High-Temperature Superconducting Power System Applications  
25. August 2010, Paris, Frankreich

4<sup>th</sup> International Summer School on Fusion Technologies  
6.–17. September 2010, Karlsruhe

Haus der Technik, Seminar Kryostatbau  
8.–10. September 2010, Karlsruhe

VDI Seminar Cryogenics  
15.–17. September 2010, Karlsruhe

# Lehre und Bildung

## Diplom-, Bachelor-, Master-, Studien-, Techniker- und Doktorarbeiten

### Betreute Diplom-/ Bachelor-/ Masterarbeiten 2010 (\* abgeschlossen)

#### Thomas Voigt\*

Rückkühlverhalten von Supraleitern in Fehlerstrombegrenzern

#### Rolf Schön\*

Untersuchung eines BIXS-Detektors zur Messung der Tritiumkonzentration in Wasser

#### Florian Priester\*

Systematische Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten des KATRIN Tritiumloops

#### Sebastian Fischer\*

Untersuchungen der Laserstabilität im KATRIN Raman-Aufbau und erste Depolarisationsmessungen mit Tritium am TLK

#### Frank Wandschneider\*

Messungen der thermischen Isolationsqualität von Superisolation (Vakuum-Vielschichtisolation) zwischen Raumtemperatur (» 300 K) und LN2-Temperatur (» 77 K)

#### Oliver Näckel\*

Supraleitendemagnetische Energiespeicher zum Ausgleich fluchtender regenerativer Energieerzeugung

#### Thomas Giegerich\*

Theoretical and experimental investigation of rarefied gas flows under vacuum through various duct geometries

#### Patrick Lenz\*

Genauigkeitsanalyse für ein kalorimetrisches Messprinzip zur Messung der thermischen Isolationsqualität im Tieftemperaturbereich

#### Stefan Welte\*

Erstellen eines Designvorschlages für eine Experimentieranlage zur Detritierung von hochtritiertem Wasser mittels eines membranreaktors

#### Christian Pulch\*

Umfassende Betriebskostenschätzung und -planung für das Projekt KATRIN

#### Katrin Lehmann (STOPA Anlagenbau GmbH u. Co KG)\*

Konstruktion einer Hubwelle für ein Regalbediengerät und Definition der Konstruktionsprinzipien

#### Marius Beisel (BLANCO GmbH + Co KG)\*

Rüstanalyse und -Optimierung im Bereich KSA Element

#### Philipp Herwig

Aufbau des endgültigen Laser Raman Systems für KATRIN

#### Marco Röllig

Rear Wall tritiumexperiment

#### Tobias Bode

Untersuchungen zum thermischen Verhalten der Tritiumquelle im KATRIN-Experiment

#### Kerstin Schöning

Test von Anti-Reflexionsbeschichtungen unter Tritiumatmosphäre für KATRIN

#### Jicheng Li

Investigation of FBG based displacement sensors for low temperature applications

#### Teresa Parracho

Helium and Hydrogen Permeation Experiments with MFI Zeolite Membranes for Tritium Processes

#### Timo Fabian Henninger

Konstruktion der letzten beiden Elektrodenmodule für das KATRIN Experiment

### Betreute Studienarbeiten 2010 (\* abgeschlossen)

#### Sebastian Stämmler (TVT Campus Süd)\*

Membranverfahren zur Abtrennung von Wasserstoff und Wasserdampf

#### Severin Strauß\*

Untersuchung der Machbarkeit von supraleitenden Windkraftgeneratoren

#### Christian Pulch\*

Internes Benchmarking in einem wissenschaftlichen Institut

#### Roland Richter

Erstellung eines Programms zur Auslegung und Validierung von Vakuumsystemen beliebiger Komplexität auf Server – Client Basis

#### Stanislav Plohotski

Materialcharakterisierung für den Kryostatbau

#### Maurizio Festa

Experimentelle Untersuchung der thermischen Isolationsqualität von Microsphere-Hohlglasskugeln und Perlit an einem Körper mit nicht abwickelbarer Oberfläche

### Austauschprogramm DH-Studenten mit Industriepartner, Fa. Babcock Noell (Ramona Kuhn, Kerstin Brohl und Clemens Frenzel)

## Duale Hochschule Baden-Württemberg 2010 (\*abgeschlossen)

### Christian Pulch\*

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

### Kerstin Brohl

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

### Clemens Frenzel

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

### Isabelle Ehleben

Maschinenbau – DH-Karlsruhe

### Marcus Oberle

Maschinenbau – DH-Mannheim

### Pit-André Singer

Elektrotechnik – DH-Karlsruhe

### Beate Frank

Mechatronik – DH-Karlsruhe

### Michael Schmidt

Maschinenbau – DH-Mannheim

### Nadja Kästle

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

### Steffen Mundt

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

### Sascha Singer

Elektrotechnik – DH-Karlsruhe

### Nando Gramlich

Maschinenbau – DH-Mannheim

### Manuel Mungenast

Elektrotechnik – DH-Karlsruhe

## Doktorarbeiten 2010 (\* abgeschlossen)

### Robert Michling\*

Performances Assessment of Water Detritiation Process

### Michael Sturm\*

Aufbau und Test des Inner Tritium Loop von KATRIN

### Alexander Winkler\*

Transient electrical behaviour of ITER PF coils

### André Berger

Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren

### Olaf Mäder

Gleichstrom-Höchststromübertragungsleitungen mit Hochtemperatur-Supraleitern

### Stanimira Terzieva

Preparation and investigation of Roebel-Cables from Coated Conductors

### Christian Barth

Mechanisch stabilisierte Hochtemperatur-Supraleiter-Kabel

### Magnus Schlösser

High-precision Laser Spectroscopy on Hydrogen Isotopologues

### Florian Priester

Optimierung der KATRIN Tritium-Loops

### Philipp Krüger

AC Loss characterization of HTS devices for power applications

### Enrico Rizzo

Thermal-fluid dynamic and electrical optimization of high temperature superconductor current leads for fusion magnet systems

### Martin Babutzka

Entwicklung, Aufbau und Integration des Calibration und Monitoring Systems (CMS) am KATRIN-Experiment

### Sebastian Fischer

Laser Raman Spectroscopy For The KATRIN Experiment

### Zoltan Köllö

Further Development of Tritium analytic devices

### Oliver Näckel

Untersuchung strombegrenzender Spulen

### Thomas Giegerich

Entwicklung eines Vakuumpumpkonzepts für zukünftige Fusionsreaktoren

### Olga Borisevich

Simulation and experimental study of a multi-stage permeation process for tritium recovery in breeder blanket

## Gastwissenschaftler

### Prof. Felix Sharipov

01.08.2009–31.07.2010; University Curitiba/Brasilien

### Anna Kario

25.01.2010–05.02.2010; IFW Dresden/Deutschland

### Prof. Srinivasan Kasthuriagan

19.07.2010–23.07.2010; CCT, Bangalore/Indien

### Tomás Holúbek

05.07.2010–30.07.2010 und 23.08.2010–30.09.2010  
Ansaldo Superconduttori SpA Genua/Italien

### Misdanitis Serafeim

02.08.2010–31.08.2010 und 07.11.2010–07.12.2010  
University of Thessaly Volos/Griechenland

### Michal Vojenciak

01.05.2010–14.11.2010; IEE Bratislava/Slowakei

### Ahmed Alshahrie

16.02.–19.02.2010; Universität Swansea/Großbritannien

### Prof. Dr. Helmut Telle

08.03.–11.03.2010 und 04.10.–08.10.2010  
Universität Swansea/Großbritannien

### Timothy James

16.02.–19.02.2010; Universität Swansea/Großbritannien

### George Ana

13.09.–05.11.2010; National Institute of R & D for Cryogenic and Isotopic Technologies – Valcea/Rumänien

