

ITEP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung
Jahresbericht 2011

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: Flächenersatzbau 410

Gestaltung + Druck: Schrift & Druck Hammer GmbH

März 2012

Inhalt

Vorwort	4
Ergebnisse aus den Forschungsbereichen	6
Fusionsmagnete	6
Supraleitende Hochfeldmagnete	12
Supraleitermaterialentwicklung 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
Diplom-, Bachelor-, Master-, Studien-, Techniker- und Doktorarbeiten	47
ITEP Kolloquien 2011	53
Zahlen und Daten	54
Organigramm	54
Personalstand 2011	54
Personalveränderungen im Jahr 2011	55
Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien	56
Veröffentlichungen	59
Veröffentlichungen Programm „Kernfusion“	59
Veröffentlichungen Programm „Rationelle Energieumwandlung“	63
Veröffentlichungen Programm „Struktur der Materie“	68
Eingeladene Vorträge	71
Schutzrechtsbestände	73
Kontakt	75

Vorwort

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

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

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

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

- Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) als weltweit einziges zivil genutztes Labor mit geschlossenem Tritiumkreislauf
- Toroidal-Spulen-Testanlage Karlsruhe (TOSKA) zum Test großer Magnete für die Fusion und zur Entwicklung von Komponenten für zukünftige Fusionskraftwerke
- Testanlage 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

100 Jahre nach der Entdeckung der Supraleitung erzielte unser Institut auch im Jahr 2011 beachtliche wissenschaftliche Ergebnisse und meisterte einige besondere Herausforderungen und Ereignisse, die ich im Folgenden kurz darstelle.

Der Arbeitsbereich **Fusionsmagnete** hat für das Fusionsprojekt Wendelstein 7-X die Entwicklung, den Bau und den Test von Hochstromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern übernommen. 2011 wurden die ersten Serienstromzuführungen erfolgreich mit Strömen bis zu 20 000 A getestet und fristgerecht abgenommen. Das kryogene Materiallabor wurde weiter ausgebaut. Dieses wurde im Rahmen des Fusionsexperiments ITER (www.iter.org) auf drei Jahre als Referenzlabor für kryogene mechanische Materialcharakterisierung beauftragt.

Das **Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)** wird beim internationalen Fusionsexperiment ITER die Bereitstellungspakete zur Wasserdetritionierung (WDS) und kryogenen Isotopentrennung (ISS) übernehmen. Einen wichtigen Meilenstein erreichte es 2011 mit der kalten Inbetriebnahme der kombinierten WDS-ISS Testanlage. Eine weitere wichtige Frage für ITER – die Dekontamination von hochtritiertem Wasser – wurde erfolgreich angegangen. Die ersten Ergebnisse mit einem Membranreaktor sind äußerst vielversprechend. Neben den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten lag 2011 ein besonderer Schwerpunkt auf dem Ersatz wichtiger Tritiuminfrastruktursysteme. So wurden zwei weitere Systeme des Prozessleitsystems und der Ersatz der Steuerung der Lüftung des TLK bei minimaler Stillstandzeit des Labors erfolgreich in Betrieb genommen.

Der Bereich **Vakuumtechnik** des ITEP ist bei ITER verantwortlich für das Design, die Bereitstellung und den Test der Kryovakuumpumpen. 2011 wurde das Built-to-Print-Design der ITER Torus Kryopumpe vollständig abgeschlossen. Zur Vorbereitung auf die Beschichtungsarbeiten der Kryopanel dieser Pumpe begannen die Forscherinnen und Forscher damit, eine neue, größere und mehr Bewegungsfreiheit bietende Beschichtungsanlage aufzubauen. Weiterhin begannen sie mit dem Aufbau einer neuen Anlage zur Demonstration eines neuartigen, vielversprechenden Vakuumpumpkonzepts für ein Langpuls-Fusionskraftwerk.

Eine Kernaufgabe des Bereichs **Supraleitermaterialentwicklung** besteht darin, wirtschaftliche, verlustarme und hochstromtaugliche Leiterkonzepte zu entwickeln. 2011 lagen die Schwerpunkte auf der Filamentisierung von Supraleitern mit Laserverfahren und auf der Charakterisierung von Roebel-Leitern. Bei diesen gelang 2011 erstmals eine vollständige Simulation der Wechselstromverluste. Was **energietechnische Anwendungen der Supraleitung** betrifft, wurde ein neues Verbundprojekt zur Entwicklung eines 1 km langen, 40 MVA supraleitenden Kabels gemeinsam mit Industriepartner und Anwender begonnen. Weiterhin wurde die Entwicklung eines neuartigen supraleitenden Mittelspannungs-Strombegrenzers mit dem erfolgreichen Start eines Feldtests erfolgreich abgeschlossen.

Das **Hochfeldlabor** des ITEP bringt seit mehr als 25 Jahren sein Know-how und seine Testanlagen ausgesprochen erfolgreich in die Entwicklung von Hochfeld-NMR-Systemen ein. Aktuell besteht mit einem langjährigen Industriepartner eine Vereinbarung zur Entwicklung eines Hochfeld-NMR-Magneten mit Hochtemperatur-Supraleitern (HTS). 2011 wurden dazu zahlreiche HTS-Proben charakterisiert, wobei die Schwerpunkte auf der Messung der Richtungsabhängigkeit des kritischen Stroms und der Hochskalierung hin zu Magnetfeldern bis 30 T lagen.



Teilnehmer des internationalen Vakuum-Gas-Dynamik-Workshops in Leinsweiler.

Der Bereich **Kryotechnik** entwickelt und erweitert unter anderem die komplexen und umfangreichen Kryosysteme für KATRIN und die Experimente der Fusion, wie TOSKA oder TIMO. 2011 führte er die kryotechnischen Arbeiten für den Stromzuführungsteststand fort und stellte die Kryoversorgung wichtiger Experimente für KATRIN sicher. Darüber hinaus sorgt dieser Bereich für die Wartung und Instandhaltung der Kälteanlagen und die Versorgung des KIT mit flüssigem Helium und flüssigem Stickstoff. Das Kalibrierlabor für Sensoren zur Anwendung bei tiefen Temperaturen wurde 2011 weiter ausgebaut.

Beim **Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment** KATRIN (www-ik.fzk.de/tritium/) ist das ITEP seit Projektbeginn verantwortlich für Aufbau und Betrieb der Tritiumkreisläufe und der Kryoversorgung sowie für die Bereitstellung der supraleitenden Magnete. Ein Highlight war 2011 der experimentelle Nachweis der hochgenauen und stabilen Temperaturhomogenität der Strahlrohrkühlung der fensterlosen Tritiumquelle. Bei der Tritiumanalyse wurde das Laser-Raman-Verfahren für alle sechs Isotopologen hochgenau verifiziert. Bei den supraleitenden Magneten konzentrierten sich die Arbeiten auf das neu zu konzipierende Schutzsystem.

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 inzwischen mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in verschiedenen Disziplinen aus.

In der **Lehre** führte das ITEP zwei weitere neu konzipierte Vorlesungen ein. Insgesamt bietet unser Institut nun mehr als zehn Vorlesungen in vier Fakultäten an, überwiegend in den Bereichen Supraleitung, Fusion und Kryotechnik. Ergänzt wird das Lehrangebot durch zahlreiche vom ITEP organisierte nationale und internationale Seminare, Sommerschulen und Workshops. 2011

richtete das ITEP zwei neue internationale Workshops aus: Ein erstmals initiiertes Workshop zur Hochtemperatur-Supraleitung in der Fusion fand beachtliche internationale Beteiligung und wird künftig regelmäßig stattfinden. Der Bereich Vakuumtechnik veranstaltete einen hochrangig besuchten internationalen Workshop zur Vakuum-Gas-Dynamik.

Im Juli 2011 feierten wir nach 15-monatiger Bauzeit die Einweihung des Ersatzbaus unseres Bürogebäudes Bau 410, verbunden mit dem schon traditionellen Sommerfest des ITEP. Ich bedanke mich ganz herzlich bei allen Helferinnen und Helfern sowie den Beteiligten. Mein ganz besonderer Dank gilt unserem Vizepräsidenten Dr. Peter Fritz, dem Architekturbüro Behnisch, den beteiligten internen und externen Mitarbeitern und den ausführenden Firmen.

Einige **besondere Berufungen** wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ITEP im Jahr 2011 zuteil: So erhielt Dr. Steffen Grohmann den Ruf auf eine Professur Kälte- und Kryotechnik am KIT, verbunden ist mit der Leitung einer Arbeitsgruppe im Bereich Kryotechnik des ITEP. Dr. Holger Neumann wurde als Obmann der Arbeitsabteilung Kryotechnik in den Vorstand des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins (DKV) gewählt. Im September 2011 wurde ich vom Board der Europäischen Gesellschaft für Anwendungen der Supraleitung (www.esas.org) zum Präsidenten dieser Gesellschaft gewählt. Mein ganz besonderer Dank gilt allen Partnern des ITEP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie für die ausgesprochen vertrauensvolle und erfolgreiche Zusammenarbeit im Jahr 2011.

Herzlichst, Ihr

Mathias Noe



Stromzuführungen für W7-X, vorbereitet zum Anlöten des kalten Kontaktes.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

Das ITEP ist im Bereich Fusionsmagnete am nationalen Projekt Wendelstein 7-X sowie an den internationalen Projekten JT-60SA und ITER beteiligt. Überdies ist das Institut mit vorbereitenden Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO betraut.

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

Arbeiten für Wendelstein 7-X

Das ITEP hat die Aufgabe übernommen, 16 Stromzuführungen für das Plasma-Experiment Wendelstein 7-X (W7-X) zu entwickeln, zu bauen und zu testen. W7-X wird vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald aufgebaut und soll 2014 fertiggestellt sein. Die Stromzuführungen, zwei Prototypen und 14 Serien-Stromzuführungen, müssen über Kopf eingebaut werden und werden deshalb mit Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) ausgerüstet, wodurch auch die erforderliche Kälteleistung weitaus geringer ist. Die Stromzuführungen sind für einen Maximalstrom von 18,2 kA ausgelegt.

Nachdem 2010 der detaillierte Test der beiden Prototyp-Stromzuführungen erfolgreich verlaufen und die Fertigung der 14 Serien-Stromzuführungen freigegeben worden war, begann die Serienfertigung am KIT, die 2011 fortgesetzt wurde. Diese lief 2011 weiter. Überdies führten die Forscherinnen und Forscher insgesamt drei Abschlusstests an Serien-Stromzuführungspaaren erfolgreich durch.

Arbeiten für JT-60SA

2007 erklärte sich Deutschland bereit, einen Teil des von der EU an Japan zugesagten Pakets für den Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA auszuführen. Das ITEP hat auch dabei den Bau der Stromzuführungen übernommen. 2009 wurden in Verhandlungen mit der EU und Japan die Rahmendaten vertraglich festgelegt; Anfang

2010 wurden die Verträge unterzeichnet. Danach wurde das Grobdesign erarbeitet.

2011 wurden Anschlussbereiche an JT-60SA zusammen mit F4E und Japan fixiert und das Design festgeschrieben. Basis für die Konstruktion sind die Ergebnisse eines Prototyptests. Derzeit wird an der Dokumentation für die TÜV-Freigabe gearbeitet. Für 2012 ist geplant, die Detailkonstruktion abzuschließen sowie die Materialien und Komponenten zu beschaffen. Die Beschaffung des HTS-Materials wurde bereits in 2011 abgeschlossen.

Stromzuführungs-Testanlage CuLTka

Insgesamt sind 16 Stromzuführungen für W7-X und 26 Stromzuführungen für JT-60SA zu testen. Während die Stromzuführungen für W7-X an TOSKA getestet werden, sollen die Stromzuführungen für JT-60SA in einer neuen Anlage getestet werden, die einen effizienten Test ermöglicht.

Daher wird die neue Testanlage CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe) aufgebaut und in die bestehende Kryo-Infrastruktur des ITEP integriert. Dies ermöglicht im Vergleich zu einem Test in TOSKA eine wesentlich höhere Testfrequenz, die erforderlich ist, um alle Stromzuführungen für JT-60SA fristgerecht fertigzustellen. Der Bau der verschiedenen Kryostaten und Ventilboxen am KIT schreitet gut voran. Erste Komponenten sind fertiggestellt und werden derzeit in CuLTka aufgebaut. 2012 sollen die Transferleitungen in der Industrie beschafft werden.

Der Bau der Serien-Stromzuführungen für W7-X sowie deren Abnahmetests sollen bis Ende 2012 abgeschlossen sein. Anschließend sollen die 26 Stromzuführungen für JT-60SA gebaut und bis 2016 in CuLTka getestet werden.



Abb. 1: W7-X Serien-Stromzuführungen nach dem Zusammenbau.



Abb. 2: Testanlage CuLTka im Aufbau für den Serientest der JT-60SA Stromzuführungen.

Kryogene Materialtests und mechanische Tests von supraleitenden Kabeln

Arbeiten für ITER

Im vergangenen Jahr wurde das ITEP Labor CyoMaK als ITER Referenzlabor zur mechanischen Materialcharakterisierung im Bereich der Leiterherstellung für die Torodialfeld (TF)- und Polodialfeld (PF)-Magnete sowie den Zentralen Solenoiden (CS) erfolgreich installiert. Im Rahmen eines Drei-Jahres-Vertrags laufen Messungen, um die Qualifizierung der notwendigen Hüllmaterialien der supraleitenden Kabel zu gewährleisten.

Das Edelstahl-Hüllmaterial für die TF-, CS- und PF-Magnetleiter wird von sechs Domestic Agencies (DA) von 2010 bis 2013 bereitgestellt. Aktuelle Berichte der DA zeigen, dass es erhebliche Unterschiede bei den angewandten Prüfverfahren gibt, um die kritischen mechanischen Eigenschaften der Materials wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Dehnung zu bestimmen. Weiterhin treten erhebliche Variationen in den gemessenen mechanischen Eigenschaften des Materials auf.

Angesichts des begrenzten Spielraums in der Spezifikation (besonders für Streckgrenze und Dehnung) und der breiten Palette der Testergebnisse ist es erforderlich, ein mechanisches Prüf-Referenzlabor für die Testverfahren einzusetzen. Damit ist es möglich, die Charakterisierung des Hüllmaterials im Rahmen eines Standards zu etablieren und Variationen bei den Messergebnissen aufgrund unterschiedlicher Prüfverfahren zu eliminieren.

Aktuell werden Probleme der Materialversprödung aufgrund der notwendigen Temperaturbehandlung (650 °C, ca. 200 h) untersucht.

Um die Produktion der ITER Magnetkomponenten durch die europäischen DA zu unterstützen, untersucht das ITEP des KIT im Rahmen eines Vier-Jahres-Vertrags mit F4E Materialproben sowohl mechanisch und thermisch als auch optisch. Ermüdungstests an Prototypen, wie beispielsweise am TF-He-Inlet (Abbildung 3), sollen die Optimierung des Designs erleichtern.

Elektromechanische Untersuchungen im Magnetfeld – FBI

Für die meisten Anwendungen von Hochtemperatur-Supraleitern, wie Fusionsmagnete, Transformatoren, Motoren oder Generatoren, sind Multifilamentkabel mit niedrigen AC-Verlusten erforderlich, die Ströme im kA Bereich tragen können. Zudem müssen die Kabel dem hohen magnetischen Fluss und den enormen Lor-

entzkräften in Fusionsmagneten oder den Fliehkräften in Rotoren von Generatoren und Motoren widerstehen.

Ein Konzept für Multifilament-HTS-Kabel mit niedrigen Verlusten, die sich für hohe Ströme eignen, sind Roebel-Kabel. Um die Anwendbarkeit des Roebel-Konzepts zu überprüfen und um es mit anderen Multifilament-HTS-Konzepten zu vergleichen, sind Messungen der Stromtragfähigkeit in Abhängigkeit von Zugspannung, magnetischem Fluss und Temperatur notwendig. Diese Messungen werden an einem zusammengesetzten Roebel-Kabel vorgenommen, da es aufgrund der komplexen Roebel-Struktur nicht möglich ist, auf der Grundlage eines einzelnen Bands die Eigenschaften des vollständigen Kabels vorherzusagen.

Ein YBCO-Roebel-Kabel der 2kA Klasse wurde in der FBI (Kraft, magnetischer Fluss, Strom) Testanlage des Cryo-MaK Labors erfolgreich charakterisiert. Das Kabel bestand aus 45 HTS-Bändern der Firma SuperPower, die aus ursprünglich 12 mm breiten Bändern gestanz wurden. Die Probe war 1,1 m lang und wurde in einem magnetischen Feld von bis zu 13 T und Temperaturen von 4,2 K bis 77 K getestet.

Um diese Temperaturen zu erreichen, wurde ein spezieller Temperatur-Variabler-Einsatz gebaut, der das komplette Kabel umschließt. Er arbeitet innerhalb des Kryostaten im Flüssig-He-Bad, das notwendig ist, um den supraleitenden Spaltnagneten der FBI-Anlage zu betreiben. Damit ließen sich verschiedene Temperaturen einstellen und über einen genügend langen Zeitraum konstant halten, um den kritischen Strom zu messen. Abbildung 4 zeigt die im Einsatz gemessenen Temperaturen über die Zeit. Die Messungen des kritischen Stroms ergaben, dass der Anstieg der Heizleistung zu einer systematischen Verringerung der supraleitenden Eigenschaften führte (Abbildung 5). Weil der Platz bei diesem ersten Einsatz beschränkt war, ließ sich die Temperatur nicht direkt am Roebel-Kabel im Bereich der kritischen Strommessung bestimmen. Deshalb ist in Abbildung 5 lediglich die Heizleistung dargestellt. Ein optimierter Temperatur-Variabler-Einsatz wird es erlauben, Temperatursensoren so zu platzieren, dass eine Korrelation der Messungen des kritischen Stroms zu einer bestimmten Temperatur möglich ist. Die Messungen beginnen Anfang 2012.

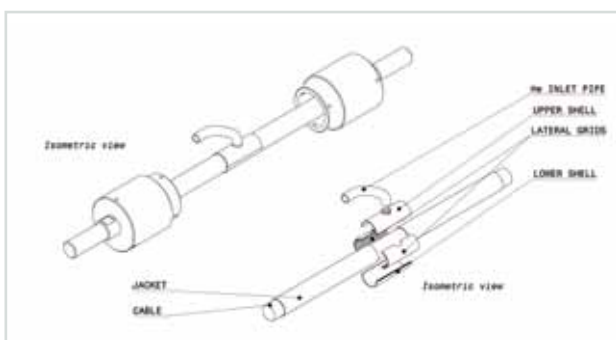


Abb. 3: TF-He-Inlet mit Montageköpfen für Ermüdungstest im CryoMaK Labor.

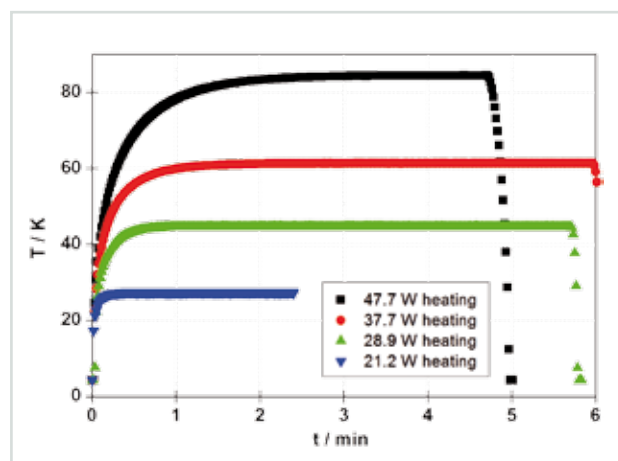


Abb. 4: Zeitlicher Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Heizleistung.

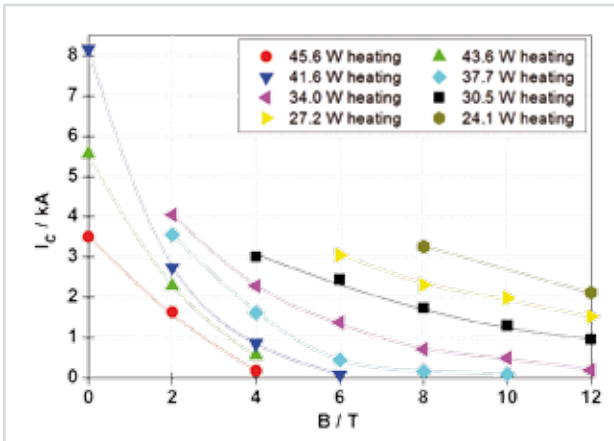


Abb. 5: Kritischer Strom in Abhängigkeit von Magnetfeld und Heizleistung.

Zur Charakterisierung noch größerer Kabeltypen wurde ein neuer supraleitender Spaltnagnet bei Oxford Instruments in Auftrag gegeben. Der Zugangsbereich wird hierdurch von aktuell 20 x 70 mm² auf 40 x 80 mm² erweitert und ermöglicht Messungen bei einem maximalen Feld von 12 T. Die Lieferung des Magneten ist Ende 2012 vorgesehen.

Arbeiten zu ITER

Im Rahmen von ITER Tasks wurden unter anderem 56-kV-Hochspannungstrenner-Prototypen für ITER gefertigt und getestet. Die Fertigung der Trenner und die Durchführung von Temperatur- und Druckzyklen lagen bei der Babcock Noell GmbH. Das ITEP nahm Hochspannungstests sowie mechanische Untersuchungen bei tiefen Temperaturen vor. Die Spezifikationswerte aller Trenner wurden in den Tests erreicht und zum Teil sogar deutlich übertroffen.



Abb. 6: FBI Anlage zur Messung kritischer Ströme unter mechanischer Belastung im Magnetfeld.

Highlight 1 Tests der HTS-Serienstromzuführungen für Wendelstein 7-X

Im Jahr 2011 wurden insgesamt drei Serien-Stromzuführungspaare 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 erreichten in allen Parametern die Erwartungswerte. Die Wärmeverluste auf 4,5-K-Niveau betragen (2.1 ± 1) W; der Heliummassenstrom bei einem Betriebsstrom von 18,2 kA lag bei 1,38 g/s.

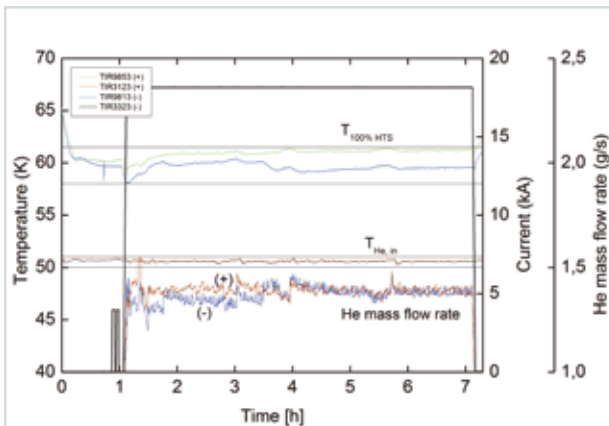


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Temperatur, des Stroms und des 50-K-Heliummassenstroms während des sechsständigen Langzeittests.

Die Temperaturmarge wurde auf mehr als 25 K bestimmt, was eine ausreichende Reserve für den späteren Betrieb in Wendelstein 7-X gewährleistet. Im Fall eines Kühlmittelverlustes bei 18,2 kA Betriebsstrom dauert es etwa 18 Minuten, bis ein Quench im HTS-Teil der Stromzuführungen auftritt.

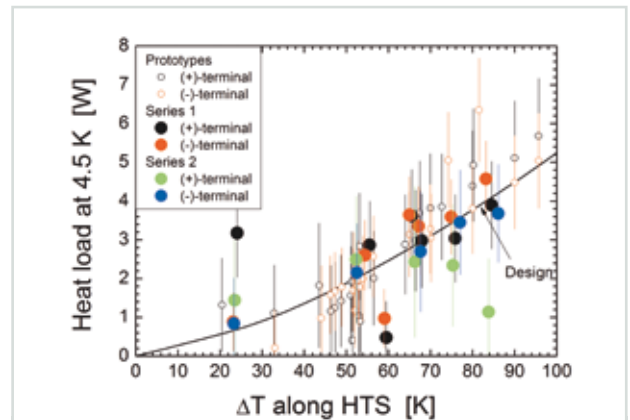


Abb. 9: Wärmelast auf 4,5-K-Niveau in Abhängigkeit vom Temperaturgradienten über das HTS-Modul der Serienstromzuführungen und Vergleich mit den Prototypen.



Abb. 7: Serienfertigung der Stromzuführungen für W7-X.

Highlight 2

Inbetriebnahme der Anlage TORSION

Zur mechanischen Charakterisierung von ITER Komponenten unter axialer Belastung sowie Torsionsbelastung ging 2011 eine spezielle kryogene Testeinrichtung in Betrieb. An dieser sind axial ± 100 kN Last und ± 1000 Nm Drehmoment bei tiefen Temperaturen bis 5 K möglich.

Die Anlage vervollständigt die Messmöglichkeiten der kryogenen Materialtestanlage CryoMaK. Insgesamt stehen nun folgende Messmöglichkeiten zur Verfügung:

Mechanische Tests bis 4 K

- ATLAS	Axial	± 650 kN
- PHOENIX	Axial	100 kN
- MTS 25 & 50	Axial	± 50 kN
- TORSION	Axial	± 100 kN
	Torsion	± 1000 Nm

Elektromechanische Tests @ 4 K

- FBI	Axial	100 kN
	Feld	≤ 13 T
	Strom	≤ 10 kA

Im Rahmen der Entwicklung von Hochspannungstrennern für ITER, die im kryogenen Temperaturbereich eingesetzt werden, wurden mit dieser Anlage erfolgreich die mechanischen quasistatischen wie auch dynamischen Ermüdungstests bei Raumtemperatur und 77 K absolviert. Es zeigte sich, dass die Trenner alle in den Spezifikationswerten genannten mechanischen Anforderungen erfüllen.



Abb. 10: Ansicht der Anlage TORSION.

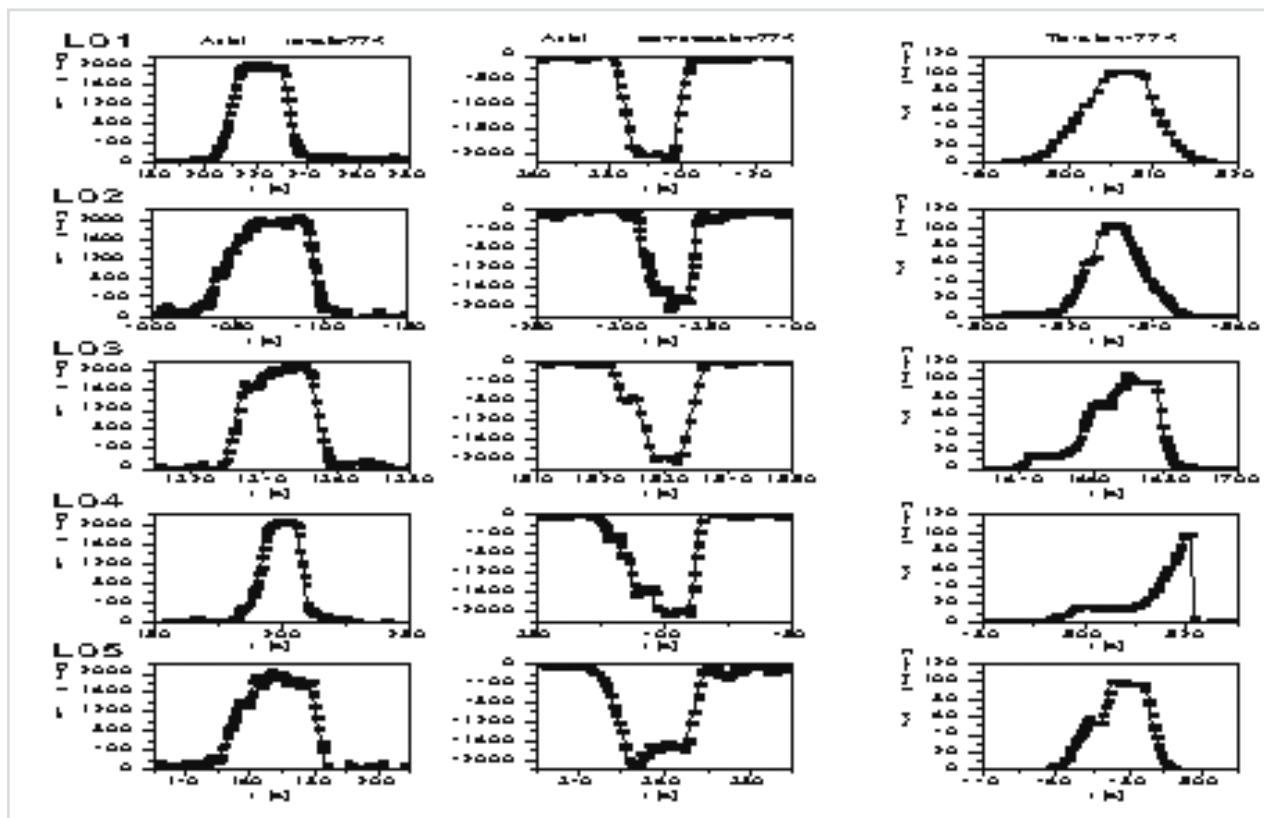


Abb. 11: Ergebnisse der mechanischen Tests für Zug und Kompression in axialer Richtung sowie Torsion bei 77 K.



33 Jahre im Routinebetrieb: Supraleitende Experimentieranlage JUMBO mit Magnetfeldern von 10 T in einer 100 mm freien Bohrung bzw. 15 T in einer 44 mm freien Bohrung.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

Die Aktivitäten des Bereichs Supraleitende Hochfeldmagnete (HFM) konzentrierten sich im Jahr 2011 auf die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Ausbau von HOMER II, den Betrieb des Hochfeldlabors sowie die gemeinsamen NMR-Projekte mit der Firma Bruker BioSpin GmbH. Innerhalb des EU-Projektes EuCARD war die Gruppe an der Dipolmagnetentwicklung mit Hochtemperatursupraleiter beteiligt. Zudem war sie in Kooperationen mit dem Institut für Synchrotronstrahlung (ISS) und dem Institut für Experimentelle Kernphysik (IEKP) des KIT eingebunden.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Schwerpunkte lagen auf dem Ausbau von HOMER II in Richtung 30 T sowie auf den Entwicklungsarbeiten für ein 1200-MHz-NMR-Magnetsystem ($B = 28,2$ T). Bei beiden Systemen muss aufgrund der hohen Feldstärke die innerste Sektion aus Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) hergestellt werden. Kommerziell erhältlich sind zum einen die Bi2223-Hochtemperatur-Supraleiter der ersten Generation. Mit diesen Bi2223-Leitern hatte das HFM-Team bereits 2004 eine Einsatzspule für HOMER II gefertigt. Die Spule erreichte ihr Sollfeld von 5,4 T bei einer Betriebstemperatur von 1,8 K. Jedoch wurde der Supraleiter durch eindringendes superfluides Helium zerstört und bestand somit den entscheidenden Belastungstest nicht. Die Bi2223-Entwicklungsarbeiten der Hersteller sind derzeit nahezu eingestellt. Im Gegensatz dazu wird weltweit an der Entwicklung und Optimierung der HTS-Bandleiter der zweiten Generation, der Seltenerd-kupraten (REBCO), gearbeitet. Diese Leiter sind in Längen über 100 m derzeit bei den Firmen SuperPower Inc., AMSC und Fujikura Inc. kommerziell erhältlich.

