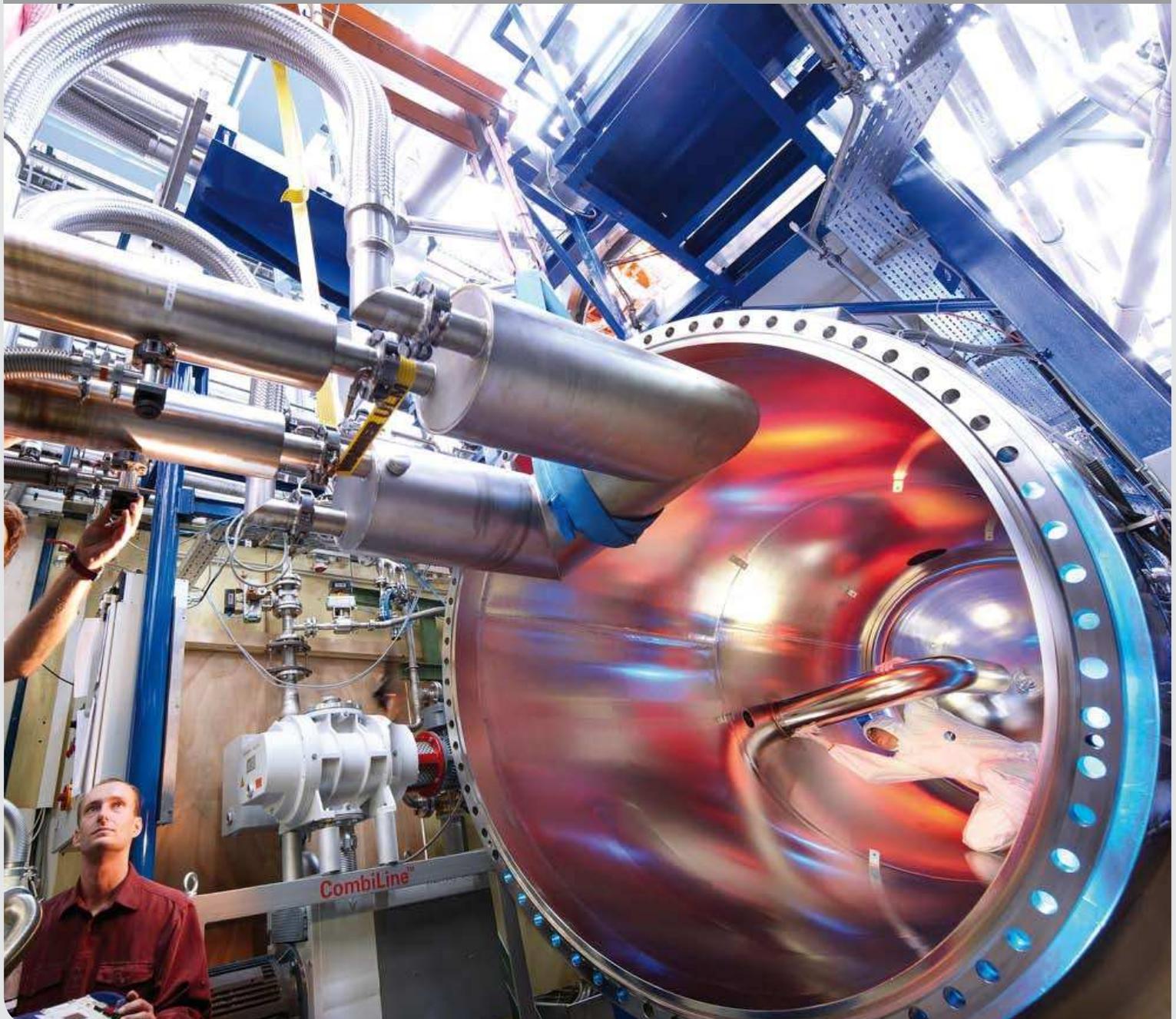


ITEP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung
Jahresbericht 2009

INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK



Impressum

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

Telefon +49 7247/82-3501

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),
Copyright Peter Ginter

Gestaltung + Druck: Schrift & Druck Hammer GmbH

Mai 2010

Inhalt

Vorwort	4
Ergebnisse aus den Forschungsbereichen	6
Technologie für Fusionsmagnete	6
Supraleitende Hochfeldmagnete	10
Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen	16
Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)	20
Vakuumtechnik	26
Kryotechnik	32
Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN	36
Lehre und Bildung	42
Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen	42
Diplom-, Bachelor-, Master-, Studien-, Techniker- und Doktorarbeiten	43
ITEP Kolloquien 2009	45
Zahlen und Daten	46
Organigramm	46
Personalstand 2009	46
Personalveränderungen im Jahr 2009	47
Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien	48
Veröffentlichungen	49
Veröffentlichungen Programm „Kernfusion“ (FUSION)	49
Veröffentlichungen Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (REUN)	52
Veröffentlichungen Programm „Struktur der Materie“	57
Eingeladene Vorträge	59
Schutzrechtsbestände	60
Kontakt	63

Vorwort

Das Institut für Technische Physik (ITEP) versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum der Fusions-, Supraleitungs- und Kryotechnologie mit Arbeitsschwerpunkten 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“ sowie „Astroteilchenphysik“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren verankert.

Zur Bearbeitung seiner komplexen und meist multidisziplinären Aufgaben kann das ITEP auf einzigartige große Versuchseinrichtungen, Labore und entsprechende technische Infrastruktur zurückgreifen. Dazu gehören das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK), die Toroidal-Spulen-Testanlage Karlsruhe (TOSKA) zum Testen großer Magnete für die Fusion, die Testanlage für die ITER Modellpumpe (TIMO) zum Testen von Kryovakuumumpfen, das Hochfeldmagnetlabor, das kryogene Hochspannungslabor und die kryogenen Materiallabore.

