

ITEP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung
Jahresbericht 2012

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

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: Jubiläum 35 Jahre ITEP

Gestaltung:
modus: medien + kommunikation gmbh
www.modus-media.de

Druck:
Stober GmbH, Eggenstein
www.stober.de

März 2013

Inhalt

Vorwort	4
Ergebnisse aus den Forschungsbereichen	6
Technologie für Fusionsmagnete	6
Supraleitende Hochfeldmagnete	12
Supraleitende Materialien und Energieanwendungen	18
Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)	24
Vakuumtechnik	30
Kryotechnik	36
Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN	40
Lehre und Bildung	46
Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen	46
Doktorarbeiten – Master- und Diplomarbeiten – Bachelor- und Studienarbeiten	47
ITEP Kolloquien	49
Zahlen und Daten	50
Organigramm ITEP	50
Personalstand	50
Personalveränderungen	51
Trainee / Studentische Hilfskräfte	52
Gastwissenschaftler	53
Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien	54
Veröffentlichungen	56
Veröffentlichungen Programm „Kernfusion“	56
Veröffentlichungen Programm „Rationelle Energieumwandlung“	62
Veröffentlichungen Programm „Struktur der Materie“	66
Eingeladene Vorträge	69
Schutzrechtsbestände	71
Kontakt	73

Vorwort

Das Institut für Technische Physik (ITEP) versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum für Fusions-, Supraleitungs- und Kryotechnologie. Seine Arbeiten fokussieren auf die folgenden Bereiche:

- 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“ sowie „Astroteilchenphysik“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren verankert.

Um seine komplexen und meist multidisziplinären Aufgaben zu bearbeiten, verfügt das ITEP über große und einzigartige Versuchseinrichtungen, Labore und die entsprechende technische Infrastruktur. Dazu gehören beispielsweise:

- Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) als weltweit einziges zivil genutztes Labor mit einem geschlossenen Tritiumkreislauf
- Toroidal-Spulen-Testanlage Karlsruhe (TOSKA) zum Test großer Magnete für die Fusion und zur Entwicklung von Komponenten für zukünftige Fusionskraftwerke
- Testanlage für die ITER-Modellpumpe (TIMO) zur Entwicklung von Kryovakuumpumpen
- Hochfeldmagnetlabor zur Entwicklung von supraleitenden Magneten hoher Felder
- Kryogenes Hochspannungslabor zur Untersuchung der Hochspannungsfestigkeit kryogener Isolierstoffe
- Kryogene Materiallabore zur Untersuchung elektrischer und mechanischer Eigenschaften bei sehr tiefen Temperaturen

Auch 2012, im Jahr seines 35-jährigen Bestehens, erzielte das Institut für Technische Physik bemerkenswerte wissenschaftliche Ergebnisse und meisterte besondere Herausforderungen, die ich im Folgenden kurz zusammenfasse.

Der Arbeitsbereich **Fusionsmagnete** hat für das Fusionsprojekt Wendelstein 7-X die Entwicklung, den Bau und den Test von Hochstromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern übernommen. 2012 wurden die letzten Serienstromzuführungen erfolgreich mit Strömen bis zu 20 000 Ampere getestet und fristgerecht abgenommen. Weiterhin wurde die erste Projektphase beim Bau und der Bereitstellung von Hochstromzuführungen für das Projekt JT60-SA erfolgreich mit der Materialbereitstellung abgeschlossen.

Für das Fusionsexperiment ITER (www.iter.org) nahm der Arbeitsbereich zahlreiche kryogene mechanische Materialtests vor.

Das **Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)** wird bei dem internationalen Fusionsexperiment ITER die Bereitstellungspakete zur Wasserdetriitierung (WDS) und kryogenen Isotopentrennung (ISS) übernehmen. 2012 wurde die kombinierte WDS-ISS-Testanlage mit allen verfahrenstechnischen Steuerungen und sicherheitsrelevanten Einrichtungen getestet. Mehrere analytische Methoden zur Tritiumbestimmung in Wasser und der flüssigen Wasserstoffphase wurden weiterentwickelt. Zudem wurde der Ersatz des Prozessleitsystems bei minimaler Stillstandzeit der betroffenen Einheiten fortgesetzt, und der erforderliche Systemersatz der Strahlenschutzmesstechnik wurde in enger Zusammenarbeit mit dem KIT Sicherheitsmanagement vorgenommen.

Im Bereich **Vakuumtechnik** des ITEP liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von Vakuumsystemen mit extrem hohem Saugvermögen. 2012 wurde das Built-to-Print-Design der Kryopumpe für die ITER-Neutralteilchenheizung vollständig abgeschlossen. Außerdem entwickelte der Arbeitsbereich ein neues Referenzkonzept für den Brennstoffkreislauf von zukünftigen Fusionskraftwerken, das die erforderlichen höheren Durchsätze bei gleichzeitig niedrigem Inventar der beteiligten Stoffe ermöglicht, und nahm Arbeiten zur Entwicklung der benötigten Metallfolienpumpen auf. Zur hochgenauen Messung der Ausgasung von Materialien wurde eine neue Anlage aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen.

Im Bereich **Supraleitermaterialentwicklung** stellt die Entwicklung von wirtschaftlichen, verlustarmen und hochstromtauglichen Leiterkonzepten eine Kernaufgabe dar. Schwerpunkte der Arbeiten 2012 waren die Weiterentwicklung und die Charakterisierung von hochtemperatur-supraleitenden Roebel-Leitern. Mit einem am KIT entwickelten Roebel-Leiter wurde am CERN ein Transportstrom von 12.000 Ampere gemessen, bei einem Magnetfeld von 6 Tesla und einer Temperatur von 4.2 Kelvin. Was die **energietechnischen Anwendungen der Supraleitung** betrifft, begannen im Rahmen eines Verbundprojekts zur Entwicklung eines 1 km langen, 40 MVA supraleitenden Kabels erste vielversprechende Tests an einem neuen Teststand zur Charakterisierung der Wechselstromverluste. Weiterhin wurde die Entwicklung einer leistungsstarken Strombegrenzerkomponente für ein europäisches Verbundprojekt erfolgreich abgeschlossen.

Der Arbeitsschwerpunkt des **Hochfeldlabors** liegt auf der Entwicklung von Hochfeld-NMR-Systemen mit Hochtemperatur-Supraleitern. 2012 wurde im Rahmen

einer Industriekooperation der erste Projektmeilenstein erreicht; die zweite Projektphase wurde fortgeführt. Dabei zeigte sich, dass die außerordentlich hohen Anforderungen an das Material grundsätzlich von den HTS-Bandleitern der 2. Generation erfüllt werden. Zur Beschreibung der Richtungsabhängigkeit der kritischen Stromdichte vom Magnetfeld wurden mathematische Modelle entwickelt und durch Messungen verifiziert.

Der Bereich **Kryotechnik** entwickelt, erweitert und betreibt komplexe und umfangreiche Kryosysteme, beispielsweise für das Tritium Neutrino Experiment KATRIN oder die Stromzuführungstestanlage CuLTka. Diese Anlagen wurden wesentlich weiterentwickelt; die Kryoversorgung wichtiger Experimente für KATRIN wurde sichergestellt. Darüber hinaus sorgt dieser Bereich für die Wartung und Instandhaltung der Kälteanlagen und die Versorgung des KIT mit flüssigem Helium und flüssigem Stickstoff. Ein europäisches Verbundprojekt zur Entwicklung supraleitender Windkraftgeneratoren startete mit wesentlicher Beteiligung des Arbeitsbereichs Kryotechnik.

Im **Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN** (www-ik.fzk.de/tritium/) leistet das ITEP wichtige Beiträge zu den Tritiumkreisläufen, der Kryoversorgung und den supraleitenden Magneten. Wesentliche Teile des Konzepts der Rear Section von KATRIN wurden entwickelt, und in Experimenten wurde die Machbarkeit der Aktivitätsüberwachung der Quelle durch Röntgendetektoren erfolgreich demonstriert. Ein Projekthighlight war 2012 die erfolgreiche und hochgenaue Kalibrierung des Laser-Raman-Verfahrens zur Tritiumanalyse.

Was **personelle Veränderungen** betrifft, stieg die Zahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Ausbildung, wie Studentinnen und Studenten der Dualen Hochschule, Diplomanden, Doktoranden und Trainees, erfreulicherweise weiter an. Insgesamt bildet das ITEP nun schon mehr als 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in verschiedenen Disziplinen aus.

In der **Lehre** wurden weitere Vorlesungen neu konzipiert und eingeführt. Insgesamt boten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ITEP 2012 Vorlesungen im Umfang von 22 Semesterwochenstunden im Jahr für Studierende des KIT an. Zahlreiche vom ITEP organisierte nationale und internationale Seminare, Sommerschulen und Workshops ergänzten das Angebot. Im November 2012 war das ITEP an der Organisation der hochrangigen Konferenz „Coated Conductors for Applications“ mit fast 120 Teilnehmern aus 15 Ländern in Heidelberg beteiligt.

Die Feier zu seinem 35-jährigen Bestehen verband das ITEP im Juli 2012 mit dem schon traditionellen Sommer-

fest. Ich bedanke mich sehr herzlich bei allen Helferinnen und Helfern sowie allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern.

Einige **besondere Auszeichnungen** wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ITEP 2012 zuteil: Dr. Francesco Grilli erhielt für seine ausgezeichneten Arbeiten und wissenschaftlichen Beiträge zur Modellierung von Supraleitern im Juni 2012 von der BTU Cottbus den Dr. Meyer-Struckmann-Wissenschaftspreis. Dr. Klaus-Peter Weiss wurde in die Helmholtz-Akademie für Führungskräfte aufgenommen. Ich freue mich über diese Auszeichnungen und gratuliere ganz herzlich zu den schönen Erfolgen!



Verleihung des Dr. Meyer-Struckmann-Wissenschaftspreises der BTU Cottbus an Dr. Francesco Grilli (rechts).

Mein ganz besonders herzlicher Dank gilt allen Partnern des ITEP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie für die ausgesprochen vertrauensvolle, fruchtbare und erfolgreiche Zusammenarbeit im Jahr 2012.

Herzlichst Ihr

Mathias Noe



Test von Raumtemperatur-Hochspannungstrennern, gefertigt von Babcock-Noell als Prototypen für ITER.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

Das ITEP beteiligt sich im Bereich Fusionsmagnete am nationalen Projekt W7-X sowie an den internationalen Projekten JT-60SA und ITER. Zusätzlich leistet es vorbereitende Arbeiten für künftige Fusionsreaktoren.

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

Arbeiten für Wendelstein 7-X

Für das Plasma-Experiment Wendelstein 7-X (W7-X) hat das ITEP 16 Stromzuführungen entwickelt, gebaut und getestet. Die zwei Prototypen und 14 Serienstromzuführungen wurden mit BiSCCO-Hochtemperatursupraleitern (HTS) ausgerüstet, wodurch die erforderliche Kälteleistung weitaus geringer ist. Die Stromzuführungen wurden für 18,2 kA ausgelegt.

Nach dem erfolgreichen detaillierten Test der beiden Prototypstromzuführungen 2010 und der Freigabe der Fertigung der 14 Serienstromzuführungen wurde mit der Serienfertigung am KIT begonnen.



Abb. 1: Testkryostat an TOSKA
a) verschlossen
b) offen mit Blick auf den Anschlussbereich zwischen Stromzuführung und Busbar.

2012 wurde die Serienfertigung weitergeführt und im Oktober abgeschlossen. Abschlusstests an sechs Serienstromzuführungspaaren wurden mit einem Testkryostaten an TOSKA (Abbildung 1) bereits erfolgreich durchgeführt; der Test des letzten Serienpaares wurde vorbereitet. Die Serientests zeigten bis jetzt gute reproduzierbare Ergebnisse.

Arbeiten für JT-60SA

Aufgrund der Expertise des ITEP bei HTS-Stromzuführungen sagte das BMBF 2007 zu, Stromzuführungen für den Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA zu liefern. Die Rahmendaten zwischen der EU und Japan wurden 2009 vertraglich festgelegt und Anfang 2010 unterzeichnet. Danach erarbeitete das ITEP das Grobdesign.

2011 wurden die Anschlussbereiche an JT-60SA zusammen mit F4E und Japan fixiert, und das Design wurde

festgeschrieben. 2012 erarbeitete das ITEP nun das Detaildesign (Abbildung 2). Basis sind die Ergebnisse eines Prototypentests. 2012 wurde die TÜV-Freigabe erteilt, und die Detailkonstruktion wurde abgeschlossen, so dass die Beschaffung der Materialien und Komponenten gestartet werden konnte.



Abb. 2: CAD-Modell der 26-kA-Stromzuführung für JT-60SA.

Stromzuführungs-Testanlage CuLTka

Zum Testen der 26 Stromzuführungen für JT-60SA wird die neue Testanlage CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe) aufgebaut und in die bestehende Kryoinfrastruktur des ITEP integriert. Dies ermöglicht im Vergleich zu einem Test in TOSKA eine wesentlich höhere Testfrequenz, die für eine fristgerechte Fertigstellung aller Stromzuführungen für JT-60SA notwendig ist. Der Bau der verschiedenen Kryostaten und Ventilboxen am KIT schreitet gut voran. Alle Kryostatboxen sind fertiggestellt und werden derzeit in CuLTka aufgebaut (Abbildung 3). Die Lieferung der LN₂-Schilder verzögerte sich wegen Qualitätsproblemen bei der Fertigung um rund ein halbes Jahr. 2012 wurden die Transferleitungen in der Industrie bestellt; diese werden derzeit gefertigt. CuLTka kann allerdings erst dann an die bestehende Infrastruktur angeschlossen werden, wenn alle Tests für W7-X abgeschlossen sind, weil dazu die Kryoinfrastruktur auch für TOSKA außer Betrieb genommen werden muss.

Der Bau der Serienstromzuführungen für W7-X sowie deren Abnahmetests waren Ende 2012 abgeschlossen; Anfang 2013 wird noch ein Test zweier reparierter W7-X-Stromzuführungen durchgeführt. Anschließend soll die Fertigung der 26 Stromzuführungen für JT-60SA beginnen, die Testanlage CuLTka soll fertiggestellt und in Betrieb genommen werden. Das Projekt Stromzuführungen für JT-60SA wird bis Anfang 2017 laufen.

Unterstützung von ITER

ITER benötigt Instrumentierungsdurchführungen, um beispielsweise an den Magnetspulen abgegriffene Span-



Abb. 3: Testanlage CuLTKa beim Aufbau der Kryoinfrastruktur.

nungs- oder Temperatursignale aus dem Vakuum des Kryostaten herauszuführen. Da an den Magneten bei Schnellabschaltungen oder im Fehlerfall hohe Spannungen auftreten können, müssen diese Durchführungen hochspannungsfest ausgeführt werden. ITER hat deswegen Testspannungen von 56 kV Gleichspannung und 35 kV Wechselspannung definiert. Zusätzlich wird gefordert, dass die Spannungsfestigkeit nicht nur bei gutem Vakuum, sondern auch im Druckbereich von 10^{-4} mbar bis zu Normaldruck gegeben sein muss. Dieser Druckbereich ist extrem kritisch, da darin auch schon bei vergleichsweise kleinen Spannungen von einigen 100 Volt Gasentladungen zünden können.

Da das ITEP über Erfahrungen mit ähnlichen Hochspannungsdurchführungen verfügt, die bei der ITER-Modellspule TFMC und früheren Fusionsspulenprojekten erarbeitet wurden, wurde es von ITER beauftragt, zusammen mit der Industrie geeignete Hochspannungsdurchführungen zu entwickeln. Das ITEP entwickelte solche Durchführungen in Kooperation mit der Otto-Dunkel GmbH Mühldorf (ODU). Prototypen der Hochspannungs-Signaldurchführungen wurden von ODU gebaut und anschließend im ITEP umfangreichen Hochspannungstests unterzogen (Abbildung 4). Mit der Übergabe von vier vollständig funktionsfähigen Durchführungen wurde dieser ITER-Auftrag abgeschlossen.

In einem weiteren ITER-Auftrag untersuchte das ITEP Raumtemperatur-Hochspannungstrenner, die dazu dienen, das Helium aus den ITER-Stromzuführungen gasdicht zurückzuführen, zugleich aber eine elektrische Trennung der Spule vom geerdeten He-Verflüssiger bieten. Bei vorangegangenen Untersuchungen in einem früheren ITER-Auftrag hatte das ITEP Tieftemperatur-Hochspannungstrenner erfolgreich getestet, bei der Raumtemperaturversion waren aber unklare Ergebnisse aufgetreten.

Die neuen Untersuchungen haben nun gezeigt (Abbildung 5), dass unter dem ITER-typischen hohen Heliumfluss von 4.5 g/s die ITER-Spezifikationen eingehalten



Abb. 4: Buchse (links) und Stecker (rechts) der Hochspannungs-Instrumentierungsdurchführung.



Abb. 5: Raumtemperatur-Hochspannungstrenner im Test.

werden. Im Fall stagnierenden Heliums ist die Spannungsfestigkeit allerdings deutlich vermindert.

Kryogene Materialtests und mechanische Tests von supraleitenden Kabeln (Bereich CryoMaK)

Mechanische Messungen

Neben den stetig wachsenden Aufgaben im Rahmen des ITER-Projekts zur Qualifizierung von Strukturmaterialien bearbeitete das ITEP auch vermehrt Anfragen der Industrie außerhalb des Programms „Fusion“. Das Spektrum der mechanischen Charakterisierung reichte dabei beispielsweise von Klebebandeigenschaften (siehe Abbildung 6) bis zu Reibrührschweißverbindungen von Aluminiumplatten bei kryogenen Temperaturen zur Anwendung in der Weltraumtechnik.

Da bei supraleitenden Anwendungen neben strukturellen Anforderungen auch die thermische Charakterisierung relevant ist, wurden spezielle Proben aus HTS-Bändern gefertigt. Dabei wurde die thermische Leitfähigkeit nicht nur in Richtung des HTS-Bands bestimmt, sondern auch transversal über die Dicke des Bandes. Verwendet wurden mit Kupfer stabilisierte Bänder der Firma Superpower. Gemessen wurden dabei neben dem vollständigen Band auch Proben mit polierten Seiten, das heißt ohne thermischen Kupferkurzschluss über die Kanten. Die Herausforderung lag in der extrem kurzen Messlänge bzw. Dicke der Proben, die sich durch die Anfertigung von Bandstapeln zum Teil kompensieren ließ (siehe Abbildung 7). Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass die thermische



Abb. 6: Abschältest (180°) und Zugtest (0°) eines speziellen Al-Klebebandes bei 4.2 K.

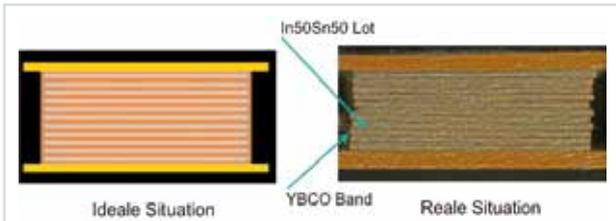


Abb. 7: Probenquerschnitt eines HTS-Bandstapels zur Messung der thermischen Leitfähigkeit (rot – Kupfer).

Leitfähigkeit in Bandrichtung drei Größenordnungen über der senkrecht zum Band liegt. Zum anderen wurde mit diesen verschiedenen Proben auch eine rechnerische Verifikation der qualitativen Ergebnisse erreicht (siehe Abbildung 8).

Dank der wachsenden Nachfrage nach Expertise in kryogenen Materialtests ist das CryoMaK-Labor nun Teil der Helmholtz Energy Materials Characterization Platform (HEMCP). Unter der Koordination des FZJ wurde zusammen mit DLR, HZB, HZDR und KIT zentrenübergreifend ein Projektantrag gestellt, der erfolgreich war. Ziel ist, innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft die notwendige Forschungsinfrastruktur zur Charakterisierung und Entwicklung von Funktions- und Strukturmaterialien unter extremen Bedingungen für die Energietechnik zu etablieren und bereitzustellen.

HEMCP wird mit einer Gesamtinvestition von ca. 40 Mio. € von 2013 bis 2016 aufgebaut und soll langfristig dank der verschiedenen Charakterisierungsmethoden der beteiligten Einrichtungen eine erstrangige Plattform für die Forschung zu Energiematerialien bilden.

Messungen in der FBI-Anlage

Nach der erfolgreichen Erweiterung der FBI-Anlage zur Messung des kritischen Stroms I_c im angelegten Magnetfeld B mit einem variablen Temperatureinsatz (4.2 – 80 K) wurde bereits im Vorjahr eine erste Messung eines HTS-Roebel-Kabels durchgeführt.

Dank der einzigartigen Testbedingungen in der FBI-Anlage konnten nun weitere alternative HTS-Kabelkon-

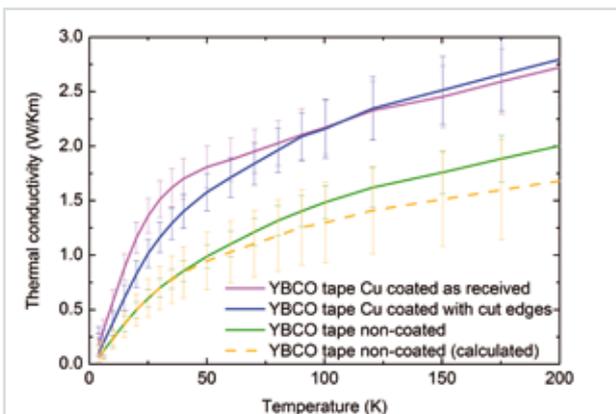


Abb. 8: Ergebnisse der Messung der thermischen Leitfähigkeit – mit Kupfer beschichtet (as received), Kupferseiten entfernt (with cut edges), ohne Kupferbeschichtung (non coated), berechnet aus den Kupferbeschichteten (coated) abzüglich des Beitrags des Kupfers (calculated).



Abb. 9: Dr. Makoto Takayasu vom Massachusetts Institute of Technology/USA (links) und Dr. Danko van der Laan von Advanced Conductor Technologies und der University of Colorado/USA (rechts), jeweils beim Test eines HTS-Kabels in der FBI-Anlage des ITEP.

zepte untersucht werden (siehe Abbildung 9). So wurden erfolgreiche Messungen an dem robusten Conductor on Round Core (CORC) Kabel der Firma Advanced Conductor Technologies vorgenommen. Das Kabelkonzept umfasst 15 Bänder, die in fünf Lagen um einen zentralen Former – in diesem Fall ein konventionelles Kupfer-Hochstromkabel mit Isolation – gewickelt wurden (siehe Abbildung 10). Weitere Untersuchungen werden zeigen, inwieweit die Skalierung einfach durch das Hinzufügen weiterer Lagen supraleitender Bänder möglich ist.

Als weiterer Kandidat wurde ein vom MIT realisiertes Twisted Stacked Tape Cable vermessen. Zum Einsatz kam ein Stapel von 40 Bändern, zur Stabilisierung in ein Kupferrohr eingelötet. Als Besonderheit zeigte sich die elektrische Kontaktierung der einzelnen HTS-YBCO-Bänder. Diese wurden abwechselnd zwischen BSCCO mechanisch geklemmt, um einen extrem geringen Übergangswiderstand zu ermöglichen. Zur Verbindung mit der eigentlichen Stromzuführung sind die BSCCO-Bänder in einen Kupferblock eingelötet, was mit der Ag-Matrix dieser Supraleiter hervorragend möglich ist. Die mechanische Klammer lässt sich einfach lösen, um das zu testende Kabel zu tauschen.

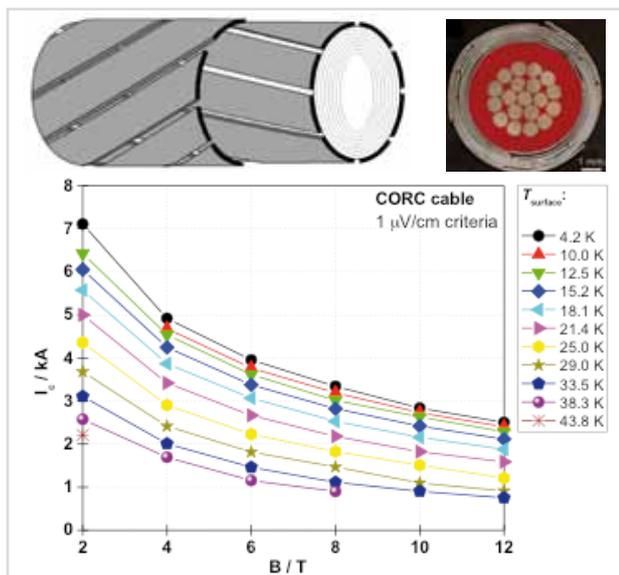


Abb. 10: $I_c(B,T)$ Ergebnisse gemessen an dem HTS-CORC Kabel.

Highlight 1

Tests der HTS-Serienstromzuführungen für Wendelstein 7-X



Abb. 11: Serienfertigung der Stromzuführungen für W7-X

Alle Serienstromzuführungen wurden bis Mitte 2012 im KIT gefertigt. (Abbildung 11). Bis Oktober 2012 wurden insgesamt sechs Serienstromzuführungs-paare für Wendelstein 7-X erfolgreich getestet. Die Tests wurden nach einem abgestimmten Programm durchgeführt und umfassten Verlustmessungen ohne Strombetrieb, Stromtests bei 14 kA und 18,2 kA, Langzeittests bei 18,2 kA sowie Kühlmittelverlusttests. Sämtliche Stromzuführungen erfüllten in allen Parametern die Erwartungswerte.

- Die Wärmeverluste auf dem 4,5-K-Niveau betragen (2.1 ± 1) W und der Heliummassenstrom bei einem Betriebsstrom von 18,2 kA beträgt 1,38 g/s (Abbildung 12).
- Die Temperaturmarge wurde zu mehr als 25 K bestimmt, was genug Reserve für den späteren Betrieb im Wendelstein 7-X bedeutet.
- Im Fall eines Kühlmittelverlustes bei 18,2 kA Betriebsstrom dauert es etwa 18 Minuten, bis ein Quench im HTS-Teil der Stromzuführungen auftritt (Abbildung 13).
- Der gemessene Druckabfall in den Wärmetauschern entspricht den Vorhersagen der CFD-Modellierung (Abbildung 14).

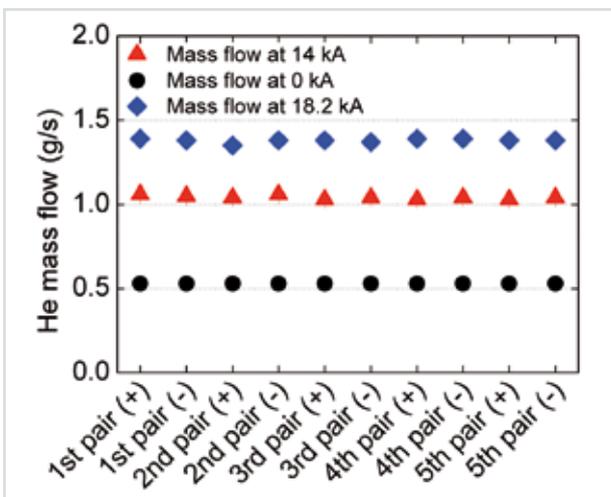


Abb. 12: 50 K Heliummassenstrom durch den Wärmetauscher, gemessen für die Serienstromzuführungen 1 – 10.

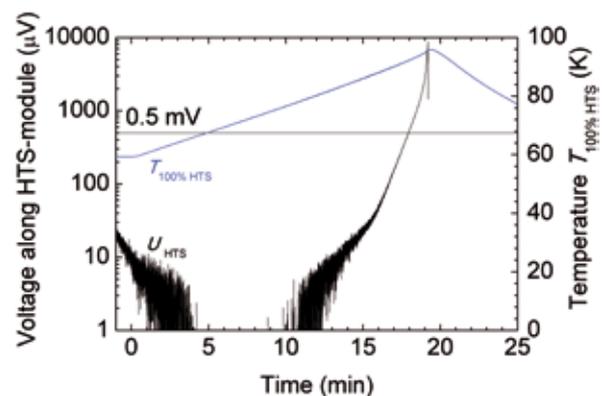


Abb. 13: Spannungsanstieg über das HTS-Modul und Temperaturanstieg am warmen Ende als Funktion der Zeit während der Simulation des Kühlmittelaustritts bei 18,2 kA.

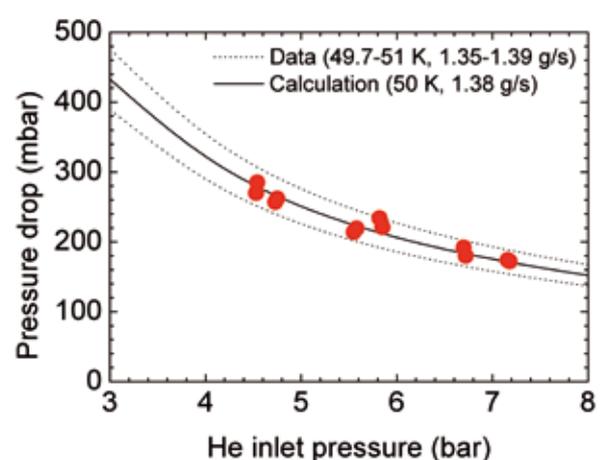


Abb. 14: Druckverlust im Wärmetauscher bei Raumtemperatur als Funktion des Heliummassenstroms.

Highlight 2: Entwicklung der steckbaren Hochspannungs- Signaldurchführung für ITER

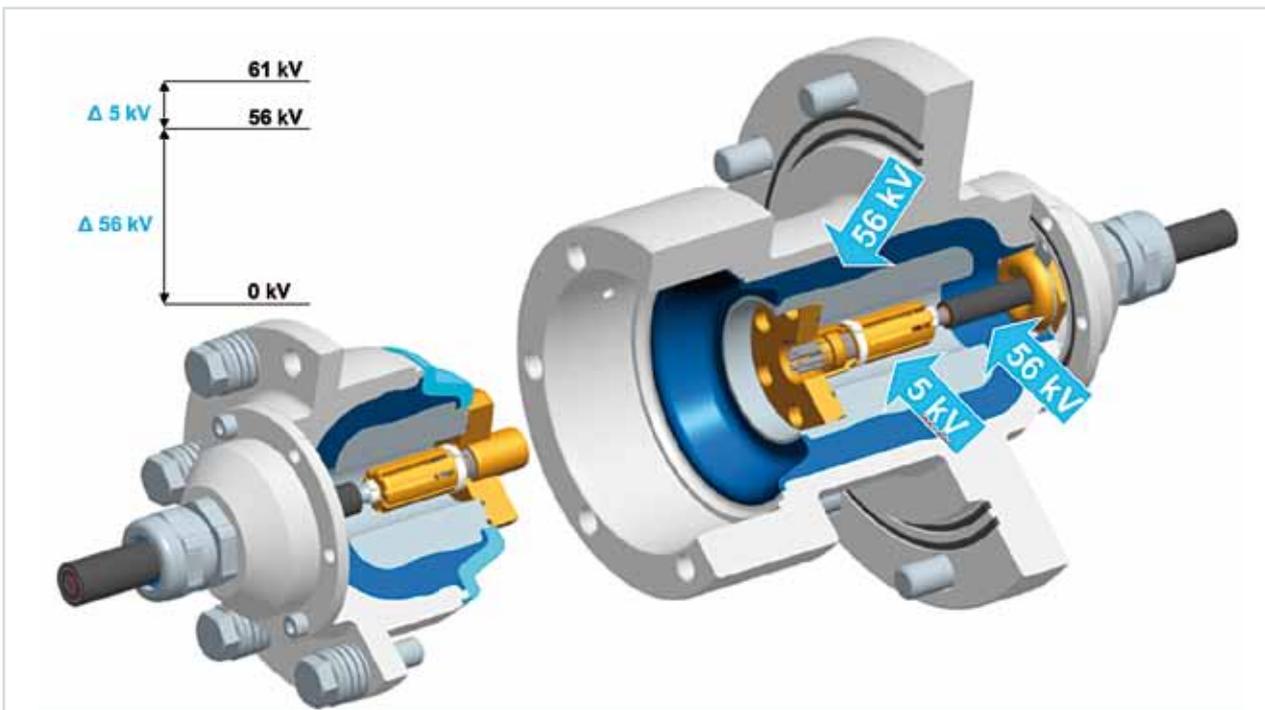


Abb. 15: Hochspannungsdurchführung für ITER

Für ITER werden steckbare Signaldurchführungen benötigt, um beispielsweise Signale von Spannungs- und Temperatursensoren aus dem Vakuum des Kryostaten herauszuführen.

ITER hat als Anforderung definiert, dass solche Durchführungen kleine Signale im Mikro- und Millivolt-Bereich auf einem Niveau von bis 56.000 Volt Gleichspannung bzw. 35.000 Volt Wechselspannung übertragen können.

Das KIT entwickelte in Zusammenarbeit mit der Otto-Dunkel-GmbH Mühldorf (ODU) solche Durchführungen. ODU fertigte mehrere Prototypdurchführungen; diese wurden vom KIT unter folgenden Bedingungen erfolgreich getestet:

- 35 kV DC 5 min an Luft
- 35 kV (peak) AC 5 min an Luft
- 35 kV – DC 1 min in Stufen
- (unter Paschen Bedingungen)
- 56 kV an Luft – DC 5 min

Die Durchführungen sind so konzipiert, dass ODU sie industriell in Großserie für ITER fertigen kann.