Die REBCO-Bandleiter sind wie die Tieftemperatur-Supraleiter NbTi und NbSn technische Supraleiter, bei denen dem supraleitenden Material meist Kupfer als Shuntwiderstand bzw. Stabilisator zur Seite gestellt wird. Dadurch wird der supraleitende Zustand gegenüber elektrodynamischen Störungen stabilisiert. Außerdem dient dieses Kupfer als Bypass für den Transportstrom beim Übergang des Supraleiters in den resistiven Zustand und im Quenchfall beim vollständigen Übergang in die Normalleitung. Das Verhältnis von Kupferquerschnitt zu Supraleiterquerschnitt bestimmt unter anderem die Kurvenform der Strom-Spannungskennlinie $U(I)$, den maximalen Transportstrom und die Zeit bis zum Erreichen einer maximalen Temperatur (Hot-Spot-Temperatur) im Quenchfall. Benötigt werden zuverlässige Daten über die physikalischen Parameter kritischer Strom I_c und n -Wert, die maximale Lorentzkraftbelastung, Überstrom- und Quenchverhalten in der Nähe des späteren Betriebspunkts ($T \leq 4,2$ K, $B \geq 20$ T).

Daher steht für die Forscherinnen und Forscher eine vollständige $E(I)$ -Charakterisierung der REBCO-Leiter so-

wohl experimentell in den Anlagen des Hochfeldlabors als auch theoretisch durch mathematische Modelle im Vordergrund. Die $E(I)$ -Kennlinie lässt sich mathematisch unter anderem mit einem Potenzgesetz beschreiben, wodurch die Kennlinie durch ein Zahlentripel $\{E_c, I_c, n\}$ definiert ist. Diese Größen I_c und n hängen von Temperatur und angelegtem Magnetfeld ab. Durch die ausgeprägte Anisotropie im Pinningverhalten der REBCO müssen die Wissenschaftler einen weiteren Parameter berücksichtigen, nämlich den Winkel Φ zwischen Richtung des Magnetfeldvektors und Bandnormalen. Außerdem zeigen die REBCO-Leiter eine Variation des kritischen Strom I_c und des n -Werts entlang des Bands, sodass die Beschreibung auf die Form $I_c(T, B, \Phi, x)$ und $n(T, B, \Phi, x)$ erweitert werden muss.

Die Forscher untersuchten 2011 alle kommerziell erhältlichen REBCO-Leiter der Firmen SuperPower, AMSC und Fujikura. Differenzen bestehen im Aufbau der Bandleiter bezüglich Substrat, Pufferschichten, des Supraleiters REBCO, sowie in Dicke und Material (Kupfer, Messing oder Stahl) des Stabilisators und damit in den physikalischen Eigenschaften. Die bei Flüssig-Stickstofftemperatur (77 K) ermittelten I_c -Werte der verschiedenen Leiter-typen variieren von etwa 80 A bis etwa 180 A.

Der Bereich HFM untersucht die Supraleiter mit der resistiven Vier-Punkt-Messmethode, wobei der Transportstrom je nach Untersuchungsziel kontinuierlich oder als Stromstufenfunktion aufgeprägt wird. Mit den Hochfeldexperimentieranlagen JUMBO und HOMER I stehen dem Experimentator Magnetfelder bis zu 20 T bei Temperaturen von 4,2 K bis 1,8 K zur Verfügung. Die REBCO-Leiter besitzen bei einer Temperatur von 4,2 K eine bis zu zwölfmal erhöhte Stromtragfähigkeit gegenüber Anwendungen bei 77 K, beispielsweise in Strombegrenzern. Daher sind Ströme über 1500 A im Eigenfeld in 4 mm breiten Bändern heute üblich. Stromzuführungen, Testobjekte und Netzgeräte im HFM wurden dementsprechend angepasst.

Zur $E(I)$ -Charakterisierung verfügt der Bereich HFM über unterschiedliche Testobjekte (Kurzproben winkel- und torsionsabhängig) sowie einlagige Testspulenobjekte. Die Testspulen variieren in Durchmesser und Spulenlänge, sodass Leiterlängen bis zu sieben Meter charakterisierbar sind. Das Verhalten einer Einsatzspule im externen Magnetfeld wurde mit einem langen Testobjekt ($\varnothing = 90$ mm, siehe Abbildung 1) nachgebildet. Um ein vollständiges Bild über die vom Hersteller angegebene I_c und n -Variation zu erlangen, variierten die Wissenschaftler die Zahl der Potenzialabgriffe und deren Anordnung. Eine geschachtelte Anordnung der Potenziale gibt Aufschlüsse über das Verhalten der gesamten Testspule in einem inhomogenen, externen Magnetfeld. In sequenzieller Anordnung lässt sich der $I_c(B)$ -Verlauf ent-

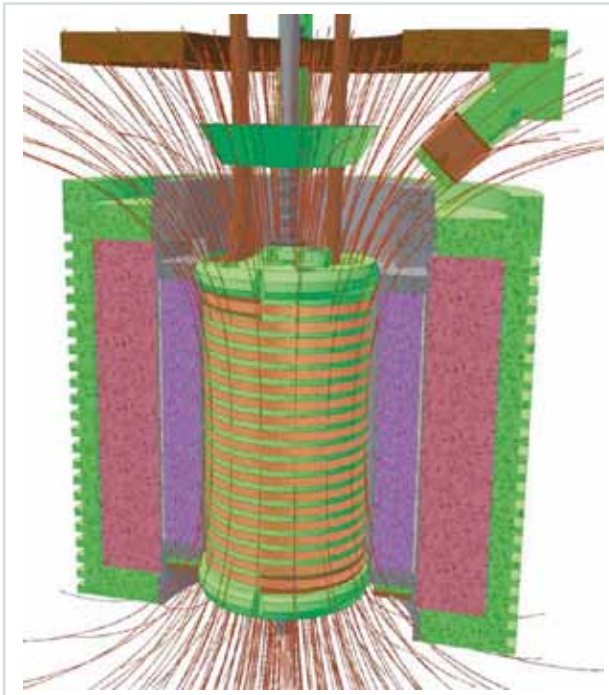


Abb. 1: Testspule mit einem Durchmesser von 90 mm im JUMBO Magnetsystem (10 T, 100 mm).

lang der Wicklung winkelabhängig durch die kontinuierlich zunehmenden radialen Magnetfeldanteile des Hintergrundfeldes ermitteln.

Die explizite Bestimmung des $I_c(B, \Phi)$ -Verlaufs in Abhängigkeit vom Magnetfeld B und dem Winkel Φ führte das HFM-Team an einem neu konstruierten Probenhalter durch. Der Winkel Φ ist dabei diskret zwischen 0 und 180 Grad einstellbar. Weitere Details sind im Abschnitt Highlights dargelegt.

Zur Auslegung der REBCO-Hochfeldspulen beschäftigten sich die Forscher mit der theoretischen Analyse der $E(I)$ -Kennlinie. Grundlage dafür sind Experimente an LTS-Modellleitern, die zusätzlich mit Kupfer stabilisiert wurden, um die große Variation in der $E(I)$ -Kennlinienform aufzuzeigen (siehe Abbildung 2). Sie hängt im Wesentlichen vom angelegten Magnetfeld, dem Transportstrom, den Kühlbedingungen im LHe-Bad und dem Kupfer-Supraleiter-Verhältnis ab.

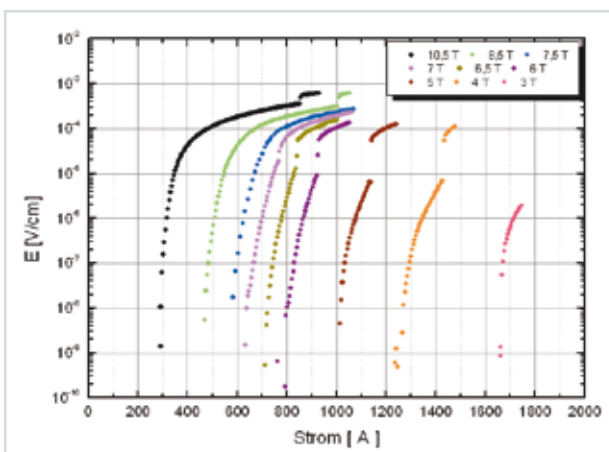


Abb. 2: Vielfalt der $E(I)$ -Kennlinienformen eines NbSn-Leiters.

Die Wissenschaftler nahmen mathematische Analysen der Kennlinien bezüglich des Widerstandverhaltens, der Stromaufteilung und der dissipierten Energie vor. Es folgte eine theoretische Anpassung durch Resistivitätsmodelle der Typ-II-Supraleiter, um die experimentellen Daten unter den gegebenen Randbedingungen zu verifizieren. In einem nächsten Schritt werden die an den metallischen LTS-Leitern gewonnenen Ergebnisse auf die aktuellen REBCO-Leiter übertragen.

Ein wesentlicher Aspekt für die Quenchsicherheit des gesamten HOMER II Magnetsystems ist das Quenchverhalten einer REBCO-Einsatzspule. Messungen in der Anlage HOMER I haben gezeigt, dass ein Ausbrennen der REBCO-Leiter bei der Bestimmung der $E(I)$ -Kennlinie mit Transportströmen von 1000 A selbst bei Leitern mit Stahllaminierung auftreten kann. Die Forscher berechneten daher die zeitliche Temperaturentwicklung des Leiters abhängig vom Transportstrom im normalleitenden Zustand. Abbildung 3 zeigt eine Simulation bis zu einer maximalen Temperatur von 1300 K. Damit steht ein Hilfsmittel bereit, mit dem sich für die verschiedenen REBCO-Supraleiter die Zeitobergrenze für die Quenchdetektion und damit zur Abschaltung abschätzen lässt.

Supraleitende Undulatoren

Eine der jüngeren Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Supraleitung richtet sich auf die Entwicklung von supraleitenden Wiggler und Undulatoren, um die Brillanz der Synchrotronstrahlung weiter zu verbessern. Gegenüber den bisher eingesetzten großvolumigen Permanentmagnet-Undulatoren können supraleitende Undulatoren in einer kompakten Bauweise höhere Magnetfelder bei unverändertem Abstand der Pole und Periodenlänge erreichen. Die Verwendung von speziell für das Niederfeld ($B < 5$ T) optimierten NbTi-Supraleitern kann die Effizienz solcher supraleitender Undulatoren zusätzlich steigern. Im Rahmen ihrer langjährigen Zusammenarbeit führten die Institute ITEP und ISS im Jahr 2011 Untersuchungen zum Bau eines leistungsfähigeren supraleitenden Undulators durch.

Das Augenmerk der Forscher lag zum einen auf der $E(I)$ -Charakterisierung dieser niederfeldoptimierten NbTi-Supraleiter. Die Supraleiter weisen bei Drahtdurchmessern von unter 1 mm ausgesprochen hohe Stromdichten auf.

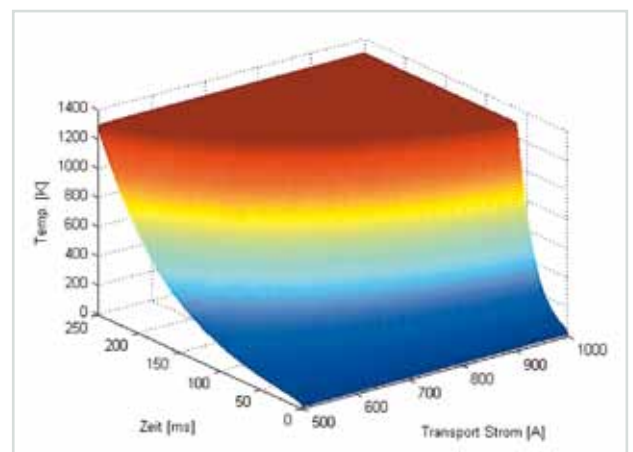


Abb. 3: Temperaturentwicklung $T(I, t)$ eines REBCO im normalleitenden Zustand.

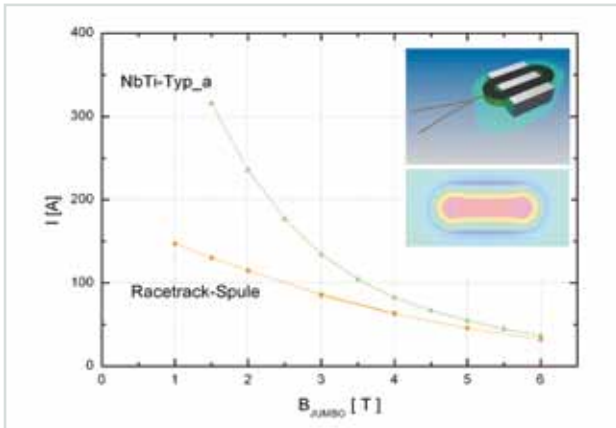


Abb. 4: $I_c(B)$ -Verlauf der Racetrack-Spule und des NbTi-Leiters mit Magnetfeldverteilung.

Für eine Machbarkeitsstudie fertigte das Team des Hochfeldlabors eine kleine Racetrack-Spule mit Eisenjoch und bestimmte den maximalen Transportstrom in der Anlage JUMBO bei externen Magnetfeldern von 0,5 bis 8 T. Abbildung 4 zeigt einen Vergleich zwischen den erreichten Spulendaten und den Kurzprobenwerten des verwendeten NbTi-Supraleiters, wobei die Differenz auf das Eigenfeld der Racetrack-Spule mit Eisenjoch zurückzuführen ist.

Messung des Lorentzwinkels

Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für das geplante Upgrade des zentralen Spurdetektors des CMS-Experiments am LHC des CERN untersuchten Mitarbeiter des IEKP in der Anlage JUMBO das Magnetfeldverhalten von Siliziumsensoren. Der CMS-Spurdetektor befindet sich in einem 3,8 T starken Magnetfeld, das durch die Lorentzkraft die Bahnen der bei den Proton-Proton-Kollisionen erzeugten Teilchen zu Spiralbahnen krümmt. Beim Durchgang durch die Detektormodule erzeugen diese Teilchen durch Ionisation Ladungsträger, die sich als elektrisches Signal orts aufgelöst nachweisen lassen. Diese Ladungsträger unterliegen jedoch ebenfalls der Lorentzkraft, wodurch die nachgewiesene Ladung merklich verschoben wird. Dies führt letztendlich zu einer Verschlechterung der Ortsauflösung des Spurdetektors, sofern dieser Einfluss nicht korrigiert wird. Der Lorentzwinkel ist von der Stärke des Magnetfelds, von der Temperatur und vor allem vom Grad der Schädigung der Sensoren abhängig. Um diesen Einfluss auf den Lorentzversatz zu untersuchen, wurden über 40 Sensoren unterschiedlich stark mit Neutronen und Protonen bestrahlt und anschließend im JUMBO mit Innenkryostat bei verschiedenen Temperaturen und Magnetfeldstärken bis 8 T getestet.

Abbildung 5 zeigt Messergebnisse, bei denen der erwartete lineare Anstieg des Versatzes mit der Magnetfeldstärke deutlich zu erkennen ist.

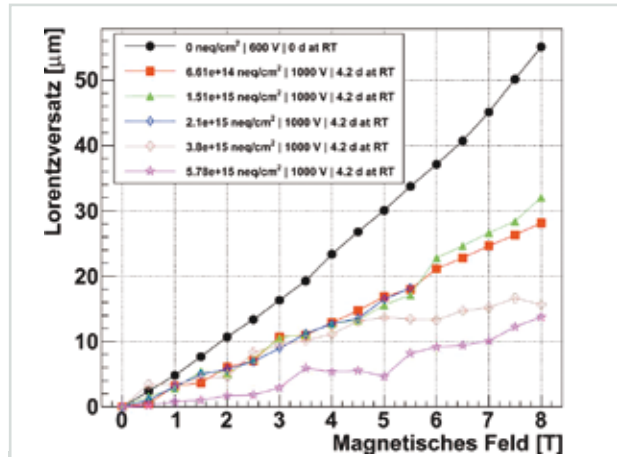


Abb. 5: Verlauf des Lorentzversatzes abhängig von der Magnetfeldstärke bei unterschiedlich starker Bestrahlung der Sensoren.

EuCARD

Im EU-Projekt EuCARD (European Coordination for Accelerator Research and Development) sollen unter anderem Lösungen für ein Upgrade des LHC-Beschleunigers um den zwei- bis dreifachen Energiewert erarbeitet werden. Das derzeitige Dipoldesign sieht ein 14-T-LTS-Hintergrundmagnetsystem und einen 6-T-HTS-Einsatzmagneten vor. Die Forscher konzentrieren sich unterdessen auf die Verwendung von REBCO-Leitern, mit denen in einem ersten Schritt Solenoidwicklungen vom französischen Projektpartner CNRS gefertigt und am ITEP charakterisiert werden. Eine erste REBCO-Doppelpancake-Spule wurde Ende 2011 dem ITEP übergeben. Die konstruktiven Anpassungen zur experimentellen $E(I)$ -Untersuchung laufen derzeit; die Messung ist Anfang 2012 geplant.

Die Entwicklung supraleitender Undulatoren ist ein weiterer Task von EuCARD, wobei spezielle, nach dem Restacked Rod Prozess (RRP) hergestellte Hochstrom-Nb₃Sn-Supraleiter verwendet werden sollen. In Zusammenarbeit mit dem britischen Rutherford Appleton Laboratory (RAL) wurden in der Anlage JUMBO $E(I)$ -Untersuchungen an einem von Oxford Instruments hergestellten RRP-Rundleiter durchgeführt. Zusammenfassend ergaben die Experimente, dass die Kraftverträglichkeit und vor allem die Stabilität der Supraleitung in dem für die Anwendung relevanten Feldbereich von 3 bis 5 T unzureichend sind. Als Konsequenz favorisiert RAL nun einen anderen Supraleiter für den Bau der Undulatoren.

Highlight 1: Verlängerung des NMR-Magnettechnologie-Projekts

Ergänzend zu den Entwicklungsprojekten der supraleitenden Höchstfeldmagnete für die hochauflösende NMR-Spektroskopie (750 MHz bis 1 200 MHz) arbeitet das ITEP mit der Bruker BioSpin GmbH seit 15 Jahren in einem NMR-Magnettechnologie-Projekt zusammen. Dabei unterstützt das ITEP den Industriepartner mit flankierenden Maßnahmen bei der weltweiten Markteinführung der gemeinsam entwickelten NMR-Höchstfeldmagnet-Technologie.

Das Team des HFM stellt ein umfassendes Portfolio an Test- und Messprogrammen zur Verfügung, das sich von der optischen Qualitätsanalyse über hochauflösende E(I)-Messungen bis zu kryogenen Tests von NMR-Magnetsystemen erstreckt. Die Tests der Prototyp-Magnete in der Magnet-Test-Anlage (MTA) bildeten den Schwerpunkt in der Anfangsphase des Projekts. Ausgehend von der Erstinbetriebnahme der Magnetsysteme untersuchten die Forscher das Quench- und Driftverhalten sowie die Magnetfeldhomogenität der Magnetsysteme. Produktionsbegleitend führen sie thermische Behandlungen der $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Sektionsspulen durch.

Der kommerzielle Erfolg der Hochfeld-NMR-Spektroskopie erforderte weitere Qualitätssicherungsmaßnahmen. So rückten im Lauf der Jahre die hochauflösenden E(I)-Messungen zur Verifizierung der hohen NMR-Anforderungen der technischen Tieftemperatur-Supraleiter (LTS) und supraleitenden Verbindungen in den Vordergrund. LTS-Supraleiter der laufenden Magnetproduktion sowie neuartige Leiter werden auf ihre NMR-Tauglichkeit ($I_c(T, B)$ -Verlauf und $n(T, B)$ -Verlauf) in den Anlagen JUMBO und HOMER I untersucht. Sie unterscheiden sich in Herstellungsverfahren, Materialzusammensetzung, Abmessungen und physikalischen Eigenschaften, was eine Vielzahl von Versuchsaufbauten bei ständigen Verbesserungen verlangt.

So konstruierte das Team im Lauf des NMR-Magnettechnologie-Projekts einen Probenhalter, der bei 1,8 K und bis zu 20 T mit einem Transportstrom von bis zu 2000 A belastet werden kann.

Abbildung 6 gibt einen Einblick in die Variationsvielfalt der LTS-Leiter zur Hochfeldmagnetentwicklung. Die Übersicht zeigt typähnliche NbTi- und $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Supraleiter, wie sie im Hochfeldlabor verwendet wurden. Die in den NMR-Magnetsystemen eingesetzten Supraleiter können selbstverständlich nicht gezeigt werden.

Voraussetzungen zum Erreichen einer zeitlichen Magnetfeldstabilität von besser als 10^{-8} pro Stunde sind supraleitende Verbindungen zwischen den eingesetzten Supraleitern mit Widerständen im $\text{p}\Omega$ -Bereich. Die Qualitätskontrollen dieser supraleitenden Verbindungen der laufenden Fertigung sind daher grundlegende Aufgaben des NMR-Magnettechnologie-Projekts. Weitere Aufgaben bestehen in Untersuchungen zur Integration neuartiger Supraleiter in die Verbindungstechnologie sowie in der Optimierung der Verbindungen im Hinblick auf eine höhere Magnetfeldverträglichkeit. Um die Potenzialverteilung im komplexen Aufbau einer LTS/LTS-Verbindung vollständig zu analysieren, erhöhten die Forscher die Anzahl der Potenzialabgriffe. Damit ging eine Anpassung der Messwerterfassung einher. Die Reduktion der elektrischen Störungen durch geeignete Erdungs- und Schirmungsmaßnahmen und der Einsatz von Rampengeneratoren zur Stromsteuerung der Netzgeräte komplettieren die Modernisierungsmaßnahmen.

Infolge einer Änderung der Verantwortlichkeiten innerhalb des KIT ging das Projekt in die Zuständigkeit der Abteilung EKM über. Dies erforderte eine Neufassung mit Anpassungen des NMR-Magnettechnologie-Vertrags.

In der ersten Jahreshälfte 2011 verhandelten und unterzeichneten die Partner den Vertrag. Damit werden das KIT/ITEP und Bruker BioSpin das NMR-Magnettechnologie-Projekt in den kommenden Jahren fortsetzen.

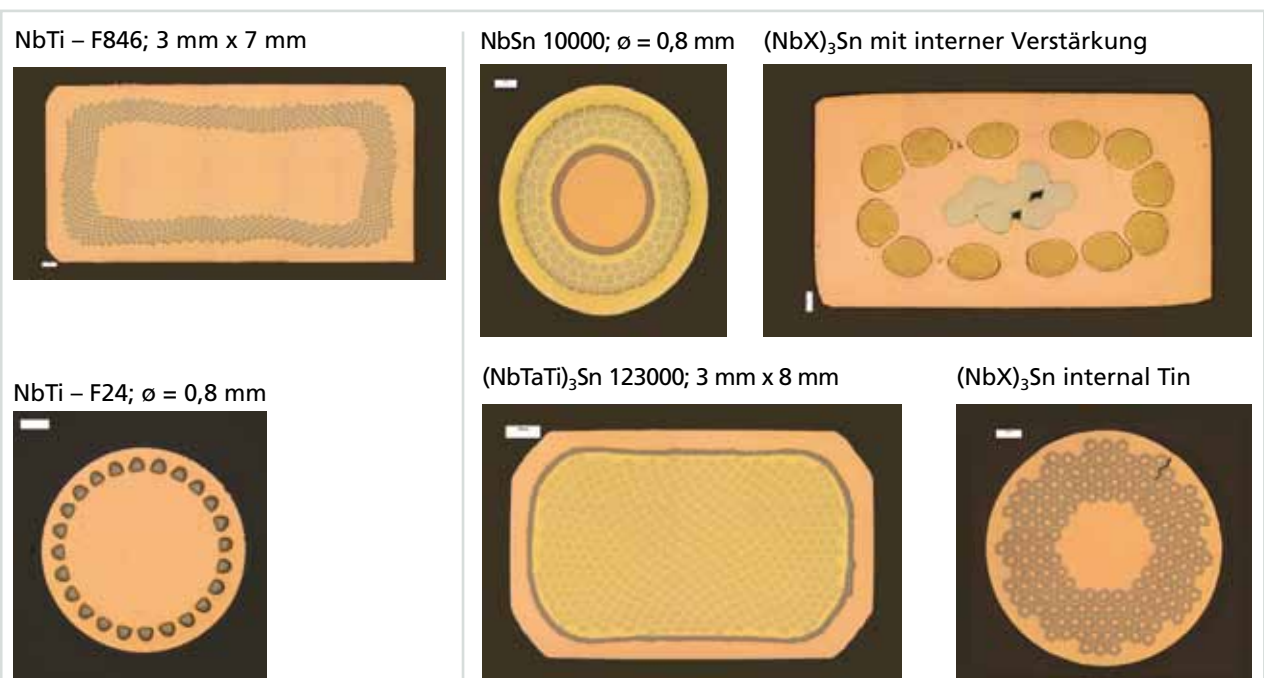


Abb. 6: Variationsvielfalt technischer Supraleiter – links NbTi-Supraleiter, rechts $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Supraleiter.

Highlight 2:**Bestimmung der $I_c(T, B, \Phi)$ -Funktion an REBCO**

Für die Weiterentwicklung der Anlage HOMER II in Richtung 30 T arbeiten die Wissenschaftler am Design und am Bau von Einsatzspulen, die aus REBCO-Leitern gefertigt werden sollen. Daher ist die Bestimmung der physikalischen Kenngrößen der REBCO-Bandleiter in der Nähe des späteren Einsatzpunkts ($B \geq 20$ T, $T \leq 1,8$ K) erforderlich.

Eine Eigenschaft der REBCO-Leiter ist die Anisotropie des kritischen Stroms $I_c(B, \Phi)$. Beim Design von HTS-Spulen ist zu beachten, dass im Gegensatz zu LTS-Spulen nicht mehr der Punkt mit dem höchsten Feldwert begrenzend ist, sondern der Spulenrand, an dem die höchsten Radialkomponenten auftreten. Magnetfeldberechnungen für eine reale HOMER II REBCO-Einsatzspule (siehe Abbildung 7) in einem Hintergrundfeld von 20 T ergeben einen minimalen Winkel von 80° zwischen Magnetfeldvektor und Bandnormalen.

Eine experimentelle I_c -Bestimmung unter den Randbedingungen ($B > 20$ T und $\Phi \geq 80^\circ$) ist in den Experimentieranlagen des HFM nicht möglich. Daher sind die Forscher darauf angewiesen, experimentell zugängliche Messdaten der $I_c(T, B, \Phi)$ -Funktion mathematisch anzupassen und eine Extrapolation bis Feldstärken von 30 T durchzuführen.

Die HFM-Gruppe konstruierte und baute 2011 für die winkelabhängigen Untersuchungen des $E(I)$ -Verhaltens der REBCO-Leiter eine neue Vorrichtung für die Experimentieranlage JUMBO. Somit lassen sich Messungen in externen Magnetfeldern von 0 bis 10 T an Leiterlängen von ca. 100 mm in einem Winkelbereich Φ von $0 - 90^\circ$

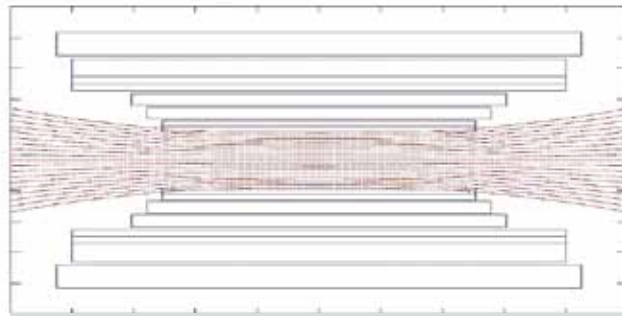


Abb. 7: Feldlinien des HOMER II Magnetsystems

180° ($\Delta\Phi = 2,5^\circ$) bezogen auf die Bandoberfläche vornehmen. Die Winkelapparatur ist für Transportströme über 1 500 A ausgelegt, sodass eine vollständige Charakterisierung eines 4 mm breiten REBCO-Leiters im gesamten Feldbereich möglich ist. Dabei müssen die Forscher beachten, dass das Aufprägen solcher hoher Transportströme zur vorzeitigen Normalleitung, dem Quench, und einer einhergehenden Zerstörung der REBCO führen kann.

Auf der Grundlage der im JUMBO experimentell ermittelten $I_c(B, \Phi)$ -Daten erfolgte eine Separation der Variablen. Die Φ -Strukturfunktion wurde in Anlehnung an die physikalische Theorie zum Pinningverhalten angepasst. Der $I_c(B)$ -Verlauf wurde für den im Experiment zugänglichen Magnetfeldbereich mit einer geeigneten Formfunktion interpoliert. Mithilfe der anschließenden Extrapolation nach 30 T ergibt sich die in Abbildung 8 dargestellte dreidimensionale $I_c(B, \Phi)$ -Fläche, normiert auf den maximalen kritischen Strom, für einen REBCO der Firma SuperPower.