Das Jahr 2009 brachte wichtige wissenschaftliche Ergebnisse sowie einige besondere Herausforderungen und Ereignisse, auf die ich im Folgenden kurz eingehen möchte.

Im Bereich Fusionsmagnete entwickelt, baut und testet das ITEP für das Fusionsprojekt Wendelstein 7-X und den japanischen Tokamak JT60-SA die Hochstromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern. 2009 erreichte das Institut dabei einen äußerst wichtigen Meilenstein: Der erste Prototyp der Stromzuführungen für Wendelstein 7-X wurde aufgebaut und instrumentiert und steht somit 2010 rechtzeitig für einen Test bereit. Parallel dazu gelangen wesentliche Fortschritte beim weiteren Aufbau der Experimentieranlage zum Testen dieser Stromzuführungen. Weiterhin intensivierte das ITEP die Arbeiten im kryogenen Materiallabor und ging erste Schritte zur Akkreditierung einzelner Laborbereiche.

Das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) wird bei ITER die Bereitstellungspakete zur Wasserdetritionierung und kryogenen Isotopentrennung übernehmen. 2009 etablierte das TLK unter anderem hochpräzise neue Analytikmethoden zur Online- und Inlinemessung der Tritiumkonzentration in Wasser oder in flüssigem Wasserstoff. Im

Rahmen der europäischen Arbeiten zu ITER bildete sich unter Leitung des TLK ein Tritium Plant Konsortium mit dem Ziel, Synergien in Europa besser zu nutzen.

Der Bereich Vakuumtechnik im ITEP ist bei ITER verantwortlich für Design, Bereitstellung und Test der Kryovakuumumpfen. Schwerpunkte der Arbeiten 2009 waren die Erstellung des FEM Detailedesigns und grundlegende thermohydraulische Untersuchungen zur Design-Validierung. Ergänzend baute der Bereich Vakuumtechnik die Aktivitäten zur Modellierung von Vakuumströmungen weiter aus.