Abb. 16: Hochspannungsdurchführung CAD-Design



Abb. 17: Hochspannungsdurchführung
zusammengebaut



Technikum des Bereichs Supraleitende Hochfeldmagnete: Fertigung eines Kupfersolenoids für einen supraleitenden Strombegrenzer mit induktiver Widerstandseinkopplung.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

Die Arbeiten des Bereichs Supraleitende Hochfeldmagnete (HFM) des ITEP im Jahr 2012 fokussierten innerhalb F&E auf den Ausbau von HOMER II, die NMR-Projekte mit der Firma Bruker BioSpin GmbH, das EU-Projekt EuCARD sowie die Kooperationen mit dem Institut für Synchrotronstrahlung (ISS). Dazu kamen Untersuchungen von FBG-Sensoren und Spulenfertigungen, beispielsweise für einen Mischkryostaten von Professor Alexey Ustinov vom Physikalischen Institut (PI). Diese Projekte decken zahlreiche technische Anwendungen ab, sodass die eingesetzten Supraleiter komplexe und vielfältige Anforderungen erfüllen müssen.

Die Forscherinnen und Forscher untersuchten unter anderem niederfeldoptimierte NbTi- und $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Supraleiter für Undulator-Wicklungen und erste kommerzielle MgB_2 -Leiter für supraleitende Energiespeicher im Feldbereich 2 – 5 T, kraftverstärkte $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Leiter im Feldbereich 12 – 15 T, Hochstrom $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Leiter im Feldbereich um 20 T sowie moderne REBCO-Hochtemperatur-Supraleiter für den Hochfeldbereich größer als 24 T.

Industriekooperationen – NMR-Projekte

NMR-Magnetentechnologie

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 15 Jahren untersuchen Forscher in dem dafür eingerichteten NMR-Magnetentechnologie-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 Testkonfigurationen verlangt. Neben den Supraleitern charakterisieren die Wissenschaftler auch die aus den Leitern hergestellten supraleitenden Verbindungen und optimieren ihre Restresistivität im $p\Omega$ -Bereich abhängig vom externen Magnetfeld. Die Ergebnisse der Experimente und ihre Auswertung sind Kooperations-Know-how und unterliegen daher der absoluten Vertraulichkeit.

1.200 MHz NMR-Projekt

Dieses ambitionierte NMR-Projekt zielt darauf, eine NMR-taugliche HTS-Einsatzspule zum Aufbau eines NMR-Spektrometers mit Protonenresonanzfrequenzen von etwa 1.200 MHz zu entwickeln. Im Unterschied zu den anderen HTS-Projekten des ITEP werden dabei die HTS nicht bei 77 K, sondern bei Temperaturen unter 4,2 K eingesetzt. Daher müssen die grundsätzlichen Ei-

genschaften bei tiefen Temperaturen bestimmt werden (siehe Abbildung 1). Näheres ist im Abschnitt Highlights beschrieben.

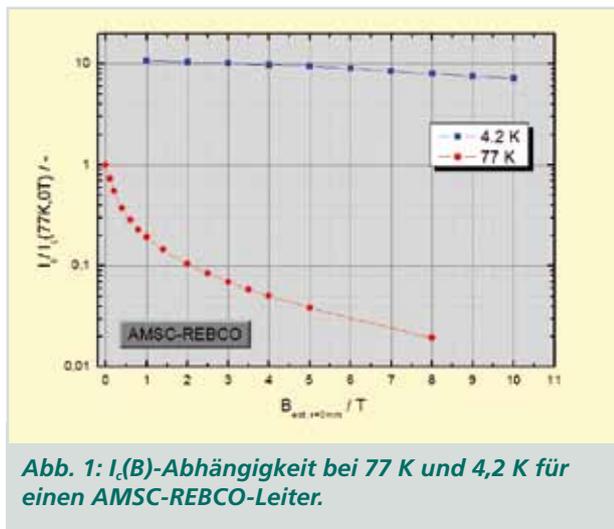


Abb. 1: $I_c(B)$ -Abhängigkeit bei 77 K und 4,2 K für einen AMSC-REBCO-Leiter.

EuCARD

EuCARD (European Coordination for Accelerator Research and Development) ist ein Gemeinschaftsprojekt von 37 europäischen Partnern. Das Hauptziel von EuCARD ist die Entwicklung innovativer Konzepte und Techniken für ein Upgrade der großen europäischen Forschungsbeschleuniger, wie das Large Hadron Collider (LHC). Die derzeitigen Beschleunigermagnete des LHC sind für ein Designmagnetfeld von 8,3 T ausgelegt. Die Magnete sind aus NbTi-Supraleitern gewickelt und werden bei Temperaturen von 1,9 K betrieben. Für die vorgesehenen Upgrades des LHC, HL-LHC (High Luminosity-LHC) und HE-LHC (High Energy LHC), werden Magnetensysteme im Bereich 13 – 20 T benötigt. Ein Arbeitspaket des EuCARD-Projekts befasst sich daher mit der Entwicklung neuer Magnetentechnologien auf der Basis von $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ und Hochtemperatur-Supraleitern.

Für den HE-LHC ist eine Erhöhung des Energiewerts auf das Zwei- bis Dreifache erforderlich. Das heißt, es werden Dipolmagnete benötigt, die eine Flussdichte von 20 T erzeugen. Im derzeitigen Dipoldesign sind ein 14-T-LTS-Hintergrundmagnetsystem, bestehend aus NbTi- und NbSn-Spulen, sowie ein 6-T-HTS-Einsatzmagnet vorgesehen.

Zu Beginn des Projekts standen für die HTS-Einsatzspulen Bi2212-Rundleiter sowie REBCO-Bandleiter als Leitermaterial zur Disposition. Wegen der schlechteren kritischen Stromdichten, der verminderten Kraftbelastung und der aufwendigeren Herstellung der Spulen nach dem W&R-Verfahren entschieden sich die Wissen-



Abb. 2: Versuchsanordnung zur Charakterisierung eines REBCO-Doppelpancakes im Rahmen des EuCARD-Projekts.

schaftler gegen die Bi2212-Rundleiter und konzentrieren sich auf die REBCO-Leiter.

Die KIT-Hochfeldgruppe ist innerhalb des EuCARD-Projekts in die Supraleitercharakterisierung und die Tests von HTS-Solenoid-Wicklungen involviert.

Ende 2011 wurde ein erstes vom französischen Projektpartner CNRS gefertigtes REBCO-Doppelpancake an das ITEP übergeben. Bei der Fertigung wurde ein 4 mm breites REBCO-Band der Firma SuperPower mit je zehn Lagen pro Einzelpancake verwendet. Die experimentellen E(I)-Untersuchungen der Doppelpancakes wurden in der 15-T-Magnetkonfiguration der HOMER I Experimentieranlage bei 4,2 K durchgeführt. Abbildung 2 zeigt das im HFL instrumentierte Doppelpancake neben der innersten 15-T-Nb₃Sn-Spule von HOMER I. Das Team nahm diverse konstruktive Anpassungen vor, um die Sicherheit bei Montage und Test zu gewährleisten. Die U(I)-Charakterisierung erfolgte in paralleler Magnetfeldkonfiguration mit Spannungs-potenzialen zur Quenchedetektion und einer zusätzlichen Kompensationsspule zur rauscharmen U(I)-Bestimmung. In einem ersten Schritt wurde die Doppelpancake-Spule im Bereich des späteren Belastungsstroms des Leiters getestet. Dazu wurde die Spule bei Magnetfeldern von 8 T bis 12 T mit einem Transportstrom bis 400 A belastet. Diese Tests, bei denen eine maximale Ringspannung von 500 MPa auf den Leiter wirkte, waren erfolgreich. In einem zweiten Schritt wurde der kritische Strom I_c ermittelt. Dabei erreichte der REBCO-Leiter bei einem Magnetfeld von 10 T und einem Transportstrom von 698 A, was einer Ringspannung von 730 MPa entspricht, seine maximale mechanische Belastbarkeit und brach am Spuleneingang durch. Ein ähnliches Resultat – Drahtbruch bei 700 MPa – erzielten der Partner CNRS bei Messungen an einem baugleichen Doppelpancake. Derzeit baut und testet der französische Projektpartner komplexere Doppelpancake- und Solenoid-Spulen.

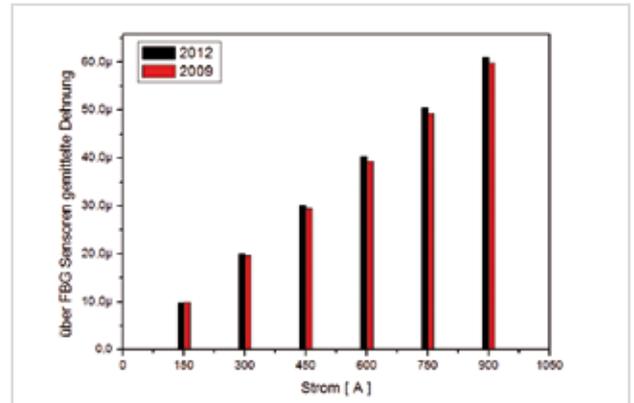


Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse der FBG-Messungen 2009 und 2012, durchgeführt mit identischem Messequipment.

Kooperationen innerhalb des KIT

FBG-Sensoren

Gemeinsam mit der Kryogruppe des ITEP untersuchten die Wissenschaftler des Bereichs Supraleitende Hochfeldmagnete die durch die Lorentzkraft verursachten lokalen mechanischen Dehnungen einer supraleitenden Spule mit FBG-Sensoren. Im Mittelpunkt stand die Reproduzierbarkeit derartiger Messungen. Daher wurde die bereits 2009 untersuchte NbTi-Testspule nochmals in gleicher Weise gemessen. Abbildung 3 zeigt die Messergebnisse aus den Jahren 2009 und 2012, wobei mit einer Abweichung unter 2 % eine sehr gute Übereinstimmung erzielt wurde. Es trat keine Degradation der Sensoren auf. Für den Einsatz der FBG-Sensoren beim Betrieb von supraleitenden Spulen muss gezeigt werden, dass die gemessenen Daten unabhängig davon sind, auf welche Art die Dehnung erzeugt wird. Dazu wurden die Sensoren in drei Betriebsmoden geprüft. Variiert wurden erstens bei konstantem Magnetfeld der Transportstrom, zweitens bei konstantem Transportstrom das Magnetfeld, drittens entsprechend dem Laden einer Spule das Magnetfeld und der Transportstrom gleichzeitig. Die Forscher wiesen die Unabhängigkeit von der Art der Dehnungserzeugung und damit die Reproduzierbarkeit nach.

Spulenfertigung

Im Rahmen der Dissertation von Oliver Näckel fertigte das Team ein Kupfersolenoid, das in einem Labordeemonstrator für einen supraleitenden Strombegrenzer mit induktiver Widerstandseinkopplung als Primärspule eingesetzt wird. Eine kleine Kupferspule mit 2.800 Windungen wurde für Professor Mathias Noe als Testinduktivität für seine Vorlesung gewickelt. Die Gruppe von Professor Alexey Ustinov am PI benötigte für die Untersuchung der Spinübergänge des Selten-Erd-Ion Erbium ein externes Magnetfeld. Die Experimente werden bei 20 mK in einem Helium-Mischkryostat durchgeföhrt, sodass sich das externe Magnetfeld nur mit einer supraleitenden Spule realisieren ließ. Die Gruppe fertigte aus einem 0,18 mm dünnen NbTi-Rundleiter eine Spule, mit deren Hilfe mittlerweile interessante Ergebnisse erzielt wurden.

LIQHYSMES

Innerhalb dieses Projekts sollen die Spulen des supraleitenden Energiespeichers (SMES) aus kommerziellen MgB₂-Supraleitern gewickelt werden. Um das $I_c(B)$ -Ver-



Abb. 4: Flechtmaschine im Technikum zur Herstellung der Kupfergeflechte für Stromzuführungen.

halten der MgB_2 -Leiter kennenzulernen, hat die Gruppe mit ersten Voruntersuchungen in einfachen Testgeometrien und verschiedenen Magnetfeldkonfigurationen zuerst in LHe begonnen.

Komponentenfertigung

Ein zentrales Kriterium bei Spulendesign und Magnetbetrieb ist das Verhalten der Supraleiter unter Lorentzkraftbelastung. Das HFM-Team untersucht diese Frage standardmäßig mit U(I)-Messungen an einem Dreifachspulenkörpersatz, der für die 15-T-Konfiguration der Experimentieranlage HOMER I aus Spulen mit Durchmessern von 150 mm, 80 mm und 40 mm besteht. Der Spulensatz ist an eine Vierfach-Stromzuführung angeschlossen, die früher für einen Strom von 300 A pro Pol ausgelegt war. Da die Stromtragfähigkeit der kommerziellen REBCO-Hochtemperatur-Supraleiter bei 15 T weit über 500 A liegt, musste zur Bestimmung der maximalen Lorentzkraftbelastung der REBCOs die Vierfach-Stromzuführung erneuert werden.

Die neue Stromzuführung musste selbstverständlich an die vorliegenden Gegebenheiten des Magnetsystems angepasst werden, weswegen der maximale Strom der Stromzuführung nicht beliebig erhöht werden konnte. Das Redesign ergab eine errechnete Stromtragfähigkeit von ca. 750 A pro Pol. Für jeden Pol wurde ein Bündel aus sechs Kupfergeflechten in ein Stahlrohr eingezogen und in den SZ-Kopf eingeschweißt. Die Kupfergeflechte bestehen aus 32 Kupferdrähten, die um eine zentrale Kupferseele geflochten sind. Die Geflechte werden auf der in Abbildung 4 dargestellten Flechtmaschine im Technikum des Bereichs HFM hergestellt. Für die Kupfergeflechte, aber auch für die stromtragenden Komponenten der anderen Testobjekte des Bereichs, soll eine optimale Kupfersorte mit geringem spezifischen Widerstand bei tiefen Temperaturen verwendet werden. Das Team bestimmte daher den spezifischen Widerstand verschiedener kommerzieller Kupfersorten bei Raumtemperatur, bei 77 K und bei 4,2 K (siehe Abbildung 5).

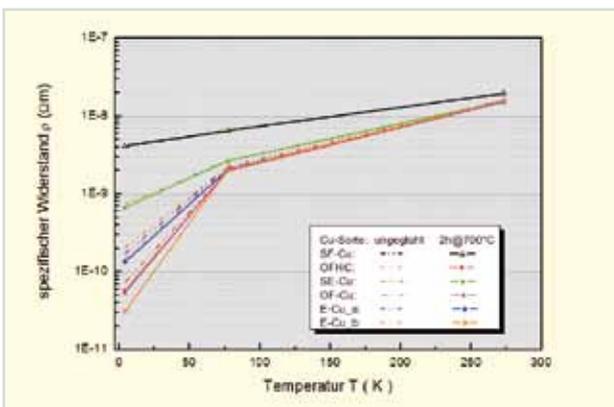


Abb. 5: Temperaturabhängiger spezifischer Widerstand kommerzieller Kupferwerkstoffe.

Das Kupfer wurde dabei sowohl im Lieferzustand als auch nach Wärmebehandlungen (beispielsweise 2 h bei 700° C) untersucht. Sauerstofffreies (OF) Kupfer zeigt die besten Ergebnisse mit einem 100-fach besseren spezifischen Widerstand bei 4,2 K als Standardkupfer. Daher wurde OF-Kupfer für die Kupfergeflechte verwendet. Nach Schweißung und Verklebung überprüfte die Vakuumgruppe die Leckraten der fertiggestellten Stromzuführungsbeine. Das HFM-Team bestimmte nach dem Komplettzusammenbau die Durchflussraten der gesamten Stromzuführung. Die neue Stromzuführung ist eingebaut, die elektrische Anbindung des Dreifachspulensatzes ist fertiggestellt. Das System steht nun zum Test bereit.

Highlight: 1.200 MHz NMR-Projekt – Erster Meilenstein erreicht

Nach der Markteinführung des weltweit ersten 1.000 MHz NMR-Spektrometers im Jahr 2009 beschlossen das KIT und die Bruker BioSpin GmbH, ihre seit 1985 laufende Zusammenarbeit in der Entwicklung von supraleitenden Magnetsystemen für die hochauflösende NMR-Spektroskopie mit einem weiteren Projekt fortzuführen. Ziel dieser neuen Kooperation ist die Entwicklung einer NMR-tauglichen Einsatzspule für ein 1.200 MHz NMR Magnetsystem, das heißt, das gesamte Magnetsystem generiert eine Zentralfeldstärke von 28,2 T. Diese hohe Magnetfeldstärke lässt sich nicht mehr mit den klassischen Supraleitern NbTi und $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ allein erreichen; vielmehr muss die innerste Einsatzspule mit Hochtemperatur-Supraleitern gewickelt werden.

Das am 1. Oktober 2010 gestartete Projekt hat eine Laufzeit von fünf Jahren und ist in drei Projektphasen unterteilt. Die Ergebnisse jeder Projektphase werden an einem Meilenstein-Termin begutachtet, bei dem über die Fortführung des Projekts entschieden wird. Ende März 2012 endete die erste Projektphase. Die Kooperationspartner erfüllten die anspruchsvollen Vorgaben für den ersten Meilenstein und führen das Projekt weiter. Der Schwerpunkt der ersten Projektphase lag auf einer umfangreichen E(I)-Standardcharakterisierung und einer prinzipiellen Hochfeld-Qualifizierung der kommerziell erhältlichen REBCO-HTS-Bandleiter bei Flüssigheliumtemperaturen und Hintergrundmagnetfeldern bis 20 T. Eine weltweite Marktanalyse ergab, dass in dem entsprechenden Zeitraum nur die Firmen AMSC, SuperPower Inc. und Fujikura Inc. REBCO-Testleiter in ausreichender Länge ohne normalleitende Lötverbindungen und in hinreichender I_c -Homogenität herstellen und liefern konnten. Abbildung 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau dieser drei REBCO-Leitertypen.

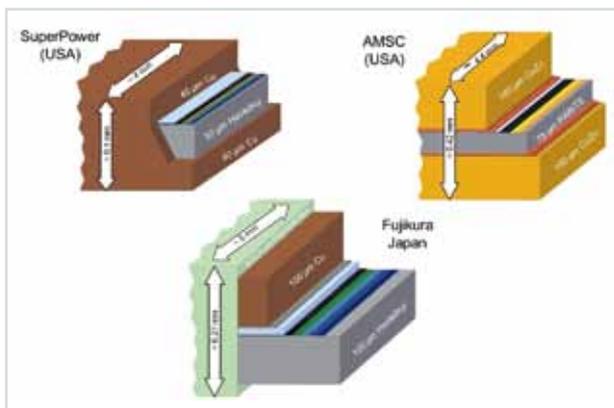


Abb. 6: Aufbau der REBCO-Bandleiter.

Die hochauflösende NMR-Spektroskopie stellt hohe Anforderungen an das supraleitende Spulensystem. So muss das Hauptspulensystem eine relative räumliche Homogenität des Zentralmagnetfeldes $\Delta B/B_0$ im ppm-Bereich zeigen, um die spätere absolute Auflösung von 2 Hz zu erreichen. Ebenso muss die zeitliche Stabilitätsbedingung des Felds mit einer Driftrate unter 10 Hz/h eingehalten werden. Diese Forderungen können nur erfüllt werden, wenn die Forscher die elektromagnetischen und thermomechanischen Eigenschaften der REBCO-Bandleiter anhand von vielfältigen Testkonfigurationen untersuchen.

Zur E(I)-Charakterisierung technischer Supraleiter verfügt der HFM-Bereich über mannigfaltige Testobjekte für Kurzproben, Testspulenkörper mit Durchmessern von 33 mm bis 250 mm von variabler Länge/Windungsanzahl sowie speziellen Objekten aus der Spulentechnik. Die Untersuchungen werden in den Experimentieranlagen des Hochfeldlabors, JUMBO und HOMER I, in Magnetfeldern bis 20 T bei Stickstoff- und Heliumtemperaturen (4,2 K bis 1,8 K) und Transportströmen bis zu 3.000 A durchgeführt. Dabei müssen die Wissenschaftler beachten, dass das Aufprägen von hohen Transportströmen zur vorzeitigen Normalleitung, dem Quench, und einer damit einhergehenden Zerstörung der REBCO führen kann.

Der Magnetdesigner interessiert sich zunächst für den Verlauf des kritischen Stroms und des n-Wertes abhängig vom angelegten Magnetfeld und der Temperatur. Die zentrale Frage, ob der ausgewählte Supraleiter bei einer Magnetfeldstärke von 28,2 T den Magnetstrom unter den in den Wicklungen existierenden Lorentzkräften tragen kann, muss durch Experimente und Extrapolationen anhand von mathematischen Modellen beantwortet werden. Die REBCO-Bandleiter der drei kommerziellen Anbieter wurden daher in den speziellen Testkonfigurationen sorgfältig untersucht. Im Lauf des Projektes rückte zusätzlich das Anisotropieverhalten der REBCOs immer stärker in den Vordergrund.

I_c -Anisotropie

Zur Ermittlung des Anisotropieverhaltens des kritischen Stroms I_c der REBCO-Leiter waren winkelabhängige Messungen des resistiven Übergangsverhaltens im Winkelbereich $\Phi = 0 - 90^\circ$ in externen Magnetfeldern bei LHe-Temperaturen und LN_2 notwendig. Das Team konstruierte dafür neue Probenhalter für die JUMBO-Experimentieranlage, die mit einer Winkeleinstellung bis zu $\pm \Delta \Phi = 1^\circ$ mit Strömen von 1.500 A belastet werden können (siehe Abbildung 7).

Die Wissenschaftler führten die Untersuchungen an einem 4 mm breiten verkupferten SuperPower-Leiter,

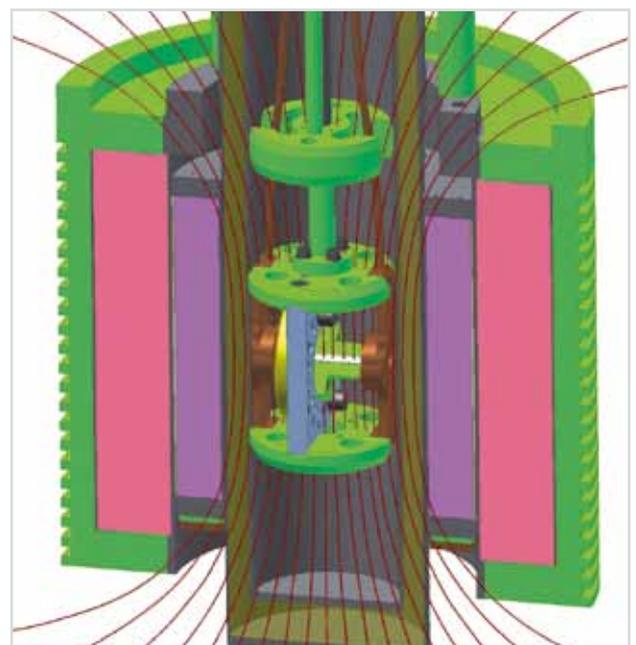


Abb. 7: Winkelapparatur zur Bestimmung der $I_c(B, \Phi)$ -Fläche bei 77 K.

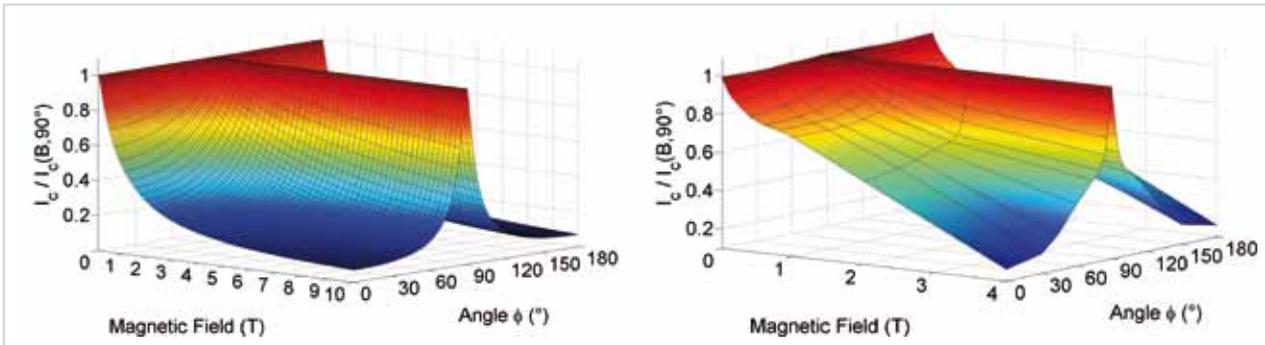


Abb. 8: $I_c(B, \Phi)$ -Fläche [normiert auf $I_c(B, 90^\circ)$] bei 4.2 K (links) und 77 K (rechts) für den AMSC-Leiter – laminiert mit Stahl.

einem etwa 5 mm breiten Fujikura-Leiter und an zwei 4,4 mm breiten AMSC-Leitern mit Stahl- bzw. Messinglaminiierung durch. Die $U(I)$ -Messungen erfolgten mit der Vier-Punkt-Messmethode, wobei das externe JUMBO-Magnetfeld bei 4,2 K von 0 – 10 T variiert wurde. Dabei wurden die Supraleiter mit Transportströmen bis zu 1.500 A belastet, was auch der derzeitigen maximalen Auslastung der Testanordnung entspricht. Bei 77 K konnte das Verhalten der Leiter nur bis etwa 6 T untersucht werden, da in der Nähe von B_{c2} die Stromtragfähigkeit unter 1 A lag.

Die $U(I, B, T, \Phi)$ -Kennlinien wurden mit einem Potenzgesetz ausgewertet und die I_c -Werte bestimmt. Die $I_c(B, \Phi)$ -Flächen wurden durch eine I_c -Funktion basierend auf der Theorie von Kim modifiziert mit einer Anisotropiefunktion nach Blatter mit Hilfe der Matlab Toolbox angepasst. Es folgte eine Extrapolation der Funktion in den Anwendungsbereich von 30 T.

Stellvertretend für die vier untersuchten REBCO-Bandleiter sind in Abbildung 8 die $I_c(B, \Phi)$ -Flächen [normiert auf den $I_c(B, 90^\circ)$ -Wert] für den stahllaminierten AMSC-Leiter bei 4,2 K und 77 K gezeigt. Abbildung 9 zeigt die Extrapolation des messinglaminierten AMSC-Leiters nach 30 T.

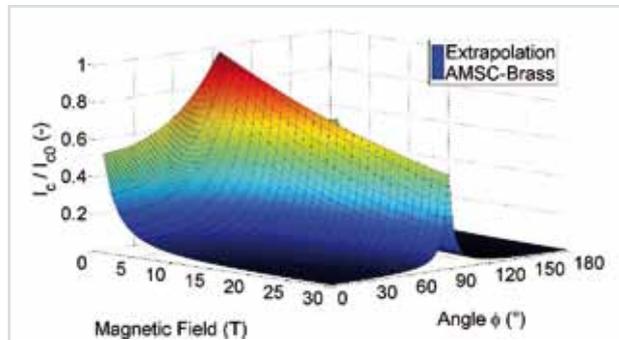


Abb. 9: Extrapolation der $I_c(B, \Phi, 4.2K)$ -Fläche für einen AMSC-Bandleiter, messinglaminiert.



Modell eines Energiekabels für das Projekt AMPACITY; Teilbestückung mit Supraleiterbändern (innere Phase).

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Materialien und Energieanwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

Supraleiterentwicklung

Die Supraleiterentwicklung am ITEP konzentrierte sich 2012 auf wechselstromverlustarme Varianten der REBCO-Bandleiter und auf Hochstromkabelsysteme aus diesen Bandleitern, wie Roebel-Kabel und Rutherford-Kabel, die für eine Anwendung in zukünftigen Transformatoren, rotierenden Maschinen und Hochfeldmagneten (z. B. für die Fusion) infrage kommen. In weiteren Arbeiten wurden verseilte Leiter aus Magnesiumdiborid-Drähten für die Wechselstromanwendungen hergestellt und vermessen.

HTS-Wechselstromleiter

Verlustarme Modifikationen des REBCO-Bandleiters benötigen eine Filamentstruktur. Diese wurde mit einem innovativen IR-Laser des ITEP in den Schichtaufbau eingebrannt. Dabei wurden bis zu 160 parallele Linien über eine Leiterbreite von 12 mm realisiert (siehe Abbildung 1); die von der Theorie vorhergesagte Reduktion der Verluste wurde durch Verlustmessungen nachgewiesen. Die Reduktion des Transportstroms mit der Filamentzahl war etwas höher als der Erwartungswert, was auf den Beitrag von Leiterinhomogenitäten zurückzuführen ist: Die größeren Verluste wurden als Beiträge von unregelmäßigen Stromtragfähigkeiten (Inhomogenitäten) des Materials identifiziert, die ihren Ursprung in der Leiterfertigung haben.

Der zugrundeliegende optimierte Pikosekundenlaser (gefördert vom BMWi FKZ0327489B) gestattet das Schneiden 18–25 Mikron breiter Kanäle in den Schichtaufbau ohne Aufschmelzeffekte (siehe Abbildung 2). Das Verfahren wurde für die gebräuchlichsten Schichtarchitekturen einschließlich Kupferdeckschichten erfolgreich angewandt; die Prozessparameter wurden definiert.



Abb. 1:
Mit Laserstrahl eingebrannte Filamentstruktur in einem REBCO-Bandleiter mit 10, 20, 40 Filamenten auf einer Leiterbreite von 12 mm.

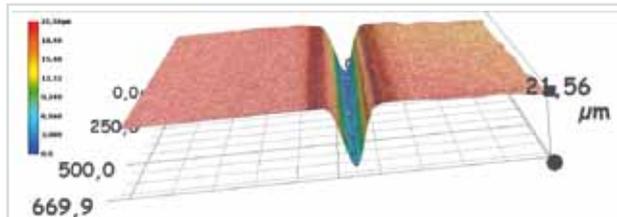


Abb. 2: 3D-aufbereitetes Mikroskopiebild eines gelagerten Strukturgrabens von ca. 21 Mikron Tiefe.

Mikro-Undulatoren

Dieses Vorhaben ist eine KIT-interne Zusammenarbeit des ITEP mit ANKA, der Synchrotronstrahlungsquelle des KIT. In dem Projekt wurde ein periodischer Strompfad in Meanderform in eine Bandleiterschicht geschnitten, um ein periodisches Eigenfeld entlang der Leitermitte zu erzeugen. Das periodische Feldprofil entlang des Leiters wurde durch Vermessen der Magnetfeldstärke mithilfe einer Hallsonde bei ANKA nachgewiesen. Die Struktur bildet einen Mikro-Undulator, dessen Feld sich durch Einsatz eines Bandstapels parallel exakt gleich strukturierter Leiter erhöhen lässt. Dabei handelt es sich um das erste System dieser Art weltweit.

Verlustarme HTS-Hochstromleiter

Verlustarme Roebel-Kabel auf der Grundlage gestanzter REBCO-Bandleiter wurden nun in der nächsten Phase bis zu mittleren Probenlängen von ca. 5 m Länge realisiert (siehe Abbildung 3). Mit universellen Endkontakten war eine systematische Untersuchung von Pancake- und Lagenwicklungen an einer einzigen Kabelprobe möglich. Dabei wurde der Wickelabstand in beiden Anordnungen schrittweise geändert, um die gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Kabeln zu charakterisieren. Die Variante der Pancake-Wicklung ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Das verwendete Roebel-Kabel überstand die Vielzahl der Montagevarianten ohne jede Degradation. Besonders die Pancake-Vari-



Abb. 3: Roebel-Leiter aus REBCO-Bandleiter mit 5 m Länge, 10 Strands und 12 mm Breite.



Abb. 4: Wicklung eines 5-m-Roebel-Kabels in Pancake-Geometrie mit variablen Distanzstücken im Wickelpaket (Draufsicht).

ante wurde durch 2D-FEM-Modellierungsrechnungen begleitet, die in den Eingangsdaten komplexe inhomogene Leitereigenschaften berücksichtigen konnten, wie die anisotrope und unsymmetrische Stromverteilung in Magnetfeldern. Die berechneten Transportstromwerte lagen etwas höher als die gemessenen. Dies ließ sich auf herstellungsbedingte Leiterinhomogenitäten zurückführen.

Abbildung 5 zeigt ein mit drei Roebel-Strands bestücktes Rutherford-Kabel für die zukünftige Anwendung in großen Generatoren oder Fusionsmagneten. Die Stromtragfähigkeit der Strands wurde vermessen, und die Wechselstromverluste wurden bestimmt.

Fusion und ITER

Strukturmaterialien für den kryogenen Bereich müssen ein wohldefiniertes Verhalten unter mechanischer Belastung im kryogenen Bereich aufweisen. Qualitätskriterien für das Material sind das Bruchverhalten und die korrelierte Mikrostruktur. Die Mikroskopiegruppe analysierte mit elektronenmikroskopischen Aufnahmen Zugproben, um deren Bruchverhalten zu charakterisieren. Dabei gestattet das Bruchbild die Entscheidung über duktilen oder spröden Bruch, eine wichtige Qualifikation für die Anwendung im kryogenen Bereich. Die untersuchten Proben sind Strukturmaterial aus dem ITER-Arbeitsprogramm.



Abb. 5: Rutherford-Modellkabel im CAD-Entwurf (oben) und bestückt mit drei Roebel-Strands zur Strommessung.