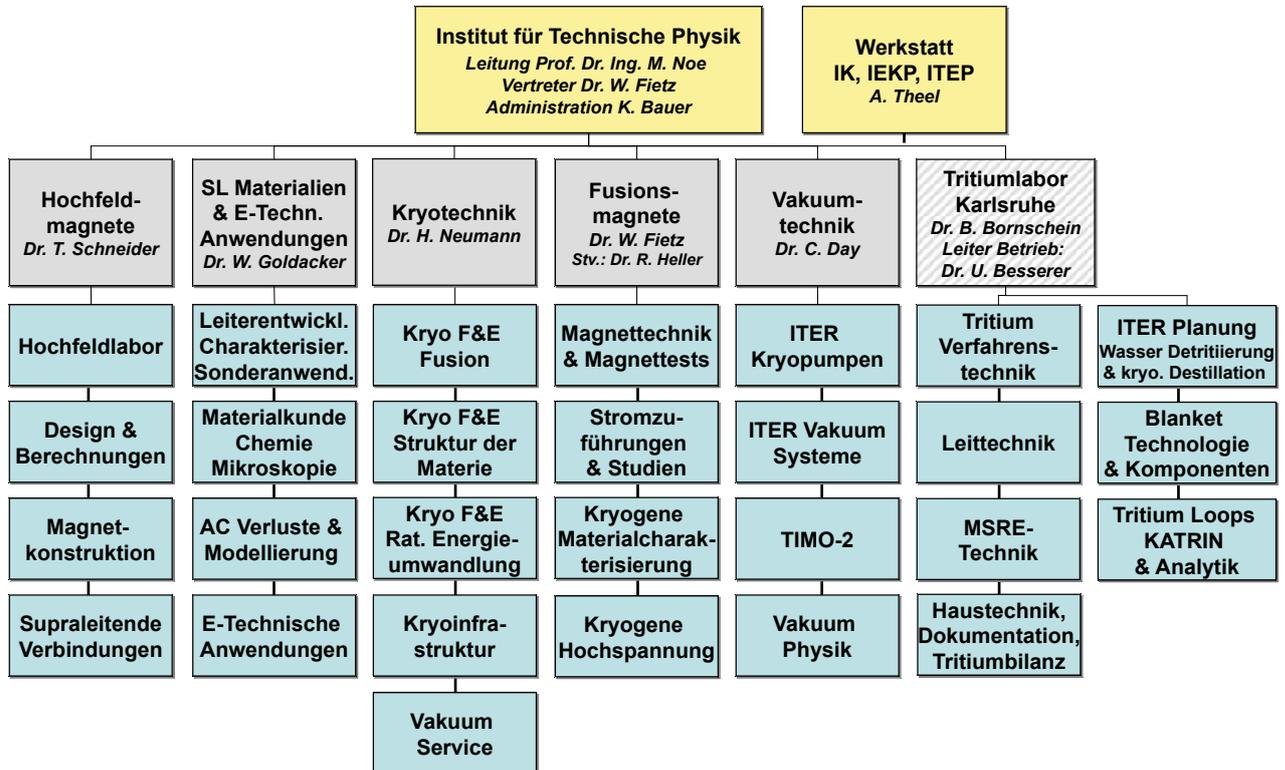
# Lehre und Bildung

## ITEP Kolloquien 2010

2.3.2010	LHD, heliotron reactor design incl. HTS related work Dr. Nagato YANAGI, NIFS, Japan; Fusionsmagn.	10.8.2010	Vorstellung der einzelnen Projekte der Auslandssemester der DH-Studenten K. Brohl, C. Frenzel, C. Pulch; Verw
13.4.2010	Magnetfelder und Helium machen die Lunge sichtbar Dr. S. Karpuk, Uni Mainz; HFL	12.8.2010	Exploring the vortex dynamics with time-resolved magneto-optical imaging Andrea Lucarelli, ETH Zürich; SUPRA
20.4.2010	Ziele und Umfang der WGTS Demonstrator Tests Dr. S. Grohmann; Kryo	21.9.2010	Supraleitender magnetischer Energiespeicher zum Ausgleich erneuerbarer fluktuierender Energieerzeugung Oliver Näckel (Diplomarbeit); SUPRA
27.4.2010	Kryopumpsektion für das KATRIN Experiment – Projektstatus Dr. Woosik Gil; Supra	21.10.2010	Transientes Verhalten der ITER Poloidalfeldspulen A. Winkler; Fusion
3.5.2010	Characterization of the resistivity of commercially available HTS materials over their entire J-B-T domain using ultra-fast regulated current pulses Frédéric Sirois Ecole Polytechnique de Montréal, Canada; Supra	26.10.2010	Theoretical and experimental investigation of rarefied gas flows under vacuum through various duct geometries Th. Giegerich; Vakuum
4.5.2010	Präsentation U-Web 2000 H.-M. Briese; Verw	16.11.2010	Ergebnisse des Prototypentests der W7-X HTS Stromzuführungen Dr. R. Heller; Fusion
8.6.2010	Messungen der thermischen Isolationsqualität von Superisolation (Vakuum-Vielschichtisolation) zwischen Raumtemperatur und LN <sub>2</sub> -Temperatur Wandschneider (Diplomarbeit); Kryo	23.11.2010	Regelungen für Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen Dr. med. Volker List; MED
15.6.2010	Rarefied Gas Dynamics and its application to vacuum technology Prof. Felix Sharipov; Vakuum	30.11.2010	Gas flow computations and measurements under low, medium and high vacuum conditions S. Misdanitis; Vakuum
26.6.2010	R&D „Activities of HTS technologies at KERI“ Sang-Soo Oh, KERI, Korea; Supra	7.12.2010	REM – ein Schlüsselinstrument in der Materialforschung Dr. A. Jung; SUPRA
29.7.2010	Glimpses of R&D activities at Centre for Cryogenic Technology, IISc S. Kasthuriangan, Indian, Institute of Science, Bagalore; KRYO	14.12.2010	SCC-Dienste und E-Mail im KIT A. Helget; S C C

# Zahlen und Daten

## Organigramm ITEP (22.09.2010)



## Personalstand (19.11.2010)

### Gesamt

Akademiker	55
Ingenieure und Techniker	60
Sonstige	28
Doktoranden (davon 1 nicht von ITEP finanziert)	17
Diplomanden	11
DH-Studierende	13

### 184 Während 2010:

Praktikanten	12
Gäste	10
Studentische Hilfskräfte	19

# Zahlen und Daten

## Personalveränderungen im Jahr 2010

### Ausgeschieden (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Max Beckenbach  
Alexander Ehrlich  
Dr. Frank Eichelhardt  
Kirsten Günther  
Gerhard Hellriegel (verstorben)  
Maximilian Kienzler  
Dr. Gunther Kotzyba  
Thomas Möhring  
Christian Pulch  
Dr. Michael Schwarz  
Ralf Zweig  
Rolf Schön  
Dr. Ana Parracho

### Neu eingestellt (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Martin Babutzka  
Dr. Nadezda Bagrets  
Dr. Nicolas Bekris (zurück aus Delegation)  
Tobias Bode  
Olga Borisevich  
Dr. Sandra Drotziger  
Simeon Eckerle  
Sebastian Fischer  
Thomas Giegerich  
Frank Gröner  
Philipp Herwig  
Sebastian Heuser  
Zoltan Köllö  
Philipp Krüger  
Benedikt Kuffner  
Jicheng Li  
Manuel Mungenast  
Oliver Näckel  
Santiago Ochoa Guamán  
Teresa Parracho  
Stanislav Plohotski  
Enrico Rizzo  
Astrid Rimikis (zurück aus Beurlaubung)  
Marco Röllig  
Uwe Saller  
Alessia Santucci  
Kerstin Schönung  
Severin Strauß  
Michael Sturm  
Dr. Michal Vojenciak  
Ralf Zweig  
Dr. Ana Parracho

# Zahlen und Daten

## Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien

### Christian Day

- Mitglied des Vorstandsrates der Dt. Vakuumgesellschaft (DVG)
- Stellv. Vorsitzender des Fachverbandes Vakuumphysik und -technik der Dt. Physikalischen Gesellschaft (DPG)
- Geladener Experte für Vakuumtechnik, Innovationsdialog der Bundeskanzlerin mit Wirtschaft und Wissenschaft
- Associated Expert of the Indian Vacuum Society (IVS)
- Chartered Engineer of American Vacuum Society (AVS)
- Chairman of the Coordinating Committee on Fuelling & Pumping, EFDA (CCFP)
- Deputy Leader of the Topical Group Heating & Current Drive, EFDA (TG)
- Co-ordinator des VACU-TEC Goal oriented Training Programme, EFDA (GOT)
- International Symposium of Fusion Nuclear Technology, Mitglied im International Programme Committee (ISFNT).
- Mitglied im Verein Dt. Ingenieure (VDI)

### Wilfried Goldacker

- Member Board of Directors International Cryogenics Material Conf. (ICMC)
- Executive Board Member IOP-SUST
- Program Board Member ICSM-Conf. Antalya, Turkey
- Chair of ICEC-ICMC-Wroclaw for ICMC
- European Chair of ICC3 (Int. Ceramic Conf.) Osaka
- DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Informations-technik im DIN und VDE Referat K 184 „Supraleiter“

### Steffen Grohmann

- International Institute of Refrigeration (IIF/IIR), Commission A1: Cryophysics, Cryoengineering
- Verein zur Förderung der Luft- und Kältetechnik e.V. (Träger des ILK Dresden)
- KATRIN Executive Committee
- KATRIN Publications Committee

### Reinhard Heller

- Applied Superconductivity Conference, Member of International Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, elected Board member Large Scale
- Computation of Thermo-Hydraulic Transients in Superconductors (CHATS-AS), Board member
- DKE/DIN K 184 – Supraleiter
- International Electrotechnical Commission (IEC TC90) – Superconductivity – Member WG 12 – „Superconducting Power Devices-General Requirements for Characteristic Tests of Current Leads designed for Powering Superconducting Devices“

### Mathias Noe

- International Council of Large Electric Systems (CIGRE) Secretary of working group D.1.38 „Emerging Test Techniques Common to High Temperature Superconducting (HTS) Power Applications“
- International Council of Large Electric Systems (CIGRE) Member of working group D.3.23 „Application and feasibility of fault current limiters in power systems“
- International Energy Agency, Implementing Agreement for a co-operative programme for assessing the impacts of high-temperature superconductivity on the electric power sector, German representative
- The European Society for Applied Superconductivity, Board member
- Fusion for Energy (F4E) – Member of Technical Advisory Panel
- International Conference on Magnet Technology, Member of International Organizing and Scientific Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, Member of International Program Committee
- European Conference on Applied Superconductivity, Member of International Program Committee
- Industrieverband Supraleitung, Gastmitglied
- Helmholtz Programm Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Topicsprecher Supraleitung
- Mitglied im Verwaltungsrat der Heinrich-Hertz-Gesellschaft
- KIT Zentrum Energie, Mitglied im Lenkungsausschuss und Ko-Sprecher Energiespeicherung und -verteilung
- Mitglied der Bewertungsgruppe des Wissenschaftsrates zum Rating der Fakultäten für Elektrotechnik und Informationstechnik

### Sonja Schlachter

- Executive Board Member IOP-SUST

### Klaus-Peter Weiss

- DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE Referat K 184 „Supraleiter“ Stellvertretender Obmann
- IEC International Electrotechnical Commission/Technical Committee 90 „Superconductivity“ Mitglied

# Veröffentlichungen

## Programm „Kernfusion“ (\* ISI referiert)

\* Aiello, A.; Bühler, L.; Ciampichetti, A.; Demange, D.; Dörr, L.; Freibergs, J.F.; Ghidersa, B.; Ilic, M.; Laffont, G.; Messemer, G.; Platnieks, I.; Rampal, G.  
Mockup testing facilities and qualification strategy for EU ITER TBMs.  
Fusion Engineering and Design, 85(2010) S.2012–2021  
DOI:10.1016/j.fusengdes. 2010.07.007