Die Entwicklung von wirtschaftlichen und leistungsfähigen Leiterkonzepten stellt eine Kernaufgabe des Bereichs Supraleitermaterialentwicklung im ITEP dar. 2009 führte dieser Bereich die ausgesprochen erfolgreiche Entwicklung von Roebel-strukturierten Bandleitern mit Supraleitern der 2. Generation fort, indem er eine automatische Stanzvorrichtung zur rationellen Fertigung in Betrieb nahm. Weiterhin entstanden vielversprechende Multileiterkonzepte mit Magnesiumdiborid-Supraleitern. In Bezug auf die energietechnischen Anwendungen der Supraleitung startete ein Verbundprojekt mit dem Ziel, bis 2011 einen Mittelspannungstrombegrenzer im Netz der Elektroversorgung zu installieren.

Im Bereich Supraleitende Hochfeldmagnete bildet die Entwicklung des ersten 1000 MHz NMR Spektrometers durch einen langjährigen Industriepartner ein weltweit sichtbares Highlight. Grundlegende Technologien dazu waren am ITEP entstanden. Zudem liefen vorbereitende Arbeiten zu einem Hochfeldmagneteinsatz für Magnetfelder bis zu 25 T. Im Jahr 2009 begann ein neues EU-Projekt zur Entwicklung der nächsten Generation von Beschleunigermagneten, in welches das ITEP sein Know-how über Hochfeldmagneten aus Supraleitern einbringt.

Die Arbeiten im Bereich Kryotechnik umfassten 2009 im Wesentlichen die weitere Entwicklung komplexer und äußerst großer Kryosysteme – beispielsweise für TOSKA und KATRIN –, den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Kälteanlagen und die Versorgung des KIT mit flüssig-Helium und flüssig-Stickstoff. Für die neu aufzubauende Anlage zum Testen der Stromzuführungen bereitete der Bereich Kryotechnik die neue Laborfläche vor, indem er wichtige Infrastrukturelemente realisierte.

Innerhalb des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) obliegt dem ITEP seit Projektbeginn die Verantwortung für den Aufbau und den Betrieb der Tritiumkreisläufe und der Kryoversorgung sowie für die Bereitstellung der supraleitenden Magnete. Wichtige Schritte 2009 waren die Auslieferung und der Aufbau einer ersten supraleitenden Magnetstrecke. Im TLK gelang

es unter anderem, ein neu entwickeltes Laser-Raman-Verfahren zur präzisen Messung der Isotopenzusammensetzung von gasförmigem Tritium in Betrieb zu nehmen.

Neben diesen wissenschaftlichen Ergebnissen brachte das Jahr 2009 auch einige wesentliche personelle Veränderungen. Dr. Lothar Dörr, langjähriger Leiter des Tritiumlabors Karlsruhe, nahm im Juni eine neue Stelle in der Stilllegung an. Ich möchte ihm auf diesem Weg für die ausgezeichnete Leitung des Labors herzlich danken. Als Nachfolger gewannen wir Dr. Beate Borschein für die wissenschaftliche Leitung und Dr. Uwe Besserer für die Leitung des Betriebs. Schmerzlich traf uns die Nachricht vom Tod unseres äußerst verdienten langjährigen Mitarbeiters Volker Leibbrand. Er war verantwortlich für die Stromversorgung von TOSKA.

Nach wie vor sehr erfreulich ist die Zunahme der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Ausbildung, wie Studentinnen und Studenten der Dualen Hochschule, Diplomanden, Doktoranden und Trainees.

In der Lehre ist eine erfreulich hohe Anzahl von Vorlesungen zu verzeichnen, die von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ITEP gehalten oder unterstützt werden. Insgesamt sind es mehr als zehn Vorlesungen, überwiegend in den Bereichen Supraleitung, Fusion und Kryotechnik. Zahlreiche vom ITEP organisierte nationale und internationale Seminare und Workshops ergänzen das Lehrangebot.

2009 kamen die Planungsarbeiten zu einem Ersatzbau für unser veraltetes Bürogebäude Bau 410 weiter voran; nach Erstellung der Vorplanung gab das Präsidium des KIT die Mittel frei. Mein Dank gilt allen Beteiligten, besonders aber dem Präsidium, dem Architekturbüro und den beteiligten internen und externen Planungsmitarbeitern.