Anwendungen in der Energietechnik

Im Bereich der energietechnischen Anwendungen der Supraleitung leistete das ITEP Beiträge zu verschiedenen Projekten: Dazu gehörten erste Untersuchungen zum strombegrenzenden supraleitenden Transformator – eine Industriekooperation –, Arbeiten für ein europäisches Projekt zu einem Strombegrenzer sowie Beiträge zu einem supraleitenden Energiekabel für urbane Anwendung. Studien im Rahmen einer Dissertation zu supraleitenden Windenergiegeneratoren ergänzten die Aktivitäten zum Thema „Effiziente supraleitende Betriebsmittel und erneuerbare Energie“.

Fehlerstrombegrenzer

Das von der EC geförderte Projekt ECCOFLOW zielt auf die Entwicklung eines supraleitenden Strombegrenzers für den Mittelspannungsbereich auf der Basis der zweiten Generation von Hochtemperatur-Supraleitern (REBCO-Bandleiter) mit zwei verschiedenen Anwendungen im Stromnetz. Für dieses Vorhaben entwickelte das ITEP in Kooperation mit dem Industriepartner NEXANS Superconductors die Komponente des Strombegrenzers, die im Stapel mit den weiteren in Serie geschaltet ist und die Begrenzereinheit für eine Stromphase bildet. Ein innovatives Isolationsverfahren des KIT für Großlängen des Supraleiters und neuartige Distanzbänder flossen in die industrielle Serienproduktion ein. Die Komponente wurde in Bezug auf ihre Schalteigenschaften vermessen und qualifiziert. Nach dem Hochspannungstest bei ERSE in Mailand wird der Strombegrenzer im Netz des spanischen Energieunternehmens Endesa auf Mallorca und anschließend in einer Trafostation am Rande von Kosice/Slowakei eingesetzt. Wenn er sich be-



Abb. 6: Modell des Energiekabels im flüssigen Stickstoff.



Abb. 7: Teilansicht des Energiekabels im Kontaktbereich. Bestückt ist die innere Phase.

währt, wird er voraussichtlich einen Langzeittest im realen Netz durchlaufen.

Energiekabel aus Hochtemperatursupraleitern

Im BMWi-Projekt AMPACITY wird das bis jetzt längste supraleitende Energiekabel von ca. 1 km Länge für den Innenstadtbereich Essen vom Konsortium RWE-NEXANS-KIT entwickelt, gebaut und bis 2014 in das Netz integriert. Das ITEP leistet dafür grundlegende Untersuchungen an einem Modellkabel zu den Verlusten und den komplexen Erregungszuständen, die im praktischen Betrieb zu erwarten sind. Das Modellkabel hat eine Länge von ca. 2 m; die Geometrie ist in Bezug auf die Supraleiterlage mit der des Energiekabels identisch. Die Kühlung erfolgt in einer 3 m langen Stickstoffwanne (siehe Abbildung 6). Ein Detail des Kontaktbereichs des Kabels ist in Abbildung 7 zu sehen.

Wichtig sind Computersimulationen mit eigens weiterentwickelter Software – sie ermöglichen eine zwei- oder dreidimensionale Beschreibung der elektrischen Zustände des Kabels und sollen künftig grundsätzlich für das Design und eine fortgeschrittene Auslegung derartiger Kabel verwendet werden.

In einer ersten Phase wurde das Modellkabel schrittweise mit einer Lage Supraleiter (Phase 1) bestückt; die physikalischen Eigenschaften wurden vermessen und mit den Modellrechnungen korreliert. Als Ergebnis scheint sich bereits ein fortentwickeltes 2D-Modell für eine ausreichend korrekte Beschreibung des Kabels zu qualifizieren.

Supraleitung in der Weltraumforschung

Beim Wiedereintritt von Raumtransportern in die Erdatmosphäre entsteht eine Plasmaschicht um den Flugkörper, die elektromagnetische Strahlungen abschirmt, den Funkverkehr unterbricht (Blackout) und die Oberfläche des Vehikels erhitzt. Magnetfelder von ausreichender

Stärke können diese Plasmaschicht verdrängen. Supraleitende Magnete können die höchsten Feldstärken verfügbar machen. In einer Kooperation mit der DLR und IOFFE in St. Petersburg (Helmholtz Russia Joint Research Project) entwickelt und baut das ITEP für einen Abschirmversuch im DLR-Plasmakanal einen HTS-Magneten aus Hochtemperatur-Supraleitern. Erste Kleinmagnete aus REBCO-Bandleitern hat das ITEP bereits hergestellt und erfolgreich getestet. Der Magnet wird im Plasmakanal der DLR im Plasmastrahl eingesetzt werden und verlangt daher ein besonderes Konzept für die Konstruktion des Kryostaten und die Technik des Kühlverfahrens. Außerdem trägt das ITEP Modellrechnungen zur Ablenkung der geladenen Plasmateilchen bei.



Abb. 8: Besuch des Ministers für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft von Baden-Württemberg, Franz Untersteller, im Anwendungslabor SET (Supraleitende Energie-Technik) des ITEP, im Gespräch mit Dr. Wilfried Goldacker (ITEP) über mögliche Beiträge der Supraleitung zur Integration erneuerbarer Energien und zur effizienten Energienutzung im Rahmen der Energiewende.

Highlight

Roebel-Strands des Rutherford-Kabels

Für das Rutherford-Modellkabel sind Strands aus Roebel-Kabeln mit 4 mm Breite vorgesehen. Erstes Ziel der Arbeiten war, die Stromtragfähigkeit der Strands nach der Montage zu untersuchen. Der zentrale Träger des Kabels besitzt einen engen Krümmungsradius, um den der Strand gelegt wird, wodurch er eine Biegung erfährt. Um die Effekte der Biegung zu untersuchen, wurde das Biegeverhalten systematisch mit dem Eckenbiegegerät des KIT (Continuous Edge Bending Strain Rig, CEBSR) untersucht (siehe Abbildung 9). Diese Testanordnung gestattet eine schrittweise Erhöhung des Transpositionswinkels und die jeweilige Messung des supraleitenden kritischen Stroms zur Auslotung der Degradationsgrenze bei Überbiegen des Leiters.

Resultate von Biegeversuchen sind bei Eckradien von 10 und 15 mm für zwei Orientierungen des Kabels, Supraleiterschicht nach innen (rot) und nach außen (schwarz), in Abbildung 10 dargestellt. Eine senkrechte Linie bei ca. 19° Transpositionswinkel gibt den Winkel der Kabelstruktur an. Die Orientierung des Supraleiters nach innen ist die vorteilhaftere und hat die geringeren Degradationen. Zu erkennen ist aber auch, dass im verseilten Roebel-Strand mit ca. 5% Verlust der Stromtragfähigkeit gerechnet werden muss, wie durch Messungen nachgewiesen wurde.

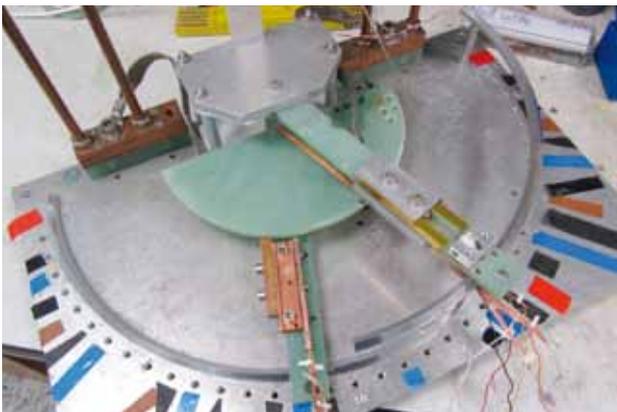


Abb. 9: Continuous Edge Bending Strain Rig zur Vermessung des Biegeverhaltens von Leitern und Kabeln.

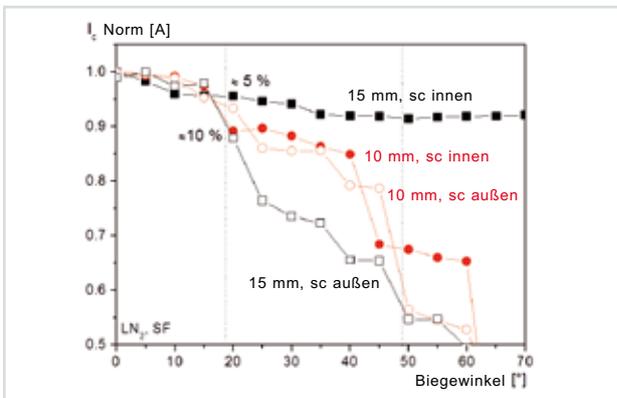


Abb. 10: Verhalten des kritischen Stroms von ROEBEL-Strands beim Biegen auf dem CEBSR mit innen und außen liegender Supraleiterschicht und zwei Eckradien von 10 und 15 mm.

Roebel-Pancake

Für das dicht gewickelte Roebel-Kabel (Abbildung 11) wurde die Feldverteilung durch FEM-Verfahren modelliert (siehe Abbildung 12); eine Verteilung der kritischen Ströme wurde über das Wicklungspaket gefunden (siehe Abbildung 13). Das Eigenfeld der Spule reduziert den Transportstrom gemäß Modell von ursprünglich 1108 A (Designwert 1512 A) des geraden Kabels mit Eigenfeldeffekt auf 558 A in der Spule. Der gemessene Wert lag mit ca. 465 A aufgrund der Beiträge von Leiterinhomogenitäten noch darunter. Insgesamt leistet die Modellierung eine gute Beschreibung.



Abb. 11: Pancake-Wicklung eines Roebel-Kabels ohne Distanz der Wicklungen.

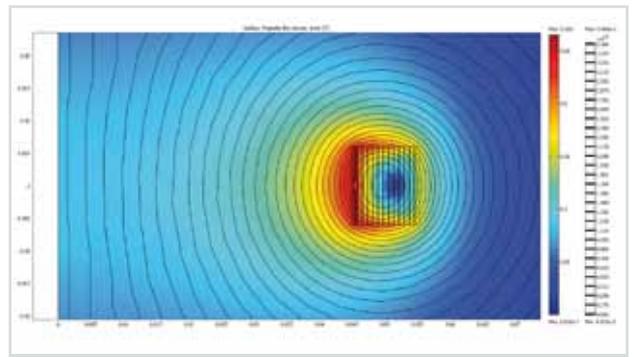


Abb. 12: Modellierung der Feldverteilung im Wicklungspaket.

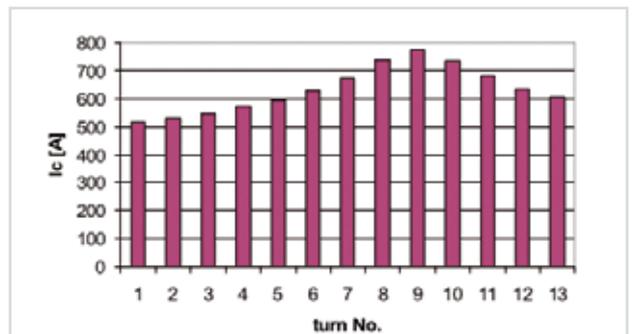


Abb. 13: Aus der Modellierung resultierende Ströme in den Wicklungslagen.

Modell-Energiekabel für das Projekt AMPACITY

Das Modellkabel wurde mit dem Wickelpaket der ersten Phase bestückt, bestehend aus 22 Leitern. In einem Vergleich wurde jeder zweite Leiter durch einen Dummy ersetzt, um die Unterschiede im Kabelverhalten zu studieren. Sowohl die Modelle als auch die Messung bestätigten die Vorhersagen der Theoretiker eindrucksvoll. Die geringsten Verluste ergeben sich bei einer engen Anordnung der stromtragenden Bänder. Abbildung 14 zeigt das Ende des Modellkabels, bestückt mit Leitern und Dummy-Bändern. In Abbildung 15 ist ein Ausschnitt aus der Mittelsektion des Kabelkerns zu sehen. Abbildung 16 zeigt eine Modellierung der Strombelegung eines Kabelstücks.



Abb. 14: Endbereich des Modells für das Energiekabel.

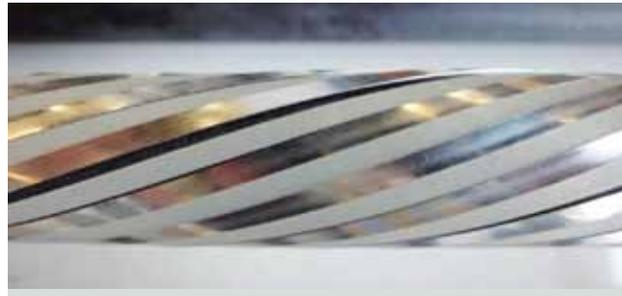


Abb. 15: Mittenteil des Kabels mit 50 % Supraleiterbestückung (innere Phase).

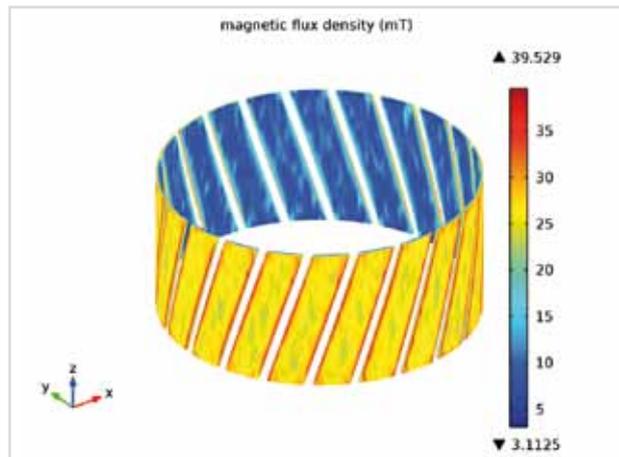


Abb. 16: FEM-Modellierung der Ströme der inneren Phase des Kabels in 3D.



Prozessieren von Molekularsieben mit der AMOR-Anlage

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 1000 m² stehen mehr als 15 Handschuhkastensysteme mit einem Volumen von insgesamt rund 125 Kubikmetern als Einschluss für die tritiumführenden Versuchsapparaturen zur Verfügung. Gründungsaufgabe und umfangreicher Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Der zweite Schwerpunkt liegt auf dem Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruher Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Elektron-Antineutrinos. Demgemäß werden die Arbeiten zu gleichen Teilen innerhalb der Programme „Fusion“ und „Astroteilchenphysik“ ausgeführt.

Wissenschaftlicher Nachwuchs ist für die Zukunft des TLK äußerst wichtig. In den vergangenen Jahren hat das TLK daher durch Vergabe interessanter Forschungsarbeiten vermehrt Studierende und Doktoranden an sich gebunden (siehe Tabelle 1). Ihm liegt viel daran, den jungen Menschen eine hervorragende und ausgewogene Ausbildung zukommen zu lassen, die neben den fachlich-wissenschaftlichen Inhalten auch die heute vermehrt gefragten Soft Skills umfasst.

	2008	2009	2010	2011	2012
Bachelor	1			6	12
Diplom/Master	2	7	9	9	6
Promotion	3	4	8	10	10

Tabelle 1: Abgeschlossene und laufende Arbeiten im TLK.

Im Folgenden werden die 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 2012 waren die konventionelle Infrastruktur sowie die Tritiuminfrastruktur im Tritiumlabor für die Forschungsvorhaben der Programme „Fusion“ und „Astro“ uneingeschränkt verfügbar. Aus dem Tritiumlager wurden vor allem die Experimentieranlage CAPER, die sowohl betriebliche Aufgaben, wie die Detritierung von Abfallgasen, als auch Forschungs- und Entwicklungsaufgaben erfüllt, sowie die Experimente TriToP und TriReX (siehe Kapitel über KATRIN) mit reinem Tri-

tium versorgt. Die CAPER-Gruppe stellte zusätzlich spezielle Tritiumgasmischungen für andere Experimente her, die sie damit erst ermöglichte. Die behördlichen Auflagen der Betriebsgenehmigung wurden jederzeit erfüllt. Meldepflichtige Ereignisse kamen nicht vor.

Am 22. November 2012 nahm das TLK die Lieferung von 5 g Tritium entgegen. Der Nachkauf des Tritiums war notwendig geworden, um den Verlust durch den radioaktiven Zerfall in den vergangenen Jahren auszugleichen. Das aktuelle Inventar des TLK beträgt nun rund 23,5 g Tritium und reicht aus, um die Forschungsvorhaben der kommenden zwei Jahre zu bedienen. Ab 2014 wird eine Inventarerhöhung notwendig sein, um die für KATRIN notwendige Tritiummenge bereitzustellen.

Der Schwerpunkt der Leittechnikerarbeiten der Mess- und Automatisierungsgruppe lag wie im Vorjahr auf dem Ersatz des TLK-Prozessleitsystems. Dieser Austausch war erforderlich, weil das Altsystem Teleperm M vom Lieferanten nicht mehr gepflegt wird und Ersatzkomponenten nicht mehr verfügbar sind. In der nun dritten Phase des Umbaus wurde das alte Automatisierungssystem AS7 ersetzt, das unter anderem für die wichtigen Tritiumrückhaltesysteme des TLK zuständig ist. Dabei wurde die bewährte Rückfallstrategie angewandt: Das neue System wurde zuerst neben dem alten System an einem Teststand aufgebaut und – nach Abschaltung des alten Systems – über Rangierkabel am Rangierverteiler parallel zu der bestehenden Verdrahtung zum Altsystem angeschlossen; daraufhin wurde die Funktion getestet. Bereits drei Tage nach Anschluss des neuen Automatisierungssystems gingen alle Funktionen erfolgreich in Betrieb. Nach einer Testphase von vier Wochen, in der es keine Beanstandungen oder Fehler gab, wurde das



Abb. 1: Aufbau des neuen Automatisierungssystems.



Abb. 2: Blick in den TRENTEA-Caisson (begehbarer Abzug) mit den Elektrolyseuren und neuen Bedienpanels.

alte System vollständig abgebaut; das neue System wurde an gleicher Stelle aufgebaut, angeschlossen und in Betrieb genommen. Parallel zu den Arbeiten an der AS7 wurde die Planung für den Austausch der AS6 fertiggestellt, die als letztes Altsystem im kommenden Jahr ersetzt werden muss. Alle genannten Arbeiten inklusive Hardwareprojektierung, Softwareentwicklungsarbeiten und Funktionstests mit Simulationsbaugruppen wurden ausschließlich von Personal der betreffenden Betriebsgruppe MAT vorgenommen.

Im Rahmen der Bachelorarbeit eines DHBW-Studenten aus der MAT-Gruppe wurden zwei Steuerungen der Firma Rockwell-Automation zum automatischen Betrieb zweier Elektrolyseure in der Versuchsanlage TRENTEA durch Simatic S7-Steuerungen ersetzt; diese wurden über je ein Operatorpanel visualisiert und bedienbar gemacht. Dazu musste die in den alten Systemen programmierte Logik ermittelt und in der neuen Simatic-Steuerung programmiert werden (siehe Abbildung 2).

Das veraltete System der Strahlenschutzmesstechnik, bestehend aus Datenerfassung, Busprotokoll, Multiplexer und Mevis-Bedienstation (aus der Umgebungsüberwachung), war zunehmend störungsanfällig geworden, sodass ein Ersatz unumgänglich war. Das neue flexible System mit Standardprotokoll und Standardkomponenten wurde in Zusammenarbeit mit KSM aufgebaut und in Betrieb genommen.

Analytik im TLK

Die Beherrschung der qualitativen und quantitativen Analyse der sechs Wasserstoffisotopologen H_2 , HD , D_2 , HT , DT , und T_2 sowie anderer tritierter Verbindungen (wie beispielsweise HTO) ist eine notwendige 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 F&E-Arbeiten programm- und gruppenübergreifend koordiniert und durchgeführt. In diesem Jahr konzentrierten sich die F&E-Arbeiten auf folgende Gebiete:

- Laser-Raman-Spektroskopie an gasförmigen tritiierten Wasserstoffisotopologen (siehe KATRIN Kapitel)
- Beta-induzierte Röntgenspektroskopie (BIXS) an gasförmigen Wasserstoffisotopologen und flüssigem tritiiertem Wasser (siehe KATRIN Kapitel)

- Infrarotspektroskopie an flüssigen Wasserstoffisotopologen (siehe Highlight)
- Anwendung der Flüssigszintillation als Inline-Methode zur Bestimmung des Tritiumgehalts von Wasser (siehe Highlight)

Parallel zu den reinen F&E-Arbeiten wurden Kalorimeter, Ionisationskammern und Gaschromatographen sowie bestehende Kalibrierverfahren weiter optimiert. Die genannten Instrumente bilden das Rückgrat der Analytik im TLK, werden standardmäßig genutzt und sollten immer einsatzbereit sein. Demgemäß lag ein Arbeitsschwerpunkt 2012 auf der Beschaffung und anschließenden kalten Inbetriebnahme (ohne Tritium) eines zur Messung von Wasserstoffisotopologen geeigneten Gaschromatographen für die Tritiummesstechnik. Das Gerät soll ein ca. 20 Jahre altes Gerät ersetzen und wird im kommenden Jahr in die betreffende Handschuhbox eingebaut. Die dafür notwendigen verfahrenstechnischen Planungen haben 2012 begonnen.

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 TRENTEA-Anlage. Ziel dieser Arbeiten ist, wichtige Daten für die ITER-Systeme WDS und ISS zu erhalten und somit entscheidend zum ITER-Design beizutragen. Die Arbeiten sind in diesem Bericht als Highlight beschrieben.

Blanket- und Tritiumtechnologie

Die zukünftigen Fusionsreaktoren, die mit einer Brennstoffmischung aus Deuterium (D) und Tritium (T) betrieben werden sollen, benötigen sogenannte Blankets, auch als Brutblankets bezeichnet, in denen das Tritium durch eine Kernreaktion aus Lithium erzeugt wird. Dazu werden Neutronen verwendet, die aus dem eigentlichen Fusionsprozess stammen. Der im Blanket erzeugte Brennstoff Tritium muss möglichst schnell und vollständig aus dem Blanket gewonnen und dann für den Fusionsprozess bereitgestellt werden. Dazu wird das Tritium mithilfe eines Spülgases (beispielsweise Helium) aus dem Blanket gespült.

In DEMO, dem zukünftigen Demonstrationsfusionskraftwerk, sind höchst effiziente verfahrenstechnische Prozesse zum Gewinnen des Tritiums aus dem Brutblanket gefordert. Diese Prozesse müssen schnell, zuverlässig und ökonomisch ablaufen und gleichzeitig das Tritiuminventar minimieren. Da die aktuell für die ITER-Testblanketmodule (TBM) verfolgten Konzepte nicht auf das wesentlich größere DEMO-Blanket übertragen werden können, sind neue Konzepte für die Extraktion des Tritiums aus dem Blanket gefragt.

Das TLK hat in den vergangenen Jahren wesentlich zu einem intensiven Prozessreview der betreffenden Systeme beigetragen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf den Fragen, wie sich der Prozess der Tritiumextraktion aus dem Blanket vereinfachen lässt, um ihn zuverlässiger und robuster zu machen, und wie die Tritiumbilanzierung im Blanketprozess umgesetzt werden könnte.

Die Untersuchungen wurden 2012 im Rahmen von EFDA Tasks fortgeführt. Im Zentrum steht derzeit die Frage

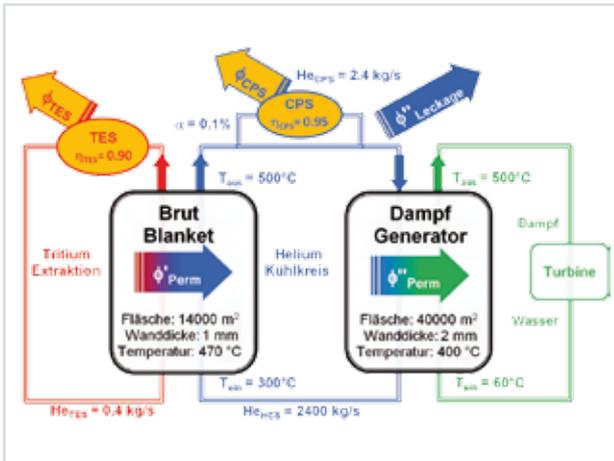


Abb. 3: Problem der Tritiumpermeation. Das im Blanket erzeugte Tritium (rot) kann in den primären Kühlkreislauf (blau) permeieren und von dort in den sekundären Kühlkreislauf (grün) und in die Umgebung gelangen.

der Permeation des Tritiums vom Blanket in den primären Kühlkreislauf, von dort über den Wärmetauscher (Steam Generator, siehe Abbildung 3) in den sekundären Kühlkreislauf und von diesem schließlich in die Umgebung. Die aktuell von Fachleuten akzeptierte maximale Tritiumpermeation in den sekundären Kühlkreislauf und von da in die Umgebung liegt bei ca. 2 mg pro Tag. Vergleicht man diese Zahl mit der täglich zu erbrütenden und zu prozessierenden Tritiummenge von ca. 400 g, so wird deutlich, dass die Permeation um mehr als fünf Größenordnungen reduziert werden muss. Erreichen lässt sich dies nur durch eine geschickte Kombination von Permeationsbarrieren einerseits und hocheffizienten Tritiumextraktionsprozessen in Verbindung mit hohen Kühlkreislaufdurchsätzen andererseits. Ein Lösungsansatz ist die Modellierung der einzelnen Prozesse.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) des KIT sowie einer Forschungsgruppe des ENEA in Italien entwickelten die Forscherinnen und Forscher im TLK dazu ein einheitliches und allgemeingültiges Simulationswerkzeug, mit dem sich verschiedene Blanketsysteme analysieren lassen. Mit diesem Werkzeug soll in den kommenden zwei Jahren ein genaueres Verständnis der Prozessmöglichkeiten erreicht werden. Übergeordnetes Ziel ist, ein möglichst effizientes Blanketkonzept mit minimalem Tritiuminventar, minimaler Tritiumabgabe an die Umgebung und maximaler Tritiumextraktion aus dem Blanket zu entwickeln.

Experimentell werden im TLK derzeit Zeolithmembranen auf ihre Eignung zum Einsatz in Tritiumextraktionssystemen untersucht. Die in den vergangenen Jahren aufgebaute kleine Anlage wurde 2012 wesentlich erweitert, um die oben genannten Membranen unter fusionsrelevanten Betriebsbedingungen (ternäre Mischungen aus He/H₂/H₂O) zu charakterisieren. Erste Messergebnisse werden 2013 erwartet.

Parallel zu diesen Arbeiten setzte das TLK die Untersuchungen über die Detritierung von hochtritiertem Wasser (HTW) fort. Eine der ersten Sicherheitsstudien für ITER hatte die Notwendigkeit betont, ein zusätzli-

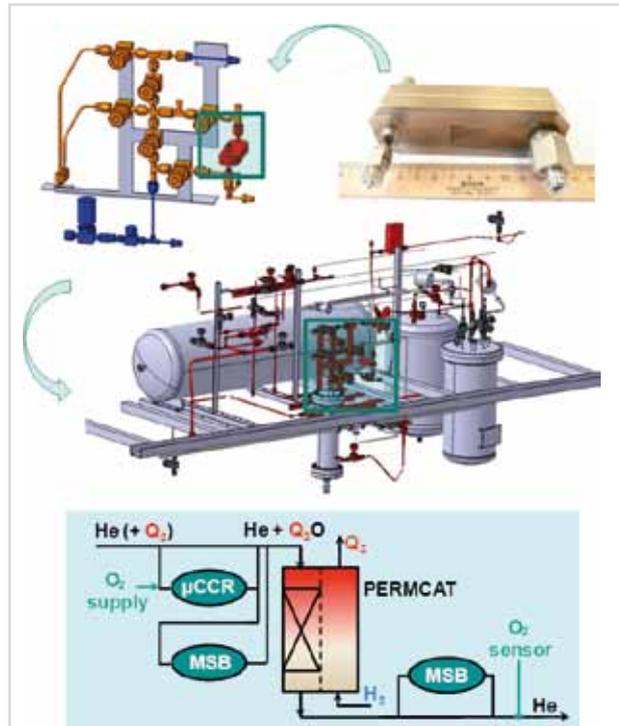


Abb. 4: Testaufbau zur Detritierung von hochtritiertem Wasser. Rechts oben der μCCR als eine der Hauptkomponenten, unten die Prozessskizze, in der Mitte das 3D-Layout in der CAPER-C-Handschuhbox.

ches System zu installieren, das HTW (bis 1,4 MCi/kg) detritieren kann. Einen möglichen Lösungsweg, die Detritierung mit einem Membranreaktor (PERMCAT), untersucht das TLK derzeit experimentell nach einem dreistufigen Forschungsansatz: Das HTW wird zunächst in verschiedenen Konzentrationen erzeugt, um es direkt danach mit dem PERMCAT mit unterschiedlichen Verfahrensparametern zu prozessieren. Dabei wird das gasförmige, tritierte Wasser in einem Gegenstromverfahren mithilfe von Wasserstoff durch Isotopenaustausch detritiert.

In der bereits 2009 eingeführten ersten Stufe wurde zunächst ein Metalloxidreaktor (MOR) verwendet, um das hochtritierte Wasser zu erzeugen. Da ein MOR nach Gebrauch als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss, suchte das TLK nun nach einer günstigeren, abfallfreien Lösung – und fand sie mit der Verwendung eines Mikrokanalreaktors auf katalytischer Basis (μCCR), der am Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) entwickelt wurde. 2012 begann die betreffende Arbeitsgruppe mit der Erweiterung der CAPER C-Anlage, um den Mikrokanalreaktor entsprechend dem Prinzipfließbild (siehe Abbildung 4) mit dem PERMCAT zu verbinden. Vor dem Start dieser Arbeiten waren intensive Sicherheitsbetrachtungen notwendig, die zusammen mit der Tritiumverfahrensgruppe des TLK durchgeführt worden. Der Grund dafür ist, dass tritiertes Wasser (HTO) ca. 10.000 mal gefährlicher für den Menschen ist als Tritium in molekularer Form (T₂).

Nach aktueller Planung werden die ersten Messungen mit relevanten Tritiumkonzentrationen im Wasser im Frühjahr 2013 stattfinden.

Highlight:
Wasserdetritiierung und Isotopentrennung mit TRENTA

Wenn in Zukunft Fusionskraftwerke Energie bereitstellen sollen, ist es unvermeidbar, dass bei der Handhabung von technisch relevanten Mengen Tritium große Mengen tritiiertes Wasser (HTO) erzeugt werden. HTO entsteht hauptsächlich durch katalytische Oxidation von tritiierten Abgasen in Tritiumrückhaltesystemen. Bereits für ITER ist eine Anlage zur Dekontamination von HTO mit einer Aktivitätskonzentration von $0,4 - 11 \text{ TBq kg}^{-1}$ (Water Detritiation System, WDS) bei einem Durchsatz von bis zu 60 kg h^{-1} HTO erforderlich. Die WDS ist auch deshalb von entscheidender Bedeutung, weil sie im Brennstoffkreislauf zusammen mit dem Abluftreinigungssystem (Atmosphäre and Vent Detritiation System) die letzte Barriere für tritiierte Abgase vor der Abgabe in die Umwelt bildet. Das für ITER ausgewählte Referenzverfahren basiert auf dem sogenannten Combined Electrolysis Catalytic Exchange (CECE) Prozess und wird im Tritiumlabor an der halbtechnischen Anlage TRENTA erprobt.

TRENTA besteht im Wesentlichen aus einer bei etwa 70 °C betriebenen katalytischen Trennsäule (LPCE-Säule, Liquide Phase Catalytic Exchange) zum Isotopenaustausch zwischen der flüssigen ($\text{HTO}_{(\text{flüssig})}$) und gasförmigen Phase (HT , $\text{HTO}_{(\text{Dampf})}$) sowie zwei Elektrolysezellen und einer bei 20 K betriebenen kryogenen Isotopentrennsäule (CD-Kolonne, Cryogenic Distillation). Tritiiertes Wasser wird durch Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten; der tritiierte Wasserstoff wird in eine 8 m lange LPCE-Säule eingespeist. Im Gegenstrom zu den in den Sumpf eingespeisten Wasserstoffisotopologen wird am Kopf der LPCE-Säule Frischwasser zuge speist, sodass Tritium von der gasförmigen in die flüssige Phase überführt wird. Ist das molare Verhältnis zwischen Frischwasser und Wasserstoffisotopologen kleiner als 1, kommt es zu einer Anreicherung von Tritium in der wässrigen Phase im Sumpf der LPCE-Kolonne. Der an Tritium angereicherte Gasstrom verlässt die LPCE-Kolonne am Kolonnenkopf. Das aus dem Kolonnensumpf entnommene angereicherte tritiierte Wasser wird anschließend wieder durch Elektrolyse aufgespalten. Dabei ist es möglich, einen Teilstrom des mit Tritium angereicherten Wasserstoffs über eine Permeationszelle in eine etwa 3 m lange kryogene Destillationskolonne einzuspeisen. Am Sumpf der kryogenen Trennsäule wird eine mit Tritium angereicherte Wasserstofffraktion entnommen, während das Kopfprodukt

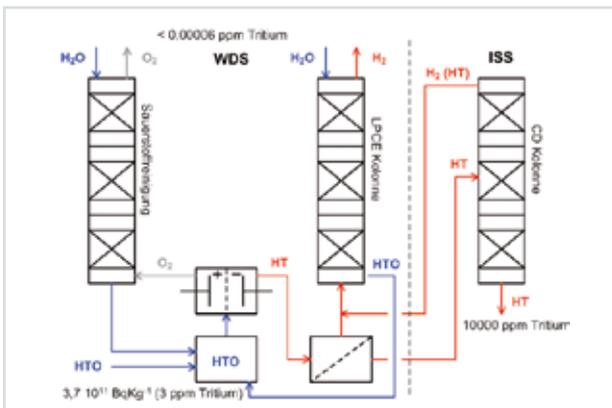


Abb. 5: Vereinfachtes Schema der Versuchsanlage TRENTA zur Wasserdetritiierung.