Alecu, C.G.; Köllö, Z.; Kloppe, B.; Bornschein, B.; Besserer, U.; Wendel, J.  
Reachable accuracy and precision for tritium measurements by calorimetry at TLK.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

\* Antipenkov, A.; Day, Chr.; Amoskov, V.; Belov, A.; Belyakov, V.; Gapionok, E.; Kukhtin, V.; Lamzin, E.; Shatil, D.; Sytchevsky, S.  
Numerical simulations of electro-magnetic transients in ITER cryopumps with the use of TYPHOON code.  
Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia, Series Mathematics, Information Sciences, Physics, 2(2010) Nr.3, S.81–86

Antipenkov, A.; Bersier, J.L.; Boussier, B.; Day, Chr.; Dremel, M.; Hauer, V.; Meitner, S.; Pearce, R.; Worth, L.  
Overview of the tritium handling within the ITER vacuum pumping system.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

Barth, C.; Weiss, K.P.  
Influence of shear strain on current carrying capabilities of HTSC tapes.  
3rd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications of Applied Superconductivity, Bad Liebenzell, June 9–10, 2010

Borgognoni, F.; Demange, D.; Welte, S.; Tosti, S.  
Processing test of an upgraded mechanical design for PERMCAT reactor.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

Bornschein, B.  
Between fusion and cosmology – the future of the Tritium Laboratory Karlsruhe.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

Boussier, B.; Pearce, R.; Mayaux, Chr.; Evrard, B.; Journeaux, J.Y.; Day, Chr.; Marechal, J.L.  
ITER vacuum control system. Current status overview and technical challenges.  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf. on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010), 14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14), Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia (VASSCAA-5), Beijing, China, August 23–27, 2010

Ciampichetti, A.; Aiello, A.; Nitti, S.; Ricapito, I.; Liger, K.; Demange, D.; Moreno, C.  
Design of coolant purification system for the European test blanket modules.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27 – October 1, 2010

Ciampichetti, A.; Aiello, A.; Nitti, S.; Ricapito, I.; Liger, K.; Demange, D.; Moreno, C.  
Design of tritium extraction system for the European HCPB test blanket module.  
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

Ciampichetti, A.; Aiello, A.; Coccoluto, G.; Ricapito, I.; Liger, K.; Demange, D.; Sedano, L.  
The coolant purification system of the European test blanket modules: preliminary design.  
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

Day, C.; Cristescu, I.; Pegourie, B.; Weysow, B.  
Considerations towards the fuel cycle of a steady-state DT fusion device.  
23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea, October 11–16, 2010

Day, C.  
Contributions of rarefied gas dynamics to state-of-the-art vacuum science and technology. (eingeladen)  
27th Internat.Symp.on Rarefied Gas Dynamics (RGD 2010), Pacific Grove, Calif., July 10–15, 2010

Day, C.  
Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.  
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25.Februar 2010

Day, Ch.; Hauer, V.  
Measurement of the conductance in the Knudsen flow regime.  
5th Symp.on Vacuum Based Science and Technology, Kaiserlautern, September 28–30, 2010

- Day, Chr.  
Cryogenics vacuum technology and cryopumps.  
VDI Wissensforum Cryogenics, Karlsruhe,  
September 15–17, 2010
- Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, St.; Hauer, V.; Luo, X.; Scannapiego, M.; Simon, R.; Strobel, H.; Fellin, F.; Lässer, R.; Papastergiou, St.; Dremel, M.; Mayaux, Chr.; Pearce, R.  
Design progress for the ITER torus and neutral beam cryopumps.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Day, Chr.; Hauer, V.; Luo, X.; Sharipov, F.; Varoutis, S.; Valougeorgis, D.  
Recent developments in vacuum flow modelling. (eingeladen)  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf. on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010), 14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14), Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia (VASSCAA-5), Beijing, China, August 23–27, 2010
- Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, St.; Hauer, V.; Luo, X.; Varoutis, St.  
Vacuum engineering of customized cryosorption pumps.  
11th European Vacuum Conf.(EVC-11), 8th Iberian Vacuum Meeting (IVM-8), 6th European Topical Conf.on Hard Coatings Salamanca, E, September 20–24, 2010
- Demange, D.; Le, T.L.; Simon, K.H.; Wagner, R.; Welte, S.  
CAPER modifications and first experimental results on highly tritiated water processing with PERMCAT at the Tritium Laboratory Karlsruhe.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- \* Demange, D.; Glugla, M.; Günther, K.; Le, T.L.; Simon, K.H.; Wagner, R.; Welte, S.  
Counter-current isotope swamping in a membrane reactor: the PERMCAT process and its applications in fusion technology.  
9th Internat.Conf.on Catalysis in Membrane Reactors, Lyon, F, June 28–July 2, 2009
- Demange, D.; Glugla, M.; Günther, K.; Le, T.L.; Simon, K.H.; Wagner, R.; Welte, S.  
Counter-current isotope swamping in a membrane reactor: the PERMCAT process and its applications in fusion technology.  
Catalysis Today, 156(2010) S.140–145  
DOI:10.1016/j.cattod.2010.02.033
- Demange, D.; Stämmler, S.; Kind, M.  
Membranes and catalytic membrane reactors in breeder blanket for improved tritium management and facilitated accountancy.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Dremel, M.; Pearce, R.; Mayaux, C.; Hemsworth, R.; Hanke, S.  
ITER neutral beam cryopumps design requirements for the integration.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Fietz, W.H.; Heller, R.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.  
Application of high temperature superconductors for Fusion.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Fietz, W.H.; Fink, S.; Heiduk, M.; Heller, R.; Lange, C.; Lietzow, R.; Möhring, T.; Rohr, P.; Süßer, M.; Rummel, T.  
Test arrangement for the W7-X HTS-current lead prototype testing.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010
- Ghirelli, N.; Demange, D.; Gastaldi, O.  
Calculations of tritium mass transfer in HCPB TBM concept and impact on systems for DEMO scale up.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- Haas, H.; Day, Chr.  
TIMO-2. A versatile cryogenic test bed with supercritical helium supply.  
23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
- Heller, R.; Fietz, W.H.; Kienzler, A.; Lietzow, R.  
High temperature superconductor current leads for fusion.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- \* Heller, R.; Class, A.; Batta, A.; Lietzow, R.; Neumann, H.; Tischmacher, M.  
Modeling of the fin type heat exchanger for the HTS current leads of W7-X and JT60-SA.  
Cryogenics, 50(2010) S.222–30  
DOI:10.1016/j.cryogenics.2009.08.006
- Heller, R.; Fietz, W.H.; Fink, S.; Heiduk, M.; Kienzler, A.; Lange, C.; Lietzow, R.; Rohr, P.; Möhring, T.; Rummel, T.; Mönnich, T.; Buscher, K.P.  
Test results of the high temperature superconductor prototype current leads for Wendelstein 7-X.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010
- Lässer, R.; Papastergiou, S.; Piazza, G.; Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, S.; Hauer, V.; Poncet, J.M.; Cirstescu, I.; Michling, R.; Glugla, M.; Pearce, R.; Antipenkov, A.; Dremel, M.; Mayaux, Ch.; Babineau, D.; Kazachenko, O.; Perevenzentsev, A.  
Management and status of the European in-kind system of the INTER fuel cycle.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- Liger, K.; Ciampichetti, A.; Demange, D.  
HCLL and HCPB coolant purification system: preliminary measurement and instrumentation plan.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- \* Luo, X.; Day, C.  
A 3D Monte Carlo vacuum modeling of the neutral beam injection system of ITER.  
Fusion Engineering and Design, 85(2010) S.1446–50  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.04.002