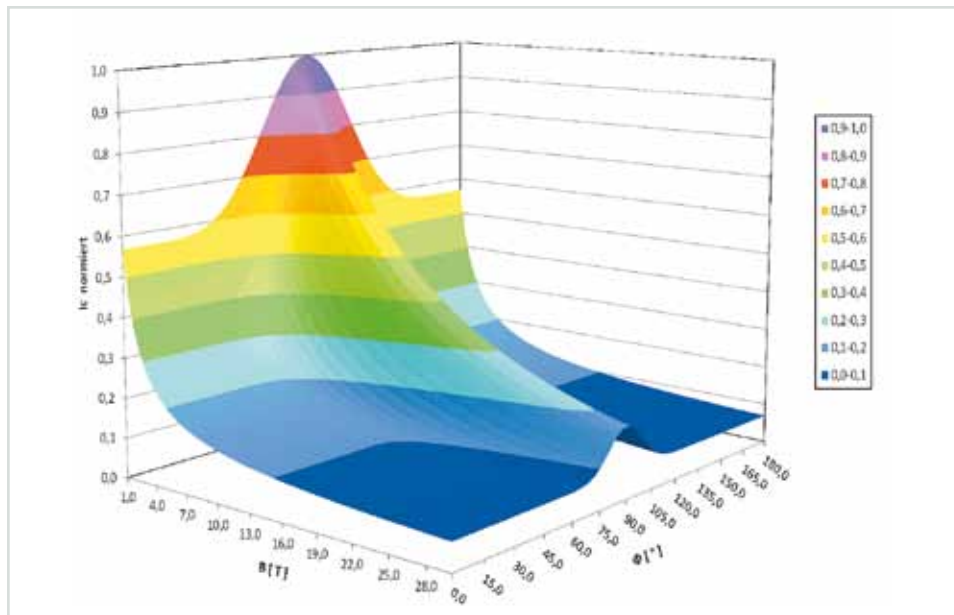


Abb. 8: Verlauf des kritischen Stroms I_c eines REBCO-Bandleiters der Firma Super Power als Funktion von Magnetfeld und Magnetfeldorientierung bei 4,2 K.



Strombegrenzerkomponente aus der zweiten Generation von Hochtemperatur-Supraleitern.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Materialien und Energieanwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

Supraleiterentwicklung

Die Supraleiterentwicklung konzentrierte sich im Jahr 2011 auf strukturierte YBCO-Bandleiter und deren Laminierung sowie auf die Fortentwicklung von Roebel-Kabeln aus YBCO-Bandleitern. Beide Themen sind im BMWi-geförderten Projekt „Highway“ angesiedelt.

Zur Entwicklung strukturierter YBCO-Bandleiter installierte der Forschungsbereich ein innovatives Laserstrukturierungsgerät und nahm es in Betrieb. Der zugrundeliegende Pikosekunden-Laser (Abbildung 1) erlaubt es, 25 μm breite Linien und Strukturen in die Supraleiterschicht der Bandleiter einzubrennen, ohne dass es zu Aufschmelzeffekten an den Rändern der Strukturen kommt. Zur Qualifikation des Verfahrens wurden mehrere Muster strukturiert. Vor allem wurden Bandleiter mit 40 parallelen Filamenten versehen (Abbildung 2). Kompliziertere Strukturen (Abbildung 3) wurden für Laminierungsversuche hergestellt. Ziel war, zwei strukturierte Bandleiter face-to-face aufeinanderzulaminieren und dadurch eine Transposition der supraleitenden Perkolationspfade zu erstellen. Allerdings stellt der Laminierungsprozess derzeit noch eine ungelöste Auf-



Abb. 2: Bandleiter mit 40 eingetragenen Filamenten.

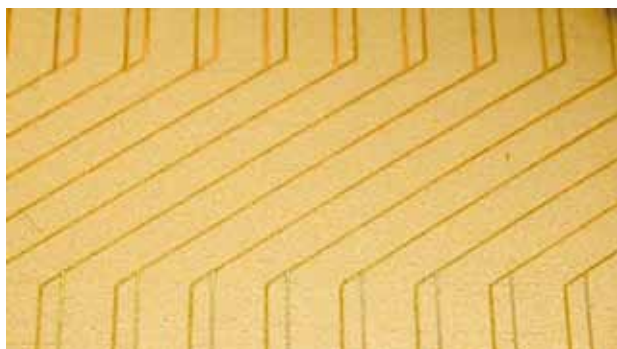


Abb. 3: Strukturierte Querfilamente im YBCO-Bandleiter.

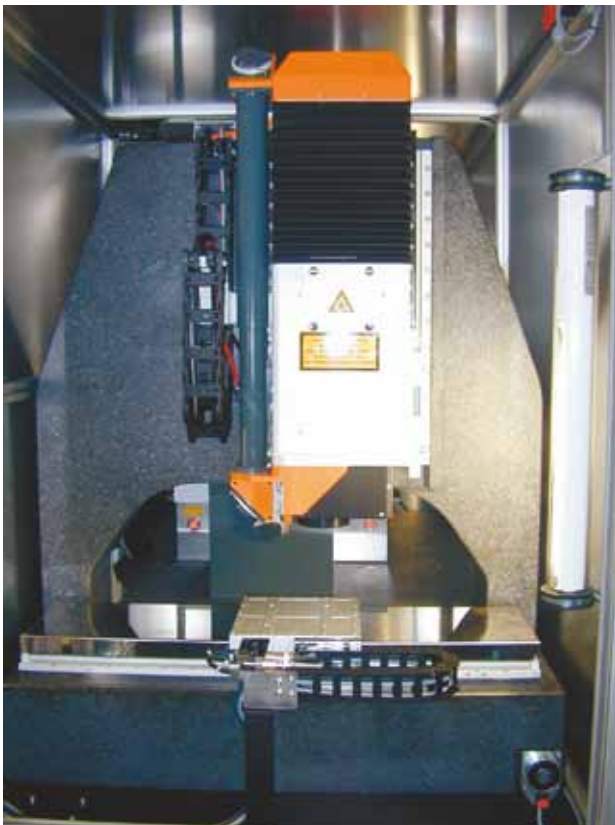


Abb. 1: Fotografie des Pikosekunden-Struktur lasers.

gabe dar. Der größte Fortschritt wurde dadurch erzielt, dass die Ag-Deckschichten erhalten und aufeinanderlaminieren wurden. Dieser Vorgang wurde durch Druckanwendung unterstützt, indem die beiden Leiterhälften verschraubt wurden. Durch eine Glühbehandlung wurde eine dauerhafte Verbindung erzielt – mit Kontaktwiderständen, die weltweit zu den niedrigsten zählen (Abbildung 4). Eine direkte Laminierung blanker Supraleiterschichten gelang nicht, was mit den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen übereinstimmt.

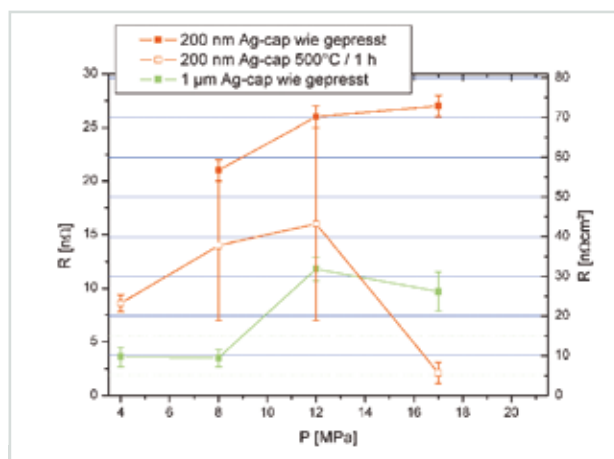


Abb. 4: Abhängigkeit des Kontaktwiderstands von der Pressdruckunterstützung.

Eine weitere Anwendung des Lasers ist die Erzeugung eines periodischen mäanderförmigen Strompfads in einer Bandleiterschicht, wie in einer ersten Probe in Abbildung 5 dargestellt. Eine solche Struktur erzeugt durch das Eigenfeld des Supraleiters entlang der Probe ein Wechselfeld, welches als Mikro-Undulator genutzt werden kann. Die Strukturen sind Vorversuche, um mithilfe dieser Technik einen Mikro-Undulator zu entwickeln. Die Qualität der gebrannten Struktur ist in der elektronenmikroskopischen Aufnahme in Abbildung 6 dargestellt. Eine erste Ausbaustufe des Lasersystems kann bis zu 60 cm lange Strukturen erzeugen und bedient damit in Zukunft alle Arten von Kurzproben und Kabeln.

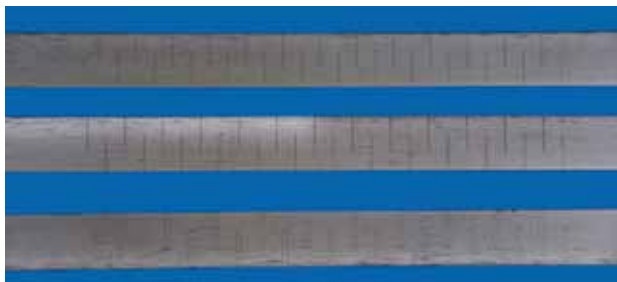


Abb. 5: Bandleiterstrukturierung für einen Mikro-Undulator.

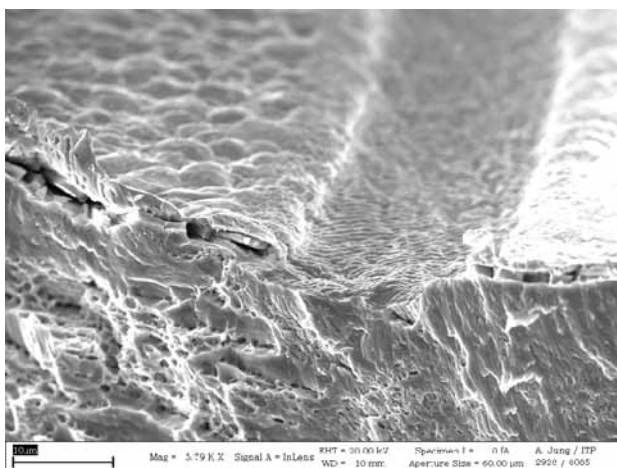


Abb. 6: Elektronenmikroskopische Aufnahme der eingebrannten Spur im YBCO-Bandleiter.

Bei der Entwicklung von Roebel-Kabeln auf der Grundlage der YBCO-Bandleiter wurde der Schritt zur Herstellung mittlerer Probenlängen bis ca. 5 m realisiert. Zwei Längen von 2 m mit zehn Strands und 12 mm Breite wurden für den Partner CERN zur Analyse im Dipol-Hintergrundfeld hergestellt. Eine zweite Probe von 5 m Länge stellte der Forschungsbereich bis Ende des Jahres für eigene Untersuchungen fertig. Ein Kabel von 4,5 m Länge wurde für die Ohio-State-Universität/USA verkabelt und dient zur Untersuchung der Wechselstromverluste (siehe Abbildung 7).

Anhand von FEM-Simulationen simulierte der Forschungsbereich erfolgreich in 2D das Feldeindringen in Roebel-Kabeln. Die Verteilung des Eigenfelds im Kabelinneren wurde ebenfalls mithilfe von FEM-Codes simuliert (siehe Abbildung 8); die Stromverteilung in den einzelnen Strands des Kabels wurde berechnet. Abbildung 9 zeigt, dass Roebel-Kabel im Allgemeinen ein

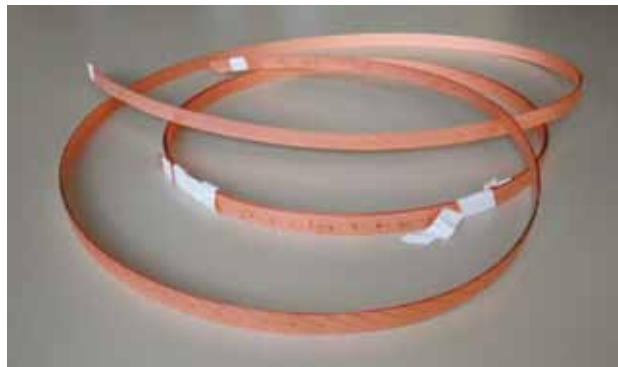


Abb. 7: Roebel-Kabel mit 4,5 m Länge, neun Strands und 12 mm Breite.

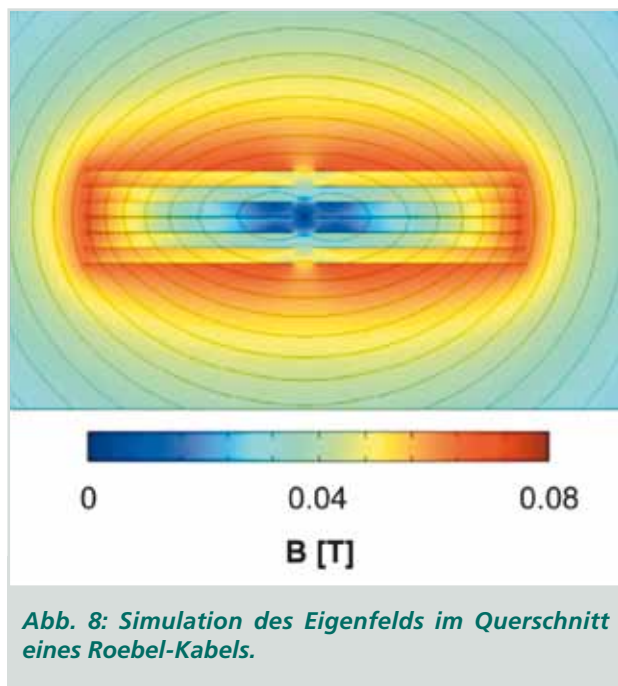


Abb. 8: Simulation des Eigenfelds im Querschnitt eines Roebel-Kabels.

inhomogenes Eigenfeld besitzen und infolgedessen die kritischen Ströme entlang des Kabels in den einzelnen Strands individuell variieren. Damit ist die Komplexität des supraleitenden Verhalten des Roebel-Kabels dargestellt; es besteht die technische Notwendigkeit einer moderaten Strandskopplung zum stabilen Betrieb des Kabels. Zur magnetischen Messung der Wechselstromverluste von Kabelkurzproben wurde eine Vorrichtung konstruiert und in Betrieb genommen.

Weitere Arbeiten der Materialgruppe befassten sich mit elektronenmikroskopischen Aufnahmen von Zugproben, um deren Bruchverhalten zu charakterisieren. Dabei gestattet das Bruchbild die Entscheidung über duktilen oder spröden Bruch. Die Proben sind Strukturmaterial aus dem ITER-Arbeitsprogramm (Beispiel siehe Abbildung 10).

Anwendungen in der Energietechnik

Die Arbeiten zu energietechnischen Anwendungen betrafen unter anderem die Entwicklung des Strombegrenzers im BMWi-geförderten Projekt ENSYSTROB. Aufgabe des KIT war, die Komponenten für den Strombegrenzer aus YBCO-Bandleitern als Vorstufe zur Serienproduktion beim Industriepartner NEXANS zu designen, zu bauen und zu testen. Die Arbeiten zu den Komponenten wurden in enger Kooperation mit der Indus-

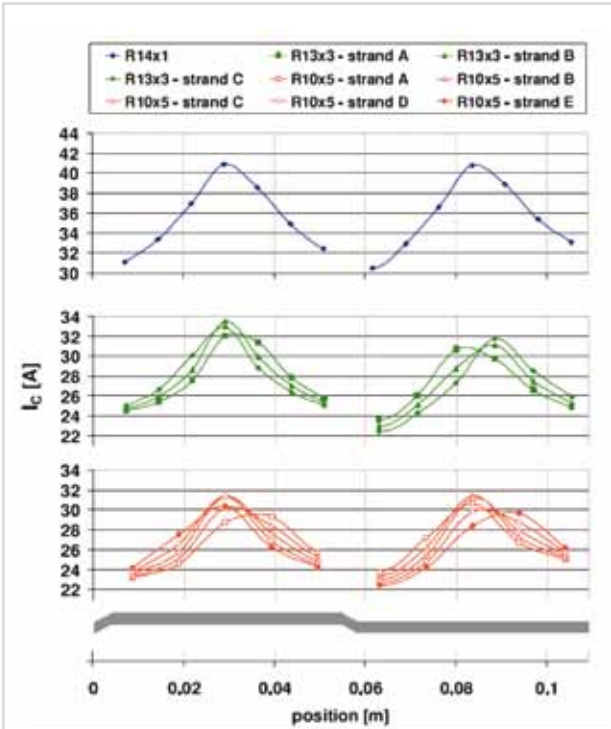


Abb. 9: Kritische Ströme entlang der Strands verschiedener Roebel-Kabel mit unterschiedlicher Strandzahl.

trie und der Universität Mannheim abgeschlossen. Mittlerweile wurde die fertige Strombegrenzeinheit hochspannungsmäßig getestet und im Kraftwerk Boxberg für den Praxistest integriert. Abbildung 11 zeigt den Entwurf der Komponenten, Abbildung 12 die Messung des Begrenzungsverhaltens der Komponenten.

Im europäischen Nachfolgeprojekt ECCOFLOW wurde ebenfalls das Design der Strombegrenzerkomponenten erstellt. Mit aufwendigen Tests wurden die Leiterspezifikationen erarbeitet; zur technischen Ausführung wurde ein innovatives Isolationsverfahren entwickelt und mit einem Patentantrag abgesichert.

Für eine innovative Testanlage VATESTA, gefördert vom BMWi, erstellte der Forschungsbereich die Vorkonstruktionen und schloss die Planung der Peripherie ab. Die Anlage soll in einem Hintergrundfeld von 5 T bei variabler Proben temperatur die Charakterisierung von Kabelproben und Komponenten bis ca. 70 cm Durchmesser gestatten. Ziel sind vor allem Wechselstromverlustmessungen im Hintergrundfeld.

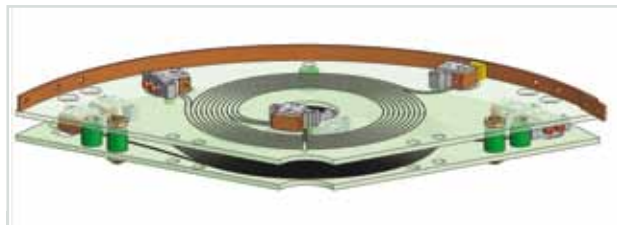


Abb. 11: CAD-Design der Strombegrenzerkomponenten des Projekts ENSYSTROB.

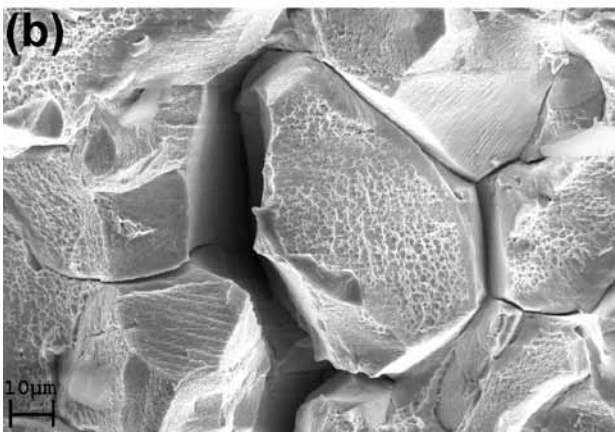
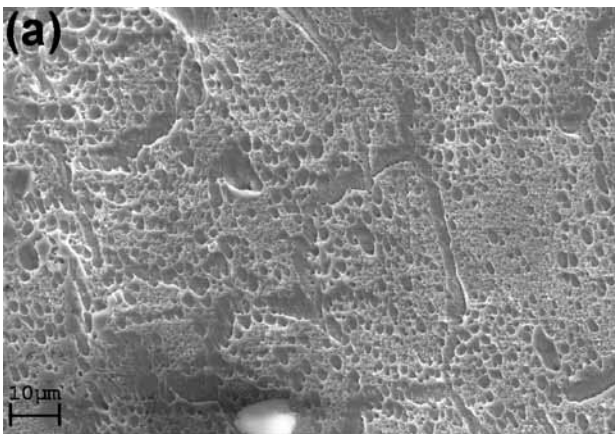


Abb. 10: Mikrostruktur einer Bruchfläche in einer Stahlzugprobe.

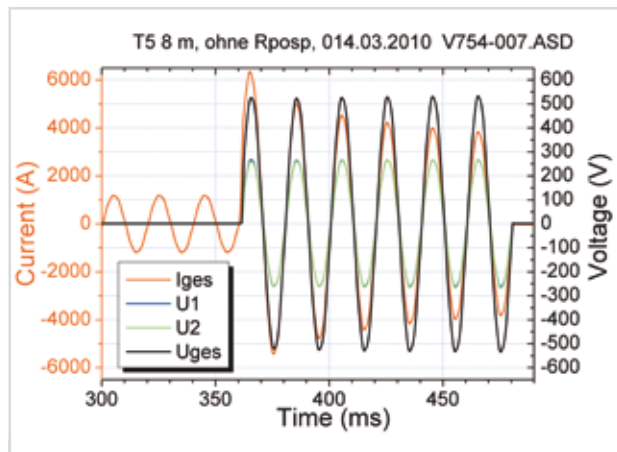


Abb. 12: Messung des Begrenzungsverhaltens der SSB-Komponenten.

Highlight

Roebel-Kabel: Der Forschungsbereich realisierte Roebel-Kabel in mittleren Längen von 2 bis 4,5 m. Die Abbildungen zeigen die vorbereiteten Strands nach dem Stanzen und der anschließenden Segmentierung in die Einzelstücke der Kabellänge. Abb. 13 zeigt die Strands, Abb. 14 die daraus hergestellten 2-m-Roebel-Kabel für den Test bei CERN in einem Hintergrundfeld eines Dipols. Mittlere Längen der Roebel-Leiter mit einer Länge von 5 m und künftig noch darüber bei einer Breite von 12 mm sind weltweit nur am KIT herstellbar. Bänder mit dieser Breite lassen sich im Querschnitt weiter expandieren für Transportströme, die eine Größenordnung höher angesiedelt sind. Die Roebel-Kabel sind interessant für den Einsatz in rotierenden HTS-Maschinen, Transformatoren und großen Magneten. Die Umsetzung komplexer Kabel in ein Großlängen-Industrieprodukt ist jedoch noch zu leisten.

Strombegrenzer: Der Forschungsbereich entwickelte und testete die Strombegrenzerkomponente für das BMWi-Projekt ENSYSTROB (Abb. 15). Dabei sind zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen: Die Anordnung muss an den gewünschten Widerstand und Strom im geschalteten Modus angepasst sein, das heißt die Leiterlänge

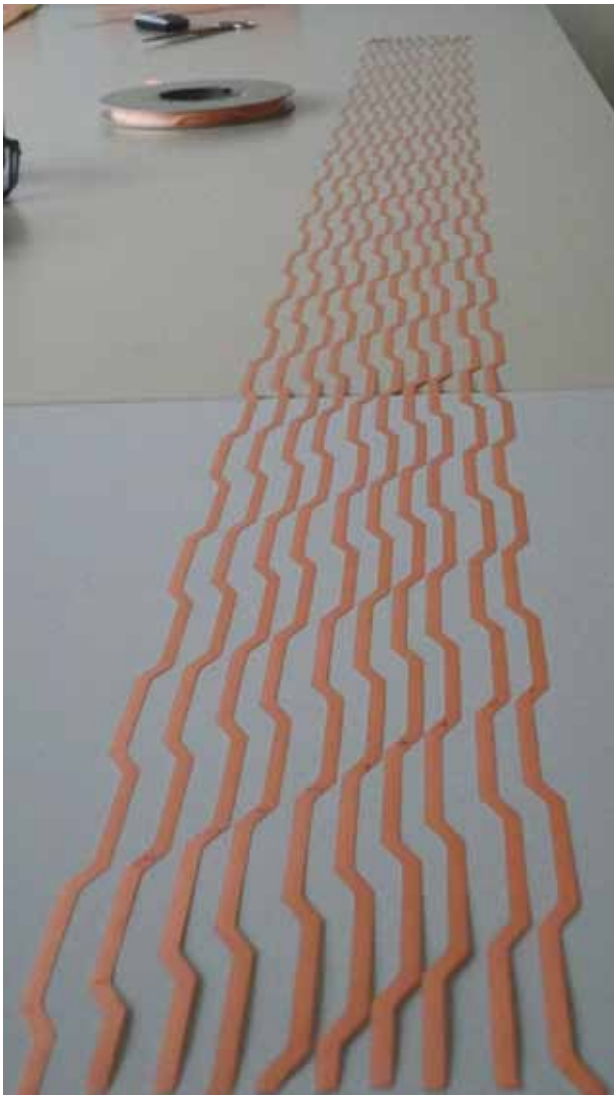


Abb. 13: Gestanzte und gelängte Strands aus HTS-YBCO-Bandleitern vor der Verseilung.



Abb. 14: Verseilte HTS-Roebel-Leiter mit zehn Strands, 2 m Länge und 12 mm Breite für Untersuchungen bei CERN.

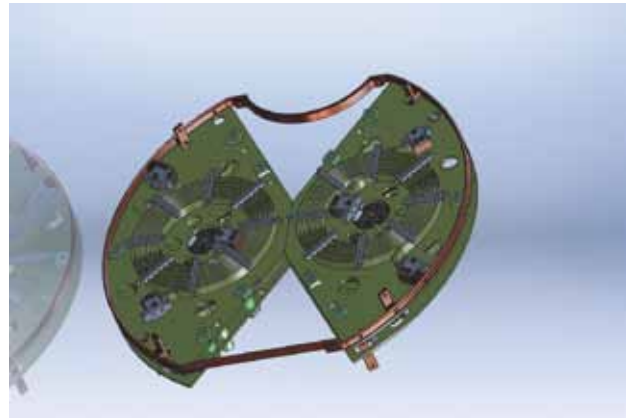


Abb. 15: Strombegrenzermodul des Projekts ENSYSTROB.

und die parallele Anzahl der Leiter. Von größter Bedeutung ist die Hochspannungsfestigkeit, um Überschläge zu vermeiden. Schließlich muss die Komponente in industrieller Serie zu ökonomischen Kosten herstellbar sein. Dies wurde durch eine enge Kooperation mit der Firma NEXANS Superconductors GmbH erreicht.

Kooperationsabkommen mit IASS: Das ITEP des KIT hat mit dem Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam ein Kooperationsabkommen geschlossen. Am IASS leitet Nobelpreisträger Professor Carlo Rubbia, früherer Direktor des CERN, die Abteilung für den Energiesektor. Ziel der Kooperation ist, mit Einbindung des CERN supraleitende Kabel für ausgesprochen große Entfernungen zu entwickeln und zu testen. Begleitende Studien sollen sich mit der Ökonomie und Funktionalität der Kabel sowie mit deren Einbindung in ein Gesamtkonzept der Erschließung erneuerbarer Energiequellen befassen. Die bekannteste Anwendung ist das DESERTEC Vorhaben, das im nordafrikanischen und nahöstlichen/arabischen Raum gewonnene Solarenergie über rund 3 000 km in die industriellen Gebiete Europas bringen soll. Abbildung 16 zeigt die Besuchergruppe des IASS vor dem ITEP.

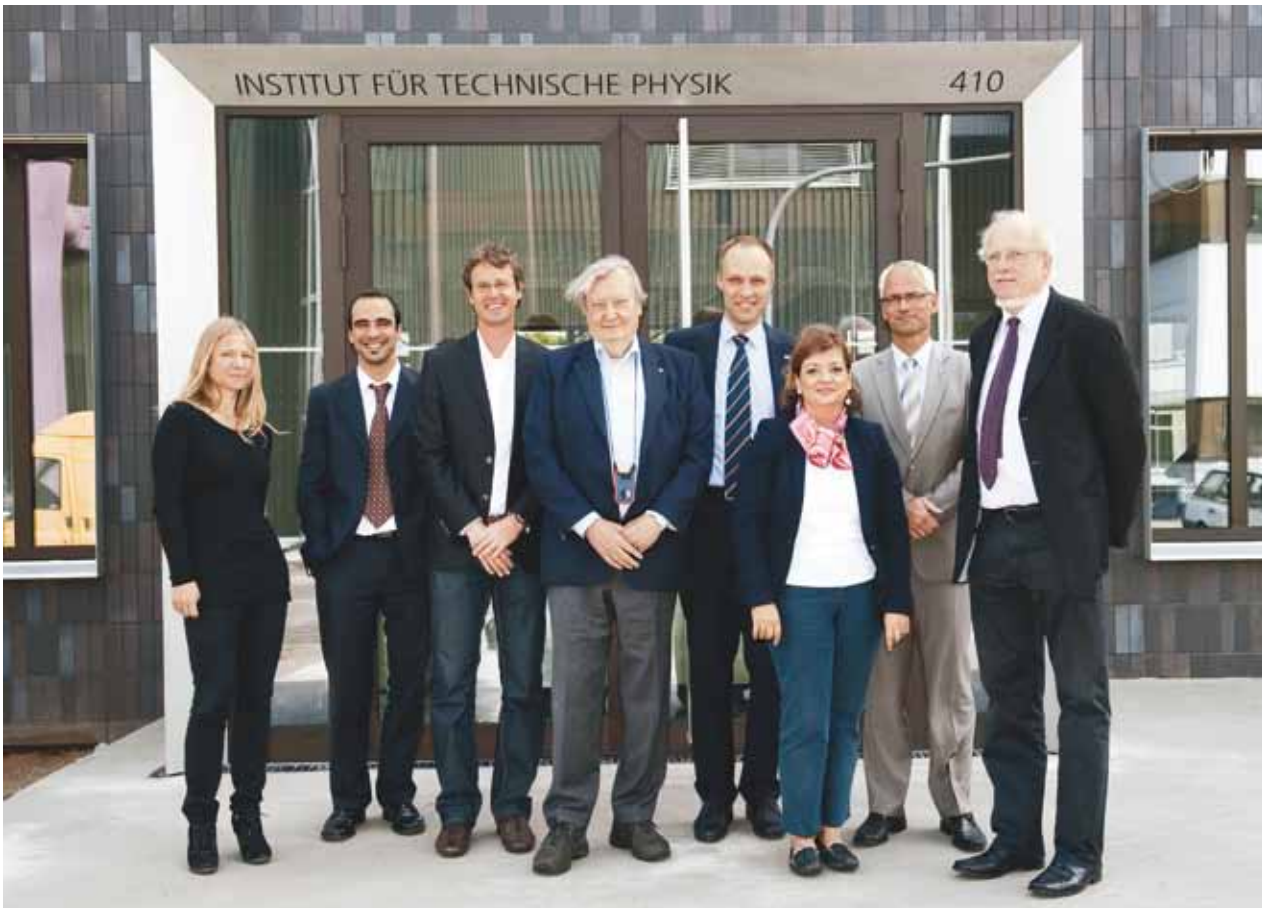


Abb. 16: Besuch des IASS im ITEP. Dr. Natalia Deniskina, Federico Bernardelli, Dr. Stefan Stückrad, Prof. Carlo Rubbia, Prof. Mathias Noe, Dr. Delia Salmieri, Dr. Joachim Knebel und Dr. Wilfried Goldacker.