Abb. 6: Handschuhkasten, Ventilbox und kryogene Trennkolonne (im Isolierbehälter) der Anlage TRENTA (Aufsicht).

zur Dekontamination vor Abgabe in die Umwelt in die LPCE-Säule eingespeist wird. Abbildung 5 zeigt ein stark vereinfachtes Schema der Funktionsweise von TRENTA; Abbildung 6 bietet einen Blick auf einen Teil der Anlage.

Die Leistungsfähigkeit des WDS-Teils der Versuchsanlage wurde bereits in der Ausbaustufe TRENTA 3 durch parametrische Untersuchungen in den vergangenen Jahren demonstriert. Dabei wurde ein Dekontaminationsfaktor von $2,5 \cdot 10^5$ in Bezug auf Tritium in Wasser experimentell nachgewiesen. 2012 wurden dann der WDS-Teil und der CD Teil der Anlage TRENTA zur kombinierten Anlage TRENTA 4 zusammengefasst und in Betrieb genommen. Dieser kombinierte Betrieb ist für spätere Brennstoffkreisläufe in Fusionsreaktoren von großer Bedeutung für die Tritiumrückhaltung und das Wasserrecycling. Nach einer intensiven Funktionsprüfung der kombinierten Anlage mit Dichtheitsprüfung sowie Test der leittechnischen- und sicherheitstechnischen Funktionen, gefolgt von der Prüfung aller Verfahrenskomponenten auf korrekten Einbau und Funktion, begann der Probetrieb.

Im Probetrieb wurde eine Elektrolysezelle mit tritiiertem Wasser mit einer spezifischen Aktivität von

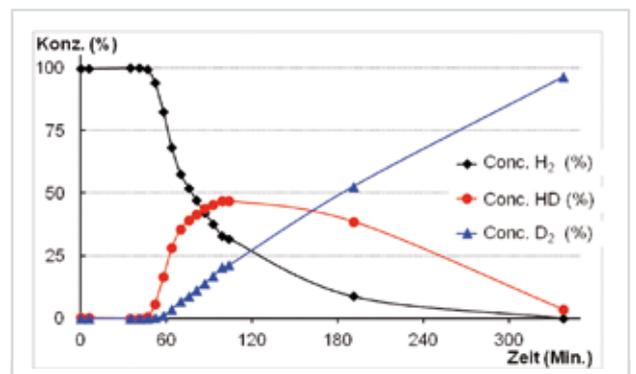


Abb. 7: Anreicherung einer Gasmischung, anfangs aus 50 % H₂ und 50 % D₂ bestehend, im Kolonnensumpf der CD Kolonne. Dort wird nach rund fünf Stunden ein Gemisch aus 96 % D₂, 4 % HD und weniger als 500 ppm H₂ erreicht.

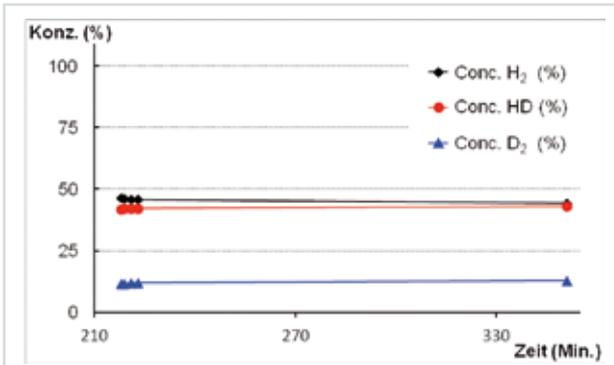


Abb. 8: Kopfprodukt der CD-Kolonne beim kontinuierlichen Prozessieren einer Startgas Mischung aus 50 % H₂ und 50 % D₂. Im Kopf der Anlage wird über den gesamten Zeitraum ein Gasgemisch von etwa 11 % D₂, 43% HD und 46% H₂ produziert.

5 10⁹ Bq kg⁻¹ und einem Deuteriumanteil von 26 % eingesetzt. Der so produzierte tritiierte Wasserstoff wurde mit 1 m³ h⁻¹ in die LPCE-Kolonne eingespeist. Das CD-System prozessierte gleichzeitig eine 1:1-Mischung aus D₂ und H₂, welche aus Gasflaschen kontinuierlich eingespeist wurde. Das Kopfprodukt aus der CD-Kolonne wurde auf halber Höhe in die LPCE-Kolonne eingespeist und prozessiert. Probenahmen von Gas aus dem Sumpf und dem Kopf der CD-Kolonne erlaubten die Quantifizierung des Prozesses über die Dauer der Inbetriebnahmeversuche. Abbildung 7 zeigt die Wasserstoffisotopenkonzentration des durch Massenspektrometrie analysierten Sumpfprodukts der CD-Kolonne über einen Zeitraum von ca. 340 Minuten. Abbildung 8 zeigt eine im gleichen Zeitraum relativ konstante Gaszusammensetzung am Kolonnenkopf der CD-Kolonne über den Zeitraum. Außerdem wurden entlang der LPCE-Kolonne Gasproben entnommen und durch Massenspektrometrie sowie nach Oxidation zu Wasser durch Flüssigszintillation (LSC) analysiert. Dabei ergab sich ein Dekontaminationsfaktor von ~10⁵. Weiterhin blieb im Kopfprodukt der LPCE-Kolonne weniger als 1 % an HD zurück. Somit gelang es, die Funktion der kombinierten WDS- und CD-Anlage nachzuweisen.

Weiter begleitet werden die Arbeiten an TRENTA 4 durch die Entwicklung neuer Methoden zur Analyse von Tritium in Wasser und in der flüssigen Wasserstoffphase. Was die Tritiumanalyse in tritiiertem Wasser betrifft, werden zwei Verfahren bearbeitet und die entsprechenden Komponenten entwickelt und untersucht. Bei dem



Abb. 9: Tritiumkompatibler PMT und Messzelle (Glas rechts neben der Säule) mit Plastiksintillator zur Messung von HTO.

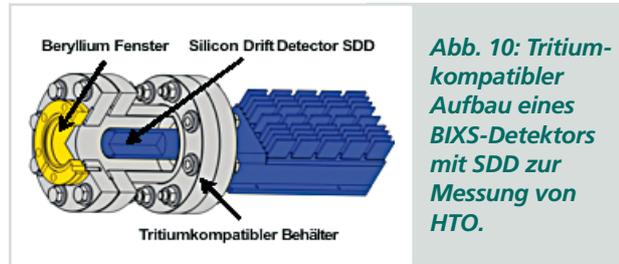


Abb. 10: Tritiumkompatibler Aufbau eines BIXS-Detektors mit SDD zur Messung von HTO.

einen Verfahren handelt es sich um Szintillationsmessungen auf der Basis eines polymeren Szintillators. Die Detektion des im Plastiksintillator durch Betastrahlung erzeugten Szintillationslichts wird mithilfe eines Photomultipliers (PMT) detektiert. Abbildung 9 zeigt einen für den Einsatz in tritiiertem Wasser modifizierten PMT und die entsprechende Messzelle mit Plastiksintillator.

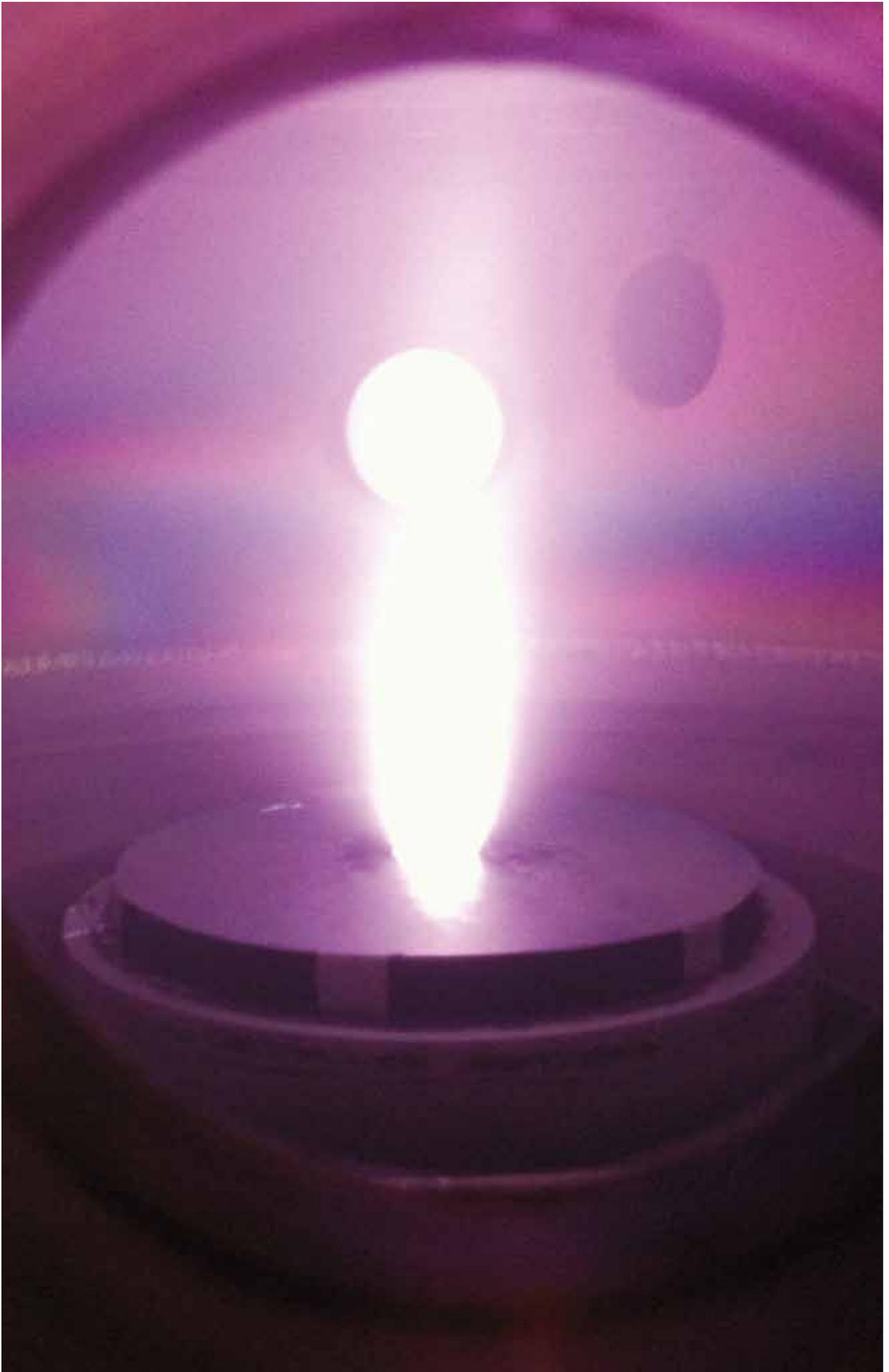
Das zweite Verfahren, das die integrierte Tritiummessung in Wasser ermöglichen soll, ist das sogenannte BIXS-Verfahren (Beta Induced X-ray Spectrometry): Die durch Betastrahlung in Wasser erzeugte Bremsstrahlung wird mithilfe eines Halbleiterdetektors (SDD – Silicon Drift Detector) gemessen und ausgewertet. Diese Messverfahren sollen später in den WDS-Teil von TRENTA integriert werden, um die bisherige manuelle Probenentnahme und Messung durch LSC durch die Möglichkeit einer kontinuierlichen, in den Prozess integrierten Messung zu ersetzen. Abbildung 10 zeigt eine BIXS-Messzelle mit SDD zur Messung von Tritium in flüssigem HTO.

Zur Wasserstoffisotopengenbestimmung in der flüssigen Wasserstoffphase bei Temperaturen von etwa 23 K werden Wasserstoffmischungen in einer speziellen Zelle verflüssigt und anschließend mithilfe von IR-Spektroskopie untersucht. Bei den aktuellen Experimenten geht es vor allem um die Charakterisierung der IR-Spektren der einzelnen Wasserstoffisotopologen (Validierung der Theorie), ihre Auswertbarkeit für spätere quantitative Messungen sowie die Identifizierung und Entwicklung der notwendigen technischen Komponenten für die IR-Messung im kryogenen Temperaturbereich. Abbildung 11 zeigt eine IR-Messzelle zur Messung von flüssigen Wasserstoffisotopologen; der Flüssigkeitsspiegel ist im Fenster erkennbar.

Wie die beschriebenen Arbeiten zeigen, kann TRENTA sowohl für verfahrenstechnische als auch für diagnostische Probleme eine umfassende Lösung zur Wasserdetritierung und Isotopentrennung in ITER und zukünftigen Fusionskraftwerken liefern.



Abb. 11: Messzelle für IR-Messungen an flüssigem Wasserstoff. Im Zentrum des Flansches ist der Flüssigkeitsspiegel des etwa 23 K kalten Wasserstoffs zu sehen.



Wasserstoffplasma-Vorexperiment zum Test einer KIT-Metallfolienpumpe (Plasmakammer CRPP Lausanne).

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Der Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Vakuumtechnik des ITER liegt nach wie vor auf Vakuumsystemen für die Kernfusion. Zum einen arbeiten die Forscher an den europäischen Beiträgen zu ITER mit. Als Highlight haben die Vakuumphysiker und -ingenieure 2012 das Detaildesign der Kryopumpen für die ITER-Neutralteilcheninjektoren (NBI) abgeschlossen. Diese Arbeiten werden über die europäische Fusionsagentur Fusion for Energy (F4E) koordiniert. Zum anderen hat der Bereich Vakuumtechnik sein Engagement im europäischen DEMO-Programm zur Vorbereitung eines leistungsfähigen Fusionsreaktors stark ausgeweitet. Dabei setzte er nicht nur strategische Weichenstellungen für ein ganz neues, flüssigmetallbasiertes Vakuumpumpkonzept durch. Er erweiterte auch die Arbeiten auf den gesamten Brennstoffkreislauf mit dem Ziel, in den nächsten Jahren gemeinsam mit dem TLK umfassende Software zur Prozesssimulation und Beschreibung der einzelnen Teilsysteme zu entwickeln. Diese Arbeiten werden innerhalb des EURATOM-Programms EFDA durchgeführt.

Kryopumpen für ITER

Europa hat sich verpflichtet, alle primären Kryopumpen an ITER zu liefern. Dabei handelt es sich um zwei prinzipiell verschiedene Bauarten, nämlich zylindrische Pumpen für die ITER-Plasmakammer und sehr große Rechteckpumpen für die Vakuumgefäße der ITER-Neutralteilcheninjektoren. Beide beruhen allerdings auf dem gleichen physikalischen Konzept – der Kryosorption an Aktivkohle.

Um die Risiken für ITER klein zu halten, werden die Pumpen beider Typen in 1:1-Prototyp-Größe getestet. F4E schrieb 2012 die Herstellung des Prototyps der Torus-Kryopumpe aus und vergab sie erfolgreich. Der Bereich Vakuumtechnik erbringt ein Teilgewerk, nämlich die Beschichtung der Kryopanel, die das Herzstück jeder Kryopumpe darstellen. Die Pumpe wird bis Mitte 2014 so weit sein, dass sie in die Testanlage TIMO am

Institut eingebaut werden kann. Ähnlich wie bei den Torus-Kryopumpen ist auch bei den NBI-Kryopumpen ein Test im 1:1-Maßstab vorgesehen. Dieser wird in dem eigens dafür gebauten NBI-Testbett MITICA in Padua/Italien durchgeführt werden. Die dafür notwendigen Anpassungen im Design der ITER-Kryopumpe nimmt ebenfalls der Bereich Vakuumtechnik vor.

Aktivkohlebeschichtung

Die Kryopanel für die Torus- und NBI-Kryopumpen – zunächst die Prototypen, dann die Serienpumpen – werden am KIT nach einer im Bereich Vakuumtechnik entwickelten bewährten Technologie mit Aktivkohle beschichtet. Zur Vorbereitung dieses großen Arbeitspakets (rund 1.000 Kryoflächen) wurde eine neue Beschichtungsanlage aufgebaut, die 2013 zum ersten Mal zu einem vertraglichen Einsatz kommt (siehe Abbildung 1). Sie funktioniert halbautomatisch – Beschichtung von Hand, Beschichtung automatisch –, um eine bestens reproduzierbare Qualität zu gewährleisten.

Expertenaufgaben für ITER

Im Projekt ITER ist für Komponenten mit besonders langer Lieferzeit die Designphase bereits abgeschlossen. Auch die Vakuumpumpen gehören zu den Komponenten, die bereits für das erste Plasma voll funktionsfähig sein müssen. Um den späteren Betrieb der Pumpen vorzubereiten, wurde für die ITER-Torus-Kryopumpe als Beispiel ein Simulator entwickelt, der es erlaubt, die vakuumtechnischen Kenndaten der Pumpe als Funktion der Betriebsdaten (Gasflüsse, Ventilstellung, Gasart usw.) vorherzusagen (siehe Abbildung 2). Das Simulationsprogramm kombiniert die Methoden der Direkten Simulation und der Test Partikel Monte-Carlo-Simulation. Damit erweiterte der Bereich Vakuumtechnik seine vorhandene Expertise, diese Methoden auf praktische Fälle der Vakuumtechnik anzuwenden. Auch für das Verhalten der Pumpen bei Störfällen, wie beispielsweise Disruptionen, wurden Modelle entwickelt.



Abb. 1: Blick auf die noch jungfräuliche Beschichtungsanlage.

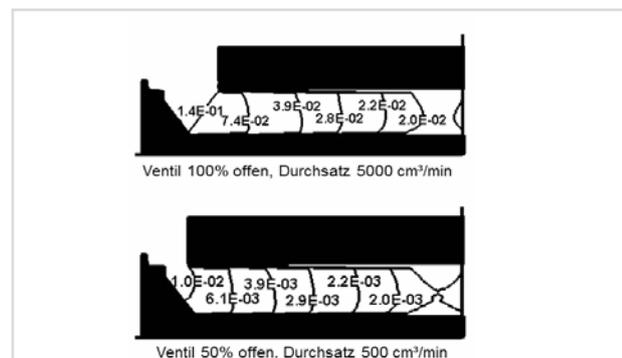


Abb. 2: Berechnete Druckverläufe (in Pa) in der ITER-Modellkryopumpe.

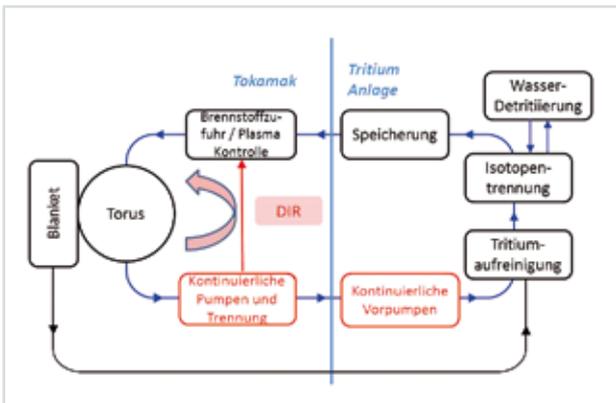


Abb. 3: Schema des DIR-Konzepts zur Vereinfachung des Brennstoffkreislaufs.

Vakuumsysteme für DEMO

Innerhalb des europäischen Fusionsprogramms unter EFDA wurde 2012 ein koordiniertes Programm zur systematischen Erarbeitung eines Designs für DEMO gestartet. Dieses Demonstrations-Fusionskraftwerk bildet nach ITER den nächsten Schritt. In diesem Programm wurden alle für ITER vorhandenen technischen Lösungen auf ihre Eignung für DEMO untersucht.

Dabei zeigte sich, dass eine reine Extrapolation des ITER-Brennstoffkreislaufs auf DEMO-Verhältnisse nicht sinnvoll wäre. Dies hängt im Wesentlichen mit der diskontinuierlichen Fahrweise der Kryopumpen zusammen, die bei den langen Pulsdauern von DEMO zum Aufbau von hohen Tritiuminventaren und langen Prozessierungszeiten des zyklerten Brennstoffs führen würde. Eine Hauptaufgabe innerhalb des DEMO-Programms ist daher, eine Pumplösung für das Divertorabgas zu entwickeln, die kontinuierlich arbeitet und kein



Abb. 4: Getestete Quecksilberdiffusionspumpe.

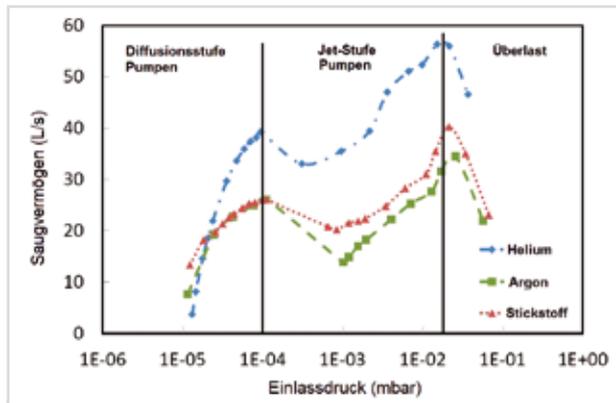


Abb. 5: Pumpcharakteristik der Quecksilberdiffusionspumpe für drei verschiedene Gase.

Kryogen erfordert. Darüber hinaus wäre es äußerst hilfreich, eine Möglichkeit zu haben, divertornah den unverbrannten Wasserstoff zu extrahieren und dem Reaktor über die Gasinjektionssysteme direkt zuzuführen. Ein erstes Konzept dazu wurde 2011 vorgeschlagen; 2012 wurde es als DEMO-Referenzkonzept etabliert. Dieses sogenannte DIR-Konzept (Direkte Interne Rezyklierung; siehe Abbildung 3) besteht aus drei Pumpstufen.

Zur Separation werden Metallfolien verwendet, die nur für atomaren Wasserstoff durchlässig sind und so auch eine gewisse Kompression erzielen. Als Hochvakuumpumpe wird eine Diffusionspumpe eingesetzt, die mit flüssigen Metallen betrieben wird, um tritiumverträglich zu sein. Als mechanische Pumpe zur Kompression bis Umgebungsdruck wird schließlich eine Flüssigkeitsringpumpe verwendet, die ebenfalls mit flüssigen Metallen betrieben werden könnte.

Versuchsanlage THESEUS

Zur prinzipiellen Validierung dieses Konzeptes müssen nun alle drei Pumpentypen experimentell untersucht werden. 2012 wurde dazu die Versuchsanlage THESEUS aufgebaut. Diese besteht im Wesentlichen aus einem Vakuumgefäß mit einem Norm-Dosierdom, an den die Diffusionspumpe bzw. die Ringpumpe angeschlossen werden kann. Die Anlage ist für den Betrieb mit Wasserstoff bzw. Deuterium sowie Quecksilber – als typisches flüssiges Metall – zugelassen. Um eine möglichst flexible Testumgebung zu bieten, ist die Anlage mit einer umfangreichen Infrastruktur ausgestattet. Dazu gehören eine



Abb. 6: Blick auf den Ringpumpenrotor.

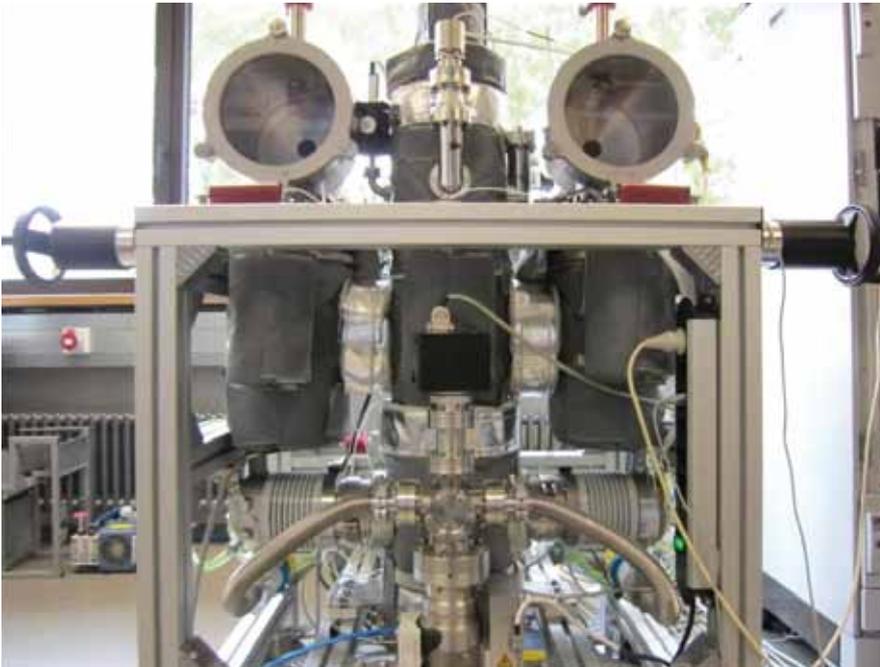


Abb. 7:
Versuchsanlage OMA.

komplexe Gasdosageeinheit und eine vollautomatische Steuerung und Datenerfassung, die in einer separaten Messkabine untergebracht sind.

2012 wurde eine bereits existierende Quecksilberdiffusionspumpe im DEMO-relevanten Betriebsbereich vermessen (siehe Abbildung 4). Dieser zeichnet sich durch eine sehr hohe Gaslast aus, weshalb die normale Diffusionspumpe mit einer sogenannten Jet-Stufe zur weiteren Kompression ausgerüstet werden muss. Die Ergebnisse (siehe Abbildung 5) zeigen, dass dies prinzipiell möglich ist. Als nächster Schritt wird nun ein Simulationswerkzeug erarbeitet, um damit ein erstes Konzeptdesign für eine DEMO-Pumpe entwickeln zu können. Die dafür notwendigen Computerressourcen stammen vom HELIOS-Rechner in Japan.

Die Ringpumpe wurde 2012 zusammen mit einem Industrieunternehmen entwickelt und gebaut. Abbildung 6 zeigt den Rotor der Pumpe während der Abnahmetests bei der Firma, wobei als Betriebsstoff Wasser eingesetzt wurde. Die erforderliche Quecksilbermenge zur Füllung der Pumpe wurde bereits beschafft. Die Untersuchung der Pumpe im Quecksilberbetrieb bildet einen der Schwerpunkte der Arbeiten 2013.

Für die Metallfolienpumpe wurden zwei Konzepte zur Produktion von atomarem Wasserstoff verglichen, nämlich die Ionisation an einem heißen Filament und die Atomisierung in einem Plasma. Schließlich wurden erste Vorbereitungstests in einer Plasmakammer durchgeführt, zusammen mit dem Plasma-Institut CRPP in Lausanne, Schweiz. Auch diese Arbeiten laufen 2013 weiter.

Ausgasmessungen

Die Gasabgabe von Materialien unter Vakuumbedingungen ist eine wichtige Information, um Vakuumsysteme

korrekt auslegen zu können. Allerdings ist die Physik der Ausgasung immer noch nicht hinreichend verstanden, weshalb Vakuumanwender sich in der Praxis häufig mit empirischen Rezepten helfen, die eine bestimmte Ausgasrate mit einer bestimmten Vorbehandlungsart der ausgasenden Oberfläche korrelieren. Der Bereich Vakuumtechnik hat daher im Berichtsjahr die neue Anlage OMA zur Messung von Ausgasraten aufgebaut (siehe Abbildung 7) und in Betrieb genommen. OMA ermöglicht es, auch kleine Ausgasraten experimentell aufzulösen. Die ersten Messergebnisse für Kunststoffe sind höchst vielversprechend. Diese Arbeiten sind in das europäische Metrologieprogramm (EMRP) eingebunden.

Netzwerke und Kooperationen

Das am KIT koordinierte Europäische Netzwerk VACU-TEC für vakuumtechnische Entwicklungen auf dem Gebiet der Fusion hat sich gut entwickelt. Die fünf Trainees zeigten beeindruckende Fortschritte.

Innerhalb der vom ITEP-Bereich Vakuumtechnik koordinierten EFDA-Aktivitäten zum Thema „Vakuumtechnik von DEMO“ entstand eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit CCFE in England auf dem Gebiet alternative Kryopumpen. Für 2013 sind Experimente in der Kryopumpen-Testanlage TIMO-2 geplant. Außerdem werden die Kryopumpensysteme des europäisch-japanischen Fusionsexperiments JT60-SA mit den im Bereich Vakuumtechnik entwickelten Simulationswerkzeugen für Vakuumströmungen in einem großen Bereich der Knudsen-Zahl überprüft.

Die Ausgasanlage OMA ist in ein Programm zum Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte aufgenommen worden. In diesem Zusammenhang werden die Kooperationen mit der PTB in Berlin und dem Forschungsinstitut IMT in Ljubljana/Slovenien weiter ausgebaut.

Highlight: Komplett-Design der NBI-Kryopumpe abgeschlossen

Der wichtigste Meilenstein, der im Jahr 2012 vom Bereich Vakuumtechnik des ITEP erreicht wurde, war sicherlich die Fertigstellung des Designs der Kryo-Vakuumpumpe für die Neutralteilchenheizung (NBI) von ITER (siehe Abbildung 8).

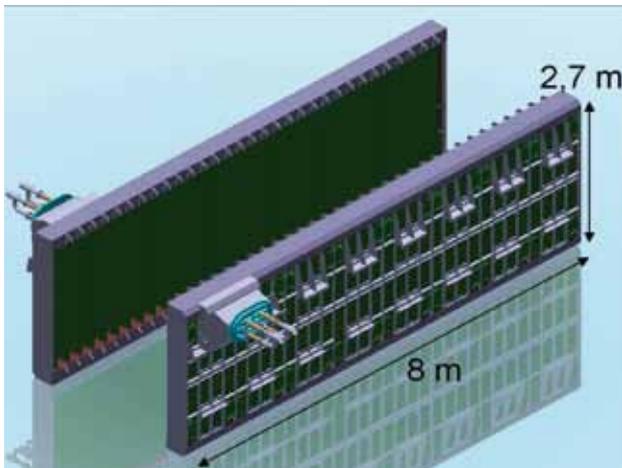


Abb. 8: NBI-Kryopumpe. Zwei spiegelbildliche Hälften bilden die gesamte Anlage.

Der Bereich Vakuumtechnik übernahm die Entwicklung des Designs bereits 2004 und trieb sie seitdem kontinuierlich voran. Die Übergabe des Built-to-Print-Designs ermöglicht nun, die Ausschreibung vorzubereiten und die Pumpe bald herzustellen. Während der Entwicklung waren besondere wissenschaftliche, technische und administrative Herausforderungen zu meistern.

Die Neutralteilchenheizung für ITER stellt eines von drei verschiedenen Heizsystemen dar, liefert jedoch den Hauptanteil der gesamten Leistung. Vorgesehen ist derzeit die Installation von zwei identischen Systemen mit je 16 MW ins Plasma injizierter Heizleistung; ein drittes Aggregat wird als Option behandelt. Der NBI basiert auf dem Grundprinzip, negativ geladene Wasserstoff- bzw. Deuterium-Ionen zu generieren, im elektrischen Feld zu beschleunigen, zu re-neutralisieren und ins Plasma zu injizieren. Dabei geschieht die Heizung des Plasmas, indem die kinetische Energie vom injizierten

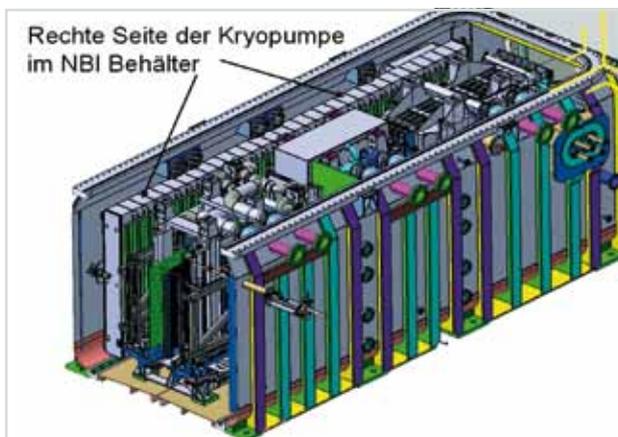


Abb. 9: Kryopumpe im NBI-Behälter. Zwischen den Pumpenhälften befinden sich die Strahlführungskomponenten zur Erzeugung des Neutralteilchenstrahls.

Strahl auf das im Reaktor befindliche Plasma übertragen wird. Generell sind diese physikalischen Abläufe nur in einer Umgebung mit äußerst geringem Restdruck möglich. Da nun die sequenziellen Abläufe im Injektor von mehreren Komponenten umgesetzt werden, ergibt sich eine besondere Anforderung an das Vakuumsystem: Statt des punktuellen Pumpens an einem Verbindungsflansch ist eine Vakuumanlage notwendig, die entlang der Strahlführung des Injektors (siehe Abbildung 9) ein spezifisches Druckprofil generiert. Erschwert wird dies dadurch, dass im Injektor mehrere Gasquellen verschiedener Intensität zu kompensieren sind. Erste Untersuchungen dieser Anforderungen mündeten in eine Übersetzung der realen physikalischen Umgebung und Parameter in ein Modell des Monte-Carlo-Codes ProVac3D, der ebenfalls vom Bereich Vakuumtechnik entwickelt wurde. Mithilfe der Simulationen ermittelten die Vakuumfachleute die enormen Anforderungen an die zu entwickelnde Pumpe.