- Luo, X.; Day, Chr.  
Investigation of a new Monte Carlo method for transitional gas flow.  
27th Internat.Symp.on Rarefied Gas Dynamics (RGD 2010), Pacific Grove, Calif., July 10–15, 2010
- Luo, X.; Haas, H.; Hauer, V.; Sharipov, F.; Day, Chr.  
Systematic vacuum study of the ITER model cryopump by test particle Monte Carlo simulation.  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf. on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010), 14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14), Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia (VASSCAA-5), Beijing, China, August 23-27, 2010
- Maruyama, S.; Yang, Y.; Pitts, R.A.; Sugihara, M.; Putvinski, S.; Li, B.; Li, W.; Baylor, L.R.; Meitner, S.J.; Day, C.; LaBombard, B.; Reinke, M.  
ITER fuelling system design and challenges.  
23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea, October 11–16, 2010
- Masiello, A.; Milnes, J.; Waldon, C.; Alonso, J.; Minea, T.; Boilson, D.; Hemsworth, R.; Franzen, P.; Heinemann, B.; Day, C.; Hanke, St.; Bigi, M.; Chitarin, G.; Luchetta, A.; Marcuzzi, D.; Pomaro, N.; Pasqualotto, R.; Serianni, G.; Sonato, P.; Toigo, V.; Zaccaria, P.  
The European contribution to the developments of the ITER NB injector.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Misdanitis, S.; Pantazis, S.; Lihnaropoulos, J.; Valourgeorgis, D.; Varoutis, S.; Hauer, V.; Day, Chr.  
Experimental and numerical investigation of vacuum gas flows in fusion vacuum systems.  
9th School and Workshop on Fusion Physics and Technology, Volos, GR, April 19–23, 2010
- Munakata, K.; Demange, D.  
Development of numerical simulation code of membrane reactor for detritiation.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Pantazis, S.; Varoutis, S.; Day, C.; Valougeorgis, D.  
Gas-surface scattering effect on vacuum gas flows through rectangular channels.  
11th European Vacuum Conf.(EVC-11), 8th Iberian Vacuum Meeting (IVM-8), 6th European Topical Conf.on Hard Coatings Salamanca, E, September 20–24, 2010
- Papastergiou, S.; Lässer, R.; Piazza, G.; Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, S.; Hauer, V.; Poncet, J.M.; Pearce, R.; Antipenkov, A.; Dremel, M.; Mayaux, Ch.  
The European supplied components of the ITER vacuum pumping systems.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- Parracho, A.I.R.T.; Brennan, P.D.; Demange, D.; Knipe, S.  
Characterisation and optimisation of small Sieve beds in adsorption/desorption process of tritiated water.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- Pearce, R.J.H.; Antipenkov, A.; Bersier, J.L.; Bousnier, B.; Bryan, S.; Dremel, M.; Hughes, S.; Kersevan, R.; Mayaux, C.; Worth, L.; Wykes, M.; Baylor, L.; Gardner, W.; Meitner, S.; Rasmussen, D.; Laesser, R.; Piazza, G.; Papastergiou, S.; Day, C.; Haas, H.; Hanke, S.; Hauer, V.; Poncet, J.M.  
The realisation of the ITER vacuum systems.  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf. on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010), 14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14), Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia (VASSCAA-5), Beijing, China, August 23–27, 2010
- Rizzo, E.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.  
Heat exchanger CFD analysis for the W7-X high temperature superconductor current lead prototype.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- \* Savoldi Richard, L.; Class, A.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Rizzo, E.; Zanino, R.  
CtFD analysis of HTS current lead fin-type heat exchanger for fusion applications.  
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 20(2010) S.1733-1736  
DOI:10.1109/TASC.2010.2041546
- Scannapiego, M.; Poncet, J.M.; Day, C.; Hanke, S.; Hauer, V.; Papastergiou, S.; Dremel, M.; Mayaux, C.  
Thermohydraulic investigation on the operation of the ITER torus and neutral beam cryopumps.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Schlachter, S.I.  
Energie der Zukunft – Fusion 2050.  
Tag der offenen Tür, KIT, Karlsruhe, 25. September 2010
- Schlachter, S.I.; Fietz, W.H.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Heller, R.; Kudymow, A.  
High-current HTS cables for fusion magnets.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P, September 27–October 1, 2010
- Schlachter, S.I.  
High temperature superconductivity.  
Karlsruhe Internat.School on Fusion Technology, Karlsruhe, September 6–17, 2010
- Schön, R.  
Untersuchung eines BIXS-Detektors zur Messung der Tritiumkonzentration in Wasser.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 18.1 Abstract
- Schwarz, M.; Schacherer, C.; Ehrlich, A.; Weiss, K.P.  
Thermal conductivity of High Temperature Superconductor coated conductors.  
Balachandran, U. [Hrsg.]  
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009  
Melville, N.Y.: AIP, 2010 S.388–93 incl.CD-ROM (AIP Conference Proceedings; 1219)  
(Advances in Cryogenic Engineering; 56)  
ISBN 978-0-7354-0761-9

- \* Sharipov, F.; Graur, I.; Day, Chr.  
Leak rate of water into vacuum through microtubes.  
Journal of Vacuum Science and Technology A, 28(2010)  
S.443–48  
DOI:10.1116/1.3372839
- Sharipov, F.; Graur, I.; Day, Chr.  
Modelling of water leak rates through crevices.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P,  
September 27–October 1, 2010
- Sharipov, F.; Varoutis, S.; Day, Chr.; Luo, X.; Haas, H.  
Numerical modeling of the ITER model cryopump.  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf.  
on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010),  
14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14),  
Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia  
(VASSCAA-5), Beijing, China, August 23–27, 2010
- \* Sharipov, F.  
Numerical simulation of turbomolecular pump over a  
wide range of gas rarefaction.  
Journal of Vacuum Science and Technology A, 28(2010)  
S.1312–1315  
DOI:10.1116/1.3484139
- Sonato, P.; Bonicelli, T.; Chakraborty, A.K.; Hemsworth, R.;  
Watanabe, K.; Day, C.; Franzen, P.; Waldon, C.  
The ITER neutron beam facility in Padua – Italy: a joint  
international effort for the development of the ITER  
heating neutral beam injector prototype.  
23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea,  
October 11–16, 2010
- Stämmli, S.; Demange, D.; Kind, M.  
Potential use of zeolite membranes for separation and  
recovery of tritium produced in the breeder blanket of  
fusion machines.  
5th Internat.Zeolite Membrane Meeting, Loutraki, GR,  
May 23–26, 2010
- Varoutis, S.; Misdanitis, S.; Pantazis, S.; Hauer, V.;  
Giegerich, T.; Day, C.; Valougeorgis, D.  
Experimental and numerical investigation of vacuum  
gas flows in fusion vacuum systems.  
26th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2010), Porto, P,  
September 27–October 1, 2010
- Varoutis, S.; Pantazis, S.; Giegerich, T.; Day, C.;  
Valougeorgis, D.  
Experimental and numerical investigation of vacuum  
gas flows through tubes with sudden expansion of  
contraction.  
11th European Vacuum Conf.(EVC-11), 8th Iberian  
Vacuum Meeting (IVM-8), 6th European Topical Conf.  
on Hard Coatings Salamanca, E, September 20–24, 2010
- Varoutis, S.; Hauer, V.; Day, Chr.; Pantazis, S.;  
Valougeorgis, D.  
Experimental and numerical investigation in flow  
configurations related to the vacuum systems of fusion  
reactors.  
Fusion Engineering and Design, 85(2010) S.1798–1802  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.05.041
- Varoutis, S.; Sharipov, F.  
Rarefied gas flow through channels of finite length  
due to arbitrary pressure ratio.  
27th Internat.Symp.on Rarefied Gas Dynamics (RGD  
2010), Pacific Grove, Calif., July 10–15, 2010
- Wagner, R.; Besserer, U.; Demange, D.; Dittrich, H.;  
Le, T.L.; Simon, K.H.; Guenther, K.  
Improvement and characterization of small cross-piece  
tritium ionization chambers at the Tritium Laboratory  
Karlsruhe.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology  
(TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010
- Weiss, K.P.  
Cryogenic material test Karlsruhe – CryoMaK at the  
Karlsruhe Institute of Technology.  
E.S.E. – Efficiency, Speed, Environment, (2010) Nr.16,  
S.36–39
- Weiss, K.P.; Goldacker, W.; Nannini, M.  
Finite element analysis of torsion experiments on HTSC  
tapes.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.,  
August 1–6, 2010
- Weiss, K.P.; Ehrlich, A.; della Corte, A.; Vostner, A.  
Tensile test results on compacted and annealed 316LN  
material.  
Balachandran, U. [Hrsg.]  
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of  
the Internat.Cryogenic Materials Conf., Tucson, Ariz.,  
June 28–July 2, 2009  
Melville, N.Y. : AIP, 2010 S.3-8  
incl.CD-ROM  
(AIP Conference Proceedings ; 1219)  
(Advances in Cryogenic Engineering ; 56)  
ISBN 978-0-7354-0761-9
- Winkler, A.; Fietz, W.H.; Fink, S.; Noe, M.  
Calculation of transient voltages of ITER poloidal field  
coils.  
21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21),  
Hefei, China, October 18–23, 2009
- \* Winkler, A.; Fietz, W.H.; Fink, S.; Noe, M.  
Calculation of transient voltages of ITER poloidal field  
coils.  
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,  
20(2010) S.419–422  
DOI:10.1109/TASC.2010.2041913
- Winkler, A.  
Transient behaviour of ITER PF coils.  
3rd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and  
Applications of Applied Superconductivity,  
Bad Liebenzell, June 9–10, 2010

# Veröffentlichungen

## Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (\* ISI referiert)

Berger, A.; Cherevatskiy, S.; Noe, M.; Leibfried, T.  
Comparison of the efficiency of superconducting and conventional transformers.  
Journal of Physics: Conference Series, 234(2010)  
S.032004/1-8  
DOI:10.1088/1742-6596/234/3/032004

Berger, A.  
Development of superconducting, current limiting transformers.  
3rd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications of Applied Superconductivity, Bad Liebenzell, June 9–10, 2010

Berger, A.; Noe, M.; Goldacker, W.; Kudymow, A.  
Recovery characteristic of coated conductors for superconducting fault current limiters.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010

Berger, A.; Noe, M.; Goldacker, W.; Kudymow, A.  
Test results of 60 kVA current limiting transformer with full recovery under load.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010

Gehring, R.; Sander, M.  
Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Stromerzeugung.  
DE-OS 10 2007 042 711 (2009.03.12)  
DE-PS 10 2007 042 711 (2010.07.07)

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Weiss, K.; Barth, C.  
Bending of HTS conductors and cables. (eingeladen)  
VAMAS-TWA 16 Mini Workshop on Evaluation Technologies for Superconducting Wires, Tsukuba, J, November 1–2, 2010

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.  
Cables fro HTS coated conductors for high DC and AC transport currents. (eingeladen)  
3rd Internat.Congress on Ceramics (ICC3), Osaka, J, November 14–18, 2010

Goldacker, W.; Terziewa, S.; Kudymow, A.; Schlachter, S.I.  
Current transfer and redistribution i CC-ROEBEL cables.  
23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010

Goldacker, W.; Schlachter, S.  
Development of MgB<sub>2</sub> conductors.  
Japanese-EU Workshop 'Superconductivity', Washington, D.C., August 1, 2010  
Goldacker, W.; Terziewa, S.; Kudymow, A.; Nast, R.;

Grilli, F.; Drechsler, A.; Schlachter, S.  
High current low AC loss HTS-ROEBEL-cables for energy devices. (eingeladen)  
12th Internat.Conf.on Modern Materials and Technologies (CIMTEC 2010), Montecatini Terme, I, June 6–18, 2010

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Grilli, F.  
High transport current 2G HTS cables with low ACS losses. (eingeladen)  
Materials Science and Technology Conf.and Exhibition (MS&T 2010), Houston, Tex., October 17–21, 2010

Goldacker, W.  
Hochtemperatur-Supraleiter.  
Supraleitung: Grundlagen, Materialien und Eigenschaften, Leitertechnologie und Anwendungsbeispiele, Seminar, Karlsruhe, 23.–24.September 2010