*Anlieferung von 2*2,5 Gramm Tritium im November 2011. Zur Eingangskontrolle und späteren Bilanzierung wird die Aktivität mit einem TLK Kalorimeter nachgemessen. Zu sehen ist das Einsetzen des zweiten Behälters in das Kalorimeter.*

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)

Leitung: Dr. Beate Bornschein

Das Tritiumlabor Karlsruhe ist ein in Europa und Amerika einzigartiges Halbtechnikum 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 sind mehr als 15 Handschuhkastensysteme mit einem Volumen von insgesamt rund 125 m³ als Einschluss für die tritiumführenden Versuchsapparaturen verfügbar. Gründungsaufgabe und umfangreicher Arbeitsschwerpunkt des TLK ist, Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren zu entwickeln. Der zweite Schwerpunkt liegt auf dem Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Elektron-Antineutrinos. Demgemäß werden die Arbeiten zu gleichen Teilen innerhalb der Programme „Fusion“ und „Astro“ gefördert.

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). Die jungen Menschen erhalten eine hervorragende und ausgewogene Ausbildung, die neben den fachlich-wissenschaftlichen Inhalten auch die heute überall gefragten Soft Skills umfasst.

	2007	2008	2009	2010	2011
Bachelor		1			
Diplom/Master	1	2	7	9	9
Promotion	3	3	4	8	10

Abb. 1: Abgeschlossene und laufende Arbeiten im TLK.

Die folgenden Abschnitte stellen Arbeiten und Ergebnisse in den Bereichen Betrieb und Infrastruktur des TLK sowie Forschung und Entwicklung zur Fusion vor. Dem Bereich KATRIN ist ein eigenes Kapitel gewidmet.

Betrieb und Infrastruktur des TLK

Im Jahr 2011 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 das Experiment LOOPINO (siehe Kapitel über KATRIN) mit reinem Tritium versorgt. Die CAPER Anlage stellte zusätzlich spezielle Tritiumgas-mischungen 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 2011 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 24 g Tritium und reicht für die Forschungsvorhaben der kommenden zwei bis drei Jahre.

Der Schwerpunkt der Leitetechnikarbeiten 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. Nach erfolgreichem Probebetrieb über Weihnachten und den Jahreswechsel 2010/11 wurden die beiden ersten neuen Automatisierungssysteme AS3 und AS4 (Typ PCS7-AS 417) planmäßig an ihrem Teststand abgebaut und nach Rückbau der alten Systeme an deren Stelle aufgebaut und angeschlossen. Aufgrund der in dieser Phase gewonnenen Erfahrungen wurde beim Ersatz der nächsten beiden Automatisierungssysteme (AS5 und AS8, Typ PCS7-AS 417) auf die angewandte Rückfallstrategie verzichtet; die neuen Systeme wurden direkt an der endgültigen Stelle aufgebaut (siehe Abbildung 1).



Abb. 1: Aufbau der neuen Automatisierungssysteme.

Da die Systeme AS5/8 die Tritiumrückhaltung sämtlicher Experimente sowie die Anbindung wichtiger Status- und Störmeldungen an die Alarmzentrale des KIT Campus Nord gewährleisten müssen, bereitete das TLK den Umbau im Rahmen einer neunmonatigen Softwareerstellungs- und Projektierungsphase intensiv vor und forcierte ihn auch personell. So erreichte es, dass die neuen Systeme schon nach 3,5-tägigem Umbau vollständig die Funktion der alten Systeme übernahmen. Drei der alten abgebauten Teleperm M AS488 Systeme gab das TLK an den Bereich Kryotechnik des ITEP ab, wo sie die im Betrieb der Kryoplanzen befindlichen Systeme älterer Generation (TM AS235) ersetzen.

Eine weitere große Instandhaltungsmaßnahme führte das TLK in der Haustechnik aus. Die haustechnischen Anlagen für Lüftung, Kälte und Druckluft sind genehmigungsrelevant und für den sicheren Umgang mit Tritium sowie für die behördlich geforderte Tritiumbilanzierung zwingend erforderlich. Die teils über 30 Jahre alten Regeleinrichtungen waren vom Hersteller bereits länger abgekündigt, sodass ein zuverlässiger Betrieb für die nächsten Jahre nicht mehr zu gewährleisten war. In einem Bauprojekt mit externen Firmen wurde im laufenden Jahr die MSR-Steuerung der Lüftung ersetzt; sie befindet sich aktuell in der Inbetriebnahmephase. Um den Laborbetrieb aufrechtzuerhalten, lief die Anlage drei Monate mit einer provisorischen Steuerung mit eingeschränkter Funktionalität, vor allem in der Zuluftkonditionierung. Während der Umschlussarbeiten war das Labor jeweils nur für einige Stunden gesperrt. Die gesamten Arbeiten, die im Jahr 2012 mit dem Ersatz der Steuerungen für Kälte und Druckluft weiterlaufen werden, haben einen Kostenrahmen von 800 000 Euro und werden vom Betriebsbüro des TLK geplant, koordiniert und technisch unterstützt.

Analytik im TLK

Die qualitative und quantitative Analyse der sechs Wasserstoffisotopologen H_2 , HD, D_2 , HT, DT, und T_2 sowie anderer tritierter Verbindungen (beispielsweise HTO) bildet 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 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten programm- und gruppenübergreifend koordiniert und durchgeführt. In diesem Jahr konzentrierten sich diese 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)
 - Infrarot-Spektroskopie an flüssigen Wasserstoffisotopologen (siehe unten)
 - Anwendung der Flüssigszintillation als Inline-Methode zur Bestimmung des Tritiumgehalts von Wasser
- Parallel zu den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden Kalorimeter, Ionisationskammern und Gaschromatographen sowie bestehende Kalibrierverfahren weiter optimiert. Die genannten Instrumente werden standardmäßig genutzt und bilden das Rückgrat der Analytik im TLK.

Forschung und Entwicklung für ITER

Die aktuellen Arbeiten für den Tritiumkreislauf des experimentellen Fusionsreaktors ITER konzentrieren sich

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

Die TRENTA Anlage im TLK besteht, wie künftig das ITER System, aus den beiden Teilsystemen WDS und ISS. In der WDS wird der bekannte Combined Electrolysis Catalytic Exchange (CECE) Prozess zur Rückgewinnung von Tritium aus tritiiertem Wasser eingesetzt. Die beiden Hauptsysteme des CECE Prozesses sind zum einen zwei Elektrolyse-Einheiten mit einer Gesamtkapazität von 2 m³/h Wasserstoffgas und zum anderen eine 8 m lange Liquid Phase Catalytic Exchange (LPCE) Kolonne. Neben der Rückgewinnung des Tritiums ist die Dekontamination des erzeugten Wasserstoffstroms vor Abgabe in die Umwelt eine Hauptaufgabe der WDS. Dazu muss das TLK einen Dekontaminationsfaktor in der Größenordnung von 10⁴ bis 10⁵ gewährleisten. Aufgrund der höheren Aktivitätskonzentrationen in ITER ist für das endgültige Design der WDS eine Abreicherung von bis zu 10⁷ erforderlich. Zur Trennung der Wasserstoffisotopen dient die kryogene Destillation bei Temperaturen von -253 °C und -247 °C. Sie macht sich die Tatsache zunutze, dass die verschiedenen Spezies (H_2 , HD, D_2 , HT, DT, T_2) unterschiedliche Siedetemperaturen haben.

Die diesjährigen Arbeiten konzentrierten sich auf die WDS. Im Rahmen eines Tasks der europäischen Agentur „Fusion for Energy“ (F4E) untersuchte das TRENTA Team die Leistungsfähigkeit der eigenen WDS, um die Auswirkungen von Druck, Temperatur, Durchflussraten und Konzentrationen auf den Dekontaminationsfaktor zu ermitteln. Ein weiterer Einflussfaktor, der eine entscheidende Rolle für das ITER System spielt, ist der Deuteriumgehalt im tritiierten Prozesswasser. Sein Einfluss wurde in zwei jeweils dreiwöchigen Experimentierkampagnen mit Deuteriumkonzentrationen von bis zu 100 % und einer Aktivitätskonzentration von etwa 5 Bq



Abb. 2: Blick auf einen Teil der TRENTA Anlage. Die Handschuhbox bildet die Verbindung zwischen WDS und ISS.

pro Liter untersucht. Mit zunehmender Deuteriumkonzentration nahm der Dekontaminationsfaktor um ein bis zwei Größenordnungen ab. Die hohe Verfügbarkeit der WDS im TLK erlaubte es, eine Kooperation mit JET (Joint European Torus) zu vereinbaren, um zu beweisen, dass die WDS des TLK tritiiertes Wasser, wie es bei JET in größeren Mengen als Abfall anfällt, erfolgreich prozessieren kann. Dazu wurden ca. 200 kg tritiiertes Wasser vom JET in der TLK WDS verarbeitet. Die experimentelle Demonstration erzielte eine Volumenreduktion des Abfallwassers um den Faktor 30. Das Abfallwasser gab das TLK danach an JET zurück.

Parallel zu den Messkampagnen mit der WDS trieb das TLK die Arbeiten zur verfahrenstechnischen Zusammenführung der WDS und der ISS zur TRENTA Gesamtanlage („TRENTA4“) voran (siehe auch Abbildung 2). Die Tätigkeiten konzentrierten sich auf die verfahrenstechnischen, elektrotechnischen sowie leittechnischen Arbeiten. Nach der Inbetriebnahme von TRENTA4 wird das TLK im nächsten Jahr wichtige experimentelle Versuche im Hinblick auf mögliche ITER Szenarien ausführen. Gleichzeitig wird die TRENTA Anlage als Teil der TLK Tritiuminfrastruktur künftig tritiiertes Abfallwasser des TLK prozessieren und damit den geschlossenen Tritiumkreislauf des TLK vervollständigen.

Eine laufende Aufgabe innerhalb des TRENTA Projekts ist, analytische Methoden zur Bestimmung der Wasserstoffisotope (H, D, T = Q) in der Gas- und Wasserphase zu entwickeln und weiterzuentwickeln. So wurden bereits bestehende Methoden, wie die Quadrupol-Massenspektrometrie zur Online-Messung von Q_2 in der Gasphase oder die Infrarot-Spektroskopie zur Messung von Deuterium in Wasser, weiterentwickelt und den gegebenen Bedingungen und Bedürfnissen angepasst. Weiterhin untersucht das TLK die Verwendbarkeit von Infrarotsignalen für die Analyse von flüssigem H_2 , D_2 , T_2 , HD, HT und DT. Dazu plant es aktuell ein neues Experiment.

Blanket- und Tritiumtechnologie

Innerhalb des Programms „Fusion“ stellt, was den zukünftigen Demonstrationsfusionsreaktor DEMO betrifft, die Rückgewinnung von Tritium aus dem Brutblanket eine große technische Herausforderung dar. Um praktische Erfahrung zu sammeln, testet das TLK in einem ersten Schritt verschiedene Konzepte an dem im Aufbau befindlichen experimentellen Fusionsreaktor ITER.

Das TLK hat in den vergangenen zwei Jahren wesentlich zu einem intensiven Prozessreview der betreffenden Systeme beigetragen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Frage, wie sich der Prozess vereinfachen lässt, um ihn zuverlässiger und robuster zu machen, und wie sich die Tritiumbilanzierung im Blanketprozess umsetzen lässt. Den Stand der Forschung erörtert der Abschnitt zum TLK Highlight am Ende dieses Kapitels.

Parallel zu diesen Arbeiten setzte das TLK die Untersuchungen über die Detritiierung von hochtritiiertem Wasser (HTW) fort. Eine der ersten Sicherheitsstudien für ITER hatte die Notwendigkeit betont, ein zusätzliches System zu installieren, das HTW (bis 1,4 MCi/kg) detritieren kann. Einem möglichen Lösungsweg, die Detritiierung mit einem Membranreaktor (PERMCAT), untersucht das TLK derzeit experimentell in 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 tritiierte Wasser in einem Gegenstromverfahren mithilfe von Wasserstoff durch Isotopenaustausch detritiiert. In der bereits 2009 eingeführten ersten Stufe (Abbildung 3, a) wurde ein Metalloxidreaktor (MOR) verwendet, um das hochtritiierte Wasser zu erzeugen. Da ein MOR nach Gebrauch als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss, suchte das TLK nach einer günstigeren, abfallfreien Lösung – und fand sie mit der Verwendung eines Mikro-Kanalreaktors auf katalytischer Basis (μ CCR) (Abbildung 3, c). Das in Abbildung 3 dargestellte Molekularsieb (MSB) dient dazu, das tritiierte Wasser zwischenzeitlich sicher zu speichern. Durch Erhitzen lässt sich dieses wieder freisetzen.

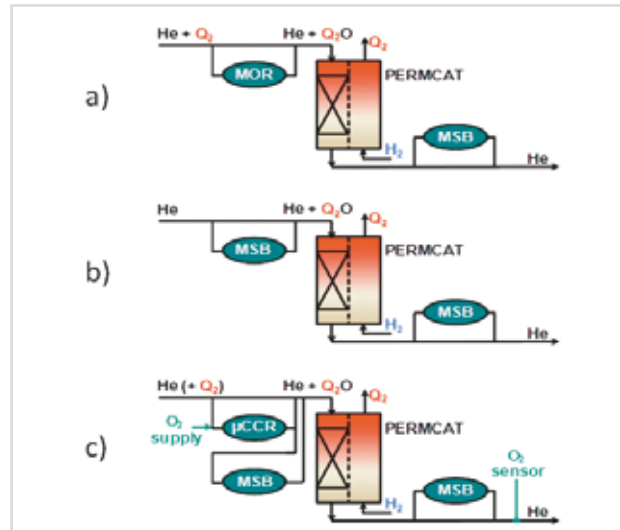


Abb. 3: Schrittweise Annäherung an das Prozessieren von hochtritiiertem Wasser (HTW) für ITER. MOR steht für Metalloxidreaktor, MSB für Molekularsieb, μ CCR für Mikro-Kanalreaktor auf katalytischer Basis.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu konzentrierten sich 2011 auf die Charakterisierung der Molekularsiebe und den Test des vom Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) hergestellten Mikroreaktors. Abbildung 4 zeigt, dass die Wasserdesorptionsrate eines Molekularsiebs sich durch die Variation der Temperatur kontrollieren lässt und dass der PERMCAT das Tritium aus dem Wasser signifikant (grüne Linie) entfernen kann.

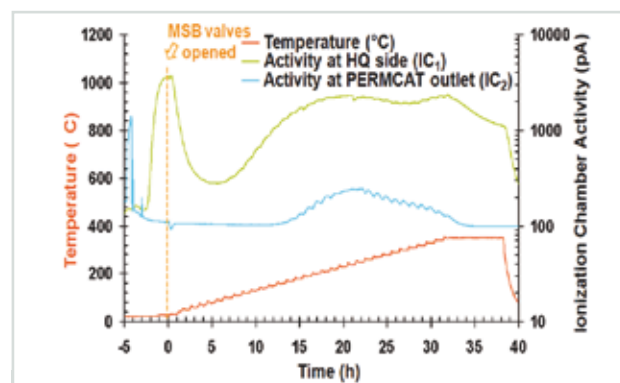


Abb. 4: Tritiumkonzentrationen an den zwei Ausgängen des PERMCATs. Die grüne Linie entspricht dem Tritium, das zurückgewonnen wurde, die blaue Linie der restlichen Tritiumkonzentration im Wasser.

Highlight 2011: Membranen und katalytische Membranreaktoren zur Tritiumprozessierung in Brutblankets von Fusionsreaktoren

Die zukünftigen Fusionsreaktoren sollen mit einer Brennstoffmischung aus Deuterium (D) und Tritium (T) betrieben werden. Sie benötigen sogenannte Blankets, auch Brutblankets genannt, in denen das Tritium durch eine Kernreaktion aus Lithium erzeugt wird. Dazu werden Neutronen aus dem eigentlichen Fusionsprozess verwendet. Der Brennstoff Tritium muss möglichst schnell und vollständig aus dem Blanket gewonnen und daraufhin 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. Die aktuell für die ITER Testblanketmodule (TBM) verfolgten Konzepte entsprechen diesen Anforderungen offensichtlich nicht. Denn die verfahrenstechnischen Prozesse zum Gewinnen des Tritiums basieren sozusagen auf verschiedenen Fangvorrichtungen, zu denen Molekularsiebe für tritiiertes Wasser und Metallgitterbetten für molekulares Tritium gehören. Die Verwendung solcher Vorrichtungen führt zu einer Immobilisierung von Tritium und damit zu einem unnötigen Aufbau von Tritiuminventaren in der Anlage. Ein weiterer Nachteil ist der Zwang zu einem diskontinuierlichen Arbeiten (Absorption, Desorption) mit unterschiedlichen Temperaturen und unter Verwendung von Spülgas, was wiederum zu einer Verdünnung des Prozessgases führt. Außerdem sind die Gasdurchsätze im ITER Testblanketmodul um einen Faktor 1 000 geringer als später in einem DEMO Blanketmodul. Das TLK hat daher vor einiger Zeit mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten begonnen, um fortschrittliche Konzepte zum Gewinnen des Tritiums aus dem Brutblanket unter den für DEMO relevanten Bedingungen zu erarbeiten und später im Labormaßstab technisch zu verwirklichen.

Aktuell verfolgt das TLK das Konzept der verfahrenstechnischen Kombination von Membranen und dem PERMCAT (siehe Abbildung 5). Eine solche Kombination zeigt viele Vorteile: konstante Temperaturen und Drücke, kontinuierliche Prozessierung und minimale Tritiuminventare. Der PERMCAT Prozess, den das TLK seit mehr als 15 Jahren erfolgreich einsetzt, kann Tritium aus den verschiedenen chemischen Formen, wie sie in einem Brutblanket auftreten, abseparieren. Der Prozess gewinnt das Tritium höchst effizient in reiner molekularer Form als T_2 , DT oder HT und kann es damit direkt dem inneren Brennstoffkreislauf eines Reaktors zur Verfügung stellen. Da die Konzentration des Tritiums im Spülgas äußerst gering sein wird (ppm-Bereich), wird ein zweistufiger Prozess diskutiert, bei dem das Gas vor Eintritt in den PERMCAT noch mithilfe einer Membrane aufkonzentriert wird. Als geeignete Kandidaten für solche Membranen gelten Zeolithmembranen, die tritiumkompatibel sind und vielversprechende Eigenschaften besitzen. Nach einem ausführlichen Literaturstudium, einer Marktrecherche und einer Studienarbeit in Zusammenarbeit mit Professor Matthias Kind vom Institut für Thermische Verfahrenstechnik (TVT) des KIT hat die Blanketgruppe des TLK vor rund zwei Jahren mit dem Test solcher Membranen begonnen. Die erforderlichen Testapparaturen wurden und

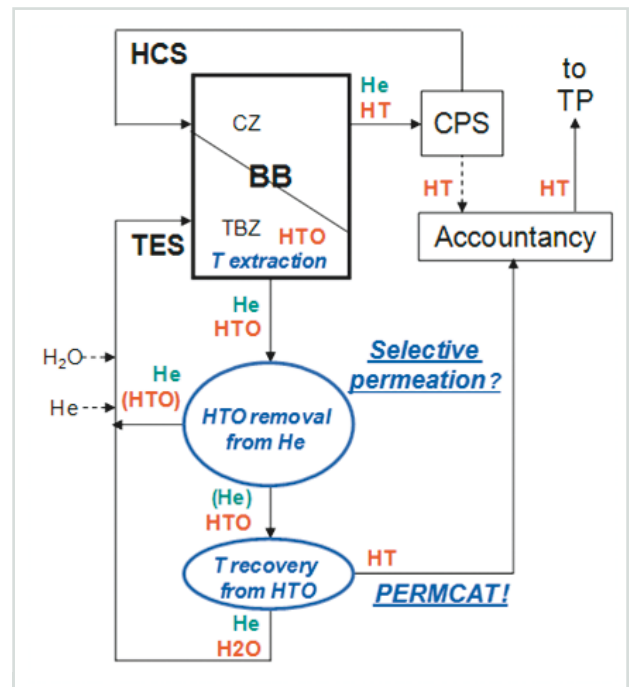


Abb. 5: Konzept für die Tritiumextraktion aus einem Festkörper-Brutblanket, bestehend aus zwei Stufen. (BB: Brutblanket; TES: Tritiumextraktionssystem; HCS: Heliumkühlsystem; CPS: Kühlreinigungskreislauf; TP: Anlage für inneren Brennstoffkreislauf).

werden im Rahmen von Doktor- und Masterarbeiten im TLK aufgebaut und betrieben.

Die folgenden Abschnitte stellen den Stand der Arbeiten am PERMCAT Prozess und bei den Membrantests dar.

Forschung und Entwicklung mit dem PERMCAT

Die Forschungsarbeiten mit dem PERMCAT konzentrieren sich aktuell auf zwei experimentelle Programme. Ein Fokus liegt auf Experimenten mit Tritium in der CAPER Anlage, die einen PERMCAT Reaktor als dritte Prozessstufe eingebaut hat. Diese Experimente sind momentan eng korreliert mit den im TLK Hauptkapitel vorgestellten Arbeiten an hochtritiiertem Wasser. Ziel ist, Erfahrung in der Handhabung und Prozessierung von hochtritiiertem Wasser zu gewinnen, um das Konzept für die Tritiumextraktion aus dem Blanket zu optimieren. Ein zweiter Fokus liegt auf der Herstellung von PERMCAT Reaktoren im technischen Maßstab, die deutlich größer sind als die bisher eingesetzten Reaktoren. In Zusammenarbeit mit der Hauptwerkstatt des KIT Campus Nord stellte das TLK den bis jetzt größten PERMCAT in verbesserter Geometrie her und nahm ihn in Betrieb (siehe Abbildung 6). Mit diesem PERMCAT werden zukünftig intensive Parameterstudien durchgeführt werden.

Begleitet werden die Experimente von Modellrechnungen in Zusammenarbeit mit Professor Munakata von der Akita Universität in Japan. Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung von radialen Phänomenen und dem damit verbundenem Übergang von einem eindimensionalen Modell zu einem zweidimensionalen. Die Fähigkeit, einen PERMCAT zu simulieren, ist unbedingt erforderlich, um ihn für die unterschiedlichen Bedingungen im Brennstoffkreislauf eines Fusionsreaktors auszuliegen.

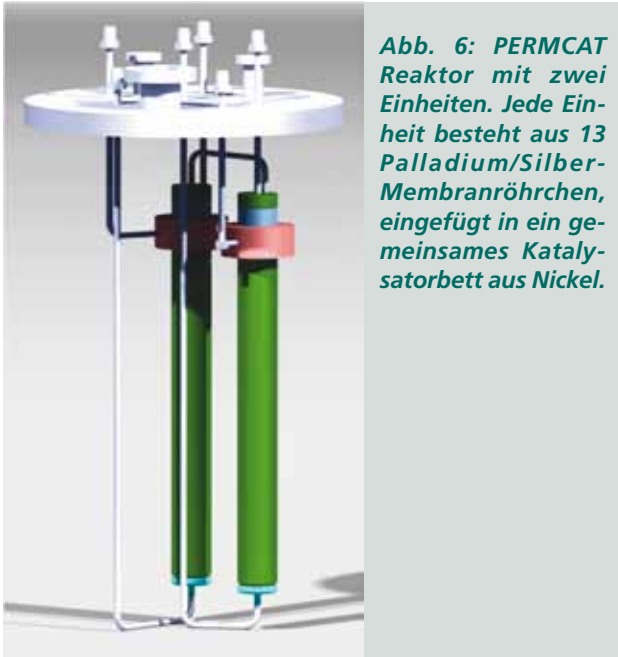


Abb. 6: PERMCAT Reaktor mit zwei Einheiten. Jede Einheit besteht aus 13 Palladium/Silber-Membranröhrchen, eingefügt in ein gemeinsames Katalysatorbett aus Nickel.

Forschung und Entwicklung mit den Zeolithmembranen

Weil experimentelle Daten noch nicht vorlagen, startete die Blanketgruppe des TLK ein spezielles experimentelles Programm, um sowohl die Verwendbarkeit der Zeolithmembranen für die Fusionsanwendung zu zeigen als auch die gewünschten Daten zu ermitteln.

Die erste im TLK getestete Zeolithmembran ist eine Nanokompositmembran vom Typ MFI, hergestellt von der Firma Ircelyon in Frankreich (siehe Abbildung 7). Die Herstellung geschieht durch Pore-Plugging einer Hohl-faserfaser aus α -Aluminium (Länge 150 mm, Außendurchmesser 1,65 mm und Innendurchmesser 1,44 mm), die den nanokompositen Support darstellt. Die Technik des Pore-Plugging erlaubt die Herstellung von sehr dünnen ($<1 \mu\text{m}$), defektfreien und mechanisch stabilen (Membran-)Lagen, die eine hohe Selektivität und Permeabilität aufweisen sollten.

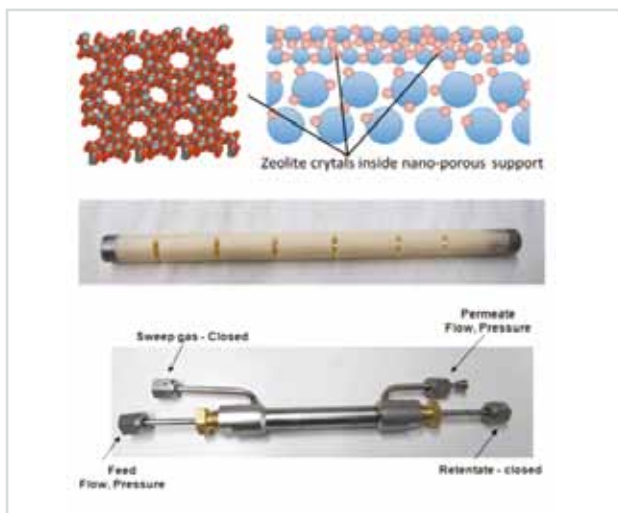


Abb. 7: MFI Zeolithkristalle, eingebaut in ein poröses Substrat (oben), Hohlfasermembran im Inneren eines Membranhalters (Mitte), Membranmodul-Konfiguration für die Testmessungen (unten).

Genau dies wurde in einer ersten Experimentierphase mit Helium (He) und Wasserstoffgas (H_2) überprüft. Zuerst wurden die Permeationsraten für He und H_2 im sogenannten Dead-End-Mode, das heißt mit geschlossenem Retentatenausgang gemessen und dann mit den gerechneten Werten verglichen. Die Ergebnisse (siehe Abbildung 8) zeigen, dass die Permeationsraten mit steigender Temperatur etwas abnehmen und dass die Wasserstoffpermeation bei niedrigen Temperaturen um rund einen Faktor zwei größer ist als die von Helium. Das TLK entwickelte ein Modell, basierend auf Oberflächen-diffusion, Activated Gas Translation Diffusion und Literaturwerten, um die experimentellen Werte zu überprüfen. Der Vergleich (Abbildung 8) zeigt, dass errechnete und gemessene Werte weitgehend übereinstimmen.

Diese ersten Ergebnisse ermutigen zur Fortsetzung der Arbeiten. Als nächster Schritt sind Messungen mit Gas-mischungen geplant, darunter das für die Blanketfrage so wichtige Wasserdampf-Helium-Gemisch. Außerdem sollen weitere Membrantypen auf ihre Brauchbarkeit untersucht werden.

Parallel zum experimentellen Programm entwickelt das TLK momentan ein numerisches Werkzeug, das einen Mehrstufenpermeationsprozess simulieren soll. Es wird dazu dienen, optimierte Eingabeparameter (Anzahl der Stufen, Drücke, Membranfläche, Tritiumabseparation und Tritiumanreicherung) für einen Mehrstufenprozess vorzugeben. Endgültiges Ziel ist, eine technische Anlage für den Betrieb in DEMO auszulegen.

Tritiumanalytik für ITER Testblanketmodule

Da die in den Testblanketmodulen von ITER produzierte Tritiummenge von großer Bedeutung für die weitere Auslegung von DEMO ist, gilt es sicherzustellen, dass das Tritium bilanztechnisch vollständig erfasst wird. So verglich das TLK in einem ersten Brainstorming die verschiedenen analytischen Methoden und Strategien (statisch, dynamisch, chemische Konversion etc.) und bewertete sie im Hinblick auf die ITER-Anforderungen. Das TLK favorisiert nun eine dynamische Nachweismethode mit Ionisationskammern und Durchflussmessern, allerdings ohne dass auf Gaschromatographen völlig verzichtet werden soll. Zu erwarten ist letztendlich eine Genauigkeit von 5 %. Der experimentelle Nachweis steht allerdings noch aus.

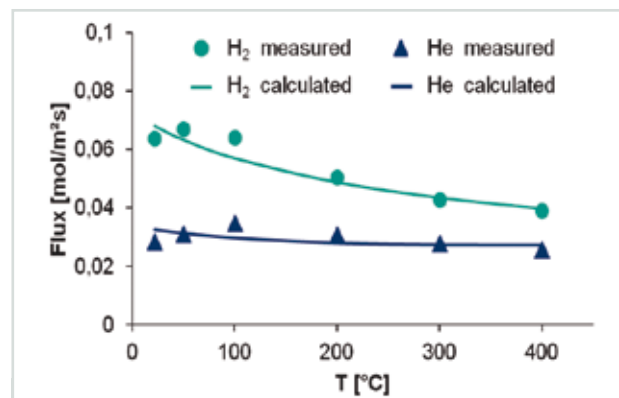


Abb. 8: Einzelgasexperimente mit einer MFI Membran. Dargestellt ist der Permeationsfluss durch die Membran als Funktion der Temperatur für H_2 und He. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und errechneten Werten.



Der Ofen für die neue Beschichtungsanlage wird aufgestellt.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Nach wie vor sind Vakuumsysteme für die Kernfusion Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Vakuumtechnik. Die Erarbeitung des Detaildesigns der Kryopumpen für Torus und Neutralteilchenheizung und die dabei erforderlichen Iterationen mit ITER und der europäischen Fusionsagentur Fusion for Energy (F4E) beanspruchten im Jahr 2011 den Großteil der vorhandenen Ressourcen. Dennoch begann der Bereich in diesem Jahr auch mit dem Übergang vom ITER Programm zum DEMO Programm, das heißt mit der Entwicklung eines leistungsfähigen Fusionsreaktors. Mittelfristig werden die Entwicklung passender Vakuumsysteme für DEMO und die dazugehörige Modellierung des gesamten Brennstoffkreislaufs in den Mittelpunkt der Arbeiten für die Fusion rücken.