Auf der Basis dieser Grundanforderung, der sogenannten Einfangwahrscheinlichkeit, wurde das dreistufige Konzept einer Kryopumpe entwickelt. Nur eine Kryopumpe kann die in diesem Fall nötige extrem hohe Saugleistung erreichen und in den Magnetfeldern von ITER betrieben werden. Das von dem zu entwickelnden Design erreichte Saugvermögen liegt dabei mit $\sim 4.700 \text{ m}^3/\text{s}$ um beinahe zwei Größenordnungen über dem der größten verfügbaren kommerziellen Kryopumpen. Die Entwicklung der dreistufigen Anordnung berücksichtigte auch die zu bewältigenden Wärmelasten. Die Pumpe mit ihren adsorbierenden, also pumpenden Kryopaneln bei etwa 5 K und den thermischen Schilden bei etwa 80 K wird in einer thermisch äußerst aktiven Umgebung betrieben. Deshalb achteten die Physiker und Entwicklungsingenieure bereits bei

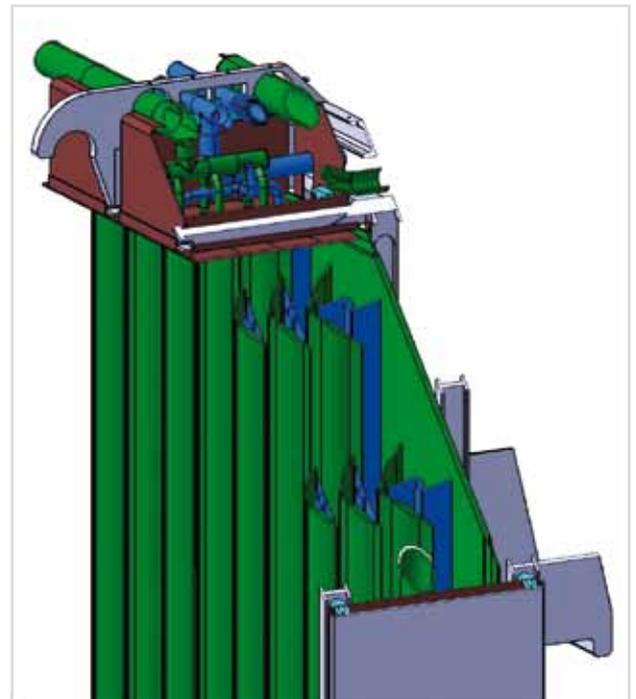


Abb. 10: Teilschnitt durch ein Modul. Jede Pumpe besteht aus acht jeweils 1 m breiten Modulen. Blaue Komponenten gehören zum Kryokreislauf, grüne zum thermischen Schild; rot dargestellt sind weitere passiv gekühlte Schilde aus Kupfer; graue Strukturen gehören zur Aufhängung.



Abb. 11: Anlage THEA zur experimentellen Bestimmung der Druckverluste an den Schildkomponenten.

diesem konzeptionellen Designschritt besonders auf die Wärmelasten, die von den beiden kryogenen Kreisläufen Panel und Schild abzuführen sind. Die beiden Hauptmerkmale Saugvermögen und Wärmelasten stehen dabei in Konkurrenz zueinander: Eine schnelle Pumpe sollte für das Gas möglichst offen sein, während eine geschlossenerer Pumpe geringere Wärmelasten hinnehmen muss.

Nach Abschluss der Konzeptentwicklung begannen die mehrere Jahre dauernden Arbeiten am Detaildesign, das letztendlich Herstellungsniveau zu erreichen hatte. Dafür wurden die Anschlüsse aller Kryopanel und Schilde realisiert, was im Hinblick auf verfügbaren Raum, Komplexität und Montierbarkeit eine außerordentliche Herausforderung darstellte (siehe Abbildung 10). Zusätzlich waren Aspekte wie gleichmäßige Versorgung mit Kryogenen, minimale Druckverluste und Management der thermisch bedingten Längenänderungen und Bewegungen zu berücksichtigen. Bei Betriebstemperaturen zwischen 4 K und 470 K ergeben sich aufgrund der Dimensionen der Pumpe enorme thermische Bewegungen, die aber aus sicherheitstechnischen Gründen soweit wie möglich ohne Faltenbälge kompensiert werden sollten. Dies wurde durch eine spezielle Aufhängung der Panels und Schilde erreicht.

Ein weiterer kritischer Aspekt war der zu erwartende Druckverlust in der Versorgung des Schildsystems. Da

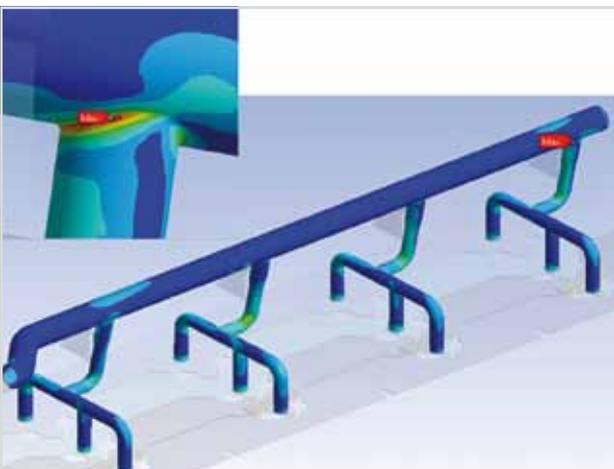


Abb. 12: Detail aus der thermomechanischen Analyse. Spannungen im Kryoverteiler verursacht durch thermische Schrumpfung.

dieser Wert wegen der hydrogeformten komplexen inneren Struktur der Schilde nicht berechenbar ist, wurde die Testanlage THEA errichtet (siehe Abbildung 11). Diese ermöglichte Messungen an einzelnen 1:1-Komponenten und damit Vorhersagen für die gesamte Pumpe.

Begleitend zu den Designarbeiten wurden die Pumpe, alle Baugruppen und ihre Komponenten kontinuierlichen mechanischen und thermischen Analysen unterzogen, wie in Abbildung 12 beispielhaft dargestellt. Dabei ging es um Fragen der Festigkeit, der zu erwartenden Verformungen sowie um das thermische Verhalten in allen verschiedenen Betriebszuständen. Darüber hinaus waren auch detaillierte Analysen von Störfällen notwendig, vor allem des Verhaltens während eines seismischen Ereignisses, jedoch auch der Folgen von Lufteinbrüchen oder Leckagen im NBI-System. Diese Analysen waren aufgrund der Komplexität und Größe der Pumpe extrem aufwendig.

Da das Design bis zur Herstellungsreife zu entwickeln war, bedurften etliche Aspekte genauerer Betrachtung. So wurden alle nötigen Schweißnähte festgelegt; alle Schildkomponenten sowie weitere Teile wurden als Prototypen gefertigt. Sogar bestimmte Schweißverbindungen zwischen verschiedenen Materialien wurden bereits in der Realität getestet und optimiert (vergleiche Abbildung 13).

Das finale Design umfasst mehr als 500 Fertigungszeichnungen mit ~ 20.000 Einzelteilen, ~ 6.000 m Schweißnähten und ~ 10 t Masse – ein besonders komplexer Meilenstein auf dem Weg zur baldigen Realisierung. Zusätzlich waren administrative Hürden zu nehmen, bedingt durch die besonders unübersichtliche Organisation der NBI-Aktivitäten innerhalb des ITER-Projekts und durch während des Auftrags mehrfach geänderte Vorgaben.

Trotz aller Schwierigkeiten gelang es nun, ein Pumpendesign fertigzustellen, das allen Anforderungen genügt, die bestmögliche Leistung für den NBI in ITER liefert und bezüglich Herstellung und Kosten eine ausgereifte Lösung darstellt. Dies ist nicht zuletzt deshalb so gut gelungen, weil im Bereich Vakuumtechnik Praktiker und Theoretiker, Ingenieure, Physiker und Techniker fruchtbar zusammenarbeiten. Daher ist das Ergebnis eine wahre Gruppenleistung. Darauf sind wir ganz besonders stolz.

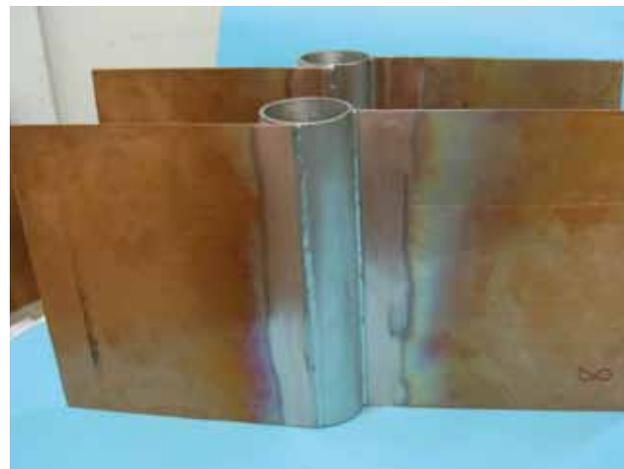


Abb. 13: Herstellungsprobe und Schweißoptimierung für Schildkomponente mit Edelstahl-Kupfer-Kombination.



Helium-Abgas-Tafel

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Kryotechnik

Leitung: Dr. Holger Neumann

Kryotechnik für die Fusion

Die Arbeiten des Bereich Kryotechnik des ITEP innerhalb des Programms „Fusion“ konzentrierten sich 2012 auf zwei Projekte: den Test der Serienstromzuführungspaare für das Fusionsexperiment Wendelstein 7X (W-7X) in Greifswald sowie den Aufbau der Testanlage CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe) mit Anpassung des Systems an den Test von Hochtemperatur-Supraleiter-Stromzuführungen (HTS-SZF) für den Tokamak JT-60SA in Japan.

Test der W7-X Serienstromzuführungen in TOSKA

Nachdem 2011 drei Stromzuführungspaare erfolgreich getestet wurden, wurden auch 2012 drei Tests von Stromzuführungspaaren mit Erfolg abgeschlossen. Damit haben zwei Prototypen und zwölf Serienstromzuführungen die Abnahmetests in der TOSKA-Anlage bestanden. Die letzten beiden der 14 Stromzuführungen sind bereits in die Testanlage eingebaut und werden Anfang 2013 getestet (siehe Abbildung 1).



Abb. 1: Einbau SZF #13 und #14.

Aufbau der Anlage CuLTka

Alle für die Testanlage benötigten Kryostaten (siehe Abbildung 2) wurden im Technikhaus am KIT gefertigt und an das ITEP ausgeliefert. Sämtliche Behälter bestanden die abschließenden Lecktests und wurden installiert. Alle Schaltschränke wurden geliefert und installiert. Inzwischen hat die Feldverkabelung begonnen. Drei Transferleitungen für CuLTka wurden 2012 spezifiziert, ausgeschrieben und bei der Industrie bestellt. Die Werksabnahme erfolgt im Januar 2013.

Nachdem der erste LN₂-Kühlschild (siehe Abbildung 3) 2011 geliefert und erfolgreich abgenommen wurde, hat sich die Lieferung der zwei weiteren Kühlschilde um sechs Monate verzögert. Diese Kühlschilde haben die abschließenden Abnahmetests aufgrund gravierender Qualitätsmängel nicht bestanden. Dabei waren die schwerwiegendsten Mängel Leckagen in den einzelnen Kühlpanels sowie nicht formierte Schweißnähte. Auch lässt sich ein unzureichendes Neutralisieren der Schilde nach dem



Abb. 3: LN₂-Kühlschild mit MLI.

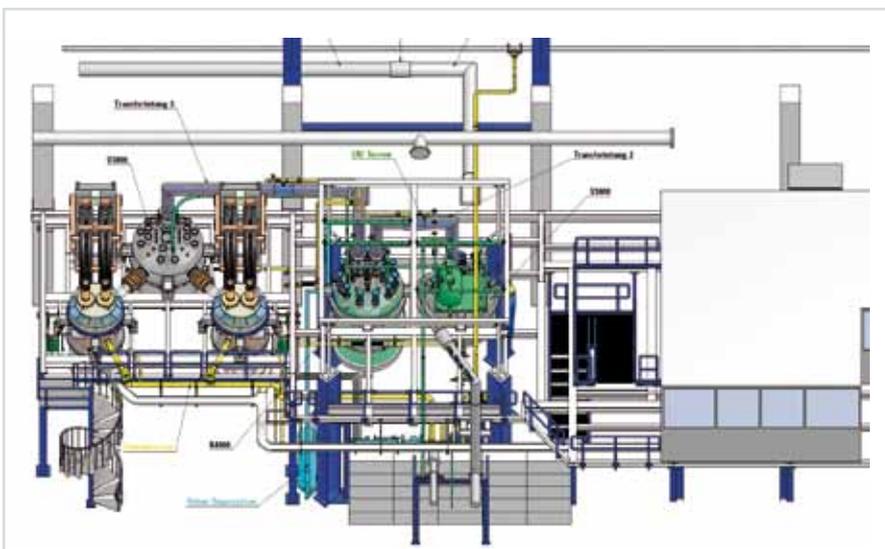


Abb. 2: CuLTka-Aufstellungsplanung.

Elektropolieren nicht ausschließen. Daher mussten die Kühlschilde umfassend überholt und teilweise neu gefertigt werden. Von der Industrie wird ein kompletter Kühlschild als Ersatz geliefert, um Stillstandzeiten zu minimieren, falls die Schilde während der Stromzuführungstests undicht werden sollten (siehe Abbildung 4).

Kryoinfrastruktur

Zu den Arbeiten der Kryoinfrastruktur gehörten auch 2012 umfangreiche Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten. So wurden bestehende Tieftemperatur-Experimentiereinrichtungen erweitert, angepasst und betrieben.

Außerdem wurden neue Einrichtungen für unterschiedliche Forschungsvorhaben konzipiert und in Betrieb genommen.

Die Arbeiten umfassten unter anderem:

- umfangreiche Umbaumaßnahmen an der Verdichter-Schallhaubenlüftung der 2-kW-Kälteanlage
- Totalrevision der Schraubenverdichter V2 und V3 der 2-kW-Kälteanlage (siehe Abbildung 5)
- Austausch bzw. Installation neuer Ventiltriebe
- Erweiterung einer Heliumwarmgasleitung zum Gebäude 411
- Umbau bzw. Erneuerung der Abfüllstation von Helium-Druckgasbehältern
- Modernisierung des Kühlkreislaufs der 300-W-Tieftemperaturanlage
- Anschaffung eines Verdampfers am LN₂-Tank in Gebäude 456
- Installations- und Umbaumaßnahmen an Anlagenteilen der 500-W-Tieftemperaturanlage (siehe Abbildung 6)

Die 300-W-(1,8K)-He-Tieftemperaturanlage war 2012 ca. 1.318 Stunden in Betrieb. Davon entfielen 536 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 97 Stunden auf den Spülbetrieb, sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage, sodass 685 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich erbracht wurden.

Die 2-kW-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage war 2012 ca. 1.747 Stunden in Betrieb, davon entfielen 199 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb, 141 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage. Mithin wurden 1.404 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich Fusion erbracht.

Insgesamt wurden von den Anlagen ca. 193.226 Liter Helium verflüssigt. Davon wurden 134.648 Liter für Experimente im ITEP ausgegeben, während 58.578 Liter an Fremdinstitute gingen.



Abb. 4: Zyklieren des Kühlschildes mit LN₂ + Lecktest.



Abb. 5: Ausbau des He-Schraubenkompressors V3 der 2-kW-He-Tieftemperaturanlage für die Revision.

Die 500-W-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage für das KATRIN-Experiment lief 2012 lediglich 200 Stunden, davon ca. 19 Stunden im Spülbetrieb sowie beim Kalt- und Warmfahren der Anlagen. Der Betrieb wurde für Testmessungen der WGTS-Strahlrohrkühlung benötigt. An der Anlage traten keine nennenswerten Störungen auf. Die Instandhaltungen wurden nach Plan vorgenommen. Institute, die über keine Rückgasleitung zum ITEP verfügen, wurden über die Situation der Heliumressourcen informiert. In diesem Zusammenhang konnte das Institut ANKA-ISS vom Bau einer Rückgasleitung zum ITEP überzeugt werden.

Kryotechnik für REUN

Im Rahmen des Programms „Rationelle Energieumwandlung und -nutzung (REUN)“ wirkte der Bereich Kryotechnik an den Projekten LIQHYSMES, Grundlagen HTS-Generator und SUPRAPOWER mit.



Abb. 6: Heizungsregelung und Isolierarbeiten am Aktivkohle-adsorber der 500 W Tieftemperaturanlage.

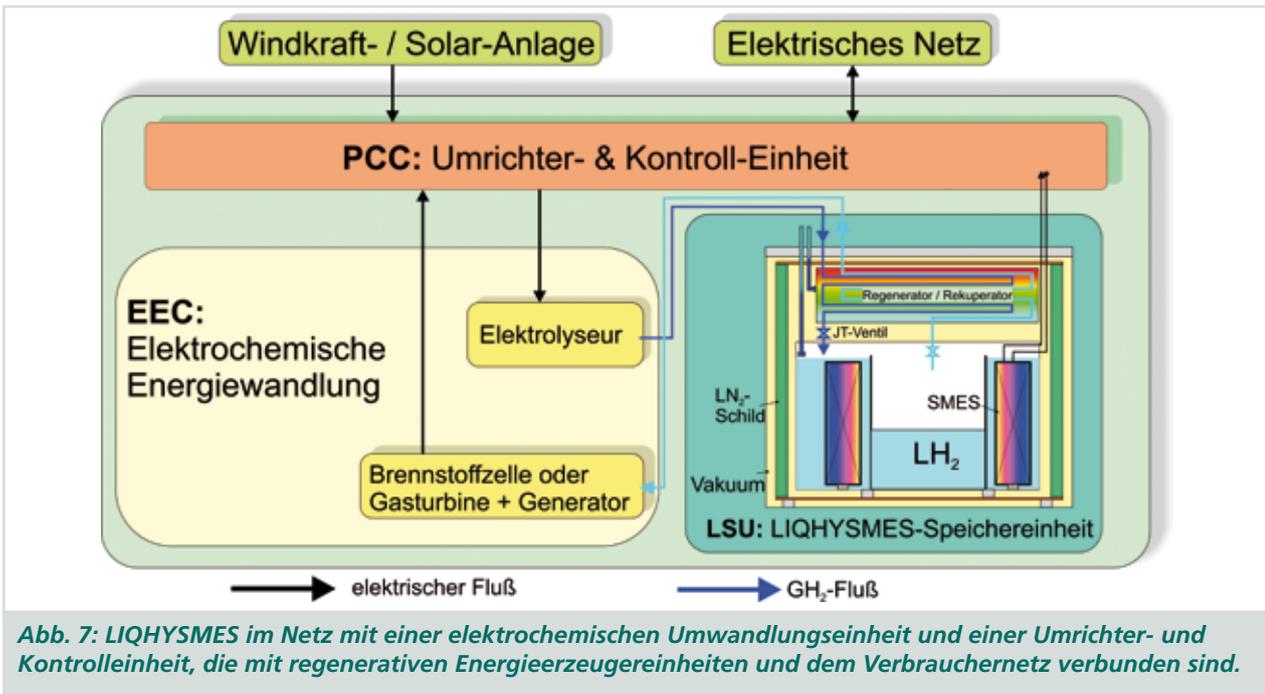


Abb. 7: LIQHYSMES im Netz mit einer elektrochemischen Umwandlungseinheit und einer Umrichter- und Kontrolleinheit, die mit regenerativen Energieerzeugereinheiten und dem Verbrauchernetz verbunden sind.

LIQHYSMES

Zum Hybrid-Energiespeicher auf der Basis von flüssigem Wasserstoff und einem supraleitenden magnetischen Energiespeicher, genannt LIQHYSMES (LIQuid HYdrogen & SMES), wurden weitere Studien vorgenommen. Abbildung 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Regenerative Energien werden über eine Umrichter- und Kontroll-Einheit in das Netz eingespeist. Die Einheit kann auch überschüssige Energie aus dem Netz aufnehmen. Überschüssige Energie wird entweder über Elektrolyse in Form von LH₂ in der LSU-Einheit oder in Form von magnetischer Energie im SMES gespeichert.

Um kurzskalige Schwankungen zu kompensieren, kann der SMES im Subsekundenbereich die Energie wieder freigeben. Um langskalige Defizite der Energieerzeugung auszugleichen, kann der flüssige Wasserstoff über Brennstoffzellen oder alternativ über Gasturbinen mit anschließendem Generator wieder als Strom ins Netz eingespeist werden.

Das Projekt wird im Rahmen der genehmigten Wasserstoffinitiative EWI seit September 2012 mit einer Laufzeit von drei Jahren auch finanziell gefördert.

Grundlagen HTS-Generator

Seit Februar 2011 läuft das BMWi-geförderte Kooperationsprojekt „Grundlagen HTS-Generator“ von Siemens und dem KIT. Ziel ist, wesentliche Voraussetzungen für die Verwendung der Hochtemperatur-Supraleitungstechnologie in elektrischen Generatoren zu schaffen. Dazu soll ein rotierender Versuchsstand mit einer HTS-Spule aufgebaut werden, die über einen Thermosyphon mit Neon auf 30 K gekühlt werden soll.

Die ursprüngliche Absicht, einen Spin-Bunker aus Metall als Schleuderschutz aufzubauen, wurde aus Kostengründen verworfen. Stattdessen ist geplant, einen Spin-Bunker aus Sand zu errichten, wie er in Abbildung 8 dargestellt ist. Um die notwendige Wandstärke zu berechnen, läuft derzeit eine Studie bei der Bundeswehr-Universität München.

SUPRAPOWER

Das EU-Projekt SUPRAPOWER (SUPerconducting, Reliable, lightweight, And more POWERful offshore wind turbine) startete zum 1. Dezember 2012. Ziel ist die Entwicklung eines supraleitenden Generators für Offshore-Windkraftanlagen. Das KIT ist daran mit der Entwicklung eines rotierenden Kryostaten für die supraleitenden MgB₂-Spulen beteiligt. Für die Kühlung stehen Gifford-McMahon-Kühler der Firma Oerlikon Leybold Vacuum zur Verfügung, wobei die Kühlung auf reiner Wärmeleitung beruhen soll.

Sicherheit in der Kryotechnik

Was die Absicherung von Druckbehältern in der Kryotechnik betrifft, arbeiten Manfred Süßer und Professor Steffen Grohmann im DIN-Arbeitsausschuss NA 016-00-07AA mit. Überdies verfasste Carolin Heidt am ITEP eine Diplomarbeit zur Modellierung des Druckanstiegs in einem Flüssigheliumbehälter bei Zusammenbruch des Isolervakuums. Diese Arbeit soll im Rahmen einer Promotion auch experimentell verifiziert und weiterentwickelt werden. Frau Frank untersuchte das Abblaseverhalten von Sicherheitsventilen experimentell im Rahmen ihrer Bachelorarbeit.

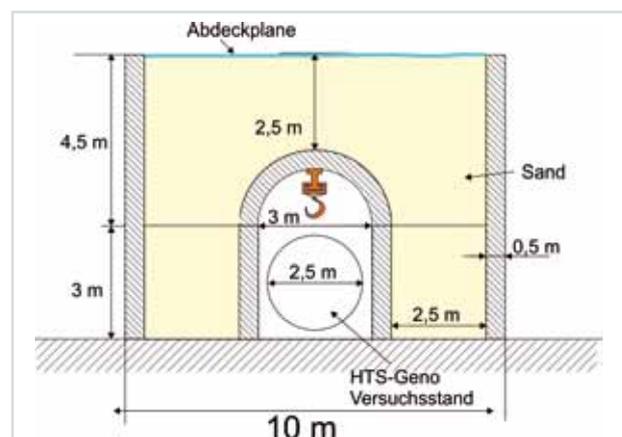


Abb. 8: Sand-Spin-Bunker für einen Teststand zur Untersuchung von HTS-Komponenten für supraleitende Generatoren.



Oktober 2012: Abtransport des KATRIN Demonstrators. In den nächsten knapp 2 Jahren soll er zur endgültigen WGTS umgebaut werden

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Leitung: Dr. Beate Bornschein

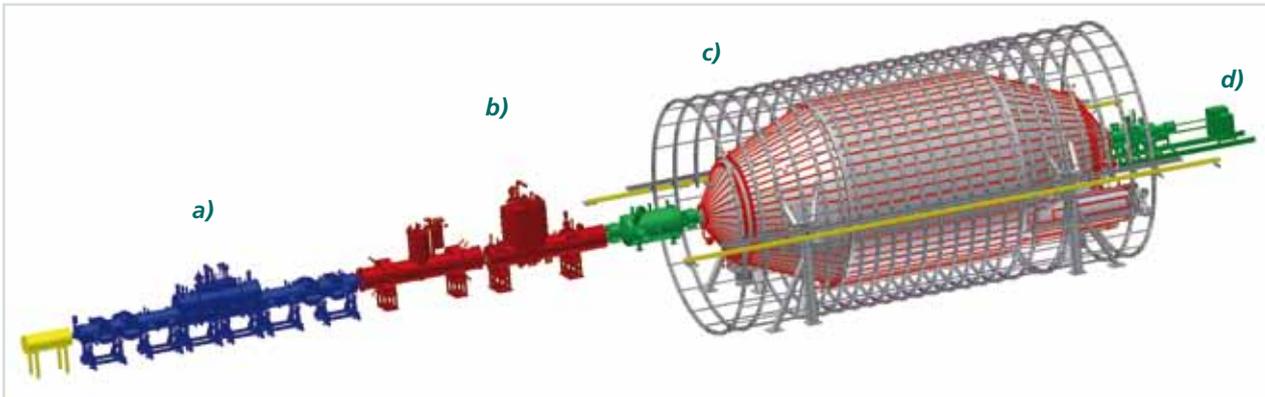


Abb. 1: Schematische Darstellung des internationalen Großexperiments KATRIN. Die bei β -Zerfällen in einer hochintensiven fensterlosen molekularen Tritiumquelle (WGTS, [a]) entstehenden Elektronen werden über eine Tritiumpumpstrecke mit den aktiven und passiven Elementen DPS2-F und CPS (b) zu einem System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

Ziel des Karlsruher Tritium Neutrino Experiments KATRIN ist die modellunabhängige Messung der Neutrino-masse 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 Neutrino-masse eine Schlüsselrolle beim offenen Problem der Entstehung von Masse zu.

Das experimentelle Prinzip von KATRIN basiert auf der präzisen Vermessung des Spektrums von Elektronen aus dem β -Zerfall molekularen Tritiums nahe 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 m lange Experimentiereinrichtung geführt. Ein System aus zwei elektrostatischen Retardierungsspektrometern erlaubt es, die Elektronenenergien mit einer Auflösung von $0,93 \text{ eV}$ zu bestimmen (siehe Abbildung 1).

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 2014 erwartet. Design, Aufbau und erfolgreiche Ausführung des Experiments KATRIN stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, besonders die Tritiumverfahrenstechnik, die Ultrahochvakuum- und die Kryotechnik sowie die Stabilisierung der Hochspannung. Darüber hinaus bedarf es eines funktionierenden Projektmanagements, um die Einteilung der personel-

len und finanziellen Ressourcen mit den zeitlichen und inhaltlichen Zielen von KATRIN zu vereinbaren.

Im Rahmen von KATRIN hat das ITEP die verantwortliche Leitung für die Tritiumprozesstechnik sowie für die Kryotechnik inne. Es stellt in diesem Bereich mehrere Teilprojektleiter (Taskleiter). Die Arbeit des ITEP ist zu mehr als 95 Prozent im sogenannten Quell- und Transportsystem angesiedelt, das in Abbildung 2 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 m Länge, das in seinem 30 K kalten Strahlrohr die gasförmige Tritiumquelle beherbergt. Außerdem befinden sich auf der Strahlachse im rückwärtigen Teil das sogenannte Kalibrations- und Monitoringsystem (CMS) und im vorderen Teil – Richtung Spektrometer – das Transportsystem. Dieses hat die Aufgaben, 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 einer differenziellen Pumpstrecke (DPS2-F) und andererseits – als letzte Stufe – mit einer kryogenen Pumpstrecke (CPS), die bei $3,5$ bis 4 K betrieben wird. Sowohl DPS2-F als auch CPS sind supraleitende Magnetsysteme von 7 bzw. 9 m Länge. Sie werden (CPS) bzw. wurden (DPS2-F) wie die WGTS bei externen Firmen gefertigt und fertigungsbegleitend vom ITEP betreut.

Zusätzlich dargestellt sind in Abbildung 2 die Tritiumkreisläufe (Inner Loop, Outer Loop), die für eine geregelte Tritiumgaseinspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werte von über 95% halten. Das gleichzeitige

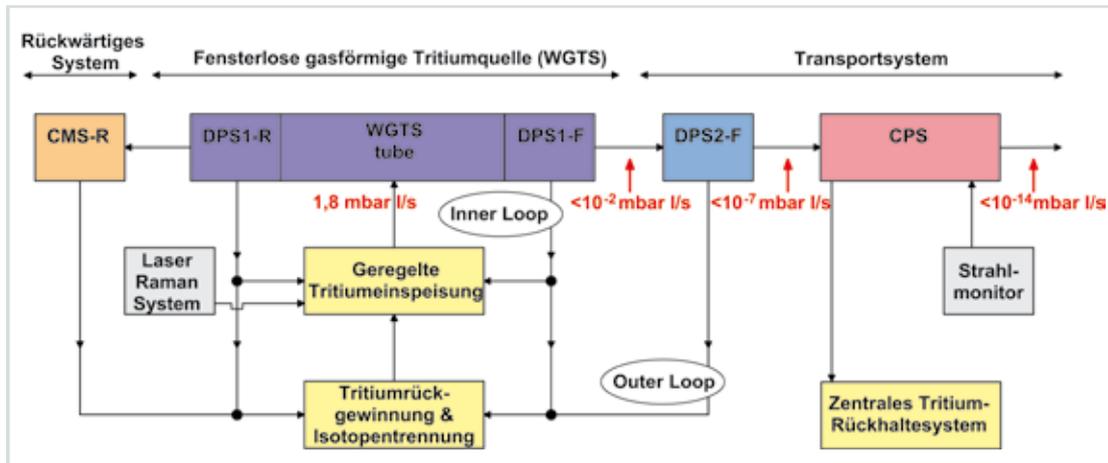


Abb. 2: Blockbild der KATRIN-Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des TLK.

stabile Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases sorgt letztendlich für eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS (Tritiumquelle).

Die folgenden Abschnitte stellen den Stand der Arbeiten im Einzelnen dar.

WGTS und Demonstrator

Nach der einvernehmlichen Auflösung des Vertrags mit der Firma VARIAN im Herbst 2011 ist das KIT für den Weiterbau der WGTS allein verantwortlich. Wesentliche noch offene Arbeitspakete sind die Fertigung der differenziellen Pumpstrecken und der Umbau des im TLK getesteten Demonstrators zum zentralen Bauteil der WGTS. Der Demonstrator ist de facto eine verkürzte WGTS ohne supraleitende Magnete. Er war in dieser Form nur gebaut worden, um das neue und hochkomplexe Kühlkonzept für die 30 K kalte Tritiumquelle zu testen. Nach dem erfolgreichen Test der WGTS-Magnetmodule in Saclay, bei denen auch das neue Quenchkonzept überprüft wurde, kann nun die eigentliche WGTS aufgebaut werden. Die dazu noch erforderlichen Konstruktionsarbeiten laufen am KIT. Das Gleiche gilt für die Entwicklung eines Magnetkontrollsystems. Für die Fertigungsarbeiten gewann das KIT die Firma RI. Die WGTS wird voraussichtlich 2014 fertig zusammengebaut im TLK stehen.

DPS2-F

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme der DPS2-F musste das wissenschaftliche Programm 2011 wegen eines Quenches einer DPS2-F-Magnetfeldspule gestoppt werden. Bei



Abb. 3: Neues Konzept für die differenzielle Pumpstrecke von KATRIN. Zu sehen sind die fünf supraleitenden Magnete und zwei der fünf geplanten Pumpkammern.

dem Quench war eine der Dioden, die die Spule in einem solchen Fall gegen Überspannung schützen soll, zerstört worden. Ohne diese Diode könnte ein weiterer Quench zur Zerstörung des Magnetsystems führen. Eine mehrmonatige Analyse der Reparaturmöglichkeiten ergab, dass ein Austausch aller verwendeten Schutzdioden gegen einen anderen Typ sowie die Implementierung einer Zugangsmöglichkeit von außen zu den Dioden notwendig ist. Nach ausführlichen Recherchen und Diskussionen mit der Firma ASG war klar, dass ein modularer Neubau des Systems, das heißt der Kauf von fünf einzelnen Standardsystemen und die Anfertigung des Strahlrohrs in Eigenregie (siehe Abbildung 3 und 4) kostengünstiger und schneller ist als eine Reparatur des alten Systems. Nachdem die Spezifikation erstellt worden war, wurden die fünf Magnetmodule Ende des Sommers 2012 ausgeschrieben; im November 2012 wurde mit der Firma Cryomagnetics ein Vertrag für die Fertigung abgeschlossen. Die Anlieferung der Magnetmodule ist für Ende 2013 vorgesehen. Bis dahin soll auch das Strahlrohr, das nach den Richtlinien des TLK gebaut werden muss, fertiggestellt sein.

CPS

Die CPS wird von der Firma ASG in Genua gefertigt. Aufseiten von KATRIN begleitet ein institutsübergreifendes Projektteam die Fertigung. Der Schwerpunkt der Qualitätssicherungsarbeiten lag 2012 auf der Beaufsichtigung der Reparatur des Strahlrohrs, das beim Zusammenbau



Abb. 4: Skizze der Schnittstelle zwischen DPS und WGTS. An dieser Stelle soll eine zusätzliche Pumpkammer eingebaut werden, um mindestens den notwendigen Tritiumflussreduktionsfaktor von 10^5 zu erreichen.