Goldacker, W.  
Properties of high temperature superconductors for application.  
Spring School and Educational Courses (SSEC 2010), Antalya, TR, April 20–25. 2010

Goldacker, W.  
Properties of REBCO coated conductor.  
Spring School and Educational Courses (SSEC 2010), Antalya, TR, April 20–25. 2010

Goldacker, W.; Terziewa, S.; Grilli, F.; Vojenciak, M.; Kling, A.; Kudymow, A.; Schlachter, S.I.  
Properties of Roebel bars from coated conductors. (eingeladen)  
23rd Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2010), Tsukuba, J, November 1–3, 2010

Goldacker, W.  
Properties of ROEBEL cables from coated conductors. (eingeladen)  
Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2010), Antalya, TR, April 25–30, 2010

Goldacker, W.; Stanimira, S.; Grilli, F.; Vojenciak, M.; Kling, A.; Kudymow, A.; Nast, R.; Schlachter, S.I.  
Roebel bars from coated conductors.  
Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA 2010), Fukuoka, J, October 28–30, 2010

- \* Grilli, F.; Sirois, F.; Brault, S.; Brambilla, R.; Martini, L.; Nguyen, D.N.; Goldacker, W.  
Edge and top/bottom losses in non-inductive coated conductor coils with small separation between tapes. *Superconductor Science and Technology*, 23(2010) S.034017/1-7  
DOI:10.1088/0953-2048/23/3/034017
- Grilli, F.; Sirois, F.; Brault, S.; Brambilla, R.; Martini, L.; Nguyen, D.N.; Goldacker, W.  
Edge and top/bottom losses in non-inductive coated conductor coils with small separation between tapes. *9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09)*, Dresden, September 13–17, 2009
- Grilli, F.  
H-formulation with edge elements for finite-element modeling of HTS tapes and devices. *1st Internat.Workshop on Numerical Modelling of HTS*, Lausanne, CH, May 5–7, 2010
- Grilli, F.  
Numerical modeling of AC losses in fault current limiters. *12th Internat.Conf.on Modern Materials and Technologies (CIMTEC 2010)*, Montecatini Terme, I, June 6–18, 2010
- Grilli, F.; Sirois, F.; Brambilla, R.  
Numerical modeling of thin superconducting tapes. *COMSOL Conf.2010*, Paris, F, November 17–19, 2010
- Grilli, F.; Pardo, E.; Vojenciak, M.; Terzieva, S.  
Simulation of ac loss in Roebel coated conductor cables. *Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2009)*, Barcelona, E, November 22–24, 2009
- \* Hornung, F.; Rimikis, A.; Schneider, Th.  
Current sharing and critical current distribution in Be-2223 tapes. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 20(2010) S.1589–1592  
DOI:10.1109/TASC.2010.2040722
- \* Jung, A.; Schlachter, S.I.; Runtsch, B.; Ringsdorf, B.; Fillinger, H.; Orschulko, H.; Drechsler, A.; Goldacker, W.  
Influence of Ni and Cu contamination on the superconducting properties of MgB<sub>2</sub> filaments. *Superconductor Science and Technology*, 23(2010) S.095006/1-6  
DOI:10.1088/0953-2048/23/9/095006
- Kario, A.; Nast, R.; Häbeler, W.; Rodig, C.; Schubert, M.; Ringsdorf, B.; Schlachter, S.; Goldacker, W.; Herrmann, M.; Holzapfel, B.; Schultz, L.  
Chemical stability of ex situ MgB<sub>2</sub> powder in tube conductors. *Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.*, August 1–6, 2010
- \* Kario, A.; Morawski, A.; Häbeler, W.; Nenkov, K.; Schubert, M.; Herrmann, M.; Ringsdorf, B.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Holzapfel, B.; Schultz, L.  
Ex situ MgB<sub>2</sub> barrier behavior of monofilament in situ MgB<sub>2</sub> wires with Glidcop sheath material. *Superconductor Science and Technology*, 23(2010) S.115007/1-9  
DOI:10.1088/0953-2048/23/11/115007
- \* Kario, A.; Häbeler, W.; Herrmann, M.; Rodig, C.; Scheiter, J.; Holzapfel, B.; Schulz, L.; Schlachter, S.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.; Morawski, A.  
Properties of MgB<sub>2</sub> tapes prepared by using MA in -ex situ powder. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 20(2010) S.15-1523  
DOI:10.1109/TASC.2009.2039777
- Krüger, P.; Grilli, F.; Farinon, S.  
Compliance of numerical formulations for describing superconductor/ferromagnet heterostructures. *23rd Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2010)*, Tsukuba, J, November 1–3, 2010
- Krüger, P.; Grilli, F.; Farinon, S.  
Compliance of numerical formulations for describing superconductor/ferromagnet heterostructures. *COMSOL Conf.2010*, Paris, F, November 17–19, 2010
- Kudymow, A.; Elschner, S.; Fink, S.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Schacherer, C.; Noe, M.; Hobl, A.; Bock, J.  
ENSYSTROB – resistive fault current limiter based on coated conductors for medium voltage applications. *Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.*, August 1–6, 2010
- Kudymow, A.; Elschner, S.; Maeder, O.; Goldacker, W.  
Optimisation of 2G YBCO wires for resistive fault current limiter. *Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.*, August 1–6, 2010
- Leys, P.  
Superconducting high field magnets. *VDI Wissensforum Cryogenics*, Karlsruhe, September 15-17, 2010
- Mäder, O.; Noe, M.; Kudymow, A.; Goldacker, W.  
Investigation of the stability of coated conductor. *Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.*, August 1–6, 2010
- Mäder, O.  
Simulation models for stability of coated conductors. *3rd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications of Applied Superconductivity*, Bad Liebenzell, June 9–10, 2010
- Mentink, M.G.T.; Anders, A.; Dhallo, M.M.J.; Dietderich, D.R.; Godeke, A.; Goldacker, W.; Hellman, F.; ten Kate, H.H.J.; Slack, J.L.; Sumption, M.D.; Susner, M.  
Bulk and thin film model samples for the analysis of the strain sensitivity of niobium-tin. *Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.*, August 1–6, 2010
- Meyer, J.; Langebach, R.; Süßer, M.  
Numerische Thermalanalyse einer externen Temperaturmessereinrichtung für kryogen durchströmte Rohrleitungen. *DKV-Tagung*, Magdeburg, 17.–19.November 2010

- Mrozik, C.; Karpuk, S.; Heil, W.; Otten, E.; Schneider, T.; Beckenbach, M.; Kläser, M.; Hiebel, S.  
Homogenisierung des magnetischen Führungsfeldes für die Polarisation von  $^3\text{He}$  in einer kompakten Anlage.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Atomphysik, Hannover, 8.–12. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) A 2.8 Abstract
- \* Müller, R.; Süßer, M.  
Comparison of cryogenic temperature sensor installation inside or outside the piping.  
Weisend, J.G. [Hrsg.]  
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Engineering Conf., Tucson, Ariz., June 28 – July 2, 2009  
Melville, N.Y.: AIP, 2010 S.1641-46  
(AIP Conference Proceedings; 1218)  
(Advances in Cryogenic Engineering; 55B)  
ISBN 978-0-7354-0761-9
- Nast, R.  
BSCCO materials.  
ESAS Internat. Summer School on Materials and Applications of Superconductivity, Karlsruhe, July 12–16, 2010
- \* Nast, R.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Weiss, K.P.; Goldacker, W.  
The influence of the maximum heat treatment temperature on the performance of thin reinforced multifilament Bi-2212 wires for cables.  
Journal of Physics: Conference Series, 234(2010) S.022026/1-7  
DOI:10.1088/1742-6596/234/2/022026
- Neumann, H.  
Cryogenics  
Fusion Summer School, Karlsruhe 14.09.2010
- Neumann, H.  
Experimental investigation of thermal insulation arrangements within a flexible cryostat for HTS power cables.  
23rd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
- Neumann, H.  
Heat transfer in cryogenics. Cooling techniques.  
VDI Wissensforum Cryogenics, Karlsruhe, September 15-17, 2010
- Neumann, H.  
Kühltechniken.  
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. Februar 2010
- Neumann, H.  
Thermodynamische Grundlagen.  
Vortr.: Haus der Technik, Essen, 8. September 2010
- Neumann, H.  
Thermal insulation.  
VDI Wissensforum Cryogenics, Karlsruhe, September 15-17, 2010
- \* Neumann, H.  
Thermal performance of different glass microspheres in comparison to perlite between 77 and 300 K.  
Weisend, J.G. [Hrsg.]  
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Engineering Conf., Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009  
Melville, N.Y.: AIP, 2010 S.747-54  
(AIP Conference Proceedings; 1218)  
(Advances in Cryogenic Engineering; 55A)  
ISBN 978-0-7354-0761-9
- Neumann, H.  
Thermische Isolation.  
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. Februar 2010
- Neumann, H.  
Vakuum- und Sicherheitstechnik.  
Vortr.: Haus der Technik, Essen, 10. September 2010
- \* Nguyen, D.N.; Ashworth, S.P.; Willis, J.O.; Sirois, F.; Grilli, F.  
A new finite-element method simulation model for computing AC loss in roll assisted biaxially textured substrate YBCO tapes.  
Superconductor Science and Technology, 23(2010) S.025001/1-5  
DOI:10.1088/0953-2048/23/2/025001
- Noe, M.  
Fault current limiters.  
Superconductivity in Energy Technology Applications 2010, Tampere, SF, November 4–5, 2010
- Noe, M.  
Fault current limiters – materials, applications and prospects. (eingeladen)  
12th Internat. Conf. on Modern Materials and Technologies (CIMTEC 2010), Montecatini Terme, I, June 6–18, 2010
- Noe, M.  
Hochtemperatur-supraleitende Materialien auf dem Weg in die Anwendung.  
Vortr.: AWT-VDI Arbeitskreis Werkstofftechnik Bremen 2009/2010, Institut für Werkstofftechnik, Bremen, 24. März 2010
- Noe, M.; Marzahn, E.  
Hochtemperatur-Supraleiter, Kabel und Strombegrenzer.  
75. Kabelseminar, Hannover, 23.–24. Februar 2010
- Noe, M.  
Neue Konzepte für eine effiziente Energieversorgung.  
ZIEHL II: Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern, Bonn, 16.–17. März 2010
- Noe, M.  
Superconductivity for power applications is getting more and more attractive.  
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010

Prikhna, T.A.; Gawalek, W.; Sacchuk, Ya.M.; Eisterer, M.; Goldacker, W.; Weber, H.; Sokolovsky, V.; Tkach, V.N.; Danilenko, N.I.; Habisreuther, T.; Wendt, M.; Dellith, J.; Meerovich, V.; Dub, S.; Moshchil, V.; Sergienko, N.; Fesenko, I.; Litzkendorf, D.; Schmidt, Ch.; Tompsic, M.; Karau, F.; Nagorny, P.; Sverdun, V. High-pressure synthesized MgB<sub>2</sub>-based materials with high critical current density and upper critical field. 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010

\* Rajinikumar, R.