ITER Torus-Kryopumpen

Schon seit 2009 entwickelt das Designteam im Bereich Vakuumtechnik für F4E bzw. ITER das komplette Detaildesign der Torus-Kryopumpen. Um ITER im Lizenzierungsprozess mit der französischen Aufsichtsbehörde entsprechend zu unterstützen, waren 2011 aufwendige mechanische und thermische Simulationen notwendig. Das Team führte umfangreiche FEM-Rechnungen durch, um nachzuweisen, dass das Design in allen Lastfällen (inklusive seismischer Ereignisse) den Anforderungen der EN13445 entspricht. Außerdem analysierte es Unfallszenarien, wie die Konsequenzen eines Lufteinbruchs und der damit verbundenen Wärmelasten für die kryogenen Kreisläufe. Dabei wiesen die Wissenschaftler nach, dass bei geeigneten Sicherheitsarmaturen die auftretenden Druckspitzen in den Kreisläufen die erlaubten Werte nicht überschreiten.

Die Pumpe im endgültigen Design ist zylindrisch (2054 mm Länge, 1776 mm Durchmesser); das thermische Schildsystem wird mit kaltem Helium bei 80 K ge-

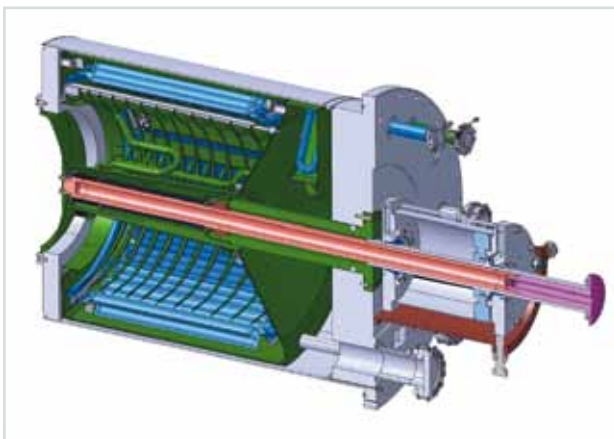


Abb. 1: Endgültiges Design der Prototyp-Torus-Kryopumpe.

kühlt, das aktivkohlebeschichtete Kryopanelsystem wird im Betrieb mit superkritischem Helium auf 4,5 K gekühlt. Das Kryopanelsystem stellt eine pumpende Oberfläche von mehr als 11 m² zur Verfügung, wodurch sich Saugvermögen von 75 m³/s realisieren lassen. Abbildung 1 zeigt das Endergebnis. Zu sehen sind die Hauptbaugruppen: das Einlassventil, die thermischen Schilde (grün) und die Kryopaneln (hellblau).

Das weitere Entwicklungsprogramm des Torus-Kryopumpensystems für ITER sieht vor, einen Prototyp der Kryopumpe zu bauen und in der Anlage TIMO-2 am ITEP gründlich zu prüfen. Basierend auf dem nun endgültigen Pumpdesign bereitet F4E derzeit die Ausschreibung zur Herstellung des Prototyps vor. Die derzeitigen Planungen gehen von einer Lieferung in der zweiten Jahreshälfte 2013 aus.

ITER NBI Kryopumpen

Der Bereich Vakuumtechnik ist auch für das Design der Kryopumpen der ITER Neutralteilchenheizung (NBI) verantwortlich. 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 Testbett MITICA in Padua/Italien durchgeführt werden. Die dafür notwendigen Anpassungen im Design der ITER Kryopumpe nimmt ebenfalls der Bereich Vakuumtechnik des ITEP vor.

Die NBI Kryopumpen zeichnen sich durch ihre beeindruckende Größe aus (jeweils bis zu 8 m lang; 2,5 m hoch); sie bestehen aus einer Serie von acht Pumpmodulen.

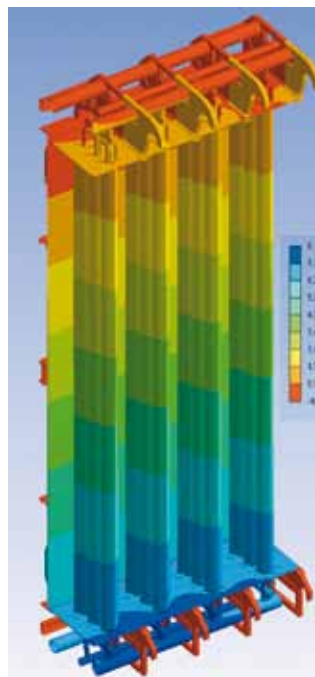


Abb. 2: Ein Modul der NBI Kryopumpe. Ausdehnung in Vertikalrichtung beim nominalen 80 K/4 K-Betrieb.

Die mechanische Strukturanalyse wurde 2011 für ein separates Pumpmodul erfolgreich abgeschlossen (Abbildung 2); die Übertragung auf die gesamte Pumpe muss noch geleistet werden.

Das Konzept der Kryopaneln wurde 2011 komplett überarbeitet, nachdem die thermischen Analysen gezeigt hatten, dass bei den im NBI erwarteten Wärmelasten – vor allem durch die von der Ionenquelle freigesetzten Elektronen – zu hohe Temperaturen an den Kryopaneln aus Edelstahl herrschen, nämlich über 20 K. Im neuen Konzept wird das Wärmeleitungsverhalten der Panelrippen nun dadurch verbessert, dass das schlecht leitende Edelstahlbasismaterial mit einer gut leitenden Kupferschicht bedeckt wird. Damit ergeben sich wieder akzeptable Temperaturen von unter 7 K (Abbildung 3).

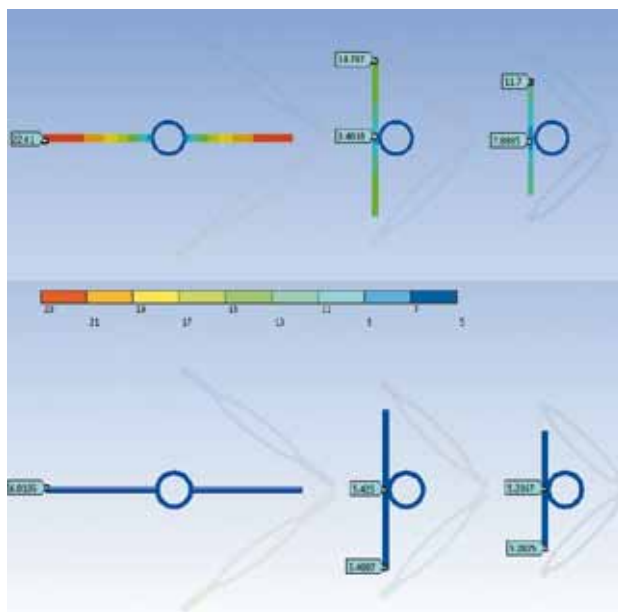


Abb. 3: Simulationen zum Temperaturprofil (in K) an den Rippen der NBI Kryopaneln. Oben mit reinem Edelstahl, unten mit Kupfer beschichtet (Schichtdicke 0,5 mm).

Die Designarbeiten für die NBI und MITICA Kryopumpen werden voraussichtlich im kommenden Jahr abgeschlossen sein.

Aktivkohlebeschichtung

Die Kryopaneln für Torus- und NBI Kryopumpen – zunächst die Prototypen, dann die Serienpumpen – werden am KIT nach einer im Bereich Vakuumtechnik des ITEP entwickelten bewährten Technologie mit Aktivkohle beschichtet. Zur Vorbereitung dieses großen Arbeitspakets mit rund 1 000 Kryoflächen wurde eine neue Beschichtungsanlage konzipiert und in diesem Jahr weitestgehend aufgebaut (Abbildung 4). Sie funktioniert halbautomatisch, das heißt die Beschichtung geschieht von Hand, die Beschichtung automatisch, um eine reproduzierbare Qualität zu gewährleisten. Das Funktionsprinzip wurde in einer kleineren Anlage in den vergangenen Jahren optimiert und zur Serienreife entwickelt.

Vakuumsysteme für DEMO

Innerhalb des europäischen Fusionsprogramms startete 2011 eine neue Aktivität mit dem Ziel, in den nächsten Jahren ein belastbares Konzept für DEMO zu erarbei-



Abb. 4: Die neue Beschichtungsanlage entsteht.

ten, ein Demonstrationsfusionskraftwerk der 2 GW(el) Klasse mit Pulsweiten von mehreren Stunden. In einem ersten Schritt wurden alle technologischen Systeme von ITER einer sorgfältigen Reifepfung unterzogen, um herauszufinden, ob und inwieweit sie zur Extrapolation auf DEMO taugen. Die Abteilung Vakuumtechnik hat diese Aufgabe für den Bereich Vakuum und Brennstoffzufuhr federführend übernommen.

Die Prüfung ergab, dass eine reine Extrapolation des ITER Brennstoffkreislaufs auf DEMO Verhältnisse nicht sinnvoll ist. Dies hängt im Wesentlichen mit der diskontinuierlichen Fahrweise der Kryopumpen zusammen. Bei den langen Pulsdauern von DEMO würden sie zum Aufbau hoher Tritiuminventare und langer Prozessierungszeiten des zyklisierten Brennstoffs führen. Eine Hauptaufgabe im DEMO Entwicklungsprogramm wird es daher sein, eine Pumplösung für das Divertorabgas zu entwickeln, die kontinuierlich arbeitet und kein Kryogen erfordert. Darüber hinaus bedarf es einer Möglichkeit, divertornah den unverbrannten Wasserstoff zu extrahieren und dem Reaktor direkt zuzuführen.

Ein erstes Konzept dazu wurde 2011 entwickelt. Es besteht aus drei Pumpstufen. Zur Separation werden Metallfolien verwendet, die nur für atomaren Wasserstoff durchlässig sind und dadurch auch eine gewisse Kompression erzielen. Als Hochvakuumpumpe wird eine Diffusionspumpe eingesetzt, die mit Flüssigmetallen betrieben wird, um tritiumverträglich zu sein. Als mechanische Pumpe zur Kompression bis Umgebungsdruck wird schließlich eine Flüssigkeitsringpumpe verwendet, die sich ebenfalls mit Flüssigmetallen betreiben lässt.

Dieses Konzept soll in den nächsten Jahren schrittweise experimentell validiert werden. Dazu wird derzeit die Anlage THESEUS (Test Facility for Helium Separation Units) aufgebaut. Der erste Ausbauschritt wurde 2011 realisiert (Abbildung 5). Dies geschah mit Ansbuchmitteln der KIT Start-up-Initiative.

Netzwerke

Das Europäische Netzwerk VACU-TEC für Vakuumtechnische Entwicklungen auf dem Gebiet der Fusion gründete sich mit einem Treffen am KIT (Abbildung 6). Der Leiter der Vakuumabteilung des ITEP agiert auch als Koordinator dieses Netzwerks, dem fünf Assoziationen und fünf junge Trainees angehören.



Abb. 5: Das THESEUS Aufbauteam bei der Einweihung (oben). Blick auf die Quecksilberdiffusionspumpe im Betrieb (unten).



Abb. 6: Das VACU-TEC Netzwerk bei seinem Gründungstreffen.

Im Rahmen von VACU-TEC etabliert der Bereich einen neuen Arbeitsschwerpunkt. Dabei geht es zum einen um die quantitative Untersuchung und Vorhersage der Gasabgabe von Materialien im Vakuum. Zum anderen gilt es, einen Standard zur Kalibrierung von Massenspektrometern zur genauen Messung der Zusammensetzung des Restgases im Vakuum zu entwickeln. Diese Arbeiten sind in ein weiteres Netzwerk eingebettet: das Europäische Metrologieprogramm EMRP.



Abb. 7: Die IUVSTA, internationale Dachorganisation der nationalen Vakuummgesellschaften, unterstützte den Workshop als Hauptsponsor.

Highlight: Workshop zur Vakuumgasdynamik

Wissenschaftliches und auch soziales Highlight des Jahres 2011 war ein internationaler Workshop über Anwendungen der Gasdynamik in der Vakuumwissenschaft und Vakuumtechnik, den der Bereich Vakuumtechnik des ITEP vorbereitete und ausrichtete.

Anlass für den Workshop waren die beeindruckenden Fortschritte der vergangenen Jahre in der konsistenten Modellierung von Vakuumströmungen in einem weiten Bereich der Knudsen-Zahl, von der Kontinuumsströmung über die Übergangsströmung bis hin zur freien molekularen Strömung. Dieses Thema ist eines der Schlüsselgebiete der modernen Vakuumtechnik, sodass die Veranstaltung von der IUVSTA, der internationalen Dachorganisation der nationalen Vakuummgesellschaften, als Hauptsponsor unterstützt wurde. Das trug zu einer exzellenten Sichtbarkeit in der weltweiten Fachwelt bei.

Die Veranstaltung brachte Vakuumwissenschaftler mit eher mathematisch orientierten Grundlagenphysikern sowie Anwendern aus der Industrie zusammen. Ursprünglich war der Workshop für rund 40 Personen geplant, doch die Resonanz war so groß, dass das Tagungshotel ausgebucht war. Insgesamt kamen 60 Wissenschaftler aus 19 Ländern, unter ihnen die weltweiten führenden Experten auf diesem Gebiet. Alle Beiträge des Workshops sind einzusehen unter <http://www.itep.kit.edu/VGD-2011>

Der Workshop umfasste neun Sitzungen. Deren Themen reichten von Anwendungen in großen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wie Fusion und Teilchenbeschleuniger über experimentelle und numerische Untersuchungen bis hin zu industriellen Fragen bei Vakuumkomponenten- und Pumpenherstellern. Dank der kurz gehaltenen Einzelbeiträge – jeweils 15 Minuten – blieb der Workshop-Charakter erhalten, und es stand ausreichend Zeit für Diskussionen zur Verfügung. Schließlich war es eine einmalige Gelegenheit, so viel Fachkompetenz an einem Ort vereint zu haben. Auf besonderes Interesse trafen die Diskussionen am Ende eines jeden Workshop-Tags. Sie trugen wesentlich dazu bei, Berührungspunkte zwischen Wissenschaft und Anwendung abzubauen, alte Kontakte aufzufrischen und neue zu knüpfen.

Als Hauptergebnis der Diskussionen definierten die Teilnehmer ein gemeinsames Ziel für die nächsten Jahre: die Entwicklung einer Programmbox, die es auch einem nicht mit den Grundlagen vertrauten Ingenieur erlaubt, die beeindruckenden Möglichkeiten der Vakuumgasdynamik anzuwenden. Das KIT ist bereits damit befasst. Ein besonderer Dank geht an Dr. Varoutis, der die komplette wissenschaftliche und organisatorische Vorbereitung des Workshops übernahm, sowie an Thomas Giegerich, der vor Ort tatkräftig mit dafür sorgte, dass alles zur vollsten Zufriedenheit funktionierte.



He-Hochdruck-Reinigungsanlage.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Kryotechnik

Leitung: Dr. Holger Neumann

Kryotechnik für die Fusion

Die kryotechnischen Arbeiten im Programm „Fusion“ konzentrierten sich 2011 darauf, Serien-Stromzuführungen für das Fusionsexperiment Wendelstein 7-X (W 7-X) in Greifswald zu fertigen und zu testen sowie Komponenten für den Stromzuführungs-Teststand CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe) fertigzustellen und zu installieren. Nach dem Test und vor dem Aufwärmen trat in der Testanordnung eine Leckage auf, die ab ca. 20 K wieder verschwand. Auch beim Abdrücken der Anlage mit 18 bar bei 300 K ließ sich keine Leckage mehr nachweisen.

Test der W7-X Serien-Stromzuführungen

Der Test der Serien-Stromzuführungen für W 7-X in der Anlage TOSKA verläuft wie geplant. Ende 2011 wurden die Serien-Stromzuführungen Nummer 5 und 6 von 14 getestet. Ende 2013 sollen die letzten beiden Serienstromzuführungen in TOSKA getestet werden.

CuLTka

Für CuLTka wurden die durchkonstruierten Komponenten, wie Ventilboxen, Kontrollkryostat und Transferleitungen, in die Aufstellungsplanung integriert (Abbildung 1). Damit ist diese weitgehend abgeschlossen. Darüber hinaus wurden bereits wesentliche Komponenten aufgebaut. Im Einzelnen wurden

- Schaltschränke mit Druckmessumformen montiert und auf der CuLTka-Bühne aufgestellt,
- neuer Wasserbadanwärmer ausgelegt, beschafft und montiert,
- Ventilbox mit Kühlschild und Ventilen aufgebaut,
- Infrastruktur für Vakuum und Heliumabgas fertiggestellt,
- neue Abstützungen für die Transferleitungen installiert,
- Transferleitungen ausgelegt und konstruiert (können 2012 ausgeschrieben werden),
- mit der Fertigung der LN₂-Kühlschilde bei einer amerikanischen Firma wurde begonnen.

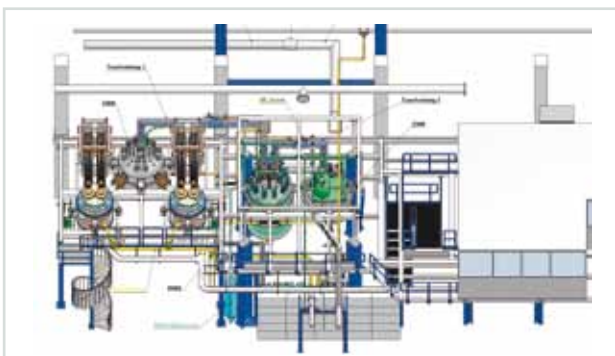


Abb. 1: CuLTka-Übersichtsplan.

Damit laufen die Arbeiten an CuLTka ebenfalls planmäßig, und die Stromzuführungen für JT60 können darin serienmäßig getestet werden.

Kryotechnik für REUN

Im Rahmen des Programms „Rationelle Energieumwandlung und -nutzung (REUN)“ behandelten die Forscherinnen und Forscher im Bereich Kryotechnik des ITEP mehrere Themen: das Speicherkonzept LIQHYSMES, Grundlagen eines HTS-Generators, Aufbau eines kryogenen Strömungskanals, thermische Untersuchung von Schüttgütern an nicht abwickelbaren Flächen, Umbau des Kalibrierlabors für Temperatursensoren.

LIQHYSMES

Die Ausweitung des Anteils von fluktuierenden regenerativen Energiequellen wie Wind- und Solarkraft an der



Abb. 2: Ventilbox von oben gesehen.

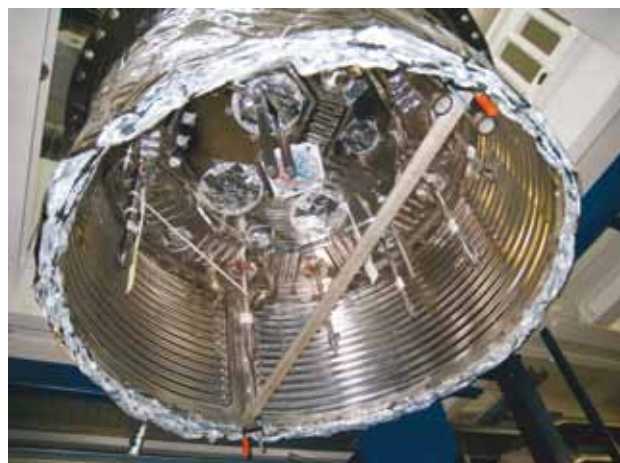


Abb. 3: Ventilbox; Kühlschild im Kryostaten.



Abb. 4:
LIQHYSMES-
Konzept.

elektrischen Energieversorgung erfordert zusätzliche Maßnahmen, um Einspeise- oder Lastschwankungen auszugleichen. Dafür bietet sich die zukunftsweisende Methode der Speicherung von flüssigem Wasserstoff als Energieträger an. Die Kombination von Elektrolyse und Brennstoffzelle oder Gasturbine eignet sich allerdings nur zur langfristigen Pufferung von Schwankungen. Kurzzeitig stark fluktuierende Energieflüsse lassen sich damit wegen der Trägheit der Komponenten nicht auffangen. Ein neues Anlagenkonzept ergänzt die Langzeitspeicherung daher durch einen supraleitenden magnetischen Energiespeicher (SMES) als Kurzzeitspeicher. Dank neuer supraleitender Materialien lässt sich der SMES bereits bei der Temperatur von flüssigem Wasserstoff betreiben. Neben der kurzen Reaktionszeit zeichnet sich der SMES vor allem durch geringe Verluste während der Lade- und Entladezyklen aus.

Der Bereich Kryotechnik entwickelte Berechnungsmethoden, mit denen sich die in einem SMES während des Einspeise- und Ausspeiseprozesses auftretenden Verluste und damit das zu erwartende dynamische Verhalten des SMES abschätzen lassen. Dieses LIQHYSMES soll im Rahmen eines geförderten Projektes realisiert werden. Das ITEP reichte dazu mit acht Partnern einen EU-Antrag ein. Darüber hinaus stellte es für grundlegende Vorlaufexperimente und Studien einen Antrag beim BMBF. Außerdem ist das Projekt in die genehmigte Wasserstoffinitiative EWI des KIT eingebettet.

Grundlagen eines HTS-Generators

Seit Februar 2011 läuft das BMWi-geförderte Kooperationsprojekt von Siemens und KIT „Grundlagen HTS-Generator“. 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.

Der Bereich Kryotechnik des ITEP erarbeitete ein erstes Isolationskonzept. Als Messtechnik zur Ermittlung der lokalen Neon-Temperatur, des Massenstroms und der

Spulentemperatur bieten sich Glasfasern mit Faser-Bragg-Gittern an. Für dieses Projekt testeten die Forscher unter anderem eine Drehdurchführung erfolgreich. Als Schleuderschutz ist der Aufbau eines Spin-Bunkers geplant.

Kryogener Strömungskanal

Für die Kalibrierung eines neu entwickelten FBG-Massenstromsensors wurde ein kryogener Strömungskanal (Abbildung 5) ausgelegt, aufgebaut und in Betrieb genommen. Die kryogene Versorgung erfolgt über LHe- und LN₂-Kannen oder auch Druckgasflaschen. Mithilfe einer integrierten Heizung lassen sich nahezu beliebige Temperaturen zwischen 4 K und 300 K erzielen. Strömungselemente sorgen für eine hydrodynamisch und thermisch vollentwickelte Strömung zur Kalibrierung des Massenstromsensors. Als Referenz für den Massenstrom dienen verschiedene Laminar Flow Meter, die auch beim thermischen Isolationssteststand THISTA eingesetzt werden. An diese ist der kryogene Strömungskanal somit auch angeschlossen.

Thermische Untersuchung von Schüttgütern an nicht abwickelbaren Flächen

Bei abwickelbaren Flächen, beispielsweise bei einem Zylinder, lassen sich quasi-ideale Isolationsqualitäten bei Verwendung von MLI messen. Diese sind aber keineswegs repräsentativ, da in der Regel keine abwickelbaren Flächen isoliert werden. Vielmehr muss die MLI gemäß den Durchführungen für Leitungen und Messdrahtdurchführungen oder auch gemäß kugelförmigen Isolationsabschnitten, wie bei Klöpperböden, zugeschnitten werden. Dadurch ergeben sich Trennstellen, welche die Isolationsqualität beeinträchtigen. Eine sinnvolle Alternative stellen Schüttgüter dar, beispielsweise Hohlglaskugeln, deren Wärmeleitfähigkeit durch die geometrischen Formen nicht beeinflusst wird. Dazu führte der Bereich Kryotechnik des ITEP Experimente an einem Zylinder mit Querstreben durch und verglich sie mit älteren Experimenten an einem glatten Zylinder. Zusätzliche numerische Untersuchungen dienten der Evaluierung und dem besseren Verständnis der Messergebnisse (Abbildung 6).

Umbau des Kalibrierlabors für Temperatursensoren

Um dem zunehmenden Ausfall veralteter Geräte im dringend benötigten Kalibrierlabor zu begegnen, wurde 2011 begonnen, die Mess-, Steuer- und Automatisierungstechnik zu erneuern. Nach einer ausführlichen Planungsphase wurde eine Aufstellungsplanung erstellt; wesentliche Komponenten wurden bereits beschafft. 2012 sollen die restlichen Komponenten beschafft und die Programmierung inklusive Inbetrieb-

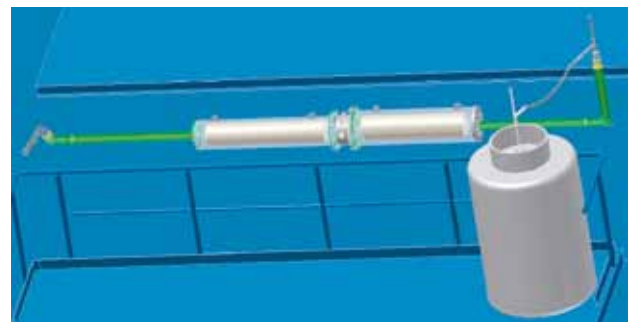


Abb. 5: Kryogener Strömungskanal.

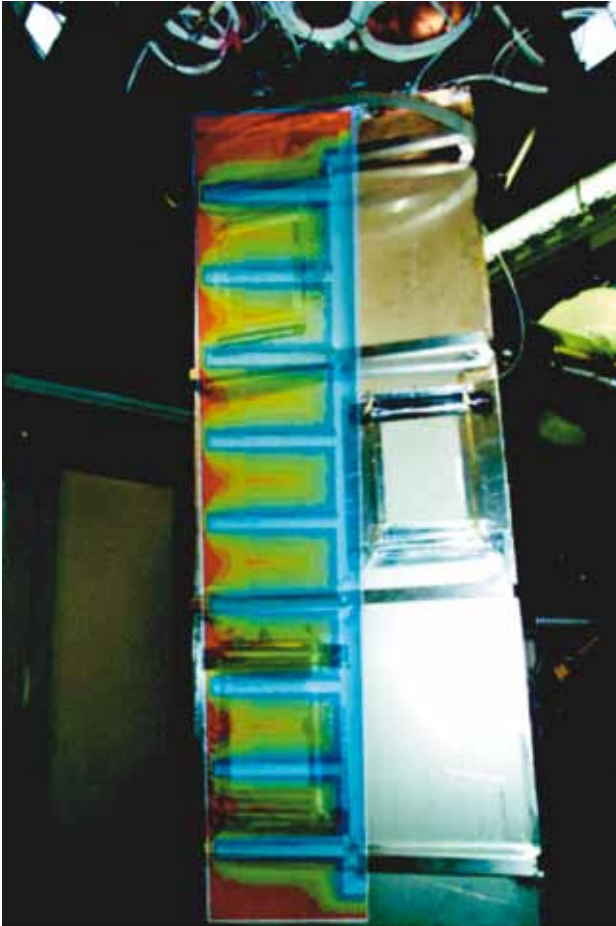


Abb. 6: Behälter mit isolierendem Schüttgut um einen LN₂-gefüllten Zylinder mit Querstreben; numerische Simulationsergebnisse für Temperaturverlauf eingeblendet.



Abb. 7: Ölfilterwechsel am ölgedichteten He-Schraubenkompressor der 2-kW-He-Tiefemperaturanlage.

nahme durchgeführt werden. Eine ausführliche Dokumentation soll die Einarbeitung für Mitarbeiter erleichtern und auch Grundlage für eine Zertifizierung des Kalibrierlabors sein.

Kryoinfrastruktur

An der Kryoinfrastruktur nahm das ITEP umfangreiche Wartungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten vor. Vorhandene Tieftemperatur-Versuchseinrichtungen für die Forschungsvorhaben wurden erweitert, angepasst und betrieben, neue Einrichtungen geplant, erstellt und in Betrieb genommen. Die Arbeiten umfassten unter anderem:

- Umbau der AS1, AS2 und AS3 von Siemens Teleperm AS235 auf AS488,
- Austausch bzw. Installation neuer Vakuum-Messgeräte,
- Erweiterung der Steuerung, um ein automatisches Kalt- und Warmfahren der Anlage TOSKA für den Test der Stromzuführungen zu ermöglichen,
- Implementierung neuer Bausteinversionen für Ventile und Motoren,
- Umbau bzw. Erneuerung der Nachschmiereinrichtung der Turbinen der 3 300-W-Anlage,
- Umbau der Spannungsversorgung der Leittechnik für die Netzwerkinfrastruktur,
- Austausch von Schwingungsdämpfern an den He-Kompressoren der Rückgewinnungsanlage,
- Umbau und Austausch der Verrohrung für Sicherheitsventile.

Die 300-W-(1,8 K)-He-Tiefemperaturanlage war 2011 ca. 912 Stunden in Betrieb. Davon entfielen 263 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb und 55 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage. Damit wurden 594 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich erbracht. Die 2-kW-(4,5 K)-He-Tiefemperaturanlage lief 2011 ca. 1 855 Stunden, davon 422 Stunden im Verflüssigungsbetrieb und 210 Stunden im Spülbetrieb sowie zum Kalt- und Warmfahren der Anlage. Damit wurden 1 223 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich FUSION erbracht.

Insgesamt verflüssigten die Anlagen ca. 169 833 Liter Helium. Davon wurden 109 005 Liter für Experimente im ITEP und 60 828 Liter an Fremdinstitute ausgegeben.

Die 500-W-(4,5 K)-He-Tiefemperaturanlage für das Experiment KATRIN lief insgesamt 6 459 Stunden. Dabei entfielen 41 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage, 2 479 Stunden auf den Betrieb der DPS2-F und 3 973 Stunden auf den Demonstratorbetrieb. Nennenswerte Störungen traten keine auf. Damit hat sich 2011 erwiesen, dass die Anlage für den stationären Dauerbetrieb geeignet ist.



Demonstrationstests im TLK.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Leitung: Dr. Beate Bornschein

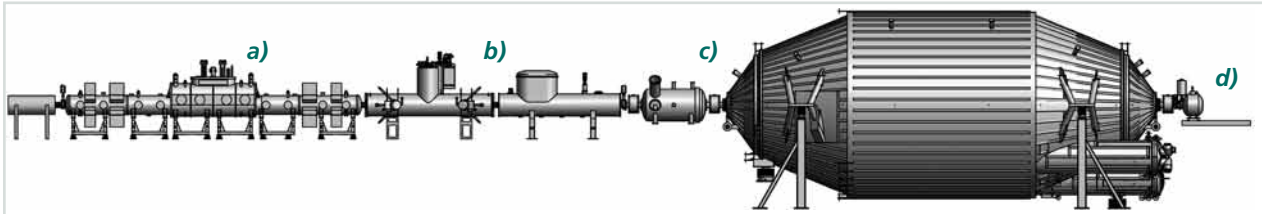


Abb. 1: Schematische Darstellung des internationalen Großexperiments KATRIN. Die bei β -Zerfällen in einer hochintensiven fensterlosen molekularen Tritiumquelle (WGTS, a) entstehenden Elektronen werden über eine Tritiumpumpstrecke mit den aktiven und passiven Elementen DPS2-F und CPS (b) zu einem System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

Ziel des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments KATRIN ist, die Neutrinomasse modellunabhängig mit einer Sensitivität von $200 \text{ meV}/c^2$ zu messen. Die Motivation für KATRIN ergibt sich aus der Schlüsselrolle von Neutrinos in der Astroteilchenphysik: Zum einen spielen massebehaftete Neutrinos eine spezifische Rolle als Heiße Dunkle Materie bei der Evolution großräumiger Strukturen im Universum. Zum anderen kommt der Neutrinomasse eine Schlüsselrolle beim offenen Problem der Entstehung von Masse zu.