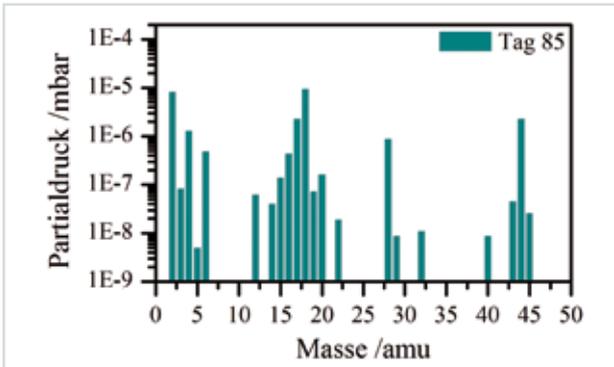


Abb. 5: Ergebnis der fünften Messreihe des TriToP Experiments. Zu sehen ist ein Massenspektrum, das nach 85 Tagen kontinuierlichen Betriebs mit Tritium (Durchflussrate 20 sccm) mit einem Restgasanalysator aufgenommen worden ist.

beschädigt worden war, sowie auf der Kontrolle der einzelnen Fertigungsschritte. Dazu griff das KIT auch auf externes Personal zurück. Zudem wurde das neue Schutzdiodenkonzept für die supraleitenden Magnete freigegeben und ein erstes konzeptuelles Design für seine praktische Umsetzung erstellt. Parallel dazu wurde im ITEP ein Teststand aufgebaut, an dem ein Kalttest (bei 4,2K) der genannten Schutzdioden möglich ist, bevor diese zum endgültigen Einbau zu ASG geschickt werden.

Nach dem aktuellen Zeitplan soll die CPS Ende 2013 an das KIT geliefert werden. Bis dahin werden auch die sieben Schaltschränke geliefert sein, die für den Kryobetrieb der CPS, das heißt für die Steuerung der mehr als 420 Sensoren und Ventile, benötigt werden. Das ITEP hat das System konzeptuell entwickelt; die Fertigung übernimmt ein externer Industriepartner.

Kälteanlage und Kryotransferleitung

Ein Arbeitsschwerpunkt im Jahr 2012 lag auf der Begleitung der Fertigung des dritten Teils der Kryotransferleitung und der dritten Ventilbox, die für die kryogene Anbindung der CPS notwendig ist. Die Fertigung ist inzwischen fast abgeschlossen; Lieferung und Montage sind für 2013 vorgesehen. Einen zweiten Arbeitsschwerpunkt bildete die kryotechnische Unterstützung des KATRIN-Detektorsystems, das 2012 in Betrieb ging. Zum Detektorsystem gehören zwei supraleitende Magnete der Firma Cryomagnetics und ein stickstoffgekühlter Halbleiterpixeldetektor.

Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut, unter anderem im Rahmen von Bachelor-, Diplom- und Doktorarbeiten. 2012 konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau neuer Testexperimente und die Fortführung der Messungen mit den Tritiumexperimenten TriToP und TriReX.

Bei TriToP (Tritium Test of Pump) wird eine magnetgelagerte MAG2800 Turbomolekularpumpe (TMP) im Langzeitbetrieb mit Tritium getestet. Dabei entsprechen die Betriebsbedingungen denen der acht Turbomolekularpumpen an den ersten beiden Pumpkammern der WGTS. Nach einem Jahr Testbetrieb zeigte sich, dass ein kontinuierlicher Betrieb einer TMP vom Typ MAG2800 unter KATRIN-Bedingungen möglich ist: Die betreffende Pumpe überstand in diesem Zeitraum einen Durchsatz von mehr als 1 kg Tritium. Neben diesem hervorragenden Ergebnis war auch ein Manko zu verzeichnen: Abbildung 5 zeigt ein Massenspektrum, aufgenommen nach 85 Tagen Dauerbetrieb. Die Pumpe zeigte Alterserscheinungen nach einem mehrwöchigen Stillstand mit erhöhtem Tritiumpartialdruck. Dies führen die Forscher auf die Degradierung von O-Ringen und Epoxidharz zurück. Ende November 2012 wurde die betreffende Pumpe mithilfe eines Spezialisten der Firma Leybold in einer speziellen Handschuhbox im TLK zerlegt, um den Zustand des Inneren genauer zu untersuchen.

Bei TriReX (Tritium Rear System Experiment) erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit, mithilfe der Bremsstrahlung die Tritiumkonzentration in der WGTS zu bestimmen (BIXS-Methode). Die Bremsstrahlung entsteht in der rückwärtigen Wand der WGTS durch die Elektronen aus dem Tritiumzerfall. TriReX imitiert die Rear Wall von KATRIN durch eine kleine goldbeschichtete Berylliumwand. Nach ersten grundlegenden Tests im Jahr 2011 wurde der Experimentaufbau 2012 optimiert. Erste Messungen mit dem optimierten System waren so erfolgreich, dass das Team die Ergebnisse auf der SOFT2012 präsentierte.

Basierend auf den F&E-Ergebnissen aus TriReX entsteht mit dem Experiment Triade eine Anlage, die mit der BIXS-Methode Tritiumadsorption auf Gold und anderen Materialien messen kann. Sie soll dabei ein Detektionslimit von 0.1 Monolagen erreichen. Der Versuch, die Tritiumadsorption auf Gold mithilfe eines Schwingquarzes zu bestimmen (TriQuarz-Experiment), wird dagegen nicht weiter verfolgt, weil die Sensitivität im Vergleich zum Experiment Triade nicht hinreichend ist.

F&E Arbeiten, welche die Laser-Raman-Spektroskopie betreffen, sind im Abschnitt „Highlight“ beschrieben.

Dank

Die Arbeiten zu KATRIN liefern am ITEP bereichsübergreifend mit großem Erfolg, wobei das TLK naturgemäß den Großteil der Aufgaben übernahm. Alle Teilaufgaben profitierten von einer engen und fruchtbaren Zusammenarbeit mit Studierenden, Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftlern des ITEP, des Instituts für Kernphysik (IKP), des Instituts für Experimentelle Kernphysik (IEKP), der Hauptwerkstatt (TID-F) und der KIT Projektmanagementgruppe (PMQ). Dafür herzlichen Dank!

Highlight: Ramanspektroskopie zur Inline-Analyse von Tritiumgasmischungen

Eine quantitative Analyse von Gasströmen aus den Wasserstoffisotopologen (H_2 , HD, D_2 , HT, DT, T_2) ist sowohl für die Tritiumquelle des Experiments KATRIN als auch im Brennstoffkreislauf eines Fusionsreaktors unerlässlich. Für diese Aufgaben kommt vor allem Ramanspektroskopie in Betracht. Forscherinnen und Forscher am TLK haben diese Methode in den vergangenen Jahren weiterentwickelt.

Ramanspektroskopie ist ein spektroskopisches Verfahren, bei dem Laserlicht an den Molekülen in der Probe inelastisch gestreut wird. Dabei wird Energie in Rotations-Vibrations-Anregung des Moleküls transferiert, wodurch das gestreute Licht eine charakteristische Rotverschiebung seiner Wellenlänge erfährt. Ein typisches Ramanspektrum ist in Abbildung 6 zu sehen.

Genauere Kalibrierung der Ramansysteme

Ramansysteme liefern im Allgemeinen Spektren, aus denen sich zuerst nur die Linienintensität extrahieren lässt. Um daraus die Zusammensetzung der Probe zu erhalten, bedarf es der sogenannten Responsefunktionen, die für jede charakteristische Linie des Ramanspektrums verschieden sind. Abbildung 7 visualisiert diesen Zusammenhang.

In der Regel geschieht eine Kalibrierung von analytischen Systemen mit Referenzproben bekannter Zusammensetzung. Bei Gemischen mit Tritium kommen allerdings dessen radiochemische Eigenschaften zum Tragen – sie schränken die Genauigkeit der Gasproben ein. Dies liegt hauptsächlich an Prozessen, die zu Reaktionen der Gasmoleküle mit den Edelmetallwänden und zur Selbstgleichgewichtung der Gase führen können. Für H/T-Gemische ist dies die Reaktion $T_2 + H_2 \leftrightarrow 2HT$.

Eine weitere Möglichkeit der Kalibrierung nutzt die Berechenbarkeit der Intensitäten der Ramanlinien aus. Da es sich bei Wasserstoffisotopologen (H_2 bis T_2) um relativ einfache Moleküle handelt, lässt sich die sogenannte Polarisierbarkeit quantenmechanisch berechnen; daraus lassen sich dann die Linienintensitäten ableiten. Allerdings gibt es bisher weder eine experimentelle Bestätigung dieser Rechnungen noch Angaben zu möglicher Unsicherheit in diesen Modellen. Weiterhin bedarf es für die Methode der wellenlängenabhängigen, spektralen Sensitivität, die für jedes Ramansystem unterschiedlich ist.

Beide Kalibriermethoden wurden am TLK entwickelt und angewendet (siehe Abbildung 6). Methode 1 liefert die Responsefunktionen für alle sechs Isotopologen. Dazu wurden die quantenmechanischen Berechnungen mit sogenannten Depolarisationsmessungen verifiziert. Au-

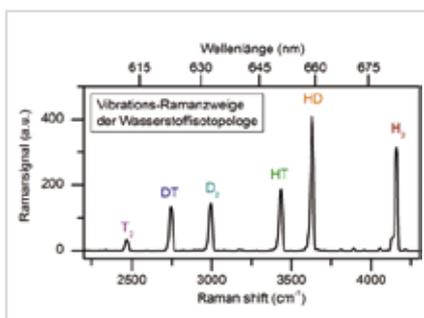


Abb. 6: Raman-Spektrum aller sechs Wasserstoffisotopologen.

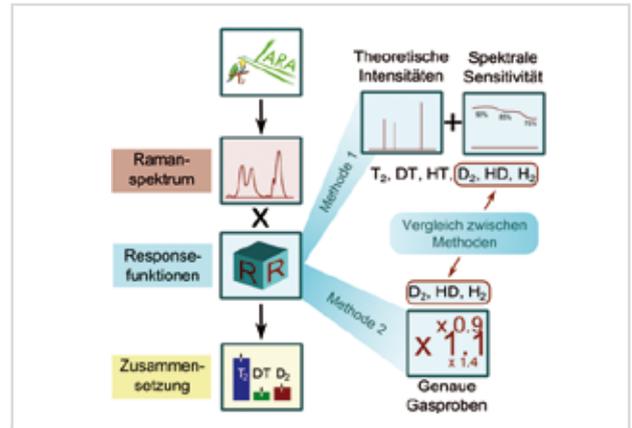


Abb. 7: Kalibrierung der Ramansysteme mithilfe zweier komplementärer Methoden.

ßerdem wurde eine neuartige Methode verwendet, mit der sich der durch geometrische Einflüsse und Polarisationsunreinheiten verursachte Messfehler reduzieren ließ.

Die spektrale Effizienz wurde mit einem Fluoreszenzstandard kalibriert, der für höchste Genauigkeit und eine optimale Abbildung der Streuregion sorgt (siehe Abbildung 7).

Für Methode 2 wurde eine Mischapparatur aufgebaut, mit der sich äußerst genaue Gasmischungen aus den nichtradioaktiven Molekülen H_2 , HD und D_2 herstellen lassen. Die Responsefunktionen von H_2 , HD und D_2 wurden mit einer Unsicherheit von $<0.5\%$ bestimmt und daraufhin mit den Berechnungen aus Methode 1 verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Ergebnisse beider Methoden mit einer Abweichung von weniger als 2% übereinstimmen. Dies legitimiert die Verwendung von Methode 1 zur Kalibrierung für alle Isotopologen.

Die erreichte Genauigkeit von $<3\%$ übersteigt die Anforderung für KATRIN ($\sim 10\%$) um ein Vielfaches. Außerdem wurde gezeigt, dass für zukünftige Kalibrierungen der Ramansysteme nur noch Methode 1 erforderlich ist und dass sich Kalibrierungsproben demnach ganz erübrigen.

Tritiumbeständigkeit von optischen Beschichtungen

In einem Ramansystem befindet sich die Ramanzelle (siehe Abbildung 8) in Kontakt mit Tritium und ist damit der Betastrahlung ausgesetzt. Nach einem dreimonatigen Betrieb des Ramansystems am Tritiumtestkreislauf LOOPINO wurde eine Beschädigung der Antireflexionsbeschichtungen der Fenster der Ramanzelle festgestellt.



Abb. 8: Der Fluoreszenzstandard kann an die Stelle der Ramanzelle gesetzt werden, um die spektrale Effizienz des Ramansystems zu bestimmen.

Angesichts der hohen Tritiumkonzentration (über 90 % bei 200 mbar Gesamtdruck) verursacht möglicherweise die intensive Betastrahlung die Beschädigung. Zusätzlich lassen sich radiochemische Prozesse nicht ausschließen. Um die Wirkung von Betastrahlung auf optische Beschichtungen genauer zu untersuchen, wurde ein Testexperiment aufgebaut, in dem beschichtete Fenster Tritiumgas ausgesetzt werden. Neben dem bisher verwendeten Beschichtungstyp werden auch Ausführungen untersucht, die als strahlenresistenter gelten. Bei der Untersuchung werden die Fenster wiederholt für mehrere Tage in Tritiumgas gelagert; nach der Beaufschlagung werden die optischen Eigenschaften der Fenster charakterisiert. Zur Charakterisierung dient neben lichtmikroskopischen Methoden auch ein Versuchsaufbau zur Messung der Transmissions- und Reflexionseigenschaften der Fenster (siehe Abbildung 9). Die ersten Messungen ergaben bereits nach 17 Tagen erste Anzeichen bei dem bisher für die Zellfenster verwendeten Beschichtungstyp. Durch die Optimierung der polarisationssensitiven optischen Komponenten im Aufbau wurde eine Langzeitstabilität des Messaufbaus von 3 % über einen Zeitraum von über 100 Stunden erreicht. Die Messreihe wird nach Abschluss der Optimierung und dem Einbau von Referenzproben zur regelmäßigen Kalibration des Systems fortgesetzt, um alle beschichteten Fenster insgesamt für mindestens 60 Tage reinem Tritium auszusetzen. Dieser Zeitraum entspricht der Dauer eines typischen Messzyklus des Experiments KATRIN, in dem das Ramansystem ununterbrochen betrieben werden wird.

Automatisierte Analyse von Ramanspektren

Sowohl für das Experiment KATRIN als auch zur Überwachung der Gaszusammensetzung im Brennstoffkreislauf eines Fusionskraftwerks ist eine automatisierte und genaue Analyse der Ramanspektren erforderlich. Die im Tritiumlabor entwickelten Analyseroutinen umfassen mehrere Schritte zur Aufbereitung der Ramanspektren, die Bestimmung der Linienintensitäten sowie deren Umrechnung in Konzentrationen mithilfe der oben genannten Responsefunktionen. Der Messrechner führt sämtliche Analyseschritte unmittelbar nach der Aufnahme des Ramanspektrums automatisiert aus. Die vollständige Analyse eines Ramanspektrums dauert weniger als 5 s; daher ermöglicht sie nahezu eine Echtzeitüberwachung der Gaszusammensetzung und damit die Prozessüberwachung mit Ramanspektroskopie. Da Da-

tenaufnahme und -analyse in einem Programm verbunden sind, kann auch nicht auf Ramanspektroskopie spezialisiertes Personal Ramananalysen vornehmen.

Anwendung der Ramanspektroskopie im TLK

Auf der Basis der Erfahrungen mit zwei bereits betriebenen Ramansystemen wurde das für das Experiment KATRIN vorgesehene Ramansystem aufgebaut und getestet. Messungen zeigten, dass sich die Gaszusammensetzung mit einer Präzision von 0,1 % innerhalb von 60 s Aufnahmedauer bestimmen lässt – dies liegt weit unter der maximal zulässigen Aufnahmedauer von 250 s.

Im TriToP (Tritium Test of Pumps) Experiment wurde Ramanspektroskopie zusätzlich zur bereits vorhandenen Massenspektrometrie eingesetzt. Ziel des Experiments ist, die Beständigkeit einer in KATRIN mehrfach verwendeten Turbomolekularpumpe unter Tritiumatmosphäre zu untersuchen. Da die Massenspektren aufgrund der Isotopeneffekte von H, D und T und der somit zahlreich vorkommenden Molekülmassen nicht eindeutig interpretierbar waren, erbrachten die Ramanspektren zusätzliche Aussagen über die Gaszusammensetzung.

Neben der Überwachung der Gaszusammensetzung im Experiment KATRIN eignet sich Ramanspektroskopie auch zur Prozessüberwachung bei anderen Tritiumexperimenten. Dafür wurde eine mobile Handschuhbox entwickelt, die das Ankoppeln des optischen Ramansystems an beliebige Handschuhboxen ermöglicht, ohne dass bauliche Veränderungen der Handschuhbox nötig sind. Die mobile Handschuhbox wird derzeit aufgebaut (siehe Abbildung 10) und wird im Frühjahr 2013 in der TRENTA-Anlage erstmals in Betrieb genommen. In dieser Anlage wird die Wasserdetritiumierung und Isotopentrennung für den Fusionsreaktor ITER getestet. Dabei kommt Tritium im Bereich von wenigen Prozent in Wasserstoffgas mit 1-5 bar Gesamtdruck vor. Dank des im Vergleich zu KATRIN um eine Größenordnung höheren Gesamtdrucks lässt sich die Aufnahmedauer der Ramanspektren deutlich verringern und somit eine Bestimmung der Gaszusammensetzung alle 5–15 s erreichen. Die bisher verwendeten Methoden zur Tritiumanalytik mussten teilweise von Hand durchgeführt werden und benötigten bis zu 15 Minuten für eine Messung. Damit verbessert die Ramanspektroskopie die Prozessüberwachung an der TRENTA Anlage deutlich.

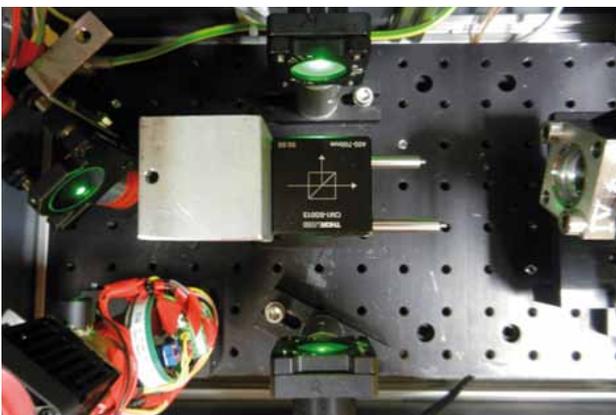


Abb. 9: Aufbau zur Bestimmung der Transmissions-eigenschaften eines beschichteten Fensters innerhalb einer Handschuhbox. Rechts ist die zu untersuchende Probe zu sehen.



Abb. 10: Mobile Handschuhbox zur Anbindung des Ramansystems (rechts) an beliebige Handschuhboxen.

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

KIT-Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Supraleitende Systeme für Ingenieure (Noe, Neumann, Siegel) WS 11/12–12/13

Supraleitertechnologie (Noe, Schlachter, Weiss) SS 12
Superconductivity in smart grid power applications (Grilli, Noe) SS 12

Seminar Projektmanagement für Ingenieure (Noe, Day, Grohmann) SS 12

KIT-Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

Vakuumtechnik I (Day, Varoutis) WS 11/12–12/13

Kryotechnik (Neumann) WS 11/12–12/13

Kältetechnik I (Grohmann) WS 11/12

KIT-Fakultät Maschinenbau

Fusionstechnologie A* (Bornschein, Day, Fietz, Weiss) WS 11/12–12/13

Vakuumtechnik und Tritiumbrennstoffkreislauf (Bornschein, Day, Demange) SS 12

KIT-Fakultät Physik

Messmethoden und Techniken in der Experimentalphysik (Bornschein) SS 12

Hauptseminar Astroteilchenphysik: Neutrinos und dunkle Materie (Bornschein) WS12/13

Leibniz Universität Hannover – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Neue Komponenten der elektrischen Energieversorgung* (Noe) SS 12

House of Competence

Blockseminar Wissenschaftliches schreiben und präsentieren für Physiker (Bornschein) WS 12/13

Mikromodul Physik* (Bornschein) WS 12/13

Duale Hochschule BW – Fachbereich Maschinenbau

Arbeitssicherheit, Konstruktionslehre I und Umweltschutz (Bauer) SS 12

Thermodynamik 1 für Maschinenbauer (Neumann) WS 11/12–12/13

Thermodynamik 2 für Maschinenbauer (Neumann) SS 12

Seminare / Sommerschulen / Workshops

3rd ITEP Young Scientists Seminar
16.–19. Januar 2012, Kristberg, Österreich

3. ZIEHL – Zukunft und Innovation der Hochtemperatur-Supraleitung in der Energietechnik – Workshop*
6.–7. März 2012, Bonn

VDI-Seminar Kryotechnik
14.–16. März 2012, Karlsruhe

IEA Exco Meeting
10.–11. Mai 2012, Heidelberg

CIGRE Working Group Meeting D1.38*
4.–6. Juni 2012, Schenectady, USA

6th ESAS Summer School on Materials and Applications on Superconductivity*
11.–15. Juni 2012, Lens en Vercors, Frankreich

6. Karlsruhe-Dresden Doktorandenseminar zur Supraleitung
20.–22. Juni 2012, Bad Liebenzell

2. Doktorandenseminar Fusion*
20.–21. Juni 2012, Bad Herrenalb

6th International Summer School on Fusion Technologies*
3.–14. September 2012, Karlsruhe

VDI-Seminar Cryogenics
19.–21. September, Karlsruhe

DKV-Tagung 2012*
21.–23. September 2012, Würzburg

Coated Conductor for Application Workshop 2012*
14.–16. November 2012, Heidelberg

School on Vacuum Technology
20.–22. November 2012, Karlsruhe

Die Kunst sich Selbst zu präsentieren
3.–4. Dezember 2012, Karlsruhe

* Organisation mit ITEP Beteiligung

Lehre und Bildung

Doktorarbeiten – Master- und Diplomarbeiten – Bachelor- und Studienarbeiten

Doktorarbeiten 2012 (* abgeschlossen)

Martin Babutzka (TLK)

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

Christian Barth (FUSION)

Mechanisch stabilisierte Hochtemperatur-Supraleiter-Kabel

Olga Borisevich (TLK)

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

Florian Erb (SUPRA)

Entwurf supraleitender Windkraftgeneratoren

Sebastian Fischer (TLK)

Laser Raman Spectroscopy For The KATRIN Experiment

Patthabi Vishnuvardhan Gade (FUSION)

Optimization of High Temperature Superconductor cable concepts for high current capacity to be used in HTS coils for future fusion reactors

Thomas Giegerich (VAKUUM)

Entwicklung eines Vakuumpumpkonzepts für zukünftige Fusionsreaktoren

Cristian Gleason-González (VAKUUM)

Modelling of rarefied neutral gas flow

Robin Gröbke (TLK)

IR-Spektroskopie an flüssigen Wasserstoffisotopen und Entwicklung einer Methode zur Bestimmung der Tritiumkonzentration im Brennstoffkreislauf von ITER

Zoltan Köllö (TLK)

Further Development of Tritium analytic devices

Philipp Krüger (SUPRA)

AC Loss characterization of HTS devices for power applications

Olaf Mäder* (SUPRA)

Stabilität von Hochtemperatur-Supraleitern

Robert Michling (TLK)

Performances Assessment of Water Detritiation Process

Oliver Näckel (SUPRA)

Untersuchungen strombegrenzender Spulen

Florian Priester (TLK)

Optimierung der KATRIN Tritium-Loops

Enrico Rizzo (FUSION)

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

Marco Röllig (TLK)

Tritiumanalytik bei KATRIN

Magnus Schlösser (TLK)

High-precision Laser Spectroscopy on Hydrogen Isotopologues

Kerstin Schönung (TLK)

Aufbau Rear-System von KATRIN

Sebastian Hellmann (SUPRA)

Technologieentwicklung für supraleitende strombegrenzende Transformatoren

Christoph Bayer (FUSION)

Characterization of high temperature superconductor (HTS) cable for large scale HTS magnet coil application

Betreute Master-/Diplomarbeiten 2012 (* abgeschlossen)

Christoph Bayer*

Bestimmung des Pinningverhaltens technischer Hochtemperatursupraleiter

Alexander Beck

Design und Aufbau eines tritiumkompatiblen IR-Spektroskopiesystems zur Untersuchung flüssiger Wasserstoffisotope

Miroslav Dimov

Untersuchungen zur Entwicklung eines Prototyp-Sensors für ein neues thermisches Messverfahren zur Durchflussmessung

Amit Grover

Development, construction and test of a flexible support structure for multi-layer insulation in a flexible cryogenic transfer line

Carolin Heidt*

Untersuchungen zur Sicherheit von Flüssighelium-Druckbehältern

Sebastian Hellmann*

Untersuchung der Homogenität des Quenchverhaltens von HTS Multileiterkonzepten in Hinblick auf die Anwendung in supraleitenden Transformatoren

Florian Kassel

Weiterentwicklung der Laser-Ramanspektroskopie an gasförmigen Wasserstoffisotopologen zur Prozessüberwachung von Tritiumexperimenten

Simon Niemes

Inbetriebnahme und Grundlagen-Charakterisierung eines SDD (Silicon-Drift-Detector) für Messungen nach dem BIXS (Beta-Induced X-ray) Prinzipien und erste Messungen mit tritiiertem Wasser in Hinblick auf den endgültigen Einsatz des SDDs für die Online-Messung der Tritiumkonzentration in Wasser für die TRENTA-Anlage

Simone Rupp

Entwicklung einer Methode zur Messung der Quanteneffizienz von Laser Raman Systemen

Vera Schäfer

Test von optischen Beschichtungen auf Beständigkeit gegen Tritium

Fabian Schneck

Untersuchung des Adsorptionsverhaltens von Tritium an Oberflächen und Implikationen für KATRIN

Elisabeth Urbach*

Beurteilung der Messunsicherheit von mechanischen Prüfverfahren im kryogenen Umfeld

Betreute Bachelorarbeiten 2012

(* abgeschlossen)

Moritz Bader*

Experimentelle Ermittlung von stationären, quasistationären und transienten Wärmeübergängen von elektrisch erwärmten supraleitenden Bandleitern in flüssigem Stickstoff

Sebastien Barbier*

Commissioning of an infrared camera for optical analysis of flow distributions in cryopanel

Viswanath Bharathwaj*

Measurement of temperature distribution in tube in tube heat exchanger coil using Fiber Bragg Grating sensors

Joachim Debatin

Untersuchung der Permeation von Gasgemischen durch neuartige Zeolite-Membrane

Julia Dusold

Charakterisierung eines Siliziumdrift-detektor-Systems

Sylvia Ebenhöch*

Simulation und experimentelle Arbeit an TriRex

Beate Frank*

Dynamische Messungen an Sicherheitsventilen

Nando Gramlich*

Parametrische Untersuchungen an einer Kaskade aus drei Membranreaktoren zum Austausch von Wasserstoffisotopen

Moritz Hackenjos*

Marktrecherche und Analyse handelsüblicher Komponenten für ein IR-Sensorsystem zur Konzentrationsbestimmung flüssiger Wasserstoffisotope im Umfeld der Fusionsforschung

Katharina Höveler*

Messung tritiuminduzierter Bremsstrahlung an TRIEX für KATRIN

Nadja Kästle*

Erstellung eines Marketingkonzepts in einem wissenschaftlichen Institut

Manuel Klein

Funktionsnachweiß eines Messsystems zur Bestimmung der Tritiumkonzentration in Wasser mittels Verstärkerfolie und Photodioden

Bennet Krasch*

Aufbau und Durchführung von Testexperimenten zur Fotoakustischen RAMAN Spektroskopie

Steffen Mundt*

Entwicklung einer interaktiven Softwarelösung zur Implementierung der KATRIN-Nummern in das Datenbanksystem

Julian Pfinder*

Konzeption eines Versuchsstandes zur präzisen Untersuchung von Massenstromsensoren

Manuel Pitsch*

Potentialanalyse regenerativer Energien zur Eigenversorgung von Versorgungsgebieten

Florian SchleiBinger*

Winkelabhängige E(l)-Messungen an technischen HTS-Bandleitern

Michael Schmidt*

Aufbau einer Messstrecke zum Test eines neuen Sensors zur Positionsbestimmung eines kryogenen Kompaktventils

Sebastian Schüler*

Charakterisierung von Festkörper-Szintillatoren für den Einsatz zur Messung von Tritium in Wasser

Sascha Singer*

Migration der Steuerung einer Anlage zur Elektrolyse sowie Erstellung einer hierfür geeigneten Visualisierung

Pranay Valson*

Measurement of stress distribution in a high temperature superconductor tapes at cryogenic temperatures

Johannes Weis*

Bestimmung von Tritiumablagerungen auf einem vergoldeten Schwingquarz (TriQuarz)

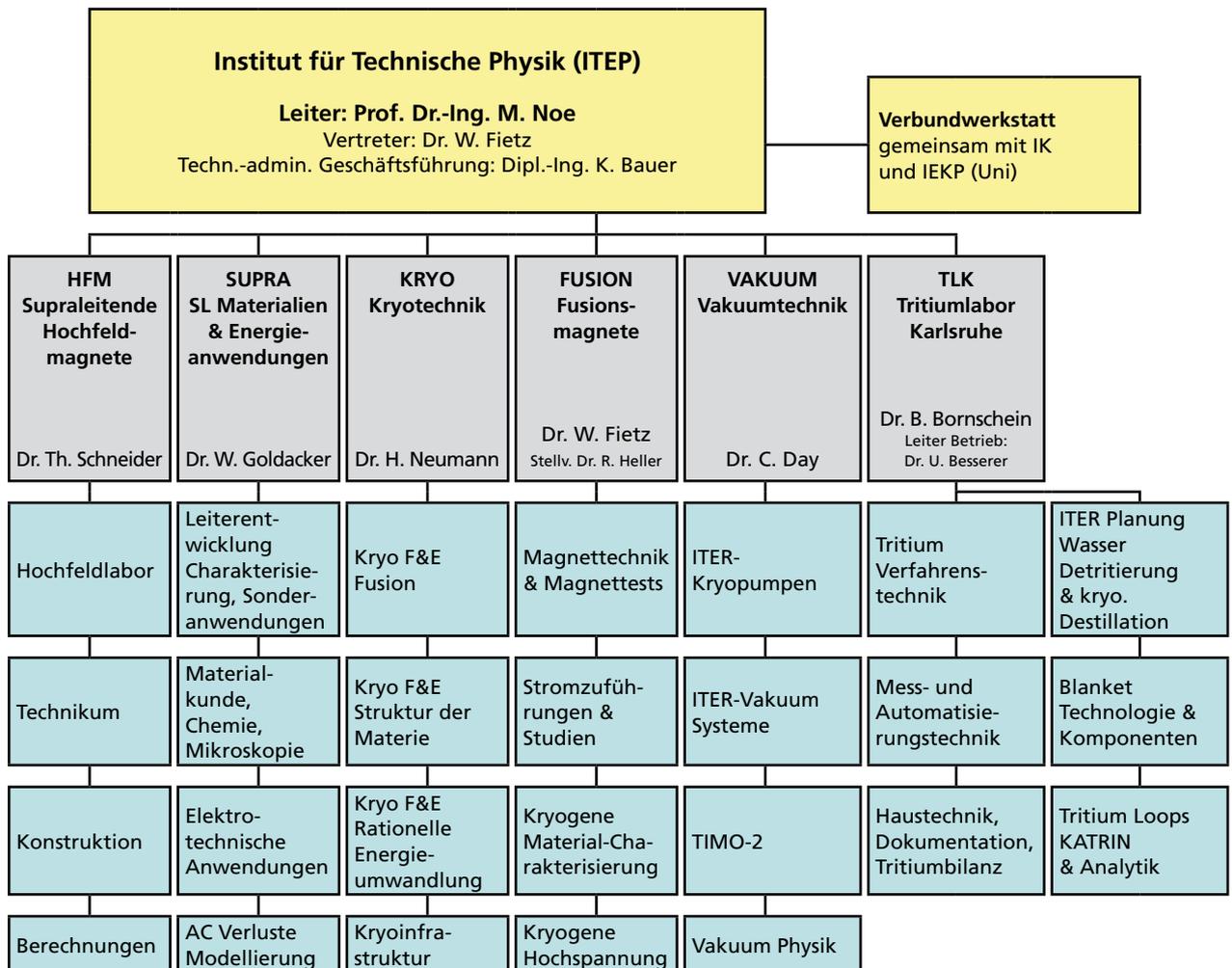
Lehre und Bildung

ITEP Kolloquien

24.01.2012	Charakterisierung von YBCO-Bandleitern für einen supraleitenden Strombegrenzer Jürgen Hieringer; (Bachelorarbeit); SUPRA	24.07.2012	Calorimetry at TLK – measuring the heat of tritium Alec Catalin; TLK
08.03.2012	Winkelabhängige U (I)-Messungen an technischen HTS-Bandleitern Florian Schleißinger; (Bachelorarbeit); HFM	31.08.2012	Development of YBCO Twisted Stacked-Tape Conductor at MIT Makoto Takayasu; MIT; FUSION
03.04.2012	Erstellung eines Messunsicherheitsbudgets für die kryogene Temperaturmessung Michael Schrank; (Trainee); KRYO	04.10.2012	Aufbau einer Apparatur zur Untersuchung des Einflusses von Flux-Pinning auf den kritischen Strom technischer Hochtemperatursupraleiter Christoph Bayer; (Diplomarbeit); FUSION
17.04.2012	Model and Simulation of a HTS Generator under transient operation Victor M. R. Zermeño; Technical University, Denmark; SUPRA	04.10.2012	Fatigue properties of titanium alloys at cryogenic temperatures Yoshinori Ono; Institute for Materials Science (NIMS); FUSION
24.04.2012	Untersuchung der Sorption an Aktivkohle bei kryogenen Temperaturen Sophie Sulzmann; (Studienarbeit); VAKUUM	16.10.2012	Introduction of Laboratory and Research Status on Hanyang University Wooju Shin; Hanyang University, Korea; SUPRA
25.04.2012	High-temperature superconducting Conductor on Round Core (CORC) cables for power transmission and magnet applications Danko van der Laan; University of Colorado (Boulder); FUSION	18.10.2012	The present state of development of 154 kV SFCL at KEPSCO-RI Heesun Kim KEPSCO; Korea; SUPRA
08.05.2012	Production and Characterisation of HTS Roebel cable Nicholas Long; Industrial Research, New Zealand; SUPRA	08.11.2012	General overview of the Quench Protection Circuit for JT-60SA Satellite Tokamak Alberto Maistrello; Consorzio RFX, Euratom-ENEA Association; FUSION
09.05.2012	Untersuchungen zum Potential von Photovoltaik und Windkraft am KIT/CN Nord Manuel Pitsch; (Bachelorarbeit); SUPRA	20.11.2012	Vorlesung: Calibration of vacuum gauges Wolfgang Jitschin; Hochschule Mittelhessen; VAKUUM
23.05.2012	Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Stabilität von Hochtemperatur-Supraleitern Olaf Mäder; (Doktorarbeit); SUPRA	22.11.2012	Determination of the critical current density of HTS tape Julien Leclerc; University of Lorraine, GREEN laboratory; SUPRA
19.06.2012	Charakterisierung einer Quecksilberdiffusionspumpe für den Einsatz in einem Fusionskraftwerk Benedikt Peters; (Studienarbeit); VAKUUM	27.11.2012	Erstellung eines Marketingkonzepts in einem wissenschaftlichen Institut Nadja Kästle; (Bachelorarbeit); Administration
26.06.2012	Status der KATRIN-Transportstrecke Woosik Gil; KATRIN	04.12.2012	Gasdurchflussmessung in der Kryotechnik Michael Schrank; (Trainee); KRYO
17.07.2012	Design eines HTS-Solenoiden Alexander Pollok; (Diplomarbeit); HFM	14.12.2012	Experimentelle Ermittlung des Wärmeübergangs an Bandleitern in flüssigem Stickstoff Moritz Bader; (Bachelorarbeit); SUPRA