Fiber Bragg grating sensors for localized strain measurements at low temperature and in high magnetic field.

Weisend, J.G. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Engineering Conf., Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009

Melville, N.Y.: AIP, 2010 S.1197-1204

(AIP Conference Proceedings; 1218)

(Advances in Cryogenic Engineering; 55B)

ISBN 978-0-7354-0761-9

\* Rajinikumar, R.; Narayankhedkar, K.G.; Süßer, M.;

Krieg, G.; Atrey, M.D.

Temperature measurement using Fiber Bragg grating sensors for superconductor magnets.

Proc.of the 22nd Nat.Symp.on Cryogenics (NSC-22), Bangalore, IND, December 6–8, 2008

Indian Journal of Cryogenics, 34(2009) Nr.1–4, S.441–17

Sander, M.; Gehring, R.; Noe, M.

A novel energy storage concept based on hydrogen and superconductors.

Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010

Sander, M.

LIQHYSMES – a novel energy storage concept based on hydrogen and superconductors.

Workshop on Industrial Applications of Superconductivity, Sestri Levante, I, October 4–5, 2010

Schacherer, C.; Schwarz, M.

Mit einer Kühlschicht versehener hochtemperatur-supraleitender Bandleiterverbund.

DE-OS 10 2007 061 891 (2009.07.02)

WO-OS 2009/080156 (2009.07.02)

EP-OS 2 223 355 (2010.09.01)

\* Schlachter, S.I.; Braun, U.; Drechsler, A.; Goldacker, W.;

Holubek, T.; Kling, A.; Schmidt, C.

Cabling of thin MgB<sub>2</sub> strands for high-current conductors with reduced AC losses.

Balachandran, U. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Tucson, Ariz., June 28 – July 2, 2009

Melville, N.Y.: AIP, 2010 S.302-09

incl.CD-ROM

(AIP Conference Proceedings; 1219)

(Advances in Cryogenic Engineering; 56)

ISBN 978-0-7354-0761-9

Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Heller, R.; Kudymow, A.

Coated conductor Rutherford cables (CCRC) for high-current applications: concept and properties.

Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C., August 1–6, 2010

Schlachter, S.I.; Drechsler, A.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Heller, R.; Kudymow, A.; Terzieva, S.

HTS cables for high-current applications. (eingeladen) Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2010), Antalya, TR, April 25–30, 2010

Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Heller, R.; Grilli, F.; Terzieva, S.; Kudymow, A.

HTS Roebel- und Rutherford-Kabel für Hochstromanwendungen.

HTS Roebel and Rutherford cables for high-current applications. (eingeladen)

IOP Superconductivity Group Seminar 'Development and Applications of HTS Conductors', London, GB, January 15, 2010

5. Braunschweiger Supraleiter-Seminar, Braunschweig, 23.–24. Juni 2010

Schlachter, S.I.

MgB<sub>2</sub> material.

ESAS Internat.Summer School on Materials and Applications of Superconductivity, Karlsruhe,

July 12–16, 2010

Schlachter, S.I.

Vision 2050: Energie der Zukunft – Fusion 2050.

Hannover-Messe Industrie, Hannover, 19.–23. April 2010

\* Schneider, Th.; Beckenbach, M.; Ernst, R.; Hornung, F.; Kläser, M.; Lahn, H.; Leys, P.; Ruf, C.; Neumann, H.; Stamm, M.

Superconducting high field magnet engineering at KIT. IEEE Transactions on Applied Superconductivity,

20(2010) S.624-627

DOI:10.1109/TASC.2010.2041914

Steurer, M.; Marchionini, B.; Darman, F.; Lambert, F.; Noe, M.

Towards a guide for testing emerging fault current limiters.

CIGRE Session 2010, Paris, F, August 22–27, 2010

Süßer, M.

Diskussion der Druckabsicherung von Kryostaten mit supraleitenden Magneten.

DKV-Tagung, Magdeburg, 17.–19. November 2010

Süßer, M.

Druckabsicherung von LHe-Druckbehältern einschließlich der Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung.

Sitzung des Normenausschusses NA 016-00-07 AA, Karlsruhe, 21. September 2010

Süßer, M.

Kryogene Mess-, Regel- und Sicherheitstechnik.

Seminar Kryostatbau, Karlsruhe, 8.–9. September 2010

Süßer, M.

Kryogene Mess- und Regeltechnik.

VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe,  
23.–25. Februar 2010

Süßer, M.

Low temperature measurement and control technique.

VDI Wissensforum Cryogenics, Karlsruhe,  
September 15–17, 2010

Süßer, M.

Messen von kleinen Durchflüssen.

VDI Wissensforum 'Durchfluss- und Mengenmessung in  
Rohrleitungen', Stuttgart, 6.–8. Oktober 2010

Süßer, M.

Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.

VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengenmessung in  
Rohrleitungen', Düsseldorf, 3.–5. März 2010

Terzieva, S.; Nast, R.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Kudymow,  
A.; Vojenciak, M.

Effect of striated strands in 2G ROEBEL cable.

Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.,  
August 1–6, 2010

Terzieva, S.; Vojenciak, M.; Pardo, E.; Grilli, F.;  
Drechsler, A.; Kling, A.; Kudymov, A.; Gömöry, F.;  
Goldacker, W.

Transport and magnetization ac losses of ROEBEL  
assembled coated conductor cables: measurements  
and calculations.

Superconductor Science and Technology, 23(2010)

S.014023/1-8

DOI:10.1088/0953-2048/23/1/014023

# Veröffentlichungen

## Programm „Struktur der Materie“ (\* ISI referiert)

Bauer, S.; Beck, M.; Prall, M.; Rosendahl, S.; Thümmeler, T.; Weinheimer, C.; KATRIN Collaboration  
Hochspannungsversorgung der Drahtelektrode im Hauptspektrometer des KATRIN-Experiments. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.64

Beck, M.; KATRIN Collaboration  
Status des KATRIN Experimentes zur Bestimmung der Masse des Elektronenneutrinos. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 28.1

Benning, S.; Hannen, V.; Hillen, B.; Ortjohann, H.W.; Prall, M.; Weinheimer, C.; Zacher, M.; KATRIN Collaboration  
Production and installation of the wire electrode for the KATRIN-experiment. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 28.8

Bornschein, L.; Fränkle, F.; Glück, F.; Hugenberg, K.; Mertens, S.; Weinheimer, C.; Zacher, M.; KATRIN Collaboration  
Simulation und Vermeidung von Penningfallen an den Spektrometern des KATRIN-Experiments. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.59

De Boer, W.; Hoffmann, K.H.; Sabellek, A.; Schmanau, M.; Schneider, M.; Zhukov, V.; Schneider, T.  
Lorentz shift measurements in heavily irradiated silicon detectors in high magnetic fields. 9th Internat.Conf.on Large Scale Applications and Radiation Hardness of Semiconductor Detectors (RD09), Firenze, I, September 30 – October 2, 2009 POS, Proceedings of Science PoS(RD09) 022

Fischer, S.; Sturm, M.; Schlösser, M.; Bornschein, B.; Drexlin, G.; Priester, F.; Lewis, R.J.; Telle, H.H.  
Monitoring of tritium purity during long-term circulation in the KATRIN test experiment LOOPINO using laser Raman spectroscopy. 9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology (TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

Fischer, S.; KATRIN Collaboration  
Systematische Untersuchungen zur Laser-Raman-Spektroskopie von Tritium für das KATRIN-Experiment. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 28.3

Fischer, S.; Sturm, M.; Schlösser, M.; Lewis, R.J.; Bornschein, B.; Drexlin, G.; Telle, H.H.  
Tritium accountancy with laser Raman spectroscopy for KATRIN. 30th Internat.Symp.on Physics in Collision (PIC 2010), Karlsruhe, September 1–4, 2010

Fränkle, F.; KATRIN Collaboration  
Untersuchung der Untergrundeigenschaften des KATRIN Vorspektrometers. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 109.4

Gehring, P.; Jüngst, K.P.; Kuperman, G.; Noe, M.  
Stromversorgung und Verfahren für eine gepulst betriebene induktive Last. DE-PS 10 2008 053 679 (2010.01.28) WO-OS 2010/049023 (2010.05.06)

\* Gil, W.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Gehring, R.; Kazachenko, O.; Kleinfeller, J.; Putselyk, S.; KATRIN Collaboration  
The cryogenic pumping section of the KATRIN experiment. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 20(2010) S.316–319 DOI:10.1109/TASC.2009.2038581

Görhardt, S.; KATRIN Collaboration  
Status der Testmessungen am KATRIN Vorspektrometer. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 109.2

Goullon, J.; KATRIN Collaboration  
Hochspannungsüberwachung bei KATRIN mit nuklearen Standards. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010 Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 69.3