Das experimentelle Prinzip von KATRIN basiert auf der präzisen Vermessung des Spektrums von Elektronen aus dem β -Zerfall molekularen Tritiums nahe 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 (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 sind 2014 zu erwarten. Design, Aufbau und erfolgreiche Ausführung des Experiments KATRIN stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, besonders die Tritiumverfahrenstechnik, die Ultrahochvakuum- und die Kryotechnik sowie die Hochspannungsstabilisierungstechnik. Darüber hinaus bedarf es eines funktionierenden Projektmanagements, um die Einteilung der personellen und finanziellen Ressourcen mit den zeitlichen und inhaltlichen Zielen von KATRIN zu vereinbaren.

Im Rahmen von KATRIN hat das ITEP die verantwortliche Leitung für die Tritiumprozesstechnik sowie für die Magnet- und die Kryotechnologie inne. 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-R) 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 differentiellen 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; das ITEP begleitete die Fertigung.

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 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

Die Vertragssituation bei der WGTS hat sich im Herbst 2011 erneut geändert: Bis zum Sommer baute die Firma RI (Magnete: BASC) die WGTS im Auftrag von VARIAN. VARIAN übernahm durch Kauf der Firma ACCEL den ursprünglichen Vertrag und beauftragte dann die Fir-

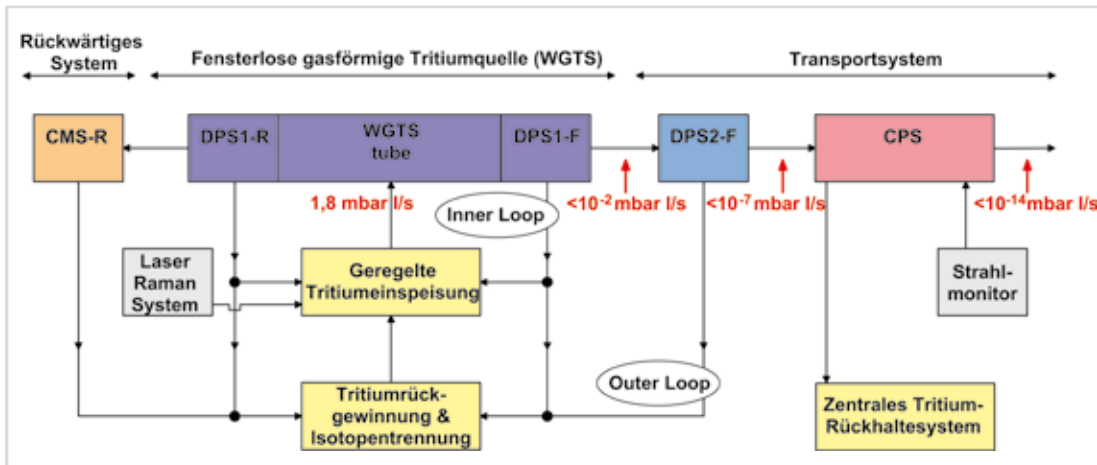


Abb. 2: Blockbild der KATRIN Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des TLK.

men RI und BASC (Teile der ehemaligen ACCEL) mit dem Aufbau. Im Herbst lösten das KIT und VARIAN den Vertrag einvernehmlich auf.

Dabei klärten sie auch die offenen Fragen in Bezug auf die gewerblichen Schutz- und Urheberrechte (IPRs). Nun ist das KIT verantwortlich für den Weiterbau der WGTS.

Die technische Begleitung der Konstruktion und der Fertigung bei industriellen Partnern bringt einen großen Aufwand für das ITEP mit sich: Zum einen ist der Aufbau der WGTS höchst komplex, und die Anforderungen an die Kühlung sind extrem hoch (30 K stabilisiert auf 0,1 %). Zum anderen wird die WGTS später einen Tritiumdurchsatz von $1,5 \times 10^{16}$ Bq pro Tag (40 g) haben und unterliegt als tritiumführendes System hohen Qualitätsanforderungen. Wegen des anspruchsvollen Kühlkonzepts für das Quellrohr wurde zuerst eine Vorversion der WGTS gebaut, ein sogenannter Demonstrator, der noch nicht die Magnete und den zentralen Heliumtank enthält. Dieser Demonstrator wurde 2011 intensiv getestet (siehe Highlight). Die Fertigung und Fertigungsüberwachung der weiteren zur WGTS gehörenden Systeme (sieben Magnetmodule, Heliumtank und Unterbaugruppen für die DPS1-F) liefen parallel weiter. Im kommenden Jahr sind Magnettest der einzelnen Module in Saclay/Frankreich geplant. Wenn diese erfolgreich verlaufen, wird der Zusammenbau der eigentlichen WGTS beginnen.

DPS2-F

Nach ausgiebigen Tests wurde die DPS2-F im März 2011 offiziell abgenommen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kernphysik (IKP) und dem Institut für Experi-

mentelle Kernphysik (IEKP) startete das wissenschaftliche Programm. Als dessen erster Teil standen Gasflussreduktionsmessungen an. Mit diesen Messungen sollte überprüft werden, ob der berechnete Gasflussreduktionsfaktor tatsächlich erreicht wird. Nach dem Aufbau der Unterverrohrung mit dem Vakuumpumpsystem (siehe Abbildung 3) und der Gaseinspeiseapparatur sowie dem Gasdetektionssystem liefen im April die ersten Testmessungen bei Raumtemperatur. Danach wurde die DPS2-F kaltgefahren (etwa drei bis vier Wochen). Im Juni wurden die eigentlichen Gasflussreduktionsmessungen bei einer Strahlrohrtemperatur von etwa 80 K durchgeführt. Die Messergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit Ergebnissen aus den Simulationen für die Strahlrohrgeometrie und die Turbopumpen (siehe Abbildung 4).

Der zweite Teil des wissenschaftlichen Programms, die Messung der elektromagnetischen Eigenschaften der DPS2-F, konnte 2011 nicht mehr durchgeführt werden, weil die DPS2-F beim Hochfahren der Magnetfelder quenchte und dabei eine der Schutzdioden für die Magnetspulen zerstört wurde. Aktuell entsteht ein Reparaturkonzept, das einen Austausch aller verwendeten Schutzdioden gegen einen anderen Typ sowie die Implementierung einer Zugangsmöglichkeit von außen zu den Dioden beinhaltet. Die Reparatur der DPS2-F ist für das kommende Jahr vorgesehen.

CPS

Die CPS wird von der Firma ASG in Genua gefertigt. Aufseiten von KATRIN begleitet ein institutsübergreifendes Projektteam die Fertigung. Der Schwerpunkt der Qualitätssicherungsarbeiten im Jahr 2011 lag auf der Inspek-



Abb. 3: DPS2-F. Blick auf die Pumpkammern 2 und 3.

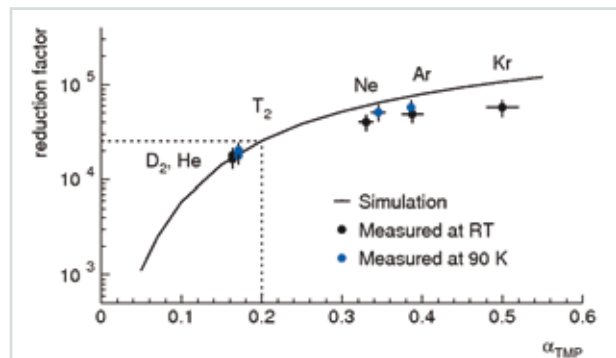


Abb. 4: Gasflussreduktionsfaktor der DPS2-F für verschiedene Gase. (α_{TMP} – Capture Probability der Turbomolekularpumpe für das entsprechende Gas).



Abb. 5: Goldbeschichtung der Strahlrohrsektion #3. Die drei Kapillaren sind für den Argoneinlass im Strahlrohr montiert.

tion der Goldbeschichtung der sieben Strahlrohrsektionen. Die Goldbeschichtung der inneren Oberfläche des Strahlrohrs ist erforderlich, um die Anzahl der neutralen Tritiummoleküle zu minimieren, die nach der Regeneration (Spülen mit warmem Heliumgas) an der Strahlrohrwand sitzen. Die Qualität der Goldbeschichtung der jeweiligen Strahlrohrsektion wurde gemäß der vom KIT freigegebenen Testprozedur durch einen Ausheiztest bis auf 250 °C bzw. 350 °C sorgfältig überprüft.

Die sieben Schaltschränke, die für den Kryobetrieb der CPS, das heißt für die Steuerung der mehr als 420 Sensoren und Ventile, erforderlich sind, wurden spezifiziert und ausgeschrieben. Der Auftrag für die Fertigung wird bis zum Jahresende vergeben. Die supraleitenden Füllstandssonden für die CPS wurden konstruiert und gebaut. Nach dem Versagen einer Schutzdiode eines Magnetmoduls der DPS2-F im Sommer 2011 wird die Verbesserung des Magnetschutzkonzepts der CPS diskutiert.

Kälteanlage und Kryotransferleitung

Im Jahr 2011 konzentrierten sich die Arbeiten auf den Betrieb des Demonstrators (siehe Highlight) und der DPS2-F. Das Kaltfahren dieser äußerst komplexen Systeme erforderte eine präzise Planung und Vorbereitung der Arbeiten durch die Kryogruppe des ITEP und lief erfolgreich ab. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt 2011 lag darauf, die Fertigung des dritten Teils der Kryotransferleitung und der dritten Ventilbox, die für die kryogene Anbindung der CPS notwendig ist, zu begleiten. Die Fertigung des letzten Abschnitts bis zur CPS-Ventilbox ist fast abgeschlossen. Die Werksgüteprüfung ist im Januar 2012 geplant. Die kryogenen Anschlussleitungen für die CPS wurden ebenfalls beauftragt.

Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut, unter anderem im Rahmen von Bachelor-, Diplom- und Doktorarbeiten. 2011 konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau und die ersten Messungen mit den Tritiumtestexperimenten TriTOP und TriREX. Bei TriTOP (Tritium Test of Pump) wird eine magnetgelagerte MAG2800-Turbomolekularpumpe im Langzeitbetrieb mit Tritium getestet. Dies geschieht unter Betriebsbedingungen, die denen der acht Turbomolekularpumpen an den ersten beiden Pumpkammern der WGTS entsprechen. Nach bis jetzt fünf Monaten Betrieb mit Tritium ließen sich noch keine eindeutigen Hinweise auf Schäden im Tritiumbetrieb unter KATRIN-Bedingungen feststellen. Der Langzeitversuch läuft weiter. Bei TriREX (Tritium Rear System Experiment) wird

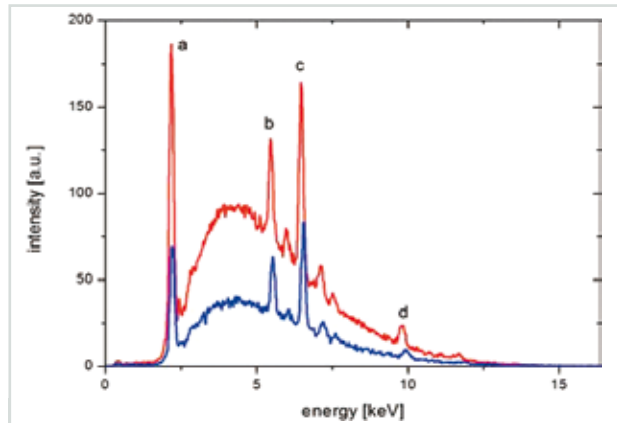


Abb. 6: Bremsstrahlungsspektrum, aufgenommen mit TriReX (100 s). Die Tritiumaktivität im Rezipienten entspricht dem der KATRIN Quelle (10^{11} Bq). Rot mit Magnetfeld, blau ohne Magnetfeld. Charakteristische Peaks: a) Zr, b) Cr, c) Fe, d) Au.

die Möglichkeit untersucht, mithilfe der Bremsstrahlung die Tritiumkonzentration in der WGTS zu bestimmen. Diese entsteht in der rückwärtigen Wand der WGTS durch die Zerfallselektronen. Das Experiment ist ein erster Prototyp der KATRIN Rearwall. In den ersten Messungen wurde die prinzipielle Durchführbarkeit demonstriert sowie der Einfluss von Magnetfeldern auf das Spektrum untersucht (siehe Abbildung 6).

Bei der Laser Raman Spektroskopie (LARA) standen verschiedene Arbeiten an. Eine wichtige Aufgabe ist, LARA für die quantitative Analyse zu kalibrieren. Dazu wurden zum einen Kalibriermessungen mit Mischungen aus Protium und Deuterium fertiggestellt. Zum anderen wurden Depolarisationsmessungen an den Wasserstoff-Isotopologen H_2 , HD, D_2 , HT, HD und T_2 vorgenommen, um die Polarisations-eigenschaften zu bestimmen, deren Kenntnis für die quantitative Analyse der LARA-Spektren unabdingbar ist. Bei den Messungen mit dem Testkreislauf LOOPINO im Vorjahr war festgestellt worden, dass die bisher verwendeten Antireflexbeschichtungen der bei LARA verwendeten Laserfenster im Langzeitbetrieb mit Tritium beschädigt werden. Um eine tritiumresistente Beschichtung zu finden, wurde nun das COATEX (Coating Test Experiment) aufgebaut und in Betrieb genommen. Dabei werden unterschiedliche optische Beschichtungen einer Tritiumatmosphäre ausgesetzt und dabei in regelmäßigen Abständen entnommen, um die Oberflächen auf eventuelle Veränderungen zu untersuchen. Die ersten Ergebnisse bestätigen, dass die bisher genutzten Beschichtungen nicht für die Verwendung unter Tritiumatmosphäre geeignet sind. Um einen geeigneten tritiumresistenten Beschichtungstyp zu finden, laufen die Messungen bis Mitte des kommenden Jahres weiter.

Danksagung

Die Aufgaben zu KATRIN liefen innerhalb des ITEP bereichsübergreifend mit großem Erfolg, wobei neben dem TLK naturgemäß der Bereich Kryotechnik einen Großteil der Arbeiten 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 2011: WGTS-Strahlrohrkühlung erfolgreich erprobt

Die Tritiumquelle (Windowless Gaseous Tritium Source, WGTS) im Experiment KATRIN wird bei einer Temperatur von 30 K betrieben. Sie besteht aus einem 10 m langen Strahlrohr von 90 mm Innendurchmesser, in dessen Mitte gasförmiges Tritium eingespeist wird. Das Tritium diffundiert zu beiden Rohrenden, von denen es über Pumpkammern mit jeweils vier großen Turbomolekularpumpen abgepumpt und im geschlossenen Tritiumkreislauf zum druckstabilisierten Einspeisebehälter zurückgeführt wird.

Eine der anspruchsvollsten Aufgaben in KATRIN ist die Kühlung der Tritiumquelle mit einer Temperaturstabilität von $\Delta T \leq 30$ mK/h und einer Temperaturhomogenität von $\Delta T \leq 30$ mK (mit Ausnahme der beiden 25-cm-Strahlrohrenden). Die Temperatur des Strahlrohrs hat über den Leitwert einen unmittelbaren Einfluss auf das Tritiumdichteprofil in der Quelle: Schwankungen in der Temperatur führen zu Schwankungen in der Quellstärke. Dieser Einfluss bestimmt wesentlich die systematischen Effekte des Experiments zur Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von $0,2 \text{ eV}/c^2$.

Für diese außergewöhnlichen Anforderungen hat das ITEP ein völlig neuartiges Kühlsystem entwickelt (Abbildung 7). An das Strahlrohr sind über die gesamte Länge seitlich Verdampferrohre angelötet, die zur Hälfte mit siedendem Neon gefüllt sind. Durch das verdampfende Neon wird entlang des Strahlrohrs latente Wärme aufgenommen, ohne dass sich die Temperatur ändert. Der Neondampf diffundiert vom Einlass aus oberhalb der Phasengrenze zu den gegenüberliegenden Enden der Verdampferrohre und wird über eine gemeinsame Rücklaufleitung zu einem Kondensator geführt. Im Kondensator wird das Neon mithilfe von gasförmigem Helium rückverflüssigt. Der Schwerkraft folgend, fließt das flüssige Neon zurück zum Einlass der Verdampferrohre. Dieses Prinzip wird als Naturumlauf oder Thermosiphon bezeichnet.

Die Einzigartigkeit des Kühlsystems erforderte eine experimentelle Erprobung vor dem Endausbau der WGTS. Dazu wurden Originalteile der WGTS mit dem 10-m-

Strahlrohr, den angrenzenden Pumpkammern, den thermischen Schilden und dem Vakuumbehälter zu einem Testkryostaten montiert, dem in Abbildung 8 zu sehenden Demonstrator. Anstelle der supraleitenden Magnete war eine Kaltmasse aus Aluminium zur Aufhängung des Strahlrohrs installiert, die mit 2-GM-Gaskältemaschinen gekühlt wurde. Der Aufbau des Demonstrators im TLK, der Anschluss an die KATRIN-Transferleitung und die Gasversorgung, die Installation des Vakuumsystems sowie die Installation und die Inbetriebnahme der EMSR-Technik waren bereits im Sommer und Herbst 2010 erfolgt.

Erstes Kaltfahren des Demonstrators

Ende November 2010 wurde der Demonstrator zum ersten Mal betrieben. Zunächst wurden das Stickstoffschild und die Al-Kaltmasse, anschließend die Pumpkammern über einen Zeitraum von drei Wochen abgekühlt. Mitte Dezember 2010 wurde dann das Strahlrohr mit Neon auf ca. 28 K abgekühlt; der Temperaturverlauf ist in Abb. 9 dargestellt. Dieser erste Test lieferte auf Anhieb den Nachweis, dass das Strahlrohrkühlsystem der WGTS einwandfrei funktioniert. Druckerhöhungen zum Nachfüllen des Ne-Kreislaufs zeigten, dass über die gesamte Strahlrohrlänge stabile zweiphasige Kühlbedingungen in den Verdampferrohren herrschen (Abbildung 9 rechts). Nach mehrtägigem stationärem Betrieb wurde der Demonstrator über den Jahreswechsel 2010/11 abgestellt.

Messung der Temperaturstabilität

Nach dem erneuten Kaltfahren des Demonstrators wurden im Februar 2011 die ersten Messungen der Temperaturstabilität vorgenommen. Abbildung 10 zeigt die maximalen Temperaturschwankungen des Strahlrohrs über einen Zeitraum von vier Stunden. Mit einer Standardabweichung von nur 1,6 mK wurde eine um einen Faktor 20 bessere Stabilität als gefordert erreicht. Dieser Wert bedeutet in Bezug auf die Betriebstemperatur von 30 K eine relative Temperaturstabilität von etwa 5×10^{-5} . Damit ist die KATRIN Tritiumquelle das wahrscheinlich stabilste kryotechnische Großgerät, das jemals gebaut wurde. Der graue Temperaturbereich in Abbildung 10 von ± 30 mK wurde selbst bei Stabilitätsmessungen über eine ganze Woche nicht überschritten.

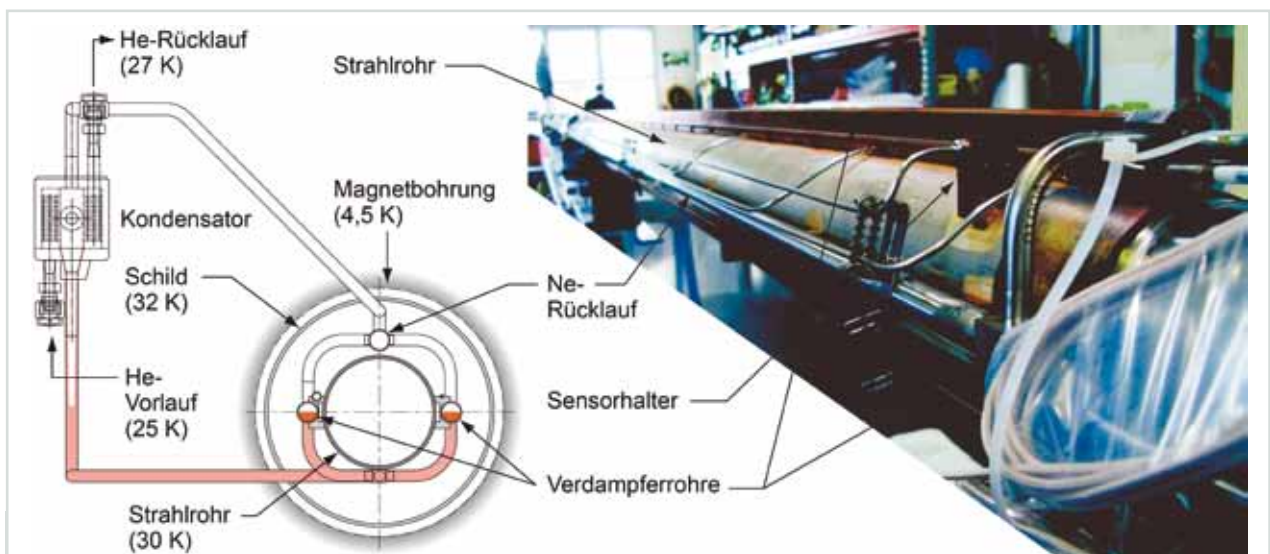


Abb. 7: Prinzip der Thermosiphonkühlung der KATRIN Tritiumquelle mit flüssigem Neon bei 30 K (links). Rechts ist das 10 m lange Strahlrohr der KATRIN Tritiumquelle abgebildet (auf der Seite liegend).



Abb. 8: Demonstrator im TLK zur Erprobung der WGTS Strahlrohrkühlung.

Die hohe Stabilität der KATRIN Tritiumquelle wurde durch einen speziell konstruierten Kondensator erreicht, der die von der Helium-Kälteanlage induzierten Temperaturschwankungen um mehr als zwei Größenordnungen dämpft.

Messung der Temperaturhomogenität

Zur Messung der Temperaturhomogenität musste aufgrund der hohen Ausheiztemperaturen des Strahlrohrs von 550 K eigens ein neues Messkonzept entwickelt werden. Dieses besteht aus einer Kombination von Pt500-Sensoren und Dampfdrucksensoren, die in 24 Paaren entlang des Strahlrohrs installiert sind. Die Dampfdrucksensoren werden dabei zur In-situ-Kalibrierung der Pt500 genutzt. Mit diesem System wird bei 30 K eine Messunsicherheit von 4 mK erreicht; die Auflösung der Pt500-Messung liegt bei 1 mK.

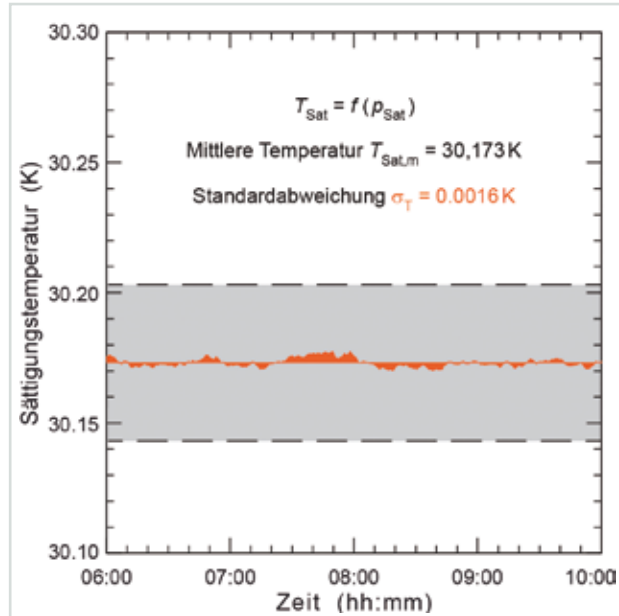


Abb. 10: Gemessene Temperaturstabilität der KATRIN Tritiumquelle. Der graue Bereich kennzeichnet die geforderte Temperaturstabilität von $\pm 30\text{mK/h}$.

Während der ersten Messkampagne 2011 gelang es aufgrund von Kommunikationsproblemen zwischen Hard- und Software noch nicht, die 24 Dampfdruckthermometer gleichmäßig mit Neon zu befüllen. Die Störungen wurden über die Sommermonate behoben. Der Demonstrator wurde im Herbst 2011 zu erneuten Kalttests in Betrieb genommen. Die Messungen zur Temperaturhomogenität der Tritiumquelle wurden Ende 2011 abgeschlossen.

Ausblick auf 2012

Zu Beginn 2012 werden mit dem Demonstrator noch Ausheiztests bei 550 K durchgeführt. Danach wird das System demontiert und für die endgültige Montage der WGTS vorbereitet.

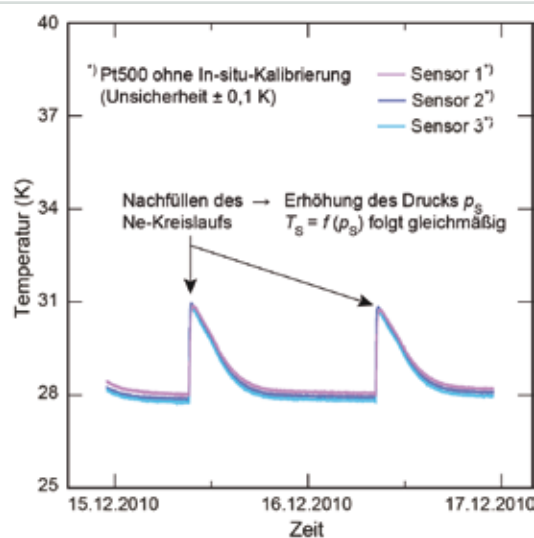
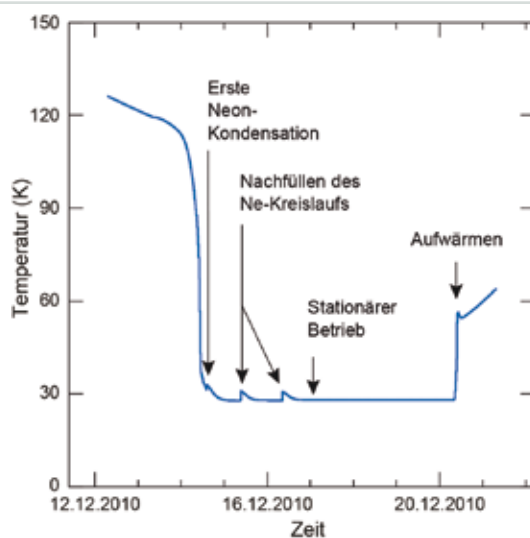


Abb. 9: Erstes Kaltfahren der KATRIN Tritiumquelle im Dezember 2010 mit stationärem Betrieb bei ca. 28 K (links). Rechts ist der Effekt der zweiphasigen Kühlung zu sehen. Obwohl die Sensoren jeweils in Abständen von ca. 4 m entlang des 10 m langen Strahlrohrs angeordnet sind, ist die Änderung der Sättigungstemperaturen bei Druckänderungen (Nachfüllen) überall gleich.