Zahlen und Daten

Organigramm ITEP (Januar 2012)



Personalstand (30.11.2012)

Gesamt	197	Auszubildende	1
Akademiker	55	Trainees	7
Ingenieure und Techniker	62	zusätzlich, während 2012:	
Sonstige	32	Gäste	10
Doktoranden	18	Praktikanten	15
Diplomanden/Master	9	Studentische Hilfskräfte	18
DH-Studenten	13	Studien-, Bachelorarbeiten	23

Zahlen und Daten

Personalveränderungen

Ausgeschieden (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Isabelle Ehleben

Dr. Olaf Mäder

Christoph Plusczyk

Sebastian Heuser

Beate Frank

Steffen Mundt

Harald Moosmann

Ioan-Catalin Petrutiu

Neu eingestellt (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Alexander Beck

Joachim Debatin

Eduard Demencik

Miroslav Dimov

Julia Dusold

Patthabi Vishnuvardhan Gade

Sabrina Gerl

Cristian Gleason-González

Nando Gramlich

Amit Grover

Carolin Heidt

Sebastian Hellmann

Nadja Kästle

Lisa Marie Maurer

Martin Meinzer

Simon Niemes

Cathrin Röhnisch

Simone Rupp

Vera Schäfer

Michael Schmidt

Fabian Schneck

Katelijne Vandemeulebroucke

Victor Zermeno

Zahlen und Daten

Trainee / Studentische Hilfskräfte

Trainee 2012 (* abgeschlossen)

Katharina Battes

Andras Bükki-Deme

Thomas Giegerich

Xavier Lefebvre

Santiago Ochoa Guamán

Christoph Plusczyk

Michael Schrank

Studentische Hilfskräfte in 2012

Daniel Barth

Christoph Bayer

Sebastian Della Bona

Christopher Franke

Sebastian Hellmann

Jürgen Hieringer

Till Holzhäuser

Pascal Kraft

Simon Kudella

Sebastian Mirz

Franz Möltgen

Simon Niemes

Manuel Pitsch

Toni Quach

Clio Saglietti

Matthias Schaufelberger

Florian Schleißinger

Jasmin Seeger

Zahlen und Daten

Gastwissenschaftler

Gastwissenschaftler

Prof. Dr. Bruno Douine

15.09.–31.12.12 Université de Lorraine, Nancy,
Frankreich

Kim Heesum

15.10.–18.10.12 KEPCO, Korea

Prof. Kenzo Munakata

25.06.–29.06.12 Akita University, Japan
17.09.–21.09.12 Akita University, Japan

Silvia Napoli

23.–27.04.2012 Universität Swansea, UK

Alina Niculescu

11.06.–31.07.12 National Institute of R&D for Cryogenic
and Isotopic Technologies, Institut ICIT,
RM Vilcea, Rumänien

George Okoth

13.08.–19.10.12 Universität Bremen, Deutschland

Dr. Hossain Shahriar

21.05.–15.06.12 University of Wollongong, Australien

Prof. Dr. Frédéric Sirois

22.10.–31.12.12 École Polytechnique de Montréal,
Kanada

Dr. Makoto Takayasu

27.08.–31.08.12 Massachusetts Institute of Technology,
Cambridge, USA

Prof. Richard Taylor

16.04.–20.04.12 Queensland University of Technology,
Australien

Dr. Danko van der Laan

23.04.–27.04.12 University of Colorado (Boulder), USA

Shin Wooju

15.10.–18.10.12 Hanyang Universität, Korea

Zahlen und Daten

Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien

Kai Bauer

- Mitglied der Helmholtz Akademie für Führungsnachwuchskräfte
- Mitglied im Helmholtz Arbeitskreis „Arbeitssicherheit und Umweltschutz“
- Mitglied der Kommission für Lehrkultur der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe
- Mitglied des Prüfungsausschusses der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe in den Fachbereichen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen

Beate Bornschein

- Mitglied im „International Steering Committee“ der „International conference on Tritium Science and Technology“
- Mitglied im „Executive Committee of IEA Nuclear Technology for Fusion Reactors Network Co-ordinator for EU network trainee programme 'TRI-TOFFY'“
- Mitglied im KATRIN Executive Committee
- Mitglied im KATRIN Collaboration Board
- Koordinator Quelle und Transportsystem von KATRIN
- Mitglied in der Wissenschaftlich-Technischen Versammlung von KCETA
- Mitglied im KSETA Vorstand (KHYS-Lenkungsgremium)

Ion Cristescu

- Manager of cooperation TriPla-CA Consortium

David Demange

- Member of the Expert Panel for the Preliminary Design Review of the IFMIF/EVEDA Liquid Breeder Validation and the Tritium Release Modules

Christian Day

- Mitglied des Vorstandsrates der Dt. Vakuumgesellschaft (DVG).
- Stellv. Vorsitzender des Fachverbandes Vakuumphysik und -technik der Dt. Physikalischen Gesellschaft (DPG).
- Technischer Berater 'Technologie' des Leiters des Europäischen Fusionsprogramms
- Co-ordinator des VACU-TEC Goal oriented Training Programme, EFDA (GOT).
- Sprecher Topic 'Vakuum und Tritium' der deutschen DEMO-Initiative
- Rarefied Gas Dynamics Conference Series, Mitglied im International Advisory Committee
- International Symposium of Fusion Nuclear Technology, Mitglied im International Programme Committee (ISFNT).
- Associated Expert of the Indian Vacuum Society (IVS).
- Chartered Engineer of American Vacuum Society (AVS).

Wilfried Goldacker

- Vice-Präsident of Board of Directors ICMC International Cryogenics Material Conf. (ICMC)
- Program Board Member ICSM-Conf. Antalya, Turkey
- Member of Advisory Board of Turkish Centre for Superconductivity – Ankara
- Mitglied der Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE Referat K 184 „Supraleiter“

Steffen Grohmann

- Berufung auf die W3 Professur Kälte- und Kryotechnik am Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik des KIT
- Stellvertretender Obmann im Normenausschuss NA 016-00-07 AA „Flüssighelium-Druckbehälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“
- Mitglied im Verein zur Förderung der Luft- und Kältetechnik e. V.
- Mitglied im KATRIN Executive Board und KATRIN Publications Committee
- Mitglied im International Institute of Refrigeration (IIF/IIR), Kommission A1: Cryophysics, cryoengineering

Volker Hauer

- Ko-ordinator des Arbeitsbereiches 'Fuel Cycle Modelling' des Europäischen ITER Physikprogramms

Reinhard Heller

- Applied Superconductivity Conference, Member of International Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, elected Board member Large Scale
- Magnet Technology Conference, Member of International Program Committee
- 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“

Holger Neumann

- Mitglied des Vorstandes im DKV (Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.)

Mathias Noe

- President of the European Society for Applied Superconductivity (ESAS)
- International Council of Large Electric Systems (CIGRE) Convenor 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
- Fusion for Energy (F4E) – Member of Technical Advisory Panel
- Member of the Association Steering Committee Euratom-KIT
- Karlsruhe School of Elementary and Astroparticle Physics, Member of Executive Board
- International Conference on Magnet Technology, Member of International Organizing and Scientific Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, Board member
- European Conference on Applied Superconductivity, Member of International Program Committee
- Programmdirektor des Studienganges Energy Engineering and Management der Hector School
- Advisory Panel der Zeitschrift Physica C
- Editor IEEE Transactions on Applied Superconductivity for Large Scale Applications
- Smart Grid Plattform Baden-Württemberg, Teilnehmer
- Industrieverband Supraleitung, Gastmitglied
- Helmholtz Programm Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Topicsprecher Supraleitung
- Verwaltungsrat der Heinrich-Hertz-Gesellschaft, Mitglied
- KIT Zentrum Energie, Mitglied im Lenkungsausschuss und Ko-Sprecher Energiespeicherung und -verteilung

Sonja Schlachter

- Member of the „Executive Board of Superconductor Science and Technology (SUST) in the Institute of Physics (IOP) UK“

Manfred Süßer

- Obmann im Normenausschuss NA 016-00-07 AA „Flüssighelium-Druckbehälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“

Anne-Kathrin Weber

- Mitglied des Konvent des Karlsruher Institut für Technologie
- Mitglied des Prüfungsausschusses der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe im Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen

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
- Mitglied im Executive Committee des internationalen Forschung und Industrie Workshops MEM "Mechanical-Electromagnetic Properties of Superconducting Materials"
- Sprecher der Arbeitsgruppe "Magnet Design" innerhalb der deutschen Koordination der Fusionsforschung für DEMO

Jürgen Wendel

- Gründungsmitglied und seit mehreren Jahren Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Flüssigszintillationschromatographie e.V. (DGfS), und Schatzmeister.
- Referent am Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) in den Bereichen Strahlenschutz und Radiochemie

Veröffentlichungen

Programm „Kernfusion“ (* ISI referiert)

- * Alecu, C.G.; Besserer, U.; Bornschein, B.; Kloppe, B.; Köllö, Z.; Wendel, J.
Reachable accuracy and precision for tritium measurements by calorimetry at TLK.
Fusion Science and Technology, 60(2011) S. 937-940
- * Bagrets, N.; Weiss, E.; Westenfelder, S.; Weiss, K.P.
Cryogenic test facility CryoMaK.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S.9501204/1-4
DOI:10.1109/TASC.2011.2176902
- Bagrets, N.; Schwarz, M.; Barth, C.; Weiss, K.P.
Thermal conductivity of materials used for preparation of the hybrid layered conductors based on high temperature conductors based on high temperature superconductors.
Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC),
Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Bagrets, N.; Schwarz, M.; Barth, C.; Weiss, K.P.
Thermal conductivity of materials used for preparation of the hybrid layered conductors based on high temperature conductors based on high temperature superconductors.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S.281-285
(AIP Conference Proceedings ; 1435)
(Advances in Cryogenic Engineering; 58)
ISBN 978-0-7354-1022-0
- Bagrets, N.; Goldacker, W.; Jung, A.; Weiss, K.P.
Thermal properties of REBCO copper stabilized superconducting tapes.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oregon, October 7–12, 2012
- Barth, C.; van der Laan, J.; Weiss, K.P.; Goldacker, W.
Measurements of HTS cables in a temperature range of 4.5 K to 80 K and background fields up to 12 T.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oregon, October 7–12, 2012
- Battes, K.; Day, Chr.; Hauer, V.
Outgassing measurement of fusion relevant materials.
27th Symp. on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Battes, K.; Hauer, V.
Outgassing rate measurement by using the difference method.
76. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, 25.–30. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), VA 2.1
- Bayer, C.; Barth, C.; Weiss, K.P.; Goldacker, W.
Angular dependency of critical currents in HTS under the influence of agnetic fields at different temperatures.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oregon, October 7–12, 2012
- Bayer, Ch.; Weiss, K.-P.; Barth, Ch.; Bagrets, N.; Goldacker, W.
High temperature superconducting current leads: An essential component of efficient superconducting applications.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012
- * Bekris, N.; Sirch, M.
On the mechanism of disproportionation of ZrCo hydrides.
Fusion Science and Technology, 62(2012) S. 50–55
- Borisevich, O.; Demange, D.; Parracho, T.; Pera-Titus, M.; Nicolas, C.H.
Permeance and selectivity of helium and hydrogen in nanocomposite MFI-alumina hollow fibre for tritium processes.
Blasco, T. [Hrsg.]
5th Internat. FEZA Conf., Valencia, E, July 3–7, 2011
Extended Abstracts publ. online
Valencia: Universitat Politecnica de Valencia, 2011
S.1054–1055
ISBN 978-84-8363-722-7
- * Bornschein, B.
Between fusion and cosmology – the future of the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Fusion Science and Technology, 60(2011) S.1088–1091
- Bornschein, B.; Day, Chr.; Demange, D.; Pinna, T.
Tritium management and safety issues in ITER and DEMO breeding blankets.
27th Symp. on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Cheggour, N.; Nijhuis, A.; Tsui, Y.; Mondonico, G.; Awaji, S.; Nishijima, G.; Sugano, M.; Park, S.; Weiss, K.; Osamura, K.; Krooshoop, H.; Oh, S.; Hamshire, D.; Senatore, C.; Goodrich, L.; Devred, A.
Generalized benchmarking of strain-measured facilities available in the U.S.A., Europe, Japan, and Korea: First assessment at fixed temperature and magnetic field.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

* Ciampichetti, A.; Nitti, F.S.; Aiello, A.; Ricapito, I.; Liger, K.; Demange, D.; Sedano, L.; Moreno, C.; Succi, M.
Conceptual design of tritium extraction system for the european HCPB test blanket module.
Fusion Engineering and Design, 87(2012) S.620-624
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.01.047

Day, C.; Giegerich, T.; Hauer, V.
A network modelling approach for complex vacuum systems in a wide range of the Knudsen number.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Day, C.
The direct internal recycling concept to simplify the fuel cycle of a fusion power plant.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Day, Chr.; Bornschein, B.; Demange, D.; Giegerich, Th.; Kovari, M.; Weyssow, B.; Wolf, R.
Technology gaps for the fuel cycle of a fusion power plant.
24th Fusion Energy Conf., San Diego, Calif., October 8–13, 2012

Day, Chr.; Giegerich, T.; Hauer, V.; Luo, X.; Varoutis, S.
The use of flow network tools for geometrically complex vacuum gas dynamics problems. (eingeladen)
6th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), Wien, A, September 10–14, 2012

Day, Chr.
What large vacuum systems can learn from micro gas flows – and vice versa. (eingeladen)
1st European Conf.on Gas Micro Flows, Skiathos, GR, June 6–8, 2012

* Demange, D.; Stämmeler, S.; Kind, M.
A new combination of membranes and membrane reactors for improved tritium management in breeder blanket of fusion machines.
Fusion Engineering and Design, 86(2011) S. 2312–2316
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.12.083

* Demange, D.; Fanghänel, E.; Kloppe, B.; Le, T.L.; Scheel, F.; 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.
Fusion Science and Technology, 60(2011) S. 1317–1322

Demange, D.; Borisevich, O.; Bornschein, B.; Grasina, M.; Le, T.L.; Lefebvre, X.; Wagner, R.; Welte, S.
Membranes and catalytic membrane reactors as key components in the deuterium-tritium fuel cycle of future fusion machines.
12th Internat.Conf.on Inorganic Membranes, Enschede, NL, July 9–13, 2012

Demange, D.; Bekris, N.; Besserer, U.; Le, L.T.; Kramer, F.; Parracho, A.; Wagner, R.
Overview of processes using zeolite at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Blasco, T. [Hrsg.]
5th Internat.FEZA Conf., Valencia, E, July 3–7, 2011
Extended Abstracts publ.online
Valencia : Universitat Politecnica de Valencia, 2011
S. 1060-1061
ISBN 978-84-8363-722-7

* Demange, D.; Alecu, C.G.; Bekris, N.; Borisevich, O.; Bornschein, B.; Fischer, S.; Gramlich, N.; Köllö, Z.; Le, T.L.; Michling, R.; Priester, F.; Röllig, M.; Schlösser, M.; Stämmeler, S.; Sturm, M.; Wagner, R.; Welte, S.
Overview of R&D at TLK for process and analytical issues on tritium management in breeder blankets of ITER and DEMO.
Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 1206–1213
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.02.105

Demange, D.; Borisevich, O.; Lefebvre, X.; Wagner, R.; Welte, S.
Zeolite membranes and palladium membrane reactor for tritium extraction from the breeder blankets of ITER and DEMO.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Dremel, M.; Pearce, R.; Strobel, H.; Hauer, V.; Day, C.; Papastergiou, S.
The new build to print design of the ITER torus cryo-pump.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Drotzinger, S.; Barth, C.; Fietz, W.H.; Gehrlein, M.; Goldacker, W.; Heiduk, M.; Heller, R.; Lange, C.; Lietzow, R.; Nast, E.; Rizzo, E.
Investigation of quench behavior in ReBCO coated conductors with different stabilizers.
Conference on Coated Conductors for Applications, Heidelberg, November 14–16, 2012

Drotzinger, S.; Barth, C.; Fietz, W.H.; Goldacker, W.; Heiduk, M.; Heller, R.; Lange, C.; Lietzow, R.; Nast, R.; Rizzo, E.
Investigation of quench behavior in ReBCO coated conductors with different stabilizers.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

Drotzinger, S.; Fietz, W.H.; Heiduk, M.; Heller, R.; Hollik, M.; Lange, C.; Lietzow, R.; Richter, T.
Overview of results from Wendelstein 7-X HTS current lead testing.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

- Fietz, W.H.; Fink, S.; Kraft, G.; Scheller, H.; Weiss, E.; Zwecker, V.
High voltage testing of ITER prototype axial breaks. Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- * Fietz, W.H.; Fink, S.; Lange, C.; Noe, M.; Winkler, A.
Internal transient over-voltages in large fusion coils. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S. 4704405/1-4
DOI:10.1109/TASC.2012.2186551
- Fietz, W.H.; Drotziger, S.; Goldacker, W.; Heller, R.; Weiss, K.P.; Barth, C.
Prospects of high temperature superconductors for fusion magnets and power applications. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Fink, S.; Fietz, W.H.; Kraft, G.; Müller, R.; Scheller, H.; Urbach, E.; Zwecker, V.
Paschen testing of ITER prototype cryogenic axial breaks. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Giegerich, T.; Day, C.
Conceptuation of a continuously working vacuum pump train for fusion power plants. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Giegerich, T.; Day, C.
Fusionskraftwerke – Anforderungen und gegenwärtige technische Entwicklungen der Vakuumpumpensysteme. 76. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, D, 25.–30. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), VA 1.2
- Haas, H.; Day, Chr.; Herzog, F.
TIMO-2 – a cryogenic test bed for the ITER cryosorption pumps. Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S.1699-1705
(AIP Conference Proceedings; 1434)
(Advances in Cryogenic Engineering; 57A)
ISBN 978-0-7354-1020-6
- Hanke, S.; Scannapiego, M.; Luo, X.; Day, Chr.; Fellin, F.; Zaccaria, P.; Wikus, P.; Dremel, M.
Development of a large customized NBI cryopump system. 20th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE 2012), Nashville, Tenn., August 27–31, 2012
- Hanke, S.; Scannapiego, M.; Luo, X.; Day, Chr.; Fellin, F.; Zaccaria, P.
The development of the unique and large cryopump system for the heating neutral beam injection of ITER. Internat.Symp.on Vacuum Science and Technology and its Application for Accelerators (IVS 2012), Kolkata, IND, February 15–17, 2012
- Hauer, V.; Day, Chr.; Dremel, M.; Haas, H.; Hanke, S.; Fellin, F.; Luo, X.; Lässer, R.; Papastergiou, St.; Pearce, R.; Scannapiego, M.; Simon, R.; Strobel, H.; Wikus, P.
Large cryopumps for fusion. 14th Joint Vacuum Conf.(JVC–14), 12th European Vacuum Conf.(EVC-12), 11th Annual Meeting of the German Vacuum Society (AMDVG-11), 19th Croatian-Slovenian Vacuum Meeting (CroSloVM–19), Dubrovnik, HR, June 4–8, 2012
- * Heiduk, M.; Bagrets, N.; Weiss, K.P.
Data acquisition of a tensile test stand for cryogenic environment. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S.9000604/1–4
DOI:10.1109/TASC.2011.2176897
- Heiduk, M.
Sensor measurement fully insulated from earth. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Heller, R.; Drotzinger, S.; Fietz, W.H.; Kienzler, A.; Lietzow, R.; Richter, T.; Weiß, E.; Buscher, K.P.; Mönnich, T.; Rummel, T.
Status of series production and test of the HTS current leads for Wendelstein 7-X. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- * Hesch, K.; Aktaa, J.; Antusch, S.; Boccaccini, L.V.; Day, C.; Demange, D.; Fietz, W.; Gantenbein, G.; Möslang, A.; Norajitra, P.; Rieth, M.
Technology developments at KIT towards a magnetic confinement fusion power plant. Transactions of Fusion Science and Technology, 61(2012) S. 64–69
- Lange, C.; Fietz, W.H.; Gröner, F.
Influence of contact material and surface quality on the contact resistance of high current connections. 27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- * Lange, C.; Baldzuhn, J.; Fink, S.; Heller, R.; Hollik, M.; Fietz, W.H.
Paschen problems in large coil systems. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S.9501504/1-4
DOI:10.1109/TASC.2011.2179393

Lefebvre, X.; Demange, D.; Borisevich, O.; Kind, M.
Simulation of the performance of membrane cascade processes for gaseous separation using zeolite membranes.

12th Internat. Conf. on Inorganic Membranes, Enschede, NL, July 9–13, 2012

* Luo, X.; Hauer, V.; Day, C.

Monte Carlo calculation of the thermal radiation heat load of the ITER pre-production cryopump.

Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 603–607
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.01.036

Luo, X.; Hauer, V.; Ochoa, S.; Day, Chr.

Simulation of the thermal radiation heat load of a large-scale customized cryopump with the Monte Carlo ray trace method.

24th Internat. Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012

Luo, X.; Giegerich, T.; Day, C.

Transient gas flow studied by test particle Monte Carlo approach with ProVac3D.

28th Internat. Symp. on Rarefied Gas Dynamics (RDG 28), Zaragoza, E, July 9–13, 2012

* Munakata, K.; Demange, D.

Development of numerical simulation code of membrane reactor for detritiation.

Fusion Engineering and Design, 86(2011) S.2334–2337
DOI:10.1016/j.fusengdes.2011.03.028

Neumann, H.

Cryogenics. (eingeladen)

6th Karlsruhe Internat. School on Fusion Technologies, Karlsruhe, September 3–14, 2012

Nyilas, A.; Weiss, K.P.; Sgobba, S.; Scheubel, M.; Libeyre, P.
Fatigue crack growth rate and fracture toughness of ITER central solenoid jacket materials at 7 K.

Balachandran, U. [Hrsg.]

Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Internat. Cryogenic Materials Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S. 47–54

(AIP Conference Proceedings; 1435)

(Advances in Cryogenic Engineering; 58)

ISBN 978-0-7354-1022-0

Ochoa, S.; Hanke, S.; Day, C.

Heat transfer enhancement of NBI vacuum pump cryopanel.

27th Symp. on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Ochoa, S.; Day, C.; Hanke, S.

Vacuum system design of the MITICA Test Facility – Challenges for the cryopump.

76. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, D, 25.–30. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), VA 3.2

Ochoa, S.; Day, Chr.

Vacuum systems on fusion power plants.

Vortr.: Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, EC, 20. Dezember 2012

* Parracho, A.I.; Demange, D.; Knipe, S.; Le, L.T.; Simon, K.H.; Welte, S.

Processing highly tritiated water desorbed from molecular sieve bed using PERMCAT.

Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 1277–1281
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.02.118

Plusczyk, C.; Bekris, N.; Cristescu, I.; Lohr, N.; Michling, R.; Moosmann, H.; Welte, S.

Experimental assessment of a catalytic hydrogen oxidation system for the off-gas processing of the ITER WDS.

27th Symp. on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Plusczyk, C.; Brad, S.

Numerical investigation of design influences on a material test setup at cryogenic temperatures.

Low Temperature Physics (ICYS LTP 2012): 3rd Internat. Conf. for Young Scientists, Kharkov, UA, May 14–18, 2012

Pong, I.; Vostner, A.; Sgobba, S.; Jung, A.; Weiss, K.P.;

Liu, S.; Wu, Y.; Boutbul, T.; Hamada, K.; Park, S.H.;

Tronza, V.; Martovetsky, N.; Jewell, M.; Bessette, D.;

Devred, A.

Jacket material mechanical properties benchmark tests for ITER CICC.

Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

* Qin, J.; Weiss, K.P.; Wu, Y.; Wu, Z.; Li, L.; Liu, Sh.

Fatigue tests on the ITER PF jacket.

Cryogenics, 52(2012) S. 486–490

DOI:10.1016/j.cryogenics.2012.05.018

* Qin, J.; Wu, Y.; Weiss, K.P.; Wu, Z.; Li, L.

Mechanical test on the ITER TF jacket.

Cryogenics, 52(2012) S. 336–339

DOI:10.1016/j.cryogenics.2012.02.003

Richter, T.; Kuffner, B.; Lietzow, R.

A test bench for cryogenic process control valves.

24th Internat. Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials

Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012

Rizzo, E.; Bauer, R.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.

1-D thermal-electrical analysis of the HTS current leads for the magnet system of ITER.

27th Symp. on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

* Rizzo, E.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.

Analysis and performance assessment for a 68 kA HTS current lead heat exchanger.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S.4801104/1–4

DOI:10.1109/TASC.2012.2182979

- Rizzo, E.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.
Parametric analysis of pressure drop and heat transfer in the meander-flow heat exchanger of HTS current leads for fusion applications.
CHATS on Applied Superconductivity (CHATS-AS), Geneva, CH, October 12–14, 2012
- Rizzo, E.; Drotzinger, S.; Grilli, f.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.
Thermal-electrical modelling of a superconductive module for HTS current leads.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Röllig, M.; Babutzka, M.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Drexlin, G.; Otten, E.; Priester, F.; Steidl, M.
Activity monitoring of a gaseous tritium source by beta induced Xray spectrometry.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- * Rummel, T.; Riße, K.; Ehrke, G.; Rummel, K.; John, A.; Mönnich, T.; Buscher, K.P.; Fietz, W.H.; Heller, R.; Neubauer, O.; Panin, A.
The superconducting magnet system of the stellarator Wendelstein 7-X.
IEEE Transactions on Plasma Science, 40(2012) S. 769–776
DOI:10.1109/TPS.2012.2184774
- * Santucci, A.; Demange, D.; Goerke, O.; Le, L.T.; Pfeifer, P.; Welte, S.
Inactive commissioning of a micro channel catalytic reactor for highly tritiated water production in the CAPER facility of TLK.
Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 547–550
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.01.021
- * Savoldi Richard, L.; Bonifetto, R.; Heller, R.; Zanino, R.
Thermal-hydraulic simulation of 80 kA safety discharge in the ITER toroidal field model coil (TFMC) using the 4C code.
IEEE Transactions on Plasma Science, 40(2012) S. 782–787
DOI:10.1109/TPS.2012.2184839
- Scannapiego, M.; Day, C.; Hanke, S.; Hauer, V.; Ochoa Guaman, S.
Pressure loss and convective heat transfer coefficients for ITER cryopumps hydroformed components.
24th Internat.Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- Sonato, P.; Boilson, D.; Bonicelli, T.; Chakraborty, A.K.; Day, C.; Franzen, P.; Gorini, G.; Inoue, T.; Milnes, J.; Minea, T.
Design of the MITCA neutral beam injector: from physics analysis to engineering design.
24th Fusion Energy Conf., San Diego, Calif., October 8–13, 2012
- * Torre, A.; Bajas, H.; Ciazynski, D.; Durville, D.; Weiss, K.
Mechanical-electrical modeling of stretching experiment n 45 Nb3Sn strands CICC.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S. 2042–2045
DOI:10.1109/TASC.2010.2091385
- Valente, M.; Fellin, F.; Haas, H.; Hanke, S.; Scannapiego, M.; Zaccaria, P.
Design proposal for MITICA cryogenic plant.
Cryogenics: 12th IIR Internat.Conf., Dresden, September 11–14, 2012
- Varoutis, S.; Day, C.; Luo, X.; Haas, H.; Shapirov, F.
Experimental results and direct simulation Monte Carlo modelling of a high-performance large-scale cryopump.
American Vacuum Society 59th Internat.Symp.and Exhibition, Tampa, Fla., October 28 – November 2, 2012
- * Varoutis, S.; Day, C.
Numerical modeling of an ITER type cryopump.
Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 1395–1398
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.03.023
- * Varoutis, S.; Day, C.; Sharipov, F.
Rarefied gas flow through channels of finite length at various pressure ratios.
Vacuum, 86(2012) S. 1952–1959
DOI:10.1016/j.vacuum.2012.04.032
- * Varoutis, S.; Giegerich, T.; Hauer, V.; Day, Chr.
TRANSFLOW: an experimental facility for vacuum gas flows.
1st European Conf.on Gas Micro Flows, Skiathos, GR, June 6–8, 2012
- * Varoutis, S.; Giegerich, T.; Hauer, V.; Day, Chr.
TRANSFLOW: an experimental facility for vacuum gas flows.
DOI:10.1088/1742-6596/362/1/012027
- * Wagner, R.; Besserer, U.; Demange, D.; Dittrich, H.; Le, T.L.; Simon, K.H.; Guenther, K.
Improvement and characterization of small cross-piece ionization chambers at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Fusion Science and Technology, 60(2011) S. 968–971
- Weiß, E.; Bagrets, N.; Weiss, K.P.
Implementation of a quality management system at the PHOENIX facility (CryoMaK).
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Weiss, K.-P.; Urbach, E.; Kraft, G.; Scheller, H.
Cryogenic mechanical testing of ITER prototype axial breaks.
27th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012
- Weiss, K.-P.
CryoMaK – an overview.
Vortrag: Chinese Academy of Science, Institute of Physics and Chemistry, Beijing, China, August 23, 2012
- Weiss, K.-P.
CryoMaK – an overview.
Vortrag: Chinese Academy of Science, Institute of Plasma Physics, Hefei, China, August 24, 2012

Weiss, K.P.; Westenfelder, S.; Jung, A.; Bagrets, N.; Fietz, W.H.
Determination of mechanical and thermal properties of electrical insulation material at 4.2 K.
Balachandran, U. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic
Materials Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S. 148–155
(AIP Conference Proceedings; 1435)
(Advances in Cryogenic Engineering; 58)
ISBN 978-0-7354-1022-0

Weiss, K.-P.; Westenfelder, S.; Urbach, E.; Boyer, C.; Foussat, A.; Knaster, J.
Mechanical fatigue testing of TF-He-inlet prototypes at cryogenic temperature.
Applied Superconductivity Conference (ASC), Portland, Or., October 7–12, 2012

* Welte, S.; Demange, D.; Wagner, R.; Gramlich, N.
Development of a technical scale PERMCAT reactor for processing of highly tritiated water.
Fusion Engineering and Design, 87(2012) S. 1045–1049
DOI:10.1016/j.fusengdes.2012.02.100

* Winkler, A.; Fietz, W.H.; Fink, S.; Noe, M.
Transient electrical voltages within ITER poloidal field coils.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,
22(2012) S.9501304/1–4
DOI:10.1109/TASC.2011.2180277

Yang, Y.; Marujama, S.; Kiss, G.; Ciattaglia, S.; Putvinski, S.; Yoshino, R.; Li, W.; Jiang, T.; Li, B.; Varoutis, S.; Day, C.
Concept desing of fusion power shutdown system for ITER.
27th Symp.on Fusion Technology (SOFT 2012), Liege, B, September 24–28, 2012

Veröffentlichungen

Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (* ISI referiert)