Grohmann, S.; KATRIN Collaboration  
Entwicklung und Optimierung einer UV-Laser-  
gestützten Elektronenkanone für KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 69.9

\* Grohmann, S.; Gil, W.; Neumann, H.; Weiss, C.  
Commissioning of the cryogenic transfer line for the  
KATRIN experiment.  
Weisend, J.G. [Hrsg.]  
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of  
the Internat.Cryogenic Engineering Conf., Tucson,  
Ariz., June 28–July 2, 2009  
Melville, N.Y. : AIP, 2010 S.1095–1102  
(AIP Conference Proceedings ; 1218)  
(Advances in Cryogenic Engineering ; 55B)  
ISBN 978-0-7354-0761-9

Grohmann, S.; Schön, H.; Süßer, M.  
Erprobung des Strahlrohrkühlsystems für den Quell-  
magnetkryostaten in KATRIN.  
DKV-Tagung, Magdeburg, 17.–19. November 2010

Hannen, V.; Kranz, C.; Sejersen Riis, A.; Weinheimer, C.;  
KATRIN Collaboration  
Deconvolution method for determination of the  
KATRIN energy loss function.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadro-  
nen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 36.32

Hannen, V.; Kopmann, A.; Vöcking, S.; Weinheimer, C.;  
KATRIN Collaboration  
Intelligentes web-basiertes Datenmanagement für das  
KATRIN-Experiment.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 71.7

Hein, H.; Bauer, S.; Beck, M.; Bonn, J.; Hannen, V.;  
Hugenberg, K.; Ortjohann, H.W.; Rosendahl, S.;  
Streubel, S.; Valerius, K.; Weinheimer, C.; Zboril, M.;  
KATRIN Collaboration  
Winkelselektive Photo-Elektronen Kalibrationsquelle  
für KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der  
Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 69.5

Hergenhan, J.; KATRIN Collaboration  
Sensornetz zur Überwachung des Magnetfeldes am  
KATRIN Hauptspektrometer.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 69.8

Hötzel, M.; KATRIN Collaboration  
Modellierung der Tritiumquelle von KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der  
Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 28.4

Kernert, N.; KATRIN-Collaboration  
Experimental setup and measurements of the rotor  
temperature of turbo-molecular pumps in magnetic  
fields.  
18th Internat.Vacuum Congress (IVC-18), Internat.Conf.  
on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010),  
14th Internat.Conf.on Surfaces Science (ICSS-14),  
Vacuum and Surface Sciences Conf.of Asia and Australia  
(VASSCAA-5), Beijing, China, August 23–27, 2010

Leiber, B.; KATRIN Collaboration  
Nicht-axialsymmetrische Feldberechnungen und  
Teilchenbahnverfolgung im KATRIN Experiment.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der  
Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 28.7

Prall, M.; Bornschein, L.; Fraenkle, F.; Goerhardt, S.;  
Weinheimer, C.; KATRIN Collaboration  
Untersuchung der Transmissionseigenschaften des  
KATRIN-Vorspektrometers.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der  
Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 69.7

Priester, F.; KATRIN Collaboration  
Inbetriebnahme der Tritiumkreisläufe von KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 110.8

Reich, J.; KATRIN Collaboration  
Inbetriebnahme des Luftspulensystems am KATRIN  
Hauptspektrometer.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 108.10

Renschler, P.; KATRIN Collaboration  
Simulationen der Detektorantwort von Silizium-  
detektoren auf niederenergetische  $\beta$ -Strahlung.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,  
Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) T 68.1

Schäfer, T.; Weinheimer, C.; Beck, M.; Ortjohann, H.W.;  
Wegmann, A.; KATRIN Collaboration  
Eine kondensierte Krypton-Kalibrationsquelle für das  
KATRIN-Experiment.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadro-  
nen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, R.6, B.45(2010) HK 36.77

Schlösser, M.; Fischer, S.; Sturm, M.; Bornschein, B.;  
Lewis, R.J.; Telle, H.H.  
Laser Raman measurements on tritium mixtures and  
implications for the design of systems for tritium  
accountancy of process control applications.  
9th Internat.Conf.on Tritium Science and Technology  
(TRITIUM 2010), Nara, J, October 24–29, 2010

- Schlösser, M.; Sturm, M.; Fischer, S.; Bornschein, B.; Lewis, R.; Telle, H.  
Online Laser-Raman-Spektroskopie an Tritium für KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Quantenoptik und Photonen, Hannover, 8.–12. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) Q 54.6
- Schmitt, U.; Babutzka, M.; KATRIN Collaboration  
Entwicklung eines Präzisions-Intensitätsmonitors für einen keV-Elektronenstrahl.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 67.4
- Schwarz, J.; Katrin Collaboration  
Messungen der elektro-optischen Eigenschaften der differentiellen Pumpstrecke von KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 28.6
- Steidl, M.; Maurel, D.; KATRIN Collaboration  
Beta induced X-ray spectroscopy for a precise measurement of the column density of a gaseous tritium source.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 67.5
- \* Sturm, M.; Schlösser, M.; Lewis, R.J.; Bornschein, B.; Drexlin, G.; Telle, H.H.  
Monitoring of all hydrogen isotopologues at tritium laboratory Karlsruhe using Raman spectroscopy.  
Laser Physics, 20(2010) S.493-507  
DOI:10.1134/S1054660X10030163
- Süßer, M.  
Conditioning of 27 W rhodium-iron ceramic sensors for extremely difficult application.  
23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
- Süßer, M.; Mao, H.; Schlachter, S.  
Magnetic behaviour of rhodium-iron cryogenic sensor and high field correction.  
23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf.(ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
- Thümmeler, T.; KATRIN Collaboration  
Status und Testmessungen des Karlsruher Tritium Neutrino Experiments KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 109.1
- Titov, N.; KATRIN Collaboration  
Plasma effects and ion transport in the KATRIN windowless gaseous tritium source.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.31
- Wandkowsky, N.; KATRIN Collaboration  
Systematische Effekte bei den Tritiummessungen mit KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) T 110.9
- Wegmann, A.; Beck, M.; Ostrick, B.; Schäfer, T.; Ortjohann, H.W.; Weinheimer, C.; KATRIN Collaboration  
Ellipsometrie für die CKrS des KATRIN-Experiments.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.56
- Windberger, A.; KATRIN Collaboration  
Das elektrostatische Dipolsystem zur Ionenunterdrückung im Transportsystem des KATRIN-Experiments.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 69.4
- Zacher, M.; Vöcking, S.; Weinheimer, C.; Dropmann, M.; KATRIN Collaboration  
Electromagnetic design of the pump port region of the KATRIN main spectrometer.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.83
- Zboril, M.; Beck, M.; Bonn, J.; Dragoun, O.; Kaspar, J.; Kovalik, A.; Ostrick, B.; Otten, E.W.; Schlösser, K.; Spalek, A.; Thümmeler, T.; Venos, D.; Weinheimer, C.; KATRIN Collaboration  
Electron 83Rb/83mKr source for the energy scale monitoring in the KATRIN experiment.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 28.5
- Zepter, S.; KATRIN Collaboration  
Systematische Magnetfeldvermessung der differentiellen Pumpstrecke und des Luftspulensystems von KATRIN.  
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Bonn, 15.–19. März 2010  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.45(2010) HK 36.30

# Veröffentlichungen

## Eingeladene Vorträge

### Beate Bornschein

- David Demange, E. Fanghänel, B. Kloppe, T.L. Le, F. Scheel, K. H. Simon, R. Wagner, S. Welte. CAPER MODIFICATIONS AND FIRST EXPERIMENTAL RESULTS ON HIGHLY TRITIATED WATER PROCESSING WITH PERMCAT AT THE TRITIUM LABORATORY KARLSRUHE. 9th ICTST (TRITIUM), Nara, Japan, October 2010.
- Fischer, Sebastian. „Monitoring of tritium purity during long-term circulation in the KATRIN test experiment LOOPINO using laser raman spectroscopy“. 9th ICTST (TRITIUM), Nara, Japan, October 2010

### Christian Day

- Chr. Day, „Contributions of Rarefied Gas Dynamics to state-of-the-art vacuum science and technology“, Int. Symp. On Rarefied Gas Dynamics, Pacific Grove, CA, USA, Juli 2010.
- Chr. Day, Th. Giegerich, V. Hauer, X. Luo, F. Sharipov, St. Varoutis, D. Valougeorgis, „Recent developments in vacuum flow modelling“, Int. Vacuum Congress, Beijing, China, August 2010.
- Chr. Day, H. Haas, St. Hanke, V. Hauer, St. Varoutis, „Vacuum engineering of customized cryosorption pumps“, European Vacuum Congress, Salamanca, Spain, Sept. 2010.

### Wilfried Goldacker

- W. Goldacker, „HTS Hochstromleiter für Wechselstrombetrieb“, ZIEHL „Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit HTSL“, Bonn 16.–17.03.2010
- W. Goldacker, „High performance MgB<sub>2</sub> wires for application in energy, IH2 and space technology“. Japanese-EU Workshop „Superconductivity“ 1st. Aug. 2010, Washington USA
- W. Goldacker, S. Terzieva, R. Nast, S.I. Schlachter, A. Drechsler, F. Grilli, A. Kudymow, „Properties of ROEBEL cables from coated conductors“ ICSM Conference, 26th.–30th. April 2010, Antalya Turkey
- W. Goldacker, S. Terzieva, A. Kudymow, S.I. Schlachter, „Current transfer and redistribution in CC-Roebel cables“, CIMTEC 14th.–18th. June 2010, Montecatini, Italy
- W. Goldacker, S.I. Schlachter, F. Grilli, „High transport current 2G HTS cables with low AC losses“ MS&T Conference, 18th.–22nd. Oct, 2010, Houston, USA
- W. Goldacker, S. Stanimira, F. Grilli, M. Vojenciak, A. Kling, A. Kudymow, R. Nast, S.I. Schlachter, „Roebel bars from Coated Conductors“, CCA2010, 27th.–30th. Oct. 2010, Fukuoka, Japan
- W. Goldacker, S. Stanimira, F. Grilli, M. Vojenciak, A. Kling, A. Kudymow, S.I. Schlachter, R. Nast, „Properties of Roebel bars from Coated Conductors“, ISS Conference, 2nd.–6th. Nov. 2010, Tsukuba, Japan

- W. Goldacker, S.I. Schlachter, K. Weiss, Ch. Barth, „Bending of HTS conductors and cables“, VAMAS-TWA16 Mini Workshop on Evaluation Technologies for Superconducting Wires, 1st–2nd Nov. 2010 NIMS-Tsukuba, Japan
- W. Goldacker and S.I. Schlachter, „Cables From HTS Coated Conductors For High DC And AC Transport Currents“, ICC3-Conference, 15th.–18th. Nov. 2010, Osaka, Japan.