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

KIT – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Supraleitende Systeme für Ingenieure (Noe, Neumann, Siegel) WS 10/11-11/12

Supraleitertechnologie (Noe, Schlachter, Weiss) SS 11
Superconductivity in smart grid power applications (Grilli, Noe) SS 11

Seminar Projektmanagement für Ingenieure (Noe, Day, Grohmann) SS 11

KIT – Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

Vakuumtechnik I (Day, Varoutis) WS 10/11-11/12

Kryotechnik (Neumann) WS 10/11-11/12

Kältetechnik I (Grohmann) WS 11/12

KIT – Fakultät Maschinenbau

Fusionstechnologie A* (Fietz, Weiss) WS 10/11-11/12

Fusionstechnologie B* (Bornschein, Day) SS 11

KIT – Fakultät Physik

Messmethoden und Techniken in der Experimentalphysik (Bornschein) SS 11

Leibniz Universität Hannover – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Neue Komponenten der elektrischen Energieversorgung* (Noe) SS 11

Dresden International University – Masterstudiengang Wasserstofftechnologie

Kernfusion (Bornschein) SS 11

Duale Hochschule BW – Fachbereich Maschinenbau

Arbeitssicherheit und Umweltschutz (Bauer) SS 11

Technische Thermodynamik I für Maschinenbauer (Neumann) WS 10/11-11/12

Technische Thermodynamik II für Maschinenbauer (Neumann) SS 11

Seminare / Sommerschulen

2nd ITEP Young Scientists Seminar
 17.–20. Januar 2011, Kristberg, Österreich

VDI-Seminar Kryotechnik
 21.–25. März 2011, Karlsruhe

5. Karlsruhe-Dresden Doktorandenseminar zur Supraleitung
 8.–10. Juni 2011, Krippen

5th ESAS Summer School on Materials and Applications on Superconductivity
 13.–17. Juni 2011, Harjatulla Mansion, Turku, Finland

1. Doktorandenseminar Fusion
 27.–28. Juli 2011, Bad Herrenalb

5th International Summer School on Fusion Technologies
 19.–30. September 2011, Karlsruhe

JT60-SA Technical Coordination Meeting
 6.–7. December 2011, Karlsruhe

Rarefied Gas Dynamics
 15.–19. August 2011, Karlsruhe

Workshops

Vacuum Gas Dynamics Workshop
 16.–19. Mai 2011, Leinsweiler

HTS4Fusion Conductor Workshop
 26.–27. Mai 2011, Karlsruhe

Lehre und Bildung

Doktorarbeiten – Master- und Diplomarbeiten – Bachelor- und Studienarbeiten – DHBW Praxis- und Projektarbeiten

Doktorarbeiten 2011 (* 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

André Berger (SUPRA)*

Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren

Olga Borisevich (TLK)

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

Florian Erb (SUPRA)

Entwurf supraleitender Windkraftgenerator

Sebastian Fischer (TLK)

Laser Raman Spectroscopy For The KATRIN Experiment

Thomas Giegerich (VAKUUM)

Entwicklung eines Vakuumpumpkonzepts für zukünftige Fusionsreaktoren

Robin Gröble (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)

Charakterisierung und Aufbau eines Calibration and Monitoring Systems (CMS) für das KATRIN-Experiment und Durchführung erster Messungen

Stanimira Terzieva (SUPRA)

Preparation and investigation of Roebel-Cables from Coated Conductors

Betreute Master-/ Diplomarbeiten 2011 (* abgeschlossen)

Christoph Bayer

Bestimmung des Pinningverhaltens technischer Hochtemperatursupraleiter

Tobias Bode*

Untersuchungen zum thermischen Verhalten der Tritiumquelle im KATRIN-Experiment

Philipp Herwig*

Aufbau des endgültigen Laser Raman Systems für KATRIN

Patrick Lenz

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

Jicheng Li*

Investigation of FBG based displacement sensors for low temperature applications

Harald Moosmann*

CFD simulation of adsorption columns for tritium processing

Teresa Parracho*

Measurement of permeability and selectivity of zeolite membranes for blanket application

Marco Röllig*

Rear Wall Tritium Experiment

Kerstin Schönung*

Test von Anti-Reflexionsbeschichtungen unter Tritium-atmosphäre für KATRIN

Severin Strauss*

Wirtschaftlicher und technischer Vergleich von Energieübertragungssystemen

Thomas Strobel*

Simulation des strombegrenzenden Verhaltens supraleitender Kabel

Tobias Werner* (LuK GmbH & Co. KG)

Standortanalytische Planung einer Großserienfertigung

Stefan Zimmermann*

Analyse und Konzeption der betrieblichen Regelbetreuung im Rahmen der DGUV Vorschrift 2 für die Helmholtz-Gemeinschaft der Forschungszentren

**Betreute Bachelor- / Studienarbeiten 2011
(* abgeschlossen)****Rami Chahroui**

Konzeptionierung von Kryosystemen mit Kälteversorgung für supraleitende Energiespeicher verschiedenster Baugröße unter Berücksichtigung der Investitions- und Betriebskosten

Sebastian Della Bona

E-Modulbestimmung über die Resonanzfrequenz

Maurizio Festa*

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

Jennifer Gsell* (Bystronic Lenhardt GmbH)

Funktionskostenanalyse und Potentialermittlung zur Reduzierung der Herstellkosten im Bereich Materialzuführung und Faspumpen

Timo Fabian Henninger* (IK)

Konstruktion der letzten beiden Elektrodenmodule für das KATRIN Experiment

Jürgen Hieringer

Charakterisierung von YBKO-Banbleitern für einen supraleitenden Strombegrenzer

Katharina Höveler

Messung tritiuminduzierter Bremsstrahlung an TRIEX für KATRIN

Simon Kudella*

Suche nach Gravitationswellen mittels Laserinterferometrie und Untersuchungen zur Laserstabilität im Rahmen des KATRIN-Raman-Systems

Dominik Leiser* (BLANCO CS GmbH + Co KG)

Anpassung der Einkaufsstrategie auf die Belange der Geschäftseinheit Medical Care am Beispiel der BLANCO CS GmbH + Co KG

Sebastian Mirz*

Aufbau und Inbetriebnahme des finalen Laser Raman Systems für KATRIN

Franz Möltgen

Weiterentwicklung eines Messsystems zur Messung der kritischen Stromdichte in Supraleitern bei Veränderung der Winkel des wirkenden Magnetfeldes sowie deren Feldstärke

Manuel Pitsch

Potentialanalyse regenerativer Energien zur Eigenversorgung von Versorgungsgebieten

Stanislav Plohotski

Materialcharakterisierung für den Kryostatbau

Toni Quach

Demonstrationsstand kryogener Zugversuch

Alexander Rein

Inbetriebnahme und Charakterisierung eines Silicon-Drift-Detectors für BIX-Messungen an tritiiertem Wasser

Roland Richter*

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

Florian SchleiBinger

Winkelabhängige E(I)-Messungen an technischen HTS-Banbleitern

Sebastian Schüler

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

Hendrik Seitz*

Kalibration des LARA-Systems mit katalytisch hergestellten, inaktiven Wasserstoffisotopologmischungen

Rozita Soleimani*

Time response and stability investigation of copper Embedded FBG sensor at cryogenic Temperature

Severin Strauss*

Untersuchung der Machbarkeit von supraleitenden Windkraftgeneratoren

Sophie Sulzmann

Untersuchung der Sorption an Aktivkohle bei kryogenen Temperaturen

**Duale Hochschule Baden-Württemberg 2011
(*abgeschlossen)****Kerstin Brohl***

Implementierung eines Exceltools zur Personalkostenkalkulation

Isabelle Ehleben*

Konstruktion einer Kalibriervorrichtung für Extensometer

Nando Gramlich

Entwicklung, Aufbau und Inbetriebnahme einer Apparatur zur Messung von Wasser unterschiedlicher Isotopenzusammensetzung in einem feuchten Gasstrom mittels Laser-Raman-Spektroskopie

Nadja Kästle

Market Potential Analysis of Superconducting Fault Current Limiters

Steffen Mundt

Konzept zur Betriebskostenberechnung des Heliumversorgungssystems

Marcus Oberle*

Aufbau eines kryogenen Strömungskanals zur Kalibrierung von Massenstromsensoren

Michael Schmidt

Auslegung, Design und Konstruktion eines Potentialtrenner-Teststandes

Michael Schmidt

Bilanzierung eines kryogenen Teststandes im Hinblick auf den Kryogenverbrauch bei unterschiedlichen Abkühlenszenarien

Pit André Singer*

Messung relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur mit dem digitalen Sensorelement SHT21

Sascha Singer

Automatisierung und Visualisierung eines Langzeitexperiments zur Überprüfung der Tritiumverträglichkeit von Turbomolekularpumpen über NI LabVIEW Real-Time

Sascha Singer

Feldgeräte- und Signalsimulation mittels Simulationsbaugruppe und NI LabVIEW

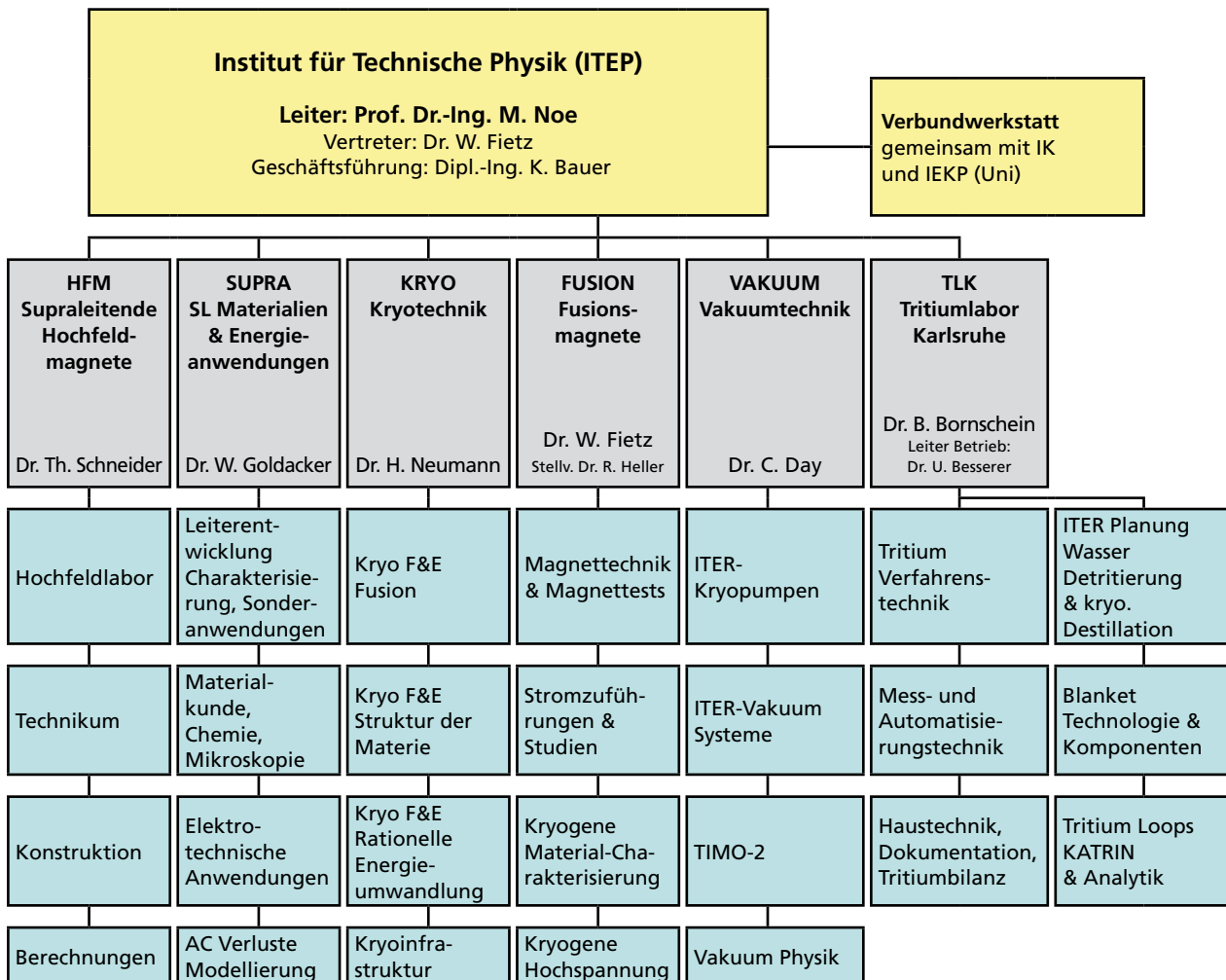
Lehre und Bildung

ITEP Kolloquien 2011

11.1.2011	Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren André Berger; SUPRA	12.7.2011	Investigation of copper embedded Fiber Bragg Grating sensors for temperature measurement at cryogenic environment Tejas Naphade; Gast ITEP
26.1.2011	Modelling Superconductors – Electromagnetics, AC-losses, Engineering and Science Antti Stenvall; SUPRA	28.7.2011	Cryocooler Technology development at Indian Institute of Technology Bombay (IITB), India Milind Atrey; Indian Institute of Technology Bombay
1.2.2011	Genauigkeitsanalyse für ein kalorimetrisches Messprinzip zur Messung der thermischen Isolationsqualität im Tieftemperaturbereich Patrick Lenz; KRYO	20.9.2011	Entwicklung eines erdfreien Sensormesssystems Pit Andre Singer; Bachelorarbeit
8.2.2011	Konzeptionelles Design von supraleitenden Windkraftgeneratoren Severin Strauss; SUPRA	27.9.2011	Aufbau eines Instandhaltungsmanagements für das Großprojekt KATRIN Konzept zur Betriebskostenberechnung des Heliumversorgungssystems Clemens Frenzel; Bachelorarbeit Steffen Mundt; Projektarbeit
17.2.2011	Status der Montage von W7-X Steffen Jung; MPI Greifswald	27.10.2011	Update on the ITER Conductor Production Arnaud Devred; Section ITER France
22.2.2011	Entwicklung eines Programms zur Berechnung komplexer Vakuumsysteme auf Server-Client-Basis Roland Richter und Pascal Kraft; VAKUUM	3.11.2011	Research on applied superconductivity in GREEN Lab Bruno Douine; Univ. of Nancy
29.3.2011	Coated Conductors quench characterization for FCL purpose Bertrand Dutoit; Ecole Polytechnique Lausanne	15.11.2011	Wirtschaftlicher und technischer Vergleich von Energieübertragungssystemen Severin Strauss; Diplomarbeit
19.4.2011	TIMO-2 – Testeinrichtung für Kryosorptionspumpen Horst Haas; VAKUUM	22.11.2011	Process & analytical issues for tritium management in breeder blankets of ITER & DEMO David Demange; TRITIUM
25.5.2011	Overview of Superconducting Activities at MIT's Plasma Science and Fusion Center Dr. Leslie Bromberg; Fusion	23.11.2011	Simulation des strombegrenzenden Verhaltens supraleitender Kabel Thomas Strobel; Diplomarbeit
5.7.2011	Superconductor AC-losses in cables – new results and development of experimental techniques for device characterization Antti Stenvall; Gastwissenschaftler im ITEP		

Zahlen und Daten

Organigramm ITEP (Januar 2012)



Personalstand (01.12.2011)

Gesamt	195	zusätzlich, während 2011:	
Akademiker	58	Gäste	15
Ingenieure und Techniker	62	Praktikanten	18
Sonstige	33	Studentische Hilfskräfte	16
Doktoranden	16	Studien-, Bachelorarbeiten	22
Diplomanden/Master	10		
DH-Studierende	16		

Zahlen und Daten

Personalveränderungen im Jahr 2011

Ausgeschieden (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Dr. André Berger

Kerstin Brohl

Erhan Cilbir

Clemens Frenzel

Dr. Sergiy Putselyk

Pit André Singer

Stanimira Terzierva

Dr. Alexander Winkler

Werner Wurster

Neu eingestellt (ohne Praktikanten, Gäste und studentische Hilfskräfte)

Katharina Battes

Christoph Bayer

Adalbert Braun

Rami Chahrouri

Sebastian Della Bona

Isabelle Ehleben

Florian Erb

Manuel Grasina

Robin Größle

Marcus Hollik

Dr. Anna Kario

Xavier Lefebvre

Lisa Marie Maurer

Franz Möltgen

Marcus Oberle

Florian Priester

Manuel Pitsch

Bianca Purr

Toni Quach

Pascal Reutter

Marcus Röllig

Florian Schleißinger

Michael Schrank

Michael Schwarz

Severin Strauß

Sophie Sulzmann

Valentin Tschan

Irina Völker

Sonja Wendel

Zahlen und Daten

Trainee / Studentische Hilfskräfte

Trainee 2011 (* abgeschlossen)

Katharina Battes
GOT VACUTEC

Andras Bükki-Deme
GOT-TRI-TOFFY

Thomas Giegerich
GOT VACUTEC

Benedikt Kuffner
GOT GIRO

Xavier Lefebvre
GOT-TRI-TOFFY

Santiago Ochoa Guamán
GOT NIPEE

Ana Parracho*
GOT-TRI-TOFFY

Christoph Plusczyk
GOT-TRI-TOFFY

Alessia Santucci*
GOT-TRI-TOFFY

Michael Schrank
GOT GIRO

Ionut Spiridon
GOT-TRI-TOFFY

Studentische Hilfskräfte in 2011

Daniel Barth

Christoph Bayer

Sebastian Della Bona

Bijay Devkota

Sebastian Hellmann

Till Holzhäuser

Florian Kassel

Pascal Kraft

Patrick Lenz

Jicheng Li

Franz Möltgen

Klaus Müller

Simon Niemes

Teresa Parracho

Toni Quach

Severin Strauß

Zahlen und Daten

Gastwissenschaftler

Gastwissenschaftler

Julien Andre

19.09.–07.10.11 Trainee EFDA Vakuumnetzwerk VACU-TEC - CEA, Grenoble, Frankreich

Prof. Milind Atrey

04.07.–30.07.11 Institute of Technology Bombay, Mumbai, Indien

Aurelien Durocher

03.10.–07.10.11 Trainee EFDA Vakuumnetzwerk VACU-TEC - CEA, Cadarache, Frankreich

Timothy James

09.03.–12.03.11 Universität Swansea

14.07.–22.07.11 Universität Swansea

10.10.–21.12.11 Universität Swansea

Tejas Naphade

10.05.–10.07.11 IIT Bombay / Indien

Alina Niculescu

09.05.–29.07.11 National Institute of R&D for Cryogenic and Isotopic, Technologies, Institut ICIT, RM Vilcea, Rumanien

26.09.–08.12.11 National Institute of R&D for Cryogenic and Isotopic, Technologies, Institut ICIT, RM Vilcea, Rumanien

George Okoth

15.08.–19.08.11 Universität Bremen

Serafeim Misdanitis

03.09.–08.10.11 University of Thessaly / Volos – Greece

Dr. Antti Stenvall

01.01.–31.07.11 Tampere University of Technology / Finnland

Christos Tantos

03.10.–07.10.11 University of Thessaly / Volos – Greece

Prof. Dr. Helmut Telle

08.03.–11.03.11 Universität Swansea

05.12.–09.12.11 Universität Swansea

Lucie Tvrznikova

25.07.–10.09.11 Universität St. Andrews / Schottland

Prof. Dimitris Valougeorgis

03.10.–07.10.11 University of Thessaly / Volos – Greece

Zahlen und Daten

Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien

Kai Bauer

- Mitglied der Helmholtz Akademie für Führungsnachwuchskräfte
- Mitglied im Helmholtz Arbeitskreis „Arbeitsicherheit 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 Borschein

- 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

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).
- Geladener Experte für Vakuumtechnik, Innovationsdialog der Bundeskanzlerin mit Wirtschaft und Wissenschaft.
- Associated Expert of the Indian Vacuum Society (IVS).
- Chartered Engineer of American Vacuum Society (AVS).
- Co-ordinator des VACU-TEC Goal oriented Training Programme, EFDA (GOT).
- International Symposium of Fusion Nuclear Technology, Mitglied im International Programme Committee (ISFNT).
- Sprecher Topic „Vakuum und Tritium“, Deutsche DEMO Initiative

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 Kälte-technik des KIT
- Stellvertretender Obmann im Normenausschuss NA 016-00-07 AA „Flüssighelium-Druckbehälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“
- Mitglied im Verein zur Förderung der Luft- und Kälte-technik e. V.
- Mitglied im KATRIN Executive Board und KATRIN Publications Committee
- Mitglied im International Institute of Refrigeration (IIF/IIR), Kommission A1: Cryophysics, cryoengineering

Reinhard Heller

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

- Vorstand des Deutscher Kälte- und Klimatechnischen Verein (DKV) als Leiter der Arbeitsabteilung I: Kryotechnik

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
- Fusion for Energy (F4E) – Member of the Assessment Group on the procurement of the ITER PF coils
- Member of the Association Steering Committee Euratom-KIT
- International Conference on Magnet Technology, Member of International Organizing and Scientific Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, Member of International Program Committee
- European Conference on Applied Superconductivity, Member of International Program Committee
- Industrieverband Supraleitung, Gastmitglied
- Helmholtz Programm Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Topicsprecher Supraleitung
- Mitglied im Verwaltungsrat der Heinrich-Hertz-Gesellschaft
- KIT Zentrum Energie, Mitglied im Lenkungsausschuss und Ko-Sprecher Energiespeicherung und -verteilung
- Mitglied in der Bewertungsgruppe des Wissenschaftsrates zur Evaluierung der Fakultäten für Elektrotechnik und Informationstechnik
- IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Editor for Large Scale Applications
- Koordination des Forschungsfeldes Supraleitende Magnete innerhalb des Gebietes Energiespeicherung der European Energy Research Alliance (EERA)

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

- Bagrets, N.; Weiss, E.; Westenfelder, S.; Weiss, K.P.
Cryogenic test facility CryoMaK.
22nd Internat. Conf.on Magnet Technology (MT-22),
Marseille, F, September 12–16, 2011
- Bagrets, N.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Kudymow, A.;
Barth, C.; Weiss, K. P.
Thermal properties of materials for coated conductor
Rutherford cables (CCRC).
6th Workshop of Mechanical-Electromagnetic Proper-
ties of Superconductors,
Okinawa, J, December 5–7, 2011
- Barth, C.; Vojenciak, M.; Weiss, K.P.; Schlachter, S.
Electro- mechanical analysis of Roebel cables with diffe-
rent geometries.
Cryogenic Engineering Conf.and Internat.Cryogenic
Materials Conf. (CEC-ICMC),
Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Barth, C.; Weiss, K.P.; Goldacker, W.
Influence of shear stress on current carrying capabilities
of high temperature superconductor tapes.
Applied Superconductivity Conf., Washington, D.C.,
August 1–6, 2010
- * Barth, C.; Weiss, K.P.; Goldacker, W.
Influence of shear stress on current carrying capabilities
of high temperature superconductor tapes.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,
21(2011) S.3098-3101
DOI:10.1109/TASC.2010.2086420
- Bekris, N.; Sirch, M.
On the mechanism of the disproportionation of ZrCo
hydride.
15th Internat.Conf.on Fusion Reactor Materials, Charles-
ton, S.C., October 16-22, 2011
- 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.
5th Internat.FEZA Conf., Valencia, E, July 3–7, 2011
- Ciampichetti, A.; Aiello, A.; Nitti, S.; Ricapito, I.; Liger, K.;
Demange, D.; Sedano, L.; Moreno, C.; Succi, M.
Design of tritium extraction system for the European
HCPB test blanket module.
10th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology
(ISFNT 2011), Portland, Oreg.,
September 11–16, 2011
- Day, C.; Cristescu, I.; Pegourie, B.; Weysow, B.
Considerations towards the fuel cycle of a steady-state
DT fusion device.
23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea,
October 11–16, 2010
Proc.publ.in the Web
Wien: IAEA, 2011 FTP/P1-04
- Day, C.
Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.
VDI-Wissensforum Kryotechnik,
Karlsruhe, 23.–25. März 2011
- Day, C.
Seminar on the ITER vacuum systems.
Engineering on Nuclear Fusion Reactors, Politecnico
Torino, I, January 25, 2011
- Day, Chr.; Wolf, R.
An integrated view on high density plasma operation
and fuel cycle. eingeladen
Internat.Workshop 'MFE Roadmapping in the Iter Era,
Princeton, N.J., September 7–10, 2011
- Day, Chr.
Cryogenic vacuum technology and cryopumps.
VDI-Wissensforum Cryogenics,
Karlsruhe, 21.–23. September 2011
- Day, Chr.; Giegerich, Th.; Hanke, St.; Hauer, V.; Lässer, R.;
Papastergiou, S.
Design development of cryopumping systems for ITER in
view of future DT fusion devices. (eingeladen)
10th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology
(ISFNT 2011), Portland, Oreg.,
September 11–16, 2011
- * Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, St.; Hauer, V.; Luo, X.; Scan-
napiego, M.; Simon, R.; Strobel, H.; Fellin, F.; Lässer, R.;
Masiello, A.; Papastergiou, St.; Dremel, M.; Mayaux, Chr.;
Pearce, R.
Design progress for the ITER torus and neutral beam
cryopumps.
Fusion Engineering and Design, 86(2011) S.2188-2191
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.11.023
- Day, Chr.; Haas, H.; Hanke, St.; Hauer, V.; Luo, X.; Varou-
tis, St.
Modeling and simulation of the ITER cryopumping sys-
tems.
American Vacuum Society 58th Internat.Symp.and Exhi-
bition, Nashville, Tenn.,
October 30–November 4, 2011

- 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.
5th Internat.FEZA Conf., Valencia, E, July 3–7, 2011
- Demange, D.; Alecu, C.; Bekris, N.; Borisevich, O.; Bornschein, B.; Fischer, S.; Köllö, Z.; Le, T.L.; Michling, R.; Schlösser, M.; Sturm, M.; Wagner, R.; Welte, S.
Process and analytical issues for tritium management in breeder blanket of ITER and DEMO.
10th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- Demange, D.
Tritium coupled phenomena in solid breeder blanket concepts: state of the art and rationale for future work plan.
16th Internat.Workshop on Ceramic Breeder Blanket Interactions (CBBI-16), Portland, Or., September 8–10, 2011
- Drotzinger, S.; Fietz, W.H.; Heiduk, M.; Heller, R.; Lange, C.; Lietzow, R.; Möhring, T.
Investigation of HTS current leads under pulsed operation for JT-60SA.
22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- * Fietz, W.H.; Heller, R.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W.
Application of high temperature superconductors for fusion.
Fusion Engineering and Design, 86(2011) S.1365–1368
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.11.018
- Fietz, W.H.; Fink, S.; Lange, C.; Noe, M.; Winkler, A.
Internal transient over-voltages in large fusion coils.
22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- * Fietz, W.H.; Drotzinger, S.; Fink, S.; Heiduk, M.; Heller, R.; Kopmann, A.; Lange, C.; Lietzow, R.; Möhring, T.; Rohr, P.; Rummel, T.; Süßer, M.
Test arrangement for the W7-X HTS-current lead prototype testing.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S.1058–1061
DOI:10.1109/TASC.2010.2095401
- Fink, S.; Winkler, A.; Fietz, W.H.; Noe, M.
Transient electrical voltages within ITER poloidal field coils.
22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- Giegerich, T.; Day, C.; Hauer, V.
Development of a tritium compatible vapor diffusion pump for a commercial fusion power plant.
10th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- Giegerich, T.; Varoutis, S.; Hauer, V.; Day, C.
Measurements in the transflow facility.
64th IUVSTA Workshop on Practical Applications and Methods of Gas Dynamics for Vacuum Science and Technology, Leinsweiler, May 16–19, 2011
- Giegerich, T.; Day, Chr.
View on challenges in operating fusion power plant vacuum systems.
3rd Workshop on the Operation of Large Vacuum Systems (OLAV III), Oak Ridge, Tenn., July 11–14, 2011
- Giegerich, Th.; Day, Chr.
Development of vacuum flow modeling tools.
3rd Workshop on the Operation of Large Vacuum Systems (OLAV III), Oak Ridge, Tenn., July 11–14, 2011
- Haas, H.; Day, Chr.; Herzog, F.
TIMO-2 – a cryogenic test bed for the ITER cryosorption pumps.
Cryogenic Engineering Conf.and Internat.Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC), Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- Hanke, St.; Day, Chr.; Luo, X.; Sonato, P.
Status of the cryosorption pumping system for the neutral beam test facility MITICA.
Italian Vacuum Association 20.Congresso, Padova, I, 17–19 Maggio 2011
- Hanke, St.; Scannapiego, M.; Luo, X.; Day, Chr.; Fellin, F.; Zaccaria, P.
The large cryopump system for the heating neutral beam injection of ITER.
American Vacuum Society 58th Internat.Symp.and Exhibition, Nashville, Tenn., October 30 – November 4, 2011
- Hauer, V.; Day, C.
Network modelling of complex vacuum systems.
64th IUVSTA Workshop on Practical Applications and Methods of Gas Dynamics for Vacuum Science and Technology, Leinsweiler, May 16–19, 2011
- Heiduk, M.; Bagrets, N.; Weiss, K.P.
Data acquisition of a tensile test stand for cryogenic environment.
22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- * Heller, R.; Drotzinger, S.; Fietz, W. H.; Fink, S.; Heiduk, M.; Kienzler, A.; Lange, C.; Lietzow, R.; Möhring, T.; Rohr, P.; Rummel, T.; Mönnich T.; Buscher K.-P.
Test Results of the High Temperature Superconductor Prototype Current Leads for Wendelstein 7-X
IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY Volume: 21, Issue: 3, Pages: 1062–1065, Jun 2011
- * Heller, R.; Fietz, W.H.; Kienzler, A.; Lietzow, R.
High temperature superconductor current leads for fusion machines.
Fusion Engineering and Design, 86(2011) S.1422–1426
DOI:10.1016/j.fusengdes.2010.12.077
- Lange, C.; Baldzuhn, J.; Fink, S.; Heller, R.; Hollik, M.; Fietz, W.H.
Paschen problems in large coil systems.
22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011

- Lietzow, R.; Fietz, W.H.; Heiduk, M.; Heller, R.; Lange, C. A current lead test facility for the cryogenic test of the W7-X and JT-60SA HTS-current leads. Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC), Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- * Luo, X.; Day, C.; Haas, H.; Varoutis, S. Experimental results and numerical modeling of a high-performance large-scale cryopump. I. Test particle Monte Carlo simulation. *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 29(2011) S.041601/1-7
DOI:10.1116/1.3585665
- Luo, X.; Day, Chr. Investigation of a new Monte Carlo method for transitional gas flow. 27th Internat. Symp. on Rarefied Gas Dynamics (RGD 2010), Pacific Grove, Calif., July 10–15, 2010
Proc. Part 1 S.272–276
Melville, N.Y.: American Institute of Physics, 2011 (AIP Conference Proceedings; 1333)
ISBN 978-0-7354-0889-0
- Luo, X.; Varoutis, S.; Haas, H.; Hanke, S.; Day, C. ProVac3D – a test particle Monte Carlo program for complex vacuum systems. 64th IUVSTA Workshop on Practical Applications and Methods of Gas Dynamics for Vacuum Science and Technology, Leinsweiler, May 16–19, 2011
- Luo, X.; Haas, H.; Day, C. Systematic vacuum study of the ITER model cryopump by test particle Monte Carlo simulation. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) VA 2.1
- Maruyama, S.; Yang, Y.; Pitts, R.A.; Sugihara, M.; Putviniski, S.; Carpentier-Chouchana, S.; Li, B.; Li, W.; Baylor, L.R.; Meitner, S.J.; Day, C.; LaBombard, B.; Reinke, M. ITER fuelling system design and challenges. Gas and pellet injection and disruption mitigation. 23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea, October 11–16, 2010
Proc. publ. in the WEB
Wien: IAEA, 2011 ITR/P1-28
- * Masiello, A.; Agarici, G.; Bonicelli, T.; Simon, M.; Alonso, J.; Bigi, M.; Boilson, D.; Chitarin, G.; Day, C.; Franzen, P.; Hanke, S.; Heinemann, B.; Hemsworth, R.; Luchetta, A.; Marcuzzi, D.; Milnes, J.; Minea, T.; Pasqualotto, R.; Pomaro, N.; Serianni, G.; Rigato, W.; Sonato, P.; Toigo, V.; Villecroze, F.; Waldon, C.; Zaccaria, P. The European contribution to the developments of the ITER NB injector. *Fusion Engineering and Design*, 86(2011) S.860–863
DOI:10.1016/j.fusengdes.2011.03.035
- 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. Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC), Spokane, Wash., June 13–17, 2011
- * Osamura, K.; Nyilas, A.; Weiss, K.P.; Shin, H.S.; Katagiri, K.; Ochiai, S.; Hojo, M.; Sugano, M.; Ohsawa, K. International round Robin test for mechanical properties of BSCCO-2223 superconductive tapes at room temperature. *Cryogenics*, 51(2011) S.21–26
DOI:10.1016/j.cryogenics.2010.10.005
- * Pantazis, S.; Varoutis, S.; Hauer, V.; Day, C.; Valougeorgis, D. Gas-surface scattering effect on vacuum gas flows through rectangular channels. *Vacuum*, 85(2011) S.1161–1164
DOI:10.1016/j.vacuum.2010.12.019
- Parracho, A.I.R.T.; Demange, D.; Knipe, S.; Le, L.T.; Simon, K.H.; Welte, S. Process of highly tritiated water desorbed from molecular sieve bed using PERMCAT. 10th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- Pearce, R.J.H.; Antipenkov, A.; Bersier, J.L.; Boussier, B.; Bryan, S.; Hughes, I.; Sekachev, I.; Worth, L.; Baylor, L.; Gardner, W.; Meitner, S.; Wickus, P.; Lässer, R.; Papastergiou, S.; Day, Chr. Gas species, their evolution and segregation through the ITER vacuum systems. 10th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- Plusczyk, C.; Cristescu, I.; Michling, R.; Cilbir, E.; Welte, S. Computational 2 phase fluid dynamic simulation to design a cryogenic reboiler for liquid hydrogen isotopologues distillation. 10th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- Rizzo, E.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R. Analysis and performance assessment for a 68 kA HTS current lead heat exchanger. 22nd Internat. Conf. on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- 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-AS 2011 Workshop, Geneva, Switzerland, Oct 12–14, 2011
- Rizzo, E.; Heller, R.; Savoldi Richard, L.; et al. Heat exchanger CFD analysis for the W7-X high temperature superconductor current lead prototype. *FUSION ENGINEERING AND DESIGN*, Volume: 86, Issue: 6–8, Pages: 1571–1574, DOI: 10.1016/j.fusengdes.2011.04.077, Published: OCT 2011

Rummel, T.; Risse, K.; Ehrke, G.; Rummel, K.; John, A.; Moennich, T.; Buscher, K.-P.; Fietz, W.; Heller, R.; Neubauer, O.; Panin, A.