Blum, L.; Grohmann, S.; Haberstroh, Ch.; Lau, M.; Otte, W.; Reinhardt, M.; Schröder, C.H.; Süßer, M.
Presentation of the German DIN working group 'safety devices for helium cryostats'.
Cryogenics: 12th IIR Internat.Conf., Dresden, September 11–14, 2012

Blum, L.; Grohmann, S.; Haberstroh, Ch.; Lau, M.; Otte, W.; Reinhardt, M.; Schröder, C.H.; Süßer, M.
Vorstellung des DIN-Arbeitsausschusses NA 016-00-07AA (Überdruck-Absicherung von Heliumkryostaten).
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012

* Brambilla, R.; Grilli, F.; Martini, L.
Integral equations for computing AC losses of radially and polygonally arranged HTS thin tapes.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S. 8401006/1–6
DOI:10.1109/TASC.2012.2191405

* Brambilla, R.; Grilli, F.
The critical state in thin superconductors as a mixed boundary value problem: analysis and solution by means of the Erdelyi-Kober operators.
Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik, 63(2012) S. 557–597
DOI:10.1007/s00033-011-0185-5

Breuer, A.; Noe, M.; Oswald, B.R.; Schmidt, F.
Supraleitende Mittelspannungskabel zur innterstädtischen Energieversorgung als Alternative zu 110-kV-Anlagen.
CIGRE Session 2012, Paris, F, August 2631, 2012

Breuer, A.; Noe, M.; Oswald, B.R.; Schmidt, F.
Supraleitende Mittelspannungskabel zur innterstädtischen Energieversorgung als Alternative zu 110-kV-Anlagen.
CIGRE Session 2012, Paris, F, August 26–31, 2012
Papers on CD-ROM Paper B1-301

* Elschner, S.; Kudymov, A.; Brand, J.; Fink, S.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Noe, M.; Vojenciak, M.; Hobl, A.; Bludau, M.; Jänke, C.; Krämer, S.; Bock, J.
ENSYSTROB – Design, manufacturing and test of a 3-phase resistive fault current limiter based on coated conductors for medium voltage application.
Physica C, 482(2012) S. 98–104
DOI:10.1016/j.physc.2012.04.025

* Farinon, S.; Fabbricatore, P.; Grilli, F.; Krüger, P.A.C.
Applicability of the adaptive resistivity method to describe the critical state of complex superconducting systems.
Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 25(2012) S. 2343–2350
DOI:10.1007/s10948-012-1682-2

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Kario, A.; Kling, A.; Grilli, F.; Vojenciak, M.; Barth, Chr.; Kudymow, A.
HTS high current AC cables for applications.
Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2012), Istanbul, TR, April 29 – May 4, 2012

Goldacker, W.; Kario, A.; Kling, A.; Grilli, F.; Vojenciak, M.; Kudymow, A.; Barth, C.; Schlachter, S.I.
Investigations on 2G HTS ROEBEL-cables for application in windings.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

Grilli, F.; Pardo, E.; Vojenciak, M.; Goldacker, W.
AC losses of pancake coils made of Roebel cable.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

Grilli, F.; Zermeno, V.; Vojenciak, M.; Pardo, E.; Kario, A.; Goldacker, W.
AC losses of pancake coils made of roebel cable.
Applied Superconductivity Conference, Portland, Or., October 7–12, 2012

Grilli, F.; Krüger, Ph.; Vojenciak, M.; Zermeno, V.
Numerical modeling tools for REBCO coated conductors.
Conference on Coated Conductors for Applications, Heidelberg, November 14–16, 2012

Härö, E.; Stenvall, A.; Lecrevisse, T.; Fleiter, J.; Rey, J.M.; Sorbi, M.; Devyux, M.; Trophime, C.; Fazilleau, P.; Volpini, G.; Tixador, P.; Hornung, F.; Pes, C.
Quench consideration and protection scheme of a high field HTS dipole insert coil.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

Haessler, W.; Herrmann, M.; Rodig, C.; Schubert, M.; Scheiter, J.; Kario, A.; Aubele, A.; Sailer, B.; Schlenga, K.; Holzapfel, B.
Comparison of ex-situ and in-situ high energy milled precursor preparation routes of MgB₂ wires.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

- Holubek, T.; Casalbuoni S., Gerstl S., Grau A., Saez de Jauregui D., Klaeser M., Schneider Th., Motowidlo L. "Possible application of NbTi wire with an artificial pinning centres for insertion devices" Physics Proceda, Volume 36, 2012, Pages 1098 – 1102
- Holubek, T.; Casalbuoni S., Gerstl S., Grau A., Saez de Jauregui D., Klaeser M., Schneider Th., Motowidlo L. "Possible application of NbTi wire with an artificial pinning centres for insertion devices" online: Proceedings - IPAC San Sebastian 2011
- Kario, A.; Vojenciak, M.; Schlachter, S.I.; Kling, A.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W. Edge bending investigation on CC-ROEBEL-strands for HTS Rutherford-cables. 24th Internat.Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- * Kario, A.; Häbler, W.; Rodig, C.; Schubert, M.; Kovac, P.; Melisek, T.; Nast, R.; Goldacker, W.; Holzapfel, B. High energy milled ex situ MgB₂ as precursor for superconducting tapes. Vortr.: Polish Academy of Sciences, Warszawa, PL, 4. April 2012
- * Kario, A.; Häbler, W.; Rodig, C.; Schubert, M.; Kovac, P.; Melisek, T.; Nast, R.; Goldacker, W.; Holzapfel, B. High energy milled ex situ MgB₂ as precursor for superconducting tapes without critical current anisotropy. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 25(2012) S.2337–2341 DOI:10.1007/s10948-012-1675-1
- Kario, A.; Häbler, W.; Rodig, C.; Schubert, M.; Grinenko, V.; Holzapfel, B.; Nast, R.; Goldacker, W.; Melisek, T.; Kovac, P. High energy milled ex situ MgB₂ as precursor for superconducting tapes without critical current anisotropy. Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2012), Istanbul, TR, April 29 – May 4, 2012
- Kario, A.; Vojenciak, M.; Kling, A.; Grilli, F.; Jung, A.; Runtsch, B.; Kudymov, A.; Schlachter, S.; Goldacker, W. Investigation of the coated conductors Rutherford-cable using ROEBEL-cables as strands. Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- * Kario, A.; Grinenko, V.; Kauffmann, A.; Häbler, W.; Rodig, C.; Kovac, P.; Melisek, T.; Holzapfel, B. Istropic behavior of critical current for MgB₂ ex situ tapes with 5 wt % carbon addition. Physica C, 483(2012) S. 222–224 DOI:10.1016/j.physc.2012.07.013
- * Krüger, P.; Grilli, F.; Farinon, S. Compliance of numerical formulations for describing superconductor/ferromagnet heterostructures. Physica C, 471(2011) S. 1083–1085 DOI:10.1016/j.physc.2011.05.129
- Kudymow, A.; Elschner, S.; Maeder, O.; Goldacker, W.; Hobl, A.; Dutoit, B.; Tixador, P.; Martini, L. 2G HTS material selection, optimisation, and the resulting draft component design of the ECCOFLOW resistive fault current limiter. Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Leys, P.; Kläser, M.; Schleißinger, F.; Schneider, Th. Angle-dependent U(I) measurements of HTS coated conductors. Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Leys, P.; Kläser, M.; Schneider, Th. Superconducting high field magnets. Cryogenics : Basics and Working Methods, Development Status, Applications, Development Trend, Karlsruhe, September 19–21, 2012
- Mentink, M.G.T.; Dhalle, M.M.J.; Dietderich, D.R.; Godeke, A.; Goldacker, W.; Hellman, F.; ten Kate, H.H.J. owards analysis of the electron density of states of Nb₃Sn as a function of strain. Cryogenic Engineering Conf.and Internat.Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC), Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Mentink, M.G.T.; Dhalle, M.M.J.; Dietderich, D.R.; Godeke, A.; Goldacker, W.; Hellman, F.; ten Kate, H.H.J. owards analysis of the electron density of states of Nb₃Sn as a function of strain. Balachandran, U. [Hrsg.] Advances in Cryogenic Engineering : Transactions of the Internat.Cryogenic Materials Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011 Melville, N.Y.: AIP, 2012 S. 225–232 (AIP Conference Proceedings; 1435) (Advances in Cryogenic Engineering; 58) ISBN 978-0-7354-1022-0
- Merschel, F.; Noe, M.; Stemmler, M.; Hobl, A. AmpaCity Supraleiter-Teststrecke verbindet zwei Umspannanlagen in der Innenstadt von Essen. VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.–6. November 2012
- Müller, R.; Schrank, M.; Süßer, M. Optimizing the geometry of venturi tube flow meters. 24th Internat.Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- Näckel, O.; Noe, M. Conceptual design study of an air coil fault current limiter. Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Neumann, H. Heat transfer to cryogenics - cooling techniques. Cryogenics: Basics and Working Methods, Development Status, Applications, Development Trend, Karlsruhe, September 19–21, 2012

- Neumann, H.; Sander, M.; Gehring, R.; Jordan, T.
Hybrid-Energiespeicher auf Basis von flüssigem Wasserstoff und supraleitendem magnetischen Energiespeicher.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012
- Neumann, H.
Kryotechnik – ein ständiger Begleiter.
Vortr.: Fa.Samson, Frankfurt, 25. August 2012
- Neumann, H.
Thermal insulation.
Cryogenics : Basics and Working Methods, Development Status, Applications,
Development Trend, Karlsruhe, September 19–21, 2012
- Neumann, H.
Thermische Isolation.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 14.–16. März 2012
- Neumann, H.
Wärmeübertragung an Kryogene - Kühltechniken.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 14.–16. März 2012
- Neumann, H.
Welcome and introduction to VDI-Wissensforum Cryogenics.
Cryogenics: Basics and Working Methods, Development Status, Applications,
Development Trend, Karlsruhe, September 19–21, 2012
- Noe, M.; Merschel, F.; Stemmle, M.; Hobl, A.
Ampacity - world's first superconducting cable and fault current limiter installation in a city centre.
19th Conference on Electronic Supply (CEPSI), Nusa Dua, Bali, RI, October 15–19, 2012
- * Noe, M.; Hobl, A.; Tixador, P.; Martini, L.; Dutoit, B.
Conceptual design of a 24 kV, 1 kA resistive superconducting fault current limiter.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) S.5600304/1–4
DOI:10.1109/TASC.2011.2181284
- Noe, M.
HTS power applications in USA.
Workshop on Present Status and Future Perspective of HTS Power Applications,
CIGRE SC D1 WG38, Paris, F, August 29, 2012
- Noe, M.
Large scale applications of superconductors.
Internat.Conf.on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2012), Istanbul, TR, April 29 – May 4, 2012
- Noe, M.; Merschel, F.; Noe, M.; Hobl, A.
Medium voltage superconductor cables replacing conventional high voltage systems for urban area power supply.
CIGRE Canada Conf., Montreal, CDN, September 24–26, 2012
- Noe, M.
Ökonomie und Effizienz supraleitender Systeme.
ZIEHL III – Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern,
Bonn, 6.–7. März 2012
- Noe, M.
R&D status of high-temperature superconducting power applications in Europe.
Dasan Conf.on Superconductivity, Jeju Island, Korea, November 7–9, 2012
- Noe, M.
Superconducting fault current limiters, superconducting transformers and cryogenic electrical insulation.
European Summer School on Superconductivity 2012, Lans en Vercors, F, June 12 – 15, 2012
- * Pardo, E.; Grilli, F.
Numerical simulations of the angular dependence of magnetization AC losses:
coated conductors, Roebel cables and double pancake coils.
Superconductor Science and Technology, 25(2012) S.014008/1–12
DOI:10.1088/0953-2048/25/1/014008
- * Pardo, E.; Grilli, F.
Numerical simulations of the angular dependence of magnetization AC losses: coated conductors, Roebel cables and double pancake coils.
Superconductor Science and Technology, 25(2012) S.014008/1–12
DOI:10.1088/0953-2048/25/1/014008
- Ramalingam, R.; Schwarz, M.
Directional oriented magnetic field induced temperature error of Pt-500 sensor at cryogenic environment.
Cryogenic Engineering Conf.and Internat.Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC),
Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Ramalingam, R.; Schwarz, M.
Directional oriented magnetic field induced temperature error of Pt-500 sensor at cryogenic environment.
Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Cryogenic Engineering
Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S. 507-514
(AIP Conference Proceedings; 1434)
(Advances in Cryogenic Engineering; 57A)
ISBN 978-0-7354-1020-6
- * Ramalingam, R.K.; Neumann, H.
Fiber Bragg grating-based temperature distribution evaluation of multilayer insulations between 300 K-77 K.
IEEE Sensors Journal, 11(2011) S. 1095–1100
DOI:10.1109/JSEN.2010.2078496
- * Sander, M.; Gehring, R.; Neumann, H.; Jordan, T.
LIQHYSMES storage unit - hybrid energy storage concept combining liquefied hydrogen with superconducting magnetic energy storage.
International Journal of Hydrogen Energy, 37(2012) S. 14300–14306
DOI:10.1016/j.ijhydene.2012.07.019

- Schneider, T.; Kläser, M.
Erzeugung hoher Magnetfelder. Normalleitung versus Supraleitung.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012
- Schneider, T.
Supraleitende Hochfeldmagnete.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 14.–16. März 2012
- Schrank, M.; Süßer, M.
Compilation of an uncertainty budget for cryogenic temperature measurement.
24th Internat. Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- Schrank, M.; Süßer, M.
Gasdurchflussmessung in der Kryotechnik.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012
- Schrank, M.; Süßer, M.
Gasdurchflussmessung in der Kryotechnik.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Würzburg, 21.–23. November 2012
- Stemmler, M.; Merschel, F.; Noe, M.; Hobl, A.
AmpaCity – the German HTS cable and fault current limiter project.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Stemmler, M.; Merschel, F.; Noe, M.; Hobl, A.
AmpaCity - world's first superconducting cable and fault current limiter installation in a city centre.
19th Conf. on Electric Power Supply Industry (CEPSI 2012), Nusa Dua, Bali, RI, October 15–19, 2012
- Stemmler, M.; Merschel, F.; Noe, M.; Hofmann, L.; Hobl, A.
Superconducting MV cables to replace HV cables in urban area distribution grids.
2012 IEEE PES Transmission and Distribution Conf. and Exposition, Orlando, Fla., May 7–10, 2012
- Süßer, M.
Kryogene Mess- und Regeltechnik.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 14.–16. März 2012
- Süßer, M.
Low temperature measurement and control technique.
Cryogenics : Basics and Working Methods, Development Status, Applications, Development Trend, Karlsruhe, September 19–21, 2012
- Süßer, M.
Messen von kleinen Durchflüssen.
VDI Wissensforum 'Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen', Düsseldorf, 18.–20. April 2012
- Süßer, M.
Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.
VDI Wissensforum 'Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen', Düsseldorf, 17.–19. Oktober 2012
- Süsser, M.
Performance of classical Venturi tubes for application in cryogenic facilities.
Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC), Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Süsser, M.
Performance of classical Venturi tubes for application in cryogenic facilities.
Weisend, J.G. [Hrsg.]
Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the Cryogenic Engineering Conf., Spokane, Wash., June 13–17, 2011
Melville, N.Y.: AIP, 2012 S. 1353-1362 (AIP Conference Proceedings; 1434) (Advances in Cryogenic Engineering ; 57A) ISBN 978-0-7354-1020-6
- Sumption, M.D.; Majoros, M.; Goldacker, W.; Collings, E.
Current sharing and AC losses in coated conductor Roebel cables.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012
- Viljamaa, J.; Kario, A.; Dobrocka, E.; Reissner, M.; Kulich, M.; Kovac, P.; Häbler, W.
Effect of heat treatment temperature on superconducting performance of B4C added MgB₂/Nb conductors
Physica C, 473(2012) S. 34–40
DOI:10.1016/j.physc.2011.11.012
- * Vojenciak, M.; Grilli, F.; Terzieva, S.; Goldacker, W.; Kovacova, M.; Kling, A.
Effect of self-field on the current distribution in Roebel-assembled coated conductor cables.
Superconductor Science and Technology, 24(2011) S.095002/1–8
DOI:10.1088/0953-2048/24/9/095002
- Vojenciak, M.; Grilli, F.; Kudymov, A.; Kario, A.; Jung, A.; Kling, A.; Runtsch, B.; Goldacker, W.
Measurement of AC loss in pancake coils made of HTS ROEBEL cable.
Applied Superconductivity Conf. (ACS 2012), Portland, Oreg., October 7–12, 2012

Veröffentlichungen

Programm „Struktur der Materie“ (* ISI referiert)

Babutzka, M.

Entwicklung des Calibration and Monitoring Systems (CMS) für das KATRIN-Experiment.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Mainz, 19.–23. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) HK 56.6

* Babutzka, M.; Bahr, M.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Dieter, A.; Drexlin, G.; Eitel, K.; Fischer, S.; Glück, F.; Grohmann, S.; Hötzel, M.; James, T.M.; Käfer, W.; Leber, M.; Monreal, B.; Priester, F.; Röllig, M.; Schlösser, M.; Schmitt, U.; Sharipov, F.; Steidl, M.; Sturm, M.; Telle, H.H.; Titov, N.

Monitoring of the operating parameters of the KATRIN windowless gaseous tritium source.

New Journal of Physics, 14(2012) S.103046/1-29

DOI:10.1088/1367-2630/14/10/103046

Blum L., Grohmann S., Haberstroh C., Lau M., Otte W., Reinhardt M., Schröder CH., Süßer M.

Vorstellung des DIN-Arbeitsausschusses NA 016-00-07AA (Überdruck-Absicherung von Heliumkryostaten). DKV-Tagung. Würzburg: Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.; 2012.

Erhard, M.; KATRIN-Collaboration

Eigenschaften der Rb/Kr Quelle am KATRIN Monitor-spektrometer.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Mainz, 19.–23. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) HK 17.7

Fischer, S.; Schönung, K.; KATRIN-Collaboration

Durability of optical coatings in high purity tritium gas. DPG-Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), Fachverband Quantenoptik und

Photonik, Stuttgart, D, 12.–16. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), Q 42.2

* 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.

Fusion Science and Technology, 60(2011) S. 925-930

Fischer, S.

The windowless gaseous tritium source of KATRIN.

A b-emitter of highest intensity and stability.

25th Internat.Conf.on Neutrino Physics and Astrophysics, Kyoto, J, June 3–9, 2012

* Gil, W.; Bonn, J.; Dormicchi, O.; Gehring, R.; Kleinfeller, J.; Kosmider, A.; Putselyk, S.; Schön, H.P.; Tassisto, M.

Status of the magnets of the two tritium pumping sections for KATRIN.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22(2012) Nr. 3, S. 4500604/1-4

DOI:10.1109/TASC.2011.2175353

Glück, F.; KATRIN-Collaboration

Electrons and ions in the KATRIN source and transport system.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.9

Glück, F.; Hötzel, M.; Käfer, W.; Mertens, S.; KATRIN-Collaboration

The KATRIN statistical sensitivity with various background conditions.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Mainz, 19.–23. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) HK 56.2

* Größle, R.; Kernert, N.; Riegel, S.; Wolf, J.

Model of the rotor temperature of turbo-molecular pumps in magnetic fields.

Vacuum, 86(2012) S. 985-989

DOI:10.1016/j.vacuum.2011.09.009

Groh, S.; KATRIN-Collaboration

Simulation von Elektronen aus dem Tritium b-Zerfall durch das gesamte KATRIN-Experiment mit KASSIOPEIA.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 109.7

Grohmann, S.; Bode, T.; Hötzel, M.; Schön, H.; Süßer, M.; Wahl, T.

Development of a two-phase thermosiphon for extreme cooling requirements in the tritium source of KATRIN.

Cryogenics: 12th IIR Internat.Conf., Dresden,

September 11–14, 2012

Grohmann, S.; Hannen, V.; Kernert, N.; La Cascio, L.; Priester, F.; Röllig, M.

Overview of KATRIN vacuum system.

Vacuum and Cryogenics: 3rd ASPERA Technology Forum, Darmstadt, March 13–14, 2012

- Grohmann, S.; Bode, T.; Hötzel, M.; Schön, H.; Süßer, M.; Wahl, T.
Temperature stability and temperature homogeneity of the tritium source in KATRIN.
24th Internat. Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- Harms, T.; KATRIN-Collaboration
Inbetriebnahme des KATRIN Fokalebenenendektors am KIT. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 60.6
- Heidt C., Grohmann S., Süßer M. Modellierung des Druckanstiegs in einem Flüssighelium-Behälter bei Zusammenbruch des Isoliervakuum. DKV-Tagung. Würzburg: Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.; 2012.
- Kraus, M.; KATRIN-Collaboration
Präzisionsüberwachung und Verteilung der HV für die KATRIN Spektrometer.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.7
- Mertens, S.; Glück, F.; Hötzel, M.; Käfer, W.; KATRIN-Collaboration
The KATRIN statistical sensitivity with various background conditions.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.2
- Miereis, S.; KATRIN-Collaboration
Untersuchung von Muon-induziertem Untergrund im KATRIN Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.4
- Mirz, S.
Aufbau und Inbetriebnahme eines verbesserten Laser-Raman-Systems für das KATRIN-Experiment.
DPG-Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), Fachverband Atomphysik, Stuttgart, D, 12.–16. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), A 21.22
- Priester, F.
Kompatibilitätsexperiment von Turbomolekularpumpen mit Tritiumgas.
76. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, D, 25.–30. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), VA 4.3
- Putselyk, S.; Neumann, H.
The differential pumping section DPS2-F of the KATRIN experiment.
24th Internat. Cryogenic Engineering Conf., Internat. Cryogenic Materials Conference 2012, Fukuoka, J, May 14–18, 2012
- Röllig, M.; Babutzka, M.; Priester, F.
Tritium compatibility of the KATRIN vacuum system.
Vacuum and Cryogenics: 3rd ASPERA Technology Forum, Darmstadt, March 13–14, 2012
- Röllig, M.; KATRIN-Collaboration
Tritiumnachweis per b-induzierter Röntgenspektroskopie.
76. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Berlin, D, 25.–30. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), VA 4.1
- Rupp, S.
Development of an in-situ method for the spectral sensitivity calibration of Raman systems.
DPG-Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), Fachverband Quantenoptik und Photonik, Stuttgart, D, 12.–16. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), Q 42.1
- Schlösser, M.; Bornschein, B.; Fischer, S.; James, T.M.; Napoli, S.; Rupp, S.; Seitz, H.; Telle, H.H.
Accurate calibration of the laser Raman system for the Karlsruhe tritium neutrino experiment.
31st European Congress on Molecular Spectroscopy (EU-CMOS 2012), Cluj-Napoca, R, August 26-31, 2012
- Schlösser, M.; James, T.M.; Fischer, S.; Lewis, R.J.; Telle, H.H.; Bornschein, B.
Accurate depolarization measurements of all six hydrogen isotopologues.
DPG-Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), Fachverband Molekülphysik, Stuttgart, D, 12.–16. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), MO 5.5
- Schlösser, M.; James, T.M.; Fischer, S.; Lewis, R.J.; Telle, H.H.; Bornschein, B.
Accurate depolarization measurements of all six hydrogen isotopologues.
DPG-Frühjahrstagung der Sektion AMOP (SAMOP), Fachverband Molekülphysik, Stuttgart, D, 12.–16. März 2012
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012), MO 5.5
- * Schlösser, M.; Fischer, S.; Sturm, M.; Bornschein, B.; Lewis, R.J.; Telle, H.H.
Design implications for laser Raman measurement systems for tritium sample-analysis, accountancy or process-control applications.
Fusion Science and Technology, 60(2011) S. 976-981

Schlösser, M.

Was hat ein grüner Laserstrahl mit der Neutrinomasse zu tun?

Junge Talente in Wissenschaft und Musik, FTU, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Nord, 16. Februar 2012

Schlösser, M.

Was hat ein grüner Laserstrahl mit der Neutrinomasse zu tun?

Votr.: VDE-Bezirksverein Mittelbaden, Karlsruhe, 24. April 2012

Schönung, K.; Fischer, S.; KATRIN-Collaboration

Untersuchung optischer Beschichtungen unter Tritiumatmosphäre für das KATRIN-Experiment.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.8

Schwarz, J.; KATRIN-Collaboration

Inbetriebnahme des KATRIN Fokalebenenendetektors am KIT.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Mainz, 19.–23. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) HK 56.7

Thümmler, T.; KATRIN Collaboration

Status and commissioning of the Karlsruhe tritium neutrino experiment KATRIN.

11th Conf.on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (CIPANP 2012),

St. Petersburg, Fla., May 29 – June 3, 2012

Thümmler, T.; KATRIN-Collaboration

Status und Testmessungen des Karlsruher Tritium Neutrino Experiments KATRIN.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.1

Wandkowsky, N.; KATRIN-Collaboration

Untersuchung von Untergrundeigenschaften des KATRIN Experiments mit Hilfe des Monitorspektrometers.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.3

Wiedmann, V.

Untersuchung des Einflusses von HF-Störungen am KATRIN-Monitorspektrometer.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Göttingen, 27. Februar – 02. März 2012

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.47(2012) T 107.5

Wolf, J.; KATRIN Collaboration

The KATRIN neutrino mass experiment.

Internat.Symp.on Neutrino Physics and Beyond, Shenzhen, China, September 23–26, 2012

Veröffentlichungen

Eingeladene Vorträge

Beate Borschein

- B. Borschein, Tritium management and safety issues in ITER and DEMO breeding blankets, 27th Symposium on Fusion Technology (SOFT) 2012; in Liège, Belgien, vom 24.–28. September 2012

Christian Day

- Chr. Day, "What large vacuum systems can learn from micro gas flows – and vice versa", 1st European Conf. on Gas Microflows, Skiathos, Griechenland, Juni 2012.
- Chr. Day, Th. Giegerich, V. Hauer, X. Luo, St. Varoutis, "The use of flow network tools for geometrically complex vacuum gas dynamics problems", 6th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS), Wien, Österreich, September 2012.

Walter Henry Fietz

- W. H. Fietz "Prospects of High Temperature Superconductors for fusion magnets and power applications" 27th Symposium on Fusion Technology (SOFT), Liège, Belgium, September 24–28, 2012

Wilfried Goldacker

- W. Goldacker, S. I. Schlachter, A. Kario, A. Kling, F. Grilli, M. Vojenciak, Chr. Barth, A. Kudymow, HTS high current AC cables for applications, ICSM 2012 Istanbul
- W. Goldacker, Methods to reduce AC losses in Coated Conductors, Workshop supraleitende Motoren, Schloss Löwenstein, Miltenberg
- W. Goldacker, M. Noe, International development in superconducting motors, Workshop supraleitende Motoren, Schloss Löwenstein, Miltenberg

Francesco Grilli

- F. Grilli, P. Krüger, M. Vojenciak, V. M. Rodriguez Zermelo, Numerical modeling tools for REBCO coated conductors, CCA2012 Conference on Coated Conductor for Application, Heidelberg

Steffen Grohmann

- S. Grohmann, V. Hannen, J. Wolf, Neutrino Mass Measurement with the KATRIN Experiment. In: Berghoefner T, editor. 3rd ASPERA Technology Forum. Darmstadt, Germany: Astroparticle Physics ERA-Net; 2012. p. 14–9.

Stefan Hanke

- St. Hanke, "The development of the unique and large cryopump systems for the heating neutral beam injection system of ITER", Int. Symp. on Vacuum Science and Technology and its Applications to Accelerators (IVS 2012), Kolkata, Indien, Februar 2012.
- St. Hanke, "Development of a large customized NBI cryopump system", 20th Topical Meeting on the development of Fusion Energy (TOFE 2012), Nashville, TN, USA, August 2012.

Anna Kario

- A. Kario, W. Häbeler, C. Rodig, M. Schubert, J. Scheiter, B. Holzapfel, L. Schultz, R. Nast, S. I. Schlachter, W. Goldacker: P. Kovac, T. Melisek, High energy milled ex situ MgB₂ as precursor for superconducting tapes, Warsaw, 4. april 2012, Institute of high pressure, Polish Academy of Science

Mathias Noe

- M. Noe, E. Marzahn „Hochtemperatur-Supraleiter Kabel“, 79. Kabelseminar, 28.–29. Februar 2012, Leibniz Universität Hannover
- M. Noe „Ökonomie und Effizienz Supraleitender Systeme“, Zukunft und Innovation der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern, 6.–7. März 2012, Beethovenhalle Bonn
- M. Noe „Widerstand zwecklos – Supraleiter erobern Smart Grids, KIT Business Club, 12. April 2012
- M. Noe "Large Scale Applications of Superconductors", 3rd International Conference on Superconductivity and Magnetism, 29. April – 4. May 2012, Istanbul, Turkey
- M. Noe, "Superconducting Fault Current Limiters, Superconducting Transformers and Cryogenic Electrical Insulation", ESAS Summer School on Superconductivity 2012, June 11–15, 2012 at Lens en Vercors, Frankreich
- M. Noe, "HTS Power Applications in the US", Workshop on Present Status and Future Perspectives of HTS Power Applications", CIGRE SCD1.38, 29. August 2012, Paris
- M. Noe, "R&D Status of HTS Power Applications in Europe", Dasan Conference on Superconductivity, 7.–9. November 2012, Jeju Island, Korea

Santiago Ochoa Guamán

- S. Ochoa Guamán, "Vacuum systems of fusion power plants", Kollegium der Universität Guayaquil, Ecuador, Dezember 2012.

Klaus-Peter Weiss

- K.-P. Weiss, "CryoMaK – an Overview" Presented at Chinese Academy of Science, Institute of Technical Physics and Chemistry, Beijing, China, 23.8.2012
- K.-P. Weiss Institute of Plasma Physic, Hefei, China, 24. August 2012

Rainer Nast

- R. Nast, B. Ringsdorf, A. Jung, B. Runtsch, M. Vojenciak, A. Kario, W. Goldacker, T. Holubek, S. Casalbuoni, Effects of laser structuring on the properties of (RE)BCO coated conductors, CCA2012 Conference on Coated Conductor for Application, Heidelberg

Magnus Schlösser

- M. Schlösser, Was hat ein grüner Laserstrahl mit der Neutrinomasse zu tun, Junge Talente, Wissenschaft und Musik am 16. Februar 2012 und VDE Bezirksverein Mittelbaden am 24. April 2012

Victor Zermeno

- V. Zermeno, A. B. Abrahamsen, N. Mijatovic, B. B. Jensen, M. P. Sørensen, Calculation of AC losses in large HTS stacks and coils, CCA2012 Conference on Coated Conductor for Application, Heidelberg

Veröffentlichungen

Schutzrechtsbestände

* Neue Schutzrechtsanmeldungen in 2012

** Schutzrechtserteilungen mit Wirkung für Deutschland in 2012

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory
DE 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

Flacher, aus elektrisch leitenden Strängen zusammengesetzter verlustarmer elektrischer Leiter

Klimenko, Evgueni
DE 1349183

Zusätzliche Einrichtung in einem Strombegrenzer zur Strombegrenzung im Fehlerfall

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Noe, Mathias
CA 2577435
CN 2005800416707
DE 102004058633
EP 05791533.2-1231
US 7327542

Planar-helischer Undulator

Beckenbach, Max; Eisele, Matthias; Kläser, Marion; Leys, Pauline; Lott, Bernd; Schneider, Theo
DE 102006056052
US 8134440

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

Kläser, Marion
DE 102006012508
EP 07723071.2-1231
US 8255023

Kryostat mit einem Magnetspulensystem, das eine unterkühlte LTS- u. eine in einem separaten Heliumtank angeordnete HTS-Sektion umfasst

Schneider, Theo
CH 1999764
DE 102006012511
FR 1999764
GB 1999764
US 8255022

Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Strombegrenzer

Gehring, Rainer; Sander, Michael
DE 102007042711

Mit einer Kühlschicht versehener hochtemperatursupraleitender Bandleiterverbund

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
EP 10805601.1-2222
JP 2012-551507
US 13/577,272
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
EP 11714215.8-2209
US 13/637,262

Vorrichtung zur Speicherung von Wasserstoff und von magnetischer Energie sowie ein Verfahren zu ihrem Betrieb

Neumann, Holger; Sander, Michael
DE 102011013577.4-23
WO PCT/EP2012/000985

Isolierter Hochtemperatur-Bandsupraleiter und Verfahren zu seiner Herstellung

Brand, Jörg; Elschner, Steffen; Fink, Stefan; Goldacker, Wilfried; Kudymow, Andrey
DE 102011107313.6
WO PCT/EP2012/002847

Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung des Massenstroms eines Fluids

Grohmann, Steffen
DE 102011120899.6
WO PCT/EP2012/005051

Supraleitende Magnetanordnung

Krüger, Philipp
DE 102012106211.0 *

Axialer, kryotechnisch geeigneter Potentialtrenner

Fink, Stefan; Friesinger, Günter
DE 1196711

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

CA PCT/EP2010/064415
CN PCT/EP2010/064415
EP PCT/EP2010/064415
JP PCT/EP2010/064415
KR PCT/EP2010/064415
US PCT/EP2010/064415
WO PCT/EP2010/064415

Verfahren zur Herstellung von Metall- oder Keramik-Mikrobauteilen

Haußelt, Jürgen; Piotter, Volker; Ruprecht, Robert; Finnah, Guido; Johann, Thomas; Schanz, Gerhard; Holstein, Nils
EP 03790808.4 **

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.itep.kit.edu

Leitung

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

Stellvertretende Leitung

Dr. Walter Fietz (-24197)

Sekretariat

Marion Gilliar (-23501)

Sabrina Gerl (-23527)

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)

Geschäftsführer

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)

Kontakt

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

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

www.itep.kit.edu

Herausgeber

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

Stand März 2013

www.kit.edu