### Francesco Grilli

- F. Grilli. „Numerical Modeling of AC Losses in Fault Current Limiters“. CIMTEC 2010 – 5th Forum on New Materials, Montecatini Terme, Italy, 13–18 June, 2010.

### Mathias Noe

- M. Noe „Simulation and modelling“ Ecoflow Kick-off Meeting, 8.–9. Februar 2010
- M. Noe, E. Marzahn „Hochtemperatur-Supraleiter Kabel und Strombegrenzer“ 75. Kabelseminar, 23.–24. Februar 2010, Leibniz Universität Hannover
- M. Noe „Neue Konzepte für eine effiziente Energieversorgung“ Workshop Zukunft und Innovation der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern, 16.–17. März 2010, Wasserwerk Bonn
- M. Noe „Hochtemperatur-supraleitende Materialien auf dem Weg in die Anwendung“ AWT-VDI-Arbeitskreis Werkstofftechnik, 24. März 2010, Bremen
- M. Noe „Fault Current Limiters – Materials, Applications and Prospects“ 5th Forum on New Materials, 13.–18. Juni, Montecatini Terme, Italien
- M. Noe „Superconductivity for Power Applications is getting more and more attractive“ Plenarvortrag Applied Superconductivity Conference, 1.–6. August 2010, Washington, USA
- M. Noe „High Temperature Superconducting Rotating Machines“ CIGRE Workshop on Status of High-Temperature Superconducting (HTS) Power System Applications, 25. August 2010, Paris
- M. Noe „Superconducting fault current limiters in smart grid applications“ CIGRE Workshop on Status of High-Temperature Superconducting (HTS) Power System Applications, 25. August 2010, Paris
- M. Noe „Fault Current Limiters“ Superconductivity in Energy Technology Applications 2010, 4.– 5. November 2010, Tampere, Finnland

### Sonja Schlachter

- S. I. Schlachter, W. Goldacker, R. Heller, F. Grilli, S. Terzieva, A. Kudymow. „HTS Roebel and Rutherford Cables for High-Current Applications“. IOP Superconductivity Group Seminar: Development and Applications of HTS Conductors, 15. Januar, 2010, London

- S.I. Schlachter, A. Drechsler, B. Ringsdorf, W. Goldacker, F. Grilli, R. Heller, A. Kudymow, S. Terzieva, „HTS Cables for High-Current Applications“. International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2010), 25.–30. April 2010, Antalya
- S. I. Schlachter, W. Goldacker, F. Grilli, R. Heller, A. Kudymow, R. Nast, S. Terzieva. „HTS Roebel and Rutherford Cables for High-Current Applications“, 5. Braunschweiger Supraleiterseminar, 23. und 24. Juni 2010, Braunschweig

#### Stanimira Terzieva

- S. Terzieva, R. Nast, W. Goldacker, F. Grilli, A. Kudymow, M. Vojenciak, Jan Souc. „Effect of striated strands in 2G ROEBEL Cables“. Applied Superconductivity Conference (ASC 2010), 2.–6. August 2010, Washington, USA

# Veröffentlichungen

## Schutzrechtsbestände

\* Neue Schutzrechtsanmeldungen in 2010

\*\* Schutzrechtserteilungen mit Wirkung für Deutschland in 2010

### **Strombegrenzer mit elektrischen Ventilen zum Begrenzen des Kurzschlussstromes in einem elektrischen Leistungsstromkreis**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

CA 2,365,228  
CH 1149452  
DE 1149452  
FR 1149452  
GB 1149452  
US 6654222

### **Verfahren zur Steuerung der Netzgeräte zum Laden der Energiespeicher eines Leistungsmodulators und Leistungsmodulator zur Durchführung des Verfahrens**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

DE 10036519  
EP 01116149.4-1233

### **Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen mit einem Kryogenerator des aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases**

Hofmann, Albert

CN 2815086  
DE 10137552  
US 699818

### **Flacher, aus elektrisch leitenden Strängen zusammengesetzter verlustarmer elektrischer Leiter**

Klimenko, Evgueni

EP 03001748.7-2208

### **Zusätzliche Einrichtung in einem Strombegrenzer zur Strombegrenzung im Fehlerfall**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Noe, Mathias

CA PCT/EP2005/010850  
CN 200580041670.7  
DE 102004058633  
EP 05791533.2-1231  
S 7327542

### **Planar-helischer Undulator**

Beckenbach, Max; Eisele, Matthias; Kläser, Marion; Leys, Pauline; Lott, Bernd; Schneider, Theo

DE 102006056052  
EP 07846613.3-1226  
JP 2009538613  
US 12/516,508

### **Kryostat mit einem Magnetspulensystem, das eine LTS- und eine gekapselte HTS-Sektion umfasst**

Kläser, Marion

DE 102006012508  
EP 07723071.2-1231  
US 12/225,192

### **Kryostat mit einem Magnetspulensystem, das eine unterkühlte LTS- und eine in einem separaten Heliumtank angeordnete HTS-Sektion umfasst**

Schneider, Theo

DE 102006012511  
EP 07723070.4-2208  
US 12/225,188

### **Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Strombegrenzer**

Gehring, Rainer; Sander, Michael

DE 102007042711

### **Mit einer Kühlschicht versehener hochtemperatursupraleitender Bandleitervorbund**

Schacherer, Christian; Schwarz, Michael

US 12/809,133

### **Stromversorgung und Verfahren für eine gepulst betriebene induktive Last**

Gehring, Rainer; Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Noe, Mathias

DE 102008053679 \*\*  
EP PCT/EP2009/005909

### **Verfahren zur Herstellung einer Verbindungsstruktur zwischen zwei Supraleitern und Struktur zur Verbindung zweier Supraleiter**

Drechsler, Antje; Goldacker, Wilfried; Oomen, Marijn; Rabbers, Jakob Johan; Schlachter, Sonja

DE 102009043580.8-34

### **Vorrichtung zur Strombegrenzung mit einer veränderbaren Spulenimpedanz**

Noe, Mathias; Schacherer, Christian

DE 102010007087.4-34 \*  
WO PCT/EP2010/007837 \*

### **Massenstromsensor und Verfahren zur Bestimmung des Massenstroms in einem Rohr**

Neumann, Holger; Ramalingam, Rajini K; Süßer, Manfred

DE 102010012924.0-52 \*

**Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Verbindung von Nb<sub>3</sub>SN und NbTi-Leitern und supraleitende Verbindung**

Hehn, Werner; Schneider, Theo; Turowski, Peter

CH 459156.

ES 459156

FR 459156

GB 459156

NL 459156

SE 459156

DE 459156

**NMR-Magnetsystem mit supraleitender Spule in einem unterkühlten Heliumbad auf Atmosphärendruck**

Graf, Franz; Lehmann, Wolfgang; Müller, Wolfgang;

Roth, Gerhard; Turowski, Peter

US 522800

**Elektrischer Leiter mit supraleitenden Kernen und Verfahren zur Herstellung eines solchen Leiters**

Flükiger, René; Goldacker, Wilfried

DE CH736/95-3

**Kapazitiver Spannungsteiler zur Messung von Hochspannungsimpulsen mit Millisekunden-Impulsdauer**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory;

Salbert, Heinrich

CH 1097385

DK 1097385

FR 1097385

GB 1097385

JP 3589984

US 6456094

DE 1097385

**Schutzsystem in einem Leistungsmodulator zum Schutze der Last**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

CH 1131874

DK 1131874

FR 1131874

GB 1131874

NL 1131874

SE 1131874

US 665518

DE 1131874

**Kapazitiver Spannungsteiler zur Messung von Hochspannungsimpulsen mit Millisekunden-Impulsdauer**

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory;

Salbert, Heinrich

DE 19923211

**Axialer, kryotechnisch geeigneter Potentialtrenner**

Fink, Stefan; Friesinger, Günter

DE 1196711

## **Kontakt**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Campus Nord  
Institut für Technische Physik

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

---

[www.kit.edu/itep](http://www.kit.edu/itep)

## **Herausgeber**

Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Stand Juni 2011

---

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

# Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Technische Physik  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Telefon: +49 721/608-Durchwahl  
E-Mail: Vorname.Nachname@kit.edu

[www.kit.edu/itep](http://www.kit.edu/itep)

## Leitung

Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe (-23500)

## Stellvertretende Leitung

Dr. Walter Fietz (-24197)

## Sekretariat

Marion Gilliar (-23501)

## Professor a. D.

Prof. Dr. Peter Komarek (-22652)

## Hochfeldmagnete

Dr. Theo Schneider (-22344)

## Kryotechnik

Dr. Holger Neumann (-22625)

## Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Dr. Wilfried Goldacker (-24179)

## Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Leitung

Dr. Beate Bornschein (-23239)

## Administration

Kai Bauer (-23705)

## Fusionsmagnete

Dr. Walter Fietz (-24197)  
Dr. Reinhard Heller (-22701)

## Vakuumtechnik

Dr. Christian Day (-22609)

## Koordination KATRIN im ITEP

Dr. Beate Bornschein (-23239)