The superconducting magnet system of the stellarator Wendelstein 7-X

2011 IEEE/NPSS 24th Symposium on Fusion Engineering (SOFE) Published: 2011

Savoldi Richard, L.; Heller, R.; Zanino, R.

Thermal-hydraulic simulation of 80 kA safety discharge in the ITER toroidal field model coil (TFMC) using the 4C code.

15th Internat. Conf. on Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES 2011), San Francisco, Calif., May 15–19, 2011

Scannapiego, M.; Day, C.; Hanke, S.; Hauer, V.

Thermohydraulic investigation on the ITER neutral beam injector cryopump.

Chorowski, M. [Hrsg.]

Proc. of the 23rd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2010), Wrocław, PL, July 19–23, 2010

Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011 S.827-832

ISBN 978-83-7493-589-0

Sonato, P.; Bonicelli, T.; Chakraborty, A.K.; Hemsworth, R.; Watanabe, K.; Day, C.; Franzen, P.; Waldon, C.

The ITER neutron beam facility in Padua – Italy: a joint international effort for the development of the ITER heating neutral beam injector prototype.

23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon, Korea, October 11–16, 2010

Proc. publ. in the Web

Wien: IAEA, 2011

Varoutis, S.; Sharipov, F.; Valougeorgis, D.; Sazhin, O.

Benchmark problem. Direct simulation Monte Carlo of gas flow through an orifice and short tube.

64th IUVESTA Workshop on Practical Applications and Methods of Gas Dynamics for Vacuum Science and Technology,

Leinsweiler, May 16–19, 2011

Varoutis, S.; Sharipov, F.; Day, C.; Luo, X.; Haas, H.

Follow-up vacuum study of the ITER model cryopump by the direct simulation Monte Carlo method.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 13.–18. März 2011

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) VA 2.2

Varoutis, S.; Day, C.

Numerical modeling of an ITER type cryopump.

10th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg.,

September 11–16, 2011

Weiss, K.P.; Westenfelder, S.; Fietz, W.H.

Determination of mechanical and thermal properties of electrical insulation material at 4.2 K.

Cryogenic Engineering Conf. and Internat. Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC),

Spokane, Wash., June 13–17, 2011

* Weiss, K.P.; Goldacker, W.; Nannini, M.

Finite element analysis of torsion experiments on HTSC tapes.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S.3102-3106

DOI:10.1109/TASC.2010.2090121

Weiss, K.P.; Jung, A.; Westenfelder, S.; Vostner, A.; Jewell, M.

Impact of cold work on ductility of ITER TF jacket material.

22nd Internat. Conf. on Magnet Technology (MT-22),

Marseille, F, September 12–16, 2011

Welte, S.; Demange, D.; Wagner, R.; Gramlich, N.

Development of a technical scale PERMCAT reactor for processing of highly tritiated water.

10th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg.,

September 11–16, 2011

Wolf, R.C.; Aktaa, J.; Antusch, S.; Biel, W.; Boccaccini, L.V.; Bornschein, B.; Brezinsek, S.; Cismondi, F.; Day, C.;

Demange, D.; Fantz, U.; Fietz, W.; Franzen, P.; Gantenbein, G.; Ghidersa, B.E.; Giegerich, Th.; Gunter, S.; Hauer, V.;

Heller, R.; Hesch, K.; Igitkhanov, Y.; Kallenbach, A.; Kern, S.;

Knitter, R.; König, R.; Konys, J.; Koslowski, H.R.; Lackner, K.;

Landman, I.; Lehnen, M.; Lietzow, R.; Linke, J.; Linsmeier, C.;

Meister, H.; Mertens, P.; Mittwollen, M.; Möslang, A.;

Neubauer, O.; Noe, M.; Norajitra, P.; Noterdaeme, J.M.;

Pautasso, G.; Phillips, V.; Reiter, D.; Rieth, M.; Roth, J.;

Tardini, G.; Treutterer, W.; Schauer, F.; Schlachter, S.;

Strauß, D.; Unterberg, B.; Weiss, K.; You, J.H.; Zohm, H.

Assessment of the physics and technology requirements for a fusion DEMO.

Integration of Fusion Science and Technology for Steady State Operation: 21st

Internat. Toki Conf., Toki City, Gifu, J, November 28–December 1, 2011

Zanino, R.; Bonifetto, R.; Heller, R.; Richard L. S.

Validation of the 4C Thermal-Hydraulic Code Against 25 kA Safety Discharge in the ITER Toroidal Field Model Coil (TFMC)

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S. 1948–1952, DOI: 10.1109/TASC.2010.2089771

Veröffentlichungen

Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (* ISI referiert)

* Berger, A.; Noe, M.; Kudymow, A.

Recovery characteristic of coated conductors for superconducting fault current limiters.

IEEE Transactions on Superconductivity, 21(2011)

S.1315–1318

DOI:10.1109/TASC.2010.2088090

* Berger, A.; Noe, M.; Kudymow, A.

Test results of 60 kVA current limiting transformer with full recovery under load.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity,

21(2011) S.1384–1387

DOI:10.1109/TASC.2010.2088098

Elschner, S.; Bludau, M.; Bock, J.; Fink, S.; Goldacker, W.; Hobl, A.; Kudymov, A.; Noe, M.

ENSYSTROB – components for a superconducting fault current limiter based on coated conductors. (eingeladen)

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

* Elschner, S.; Kudymow, A.; Fink, S.; Goldacker, W.;

Grilli, F.; Schacherer, C.; Hobl, A.; Bock, J.; Noe, M.

ENSYSTROB – resistive fault current limiter based on coated conductors for medium voltage application.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity,

21(2011) S.1209–1212

DOI:10.1109/TASC.2010.2100799

Goldacker, W.

HTS activities in Germany/Europe and common trends.

Road Map Meeting for Superconductivity in Turkey,

Ankara, TR, December 7–9, 2011

Goldacker, W.

HTS and MgB₂-cable developments at KIT.

Low Temperatur Physics Seminar, Atominstitut, Technische Universität Wien, A,

5. Dezember 2011

Goldacker, W.; Schlachter, S.

HTS and MgB₂ cables for application in energy technology and magnets.

Vortr.: CERN, Geneve, CH, 23. Februar 2011

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.

Low loss high current 2G-cables for power applications.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Grilli, F.; Pardo, E.; Vojenciak, M.

Self-field effects, J_c(B) dependence and ac losses in ROEBEL-assembled YBCO coated conductor cables.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Hobl, A.; Bock, J.; Elschner, S.; Krämer, S.; Bludau, M.;

Schramm, J.; Noe, M.; Kudymow, A.; Goldacker, W.

ENSYSTROB – a HTS fault current limiter based on coated conductors for a power plant auxiliary supply.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Hobl, A.; Bock, J.; Schramm, J.; Krämer, S.; Jänke, C.; Elschner, S.; Noe, M.; Kudymow, A.; Goldacker, W.;

Dutoit, B.; Martini, L.; Bocchi, M.; Stoeber, P.; Tixador, P.

Superconducting fault current limiter development based on coated conductors

within the project ECCOFLOW – system aspects.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

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.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Kario, A.; Häbeler, W.; Rodig, C.; Schubert, M.; Kovac, P.; Melisek, T.; Nast, R.; Goldacker, W.; Holzapfel, B.;

Schultz, L.

Preparation and properties of isotropic J_c multifilamentary ex situ MgB₂ tapes.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Krüger, P.

Numerical and experimental studies of superconductor/ferromagnet heterostructures.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Kudymow, A.; Elschner, S.; Grilli, F.; Vojenciak, M.;

Goldacker, W.

Comparison of single and double 2G YBCO tapes for usage in resistive fault current limiters.

Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity,

Den Haag, NL, September 18–23, 2011

- * Kudymow, A.; Elschner, S.; Maeder, O.; Goldacker, W. Optimisation of 2G YBCO wires for resistive fault current limiters. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S.1311–1314 DOI:10.1109/TASC.2010.2086410
- Leys, P. Superconducting high field magnets. VDI Wissensforum Cryogenics, Karlsruhe, September 21–23, 2011
- Mäder, O.; Noe, M.; Berger, A.; Goldacker, W. Recovery behavior of coated conductors near contact areas. Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011
- Martini, L.; Noe, M.; Tixador, P.; Bocchi, M. The ECOFLOW project: design and simulations results of a superconducting fault current limiter for operation in electricity networks. 21st Internat.Conf.and Exhibition on Electricity Distribution, Frankfurt, June 6–9, 2011 Proc.on CD-ROM Paper 1162
- * Mentink, M.G.T.; Anders, A.; Dhalle, M.M.J.; Dietderich, D.R.; Godeke, A.; Goldacker, W.; Hellman, F.; ten Kate, H.H.J.; Putnam, D.; Slack, J.L.; Sumption, M.D.; Susner, M. Analysis of bulk and thin film model samples intended for investigating the strain sensitivity of niobium-tin. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S.2550–2553 DOI:10.1109/TASC.2010.2087373
- Mentink, M.G.T.; Dhalle, M.M.J.; Dietderich, D.R.; Godeke, A.; Goldacker, W.; Hellman, F.; Sumption, M.D.; Susner, M.A.; ten Kate, H.H.J. The effect of Cu, Ta, and Ti additions on the strain sensitivity of bulk niobium-tin. Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011
- Nast, R.; Ringsdorf, B.; Jung, A.; Runtsch, B.; Goldacker, W. YBCO coated conductor joints in dependence of uniaxial pressures. Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011
- Neumann, H. Experimental investigation of thermal insulation arrangement within a flexible cryostat for HTS power cables. Chorowski, M. [Hrsg.] Proc.of the 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010 Wroclaw: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2011 S.1029–1034 ISBN 978-83-7493-589-0
- Neumann, H. Thermische Isolation. VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. März 2011
- Neumann, H. Wärmeübertragung an Kryogene – Kühltechniken. VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. März 2011
- Noe, M.; Bock, J.; Stemmler, M.; Schmidt, F.; Merschel, F. Combined HTS cable and fault current limiter project in Germany. 10th EPRI Superconductivity Conf., Tallahassee, Fla., October 11–13, 2011
- Noe, M.; Hobl, A.; Tixador, P.; Martini, L.; Dutoit, B. Concept design of a 20 kV, 1 kA resistive superconducting fault current limiter. 22nd Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-22), Marseille, F, September 12–16, 2011
- Noe, M.; Komarek, P. History and prospects of applied superconductivity technology for fusion magnets. Integration of Fusion Science and Technology for Steady State Operation: 21st Internat.Toki Conf., Toki City, Gifu, J, November 28 – December 1, 2011
- Noe, M. History, state-of-the-art and perspectives of superconducting power equipment. Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011 Vortr.: Nagoya University, J, 29. November 2011
- Noe, M. Hochtemperatur Supraleiter: Kabel und Strombegrenzer. 77. Kabelseminar, Hannover, 22.–23. Februar 2011
- Noe, M.; Stemmler, M.; Schmidt, F.; Merschel, F.; Hofmann, L.; Bock, J. Neue Mittel- statt konventioneller Hochspannungsnetze durch Hochtemperatur-Supraleitung. Internat.ETG-Kongress, Würzburg, 8.–9. November 2011
- Noe, M. Status of development of superconducting fault current limiters (SCFCL) and superconducting cables. European Summer School on Superconductivity 2011, Turku, SF, June 12–17, 2011
- Noe, M. Superconducting power applications and their potential to increase energy efficiency. Vortr.: Institut de Ciencia de Materials de Barcelona (ICMAB), Barcelona, E, 25. Februar 2011
- Noe, M. Superconductivity for future energy technology. 24th Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2011), Tokyo, J, October 24–26, 2011

- Noe, M.; Merschel, F.; Hofmann, L.; Stemmler, M.; Schmidt, F.; Bock, J.
Supraleitende Mittelspannungskabel zur Stromversorgung in Städten.
Internat.ETG-Kongress, Würzburg, 8.–9. November 2011
- Noe, M.
Supraleitende Transformatoren.
Leistungstransformatoren im täglichen Betrieb:
6. Fachtagung Energie, Köln, 5.–6. Oktober 2011
- Prikhna, T.A.; Gawalek, W.; Savchuk, Ya.M.; Goldacker, W.; Eisterer, M.; Weber, H.; Noudem, J.; Serga, M.; Tkach, V.N.; Habisreuther, T.; Chaud, X.; Dellith, J.; Wendt, M.; Dub, S.; Moshchil, V.; Sergienko, N.; Fesenko, I.; Litzkendorf, D.; Karau, F.; Tompsic, M.; Nagorny, P.; Sverdun, V.; Borimskiy, A.; Schmidt, Ch.
High-pressure synthesized MgB₂-based materials with high critical current density and upper critical field.
Chorowski, M. [Hrsg.]
Proc.of the 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
Wroclaw : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2011 S.1213–1218
ISBN 978-83-7493-589-0
- Ramalingam, R.; Süßer, M.
Investigation of fiber Bragg grating based displacement sensors in cryogenic environment.
Chorowski, M. [Hrsg.]
Proc.of the 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
Wroclaw : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2011 S.555–560
ISBN 978-83-7493-589-0
- Ramalingam, R.; Schwarz, M.
Investigation of magnetic-field-induced temperature error of Pt-500.
Sensors and Transducers, 124(2011) Nr.1, S.1–10
- * Sander, M.; Gehring, R.; Noe, M.
A novel energy storage concept based on hydrogen and superconductors.
IEEE Transactions of Applied Superconductivity, 21(2011) S.1362–1366
DOI:10.1109/TASC.2010.2088359
- * Sander, M.; Neumann, H.
LIQHYSMES – size, loss and cost considerations for the SMES – a conceptual analysis.
Superconductor Science and Technology, 24(2011) S.105008/1-8
DOI:10.1088/0953-2048/24/10/105008
- Santucci, A.; Demange, D.; Goerke, O.; Le, T.L.; Pfeifer, P.; Welte, S.
Inactive commissioning of a micro channel catalytic reactor for highly tritiated water production in the CAPER facility of TLK.
10th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT 2011), Portland, Oreg., September 11–16, 2011
- * Schlachter, S.I.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Heller, R.; Kudymow, A.
Coated conductor Rutherford cables (CCRC) for high-current applications: concept and properties.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21(2011) S.3021–3024
DOI:10.1109/TASC.2010.2095811
- Schneider, T.
Supraleitende Hochfeldmagnete.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. März 2011
- Schrank, M.; Süßer, M.
Erstellung eines Messunsicherheitsbudgets für die kryogene Temperaturmessung.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2011, Aachen, 16.–18. November 2011
- Stemmler, M.; Merschel, F.; Oswald, B.R.; Noe, M.
Novel Grid concepts for urban area power supply.
8th Internat.Conf.on Insulated Power Cables (Jicable 2011), Versailles, F, June 19–23, 2011
- Stenvall, A.; Vojenciak, M.; Pellikka, M.; Raunonen, P.; Tarhasaari, T.; Grilli, F.
The effect of twisting on superconductor self-field critical current.
Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011
- Süßer, M.
Kryogene Mess- und Regeltechnik.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 23.–25. März 2011
- Süßer, M.
Messen von kleinen Durchflüssen.
VDI Wissensforum 'Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen', Düsseldorf, 23.–25. März 2011
VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen', Frankfurt, 19.–21. Oktober 2011
- Sumption, M.D.; Majoros, M.; Goldacker, W.; Nijhuis, A.; Collings, W.
Current sharing and AC losses in coated conductor Roebel cables.
Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011
- * Terzieva, S.; Vojenciak, M.; Grilli, F.; Nast, R.; Souc, J.; Goldacker, W.; Jung, A.; Kudymov, A.; Kling, A.
Investigation of the effect of striated strands on the AC losses of 2G Roebel cables.
Superconductor Science and Technology, 24(2011) S.045001/1-5
DOI:10.1088/0953-2048/24/4/045001
- Vojenciak, M.; Grilli, F.; Terzieva, s.; Krueger, P.; Nast, R.; Holubek, T.; Schlachter, S.I.; Kling, A.; Goldacker, W.
Experimental techniques for magnetization AC loss investigation.
Superconductivity Centennial Conf., European Conf.on Applied Superconductivity, Den Haag, NL, September 18–23, 2011

Veröffentlichungen

Programm „Struktur der Materie“ (* ISI referiert)

- Babutzka, M.; KATRIN Collaboration
Entwicklung des Calibration und Monitoring Systems (CMS) am KATRIN-Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.7
- Barrett, J.; Corona, T.; Formaggio, J.; Furse, d.; Glück, F.; Käfer, W.; Leiber, B.; Mertens, S.; Oblath, N.; KATRIN Collaboration
Kassiopeia – die KATRIN MC Simulation.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.3
- Beskers, B.; KATRIN Collaboration
Stabilitätsüberwachung der KATRIN Quelle mit einer Si-PIN-Diode.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 71.7
- Bode, T.; KATRIN Collaboration
Inbetriebnahme des Kühlsystems der KATRIN Tritiumquelle.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 107.7
- Bornschein, B.
Between fusion and cosmology – the future of the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Progress in Cryogenics and Isotopes Separation: 17th National Conf.with Internat.Participation, Valcea, R, October 26–28, 2011
- Fischer, S.; KATRIN Collaboration
Laser Raman spectroscopy for the KATRIN experiment. ASPERA Technology Forum on Mirrors and Lasers in Astroparticle Physics Infrastructures, Pisa, I, October 20–21, 2011
- Fischer, S.; KATRIN Collaboration
Laser Raman Spektroskopie an Tritium für KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Quantenoptik und Photonik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) Q 49.3
- Fischer, S.; KATRIN Collaboration
Status of the KATRIN experiment.
Internat.Europhysics Conf.on High-Energy Physics 2011, Grenoble, F, July 21-27, 2011
- Görhardt, S.; KATRIN Collaboration
Reduktion der durch Radon induzierten Untergrundprozesse in den KATRIN Spektrometern.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 107.8
- Grössle, R.; Thümmel, T.; KATRIN Collaboration
Systematik der Hochspannung am KATRIN-Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28.März – 1.April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.6
- Groh, S.; KATRIN Collaboration
Untersuchung von UV-Laser induziertem Untergrund am KATRIN Vorspektrometer.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 107.5
- Grohmann, S.; Kazachenko, O.; Putselyk, S.
Design of the argon frost pump in the KATRIN experiment.
Chorowski, M. [Hrsg.]
Proc.of the 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and
Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wroclaw, PL, July 19–23, 2010
Wroclaw : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2011 S.671-676
ISBN 978-83-7493-589-0
- * Grohmann, S.; Bode, T.; Schön, H.; Süßer, M.
Precise temperature measurement at 30 K in the KATRIN source cryostat.
Cryogenics, 51(2011) S.438-445
DOI:10.1016/j.cryogenics.2011.05.001
- Grohmann, S.; Bode, T.; Schön, H.; Süßer, M.
Test of the beam tube cooling system for the tritium source in KATRIN
Cryogenic Engineering Conf.and Internat.Cryogenic Materials Conf. (CEC-ICMC),
Spokane, Wash., June 13–17, 2011

- Haag, M.; KATRIN Collaboration
Entwicklung eines Software-Frameworks für die Datenanalyse am KATRIN-Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.4
- Hötzel, M.; Hua, J.; Käfer, W.; KATRIN-Collaboration
Simulation der Kryptonmodus der KATRIN Quelle.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.2
- Kernert, N.; KATRIN Collaboration
Status des Quell- und Transportsystems von KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Münster, 21.–25. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) HK 19.2
- Leiber, B.; KATRIN Collaboration
Simulation von Untergrund durch nicht-axialsymmetrische magnetische Felder.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.5
- Mao, H.; Schlachter, S.; Süßer, M.
Magnetic behaviour of rhodium-iron cryogenic sensor and high magnetic field correction.
Chorowski, M. [Hrsg.]
Proc.of the 23rd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and
Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2010), Wrocław, PL, July 19–23, 2010
Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011 S.549-554
ISBN 978-83-7493-589-0
- Priester, F.; KATRIN Collaboration
Kompatibilitätsexperimente von Turbomolekularpumpen mit Tritiumgas.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) VA 3.2
- Reich, J.; KATRIN Collaboration
Magnetfelder am KATRIN Hauptspektrometer. Luftspulen- und Monitoringsystem.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.8
- Röllig, M.; KATRIN Collaboration
Tritiumnachweis per b-induzierter Röntgenspektroskopie.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) VA 3.1
- Schilling, H.; KATRIN Collaboration
Messungen der elektro-optischen Eigenschaften der differentiellen Pumpstrecke von KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 107.6
- Schlösser, M.; KATRIN Collaboration
Accuracy of the laser Raman system for KATRIN.
ISAPP (International School on Astroparticle Physics) Summer School 2011,
Varenna, I, July 26 – August 5, 2011
- Schlösser, M.; Fischer, S.; Hötzel, M.; Käfer, W.
Accuracy of the laser Raman system for KATRIN.
ISAPP 2011 : Internat.School on Astroparticle Physics, Varenna, I, July 26 – August 5, 2011
- Schlösser, M.; James, T.; Lewis, R.; Telle, H.; KATRIN Collaboration
Methoden zur Prozessierung von Ramanspektren.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Quantenoptik und Photonik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) Q 49.9
- Schönung, K.; KATRIN Collaboration
Untersuchung der Lebensdauer von Antireflexionsschichten unter Tritiumatmosphäre für KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Quantenoptik und Photonik, Dresden, 13.–18. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) Q 62.7
- Schupp, M.; KATRIN Collaboration
Installation und Inbetriebnahme des Monitorspektrometers von Katrin.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 105.9
- Schwarz, J.; Steidl, M.; KATRIN Collaboration
Testmessungen des Fokalebenendetektors des KATRIN Experiments.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, Karlsruhe, 28. März – 1. April 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) T 71.8
- Steidl, M.; Schwarz, J.; KATRIN Collaboration
Charakterisierung des Fokalebenendetektors des KATRIN Experiments.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Münster, 21.–25. März 2011
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) HK 19.4
- Sturm, M.
Status of the KATRIN experiment with special emphasis on source-related issues.
31st Internat.Symp.on Physics in Collosion (PIC-2011), Vancouver, CDN, August 28 – September 1, 2011

Süsser, M.

Conditioning of 27 W rhodium-iron ceramic sensors for extremely difficult applications.

Chorowski, M. [Hrsg.]

Proc. of the 23rd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 23) and

Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2010), Wrocław, PL, July 19–23, 2010

Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011 S.561-564

ISBN 978-83-7493-589-0

Thümmeler, T.; Grössle, R.; KATRIN Collaboration

Systematik der Hochspannung am KATRIN-Experiment.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Münster, 21.–25. März 2011

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) HK 19.3

Wandkowsky, N.; KATRIN Collaboration

Untersuchungen zu Untergrundeffekten durch radioaktive Zerfälle im KATRIN Hauptspektrometer.

Frühjahrstagung DPG, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Münster, 21.–25. März 2011

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.46(2011) HK 68.2

Veröffentlichungen

Eingeladene Vorträge

Beate Borschein

- B. Borschein „Between fusion and cosmology – the future of the Tritium Laboratory Karlsruhe (TLK).“ Progress in Cryogenics and isotope Separation Konferenz Valcea Rumänien

David Demange

- D. Demange „Process and Analytical Issues for Tritium management in Breeder Blanket of ITER and DEMO.“ ISFNT 2011

Christian Day

- Chr. Day, „Vacuum technology in DT fusion devices“, Current research topics in Nuclear Fusion Engineering Lecture Series, Politecnico Torino, Italien, 25. Januar 2011.
- Chr. Day, D. Demange, Th. Giegerich, V. Hauer, R. Wolf, V. Kotov, D. Reiter, „An integrated view on high density operation and fuel cycle“, MFE Roadmapping Workshop, Princeton, NJ, USA, September 2011.
- Chr. Day, Th. Giegerich, St. Hanke, V. Hauer, M. Scannapiego, St. Papastergiou, R. Lässer, „Design development of cryopumping systems of ITER in view of future DT fusion devices“, Int. Symp. On Fusion Nuclear technology (ISFNT), Portland, OR, USA, September 2011.
- Chr. Day, Th. Giegerich, H. Haas, V. Hauer, St. Hanke, X. Luo, St. Varoutis, „Modelling and simulations of the ITER cryopumping systems“, Annual Symposium of the American Vacuum Society, Nashville, TN, USA, Oktober 2011.

Wilfried Goldacker

- Workshop: Roadmap for Superconductivity in Turkey: HTS4Fusion KIT Beitrag Goldacker.

Francesco Grilli

- F. Grilli, AC Losses in Roebel Cables. HTS4Fusion Conductor Workshop, Karlsruhe, Germany, May 26–27, 2011.

Stefan Hanke

- St. Hanke, Chr. Day, X. Luo, P. Sonato, „Status of the cryosorption pumping system for the Neutral beam test facility MITICA“, 20. Jahrestagung der Italienischen Vakuumgesellschaft, Padua, Italien, Mai 2011.

Xueli Luo

- X. Luo, „Monte Carlo calculation of the ITER pre-production cryopump“, Institutsseminar ASIPP, Hefei, China, 7. Dezember 2011.

Mathias Noe

- M. Noe, E. Marzahn „Hochtemperatur-Supraleiter Kabel“, 77. Kabelseminar, 22.–23. Februar 2011, Leibniz Universität Hannover
- M. Noe „Superconducting power applications and their potential to increase energy efficiency“, Symposium on Superconducting Devices for Wind Energy, February 25th 2011, Barcelona, Spain (Plenary talk)
- M. Noe „Status of Development of Superconducting Fault Current Limiters (SCFCL) and Superconducting Cables“, European Summer School on Superconductivity 2011, June 12–17, 2011, Turku, Finland
- M. Noe „History, state-of-the-art and prospects of superconducting power equipment“ Superconductivity Centennial Conference, EUCAS-ISEC-ICMC 2011, September 19–23, The Hague, Netherlands (Special plenary session)
- M. Noe „Supraleitende Transformatoren: Mit hoher Effizienz und mehr Sicherheit in die Zukunft“, 6. Fachtagung Energie, 5.–6. Oktober 2011, Köln
- M. Noe „Superconductivity for Future Energy Technology“, International Symposium of Superconductivity, October 24–26 2011, Tokyo, Japan (Plenarvortrag)
- M. Noe, M. Stemmler, F. Merschel, L. Hofmann, J. Bock, F. Schmidt „Neue Mittel- statt konventioneller Hochspannungsnetze durch Hochtemperatur-Supraleitung“, Internationaler ETG Kongress, 8.–9. November 2011, Würzburg
- M. Noe, P. Komarek „History and prospects of applied superconductivity technology for fusion magnets“, 21st International Toki Conference (ITC-21) on Integration of Fusion Science and Technology for Steady State Operation, November 28 – December 1, 2011, Toki, Gifu, Japan (Plenarvortrag)

Sonja Schlachter

- S. I. Schlachter, W. Goldacker, „MgB₂ and BSCCO cable concepts“, HTS 4 Fusion Conductor Workshop, Karlsruhe KIT, 26th – 27th May 2011
- S. I. Schlachter, C. Barth, A. Drechsler, B. Ringsdorf, A. Kling, W. Goldacker, „Coated Conductor Rutherford Cable (CCRFC)“, ICMC-2011 Spokane USA, 13th – 17th June 2011

Stylianos Varoutis

- St. Varoutis, „Numerical and experimental investigation of rarefied gas flows over the whole range of the Knudsen number“, PORE-NET Graduiertenkolleg, Bremen, 12. Dezember 2011

Veröffentlichungen

Schutzrechtsbestände

* Neue Schutzrechtsanmeldungen in 2011

** Schutzrechtserteilungen mit Wirkung für Deutschland in 2011

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

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

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

DE 10036519

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

Planarhelischer Undulator

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

DE 102006056052
EP 07846613.3-1226
JP 2009538613
US 12/516,50

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

Kläser, Marion

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

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

Schneider, Theo

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

Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Strombegrenzer

Gehring, Rainer; Sander, Michael

DE 102007042711 **

Mit einer Kühlschicht versehener hochtemperatursupraleitender 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
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
WO PCT/EP2011/001312

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

Neumann, Holger; Sander, Michael

DE 102011013577.4-23 *

Isolierter Hochtemperatur-Bandsupraleiter und Verfahren zu seiner Herstellung

Brand, Jörg; Elschner, Steffen; Fink, Stefan; Goldacker, Wilfried; Kudymow, Andrey
DE 102011107313.6 *

Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung des Massenstroms eines Fluids

Grohmann, Steffen
DE 102011120899.6 *

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

Flükiger, René; Goldacker, Wilfried
DE CH736/95-3

Kapazitiver Spannungsteiler zur Messung von Hochspannungsimpulsen mit Millisekunden-Impulsdauer

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Salbert, Heinrich
CH 1097385
DK 1097385
FR 1097385
GB 1097385
JP 3589984
US 6456094
DE 1097385

Kapazitiver Spannungsteiler zur Messung von Hochspannungsimpulsen mit Millisekunden-Impulsdauer

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Salbert, Heinrich
DE 19923211

Axialer, kryotechnisch geeigneter Potentialtrenner

Fink, Stefan; Friesinger, Günter
DE 1196711

Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
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)

Professor a. D.

Prof. Dr. Peter Komarek (-22652)

Hochfeldmagnete

Dr. Theo Schneider (-22344)

Kryotechnik

Dr. Holger Neumann (-22625)

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Dr. Wilfried Goldacker (-24179)

Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Leitung

Dr. Beate Bornschein (-23239)

Administration

Kai Bauer (-23705)

Fusionsmagnete

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

Vakuumtechnik

Dr. Christian Day (-22609)

Koordination KATRIN im ITEP

Dr. Beate Bornschein (-23239)

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 2012

www.kit.edu