Einen ganz besonderen Erfolg verzeichnete ITEP-Forscher Dr. Francesco Grilli: Ihm gelang es 2009, eine Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe zum Thema „Wechselstromverluste in Hochtemperatur-Supraleitern“ einzuwerben. Dies ermöglicht ihm den Aufbau einer eigenen Arbeitsgruppe mit dem Ziel, eine europaweit führende Rolle auf diesem Gebiet einzunehmen.



Dr. Francesco Grilli warb 2009 eine Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe zum Thema „Wechselstromverluste in Hochtemperatur-Supraleitern“ ein.

Der Wissenschaftsrat begründete 2009 eine Bewertungsgruppe zur Evaluierung der deutschen Fakultäten für Elektrotechnik und Informationstechnik. In diese wurde ich als Mitglied berufen. Wesentliche Ziele der Arbeitsgruppe sind, die Evaluierungskriterien aufzustellen und die Ergebnisse auszuwerten.

Ein wesentlicher Schritt auch für unser Institut war die Gründung des Karlsruher Instituts für Technologie im Oktober 2009, die das Forschungszentrum Karlsruhe mit der Universität Karlsruhe vereint hat. Als Vorsitzender des Wissenschaftlich-technischen Rates des WTR war ich 2009 damit besonders befasst.

Allen Partnern des ITEP aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie möchte ich für die ausgesprochen vertrauensvolle und fruchtbare Zusammenarbeit im Jahr 2009 meinen besonderen Dank aussprechen.

Herzlichst Ihr

Mathias Noe



Zwei Hochstromzuführungen während der Vorbereitung für den Stromtest

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Technologie für Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

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

Stromzuführungen für W7-X und JT-60SA

Arbeiten für Wendelstein 7-X

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

Nachdem der Bereich Fusionsmagnete des ITEP 2008 die Stromzuführungen konstruiert und die Konstruktion mit verschiedenen Vortests abgesichert hatte, fertigte er 2009 die beiden Prototyp-Stromzuführungen. Dabei erprobte und qualifizierte er alle Fertigungsschritte an einem 1:1 Mock-Up der Stromzuführungen.

Für 2010 ist geplant, die beiden Prototyp-Stromzuführungen zusammen mit einem vom IPP bereitgestellten supraleitenden Stromverbindungsbügel zu einer Testeinheit zu verbinden, mit einem Testkryostat an TOSKA anzuschließen und im Sommer detailliert zu testen. Dieser Test ist Voraussetzung für die Freigabe der Fertigung der 14 Serien-Stromzuführungen.

Arbeiten für JT-60SA

2007 hat Deutschland sich bereit erklärt, einen Teil des von der EU Japan zugesagten Pakets zum Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA zu übernehmen. Das ITEP ist auch bei diesem Projekt mit dem Bau der Stromzuführungen betraut. 2009 wurden die Rahmendaten mit der EU und Japan ausgehandelt; Anfang 2010 wurde der Vertrag unterzeichnet.

Das ITEP erarbeitete 2009 das Grobdesign. Die Konstruktion ist nach Fixierung aller Anschlussbereiche an JT-

60SA für 2010 geplant. Basis für die Konstruktion sollen die Ergebnisse eines Prototyptests sein. Dafür soll die für den W7-X Prototypentest gebaute Testeinheit unter den für JT-60SA relevanten Bedingungen (Pulsbetrieb) erneut getestet werden.

Stromzuführungs-Testanlage CuLTKa und Vorbereitungen von TOSKA

Insgesamt sollen 16 Stromzuführungen für W7-X und 26 Stromzuführungen für JT-60SA getestet werden. Dafür entsteht die neue Testanlage CuLTKa (Current Lead Test facility Karlsruhe), die in die bestehende Kryo-Infrastruktur des ITEP integriert wird. CuLTKa ist so konzipiert, dass sowohl der Überkopfbetrieb der Stromzuführungen für W7-X als auch der sozusagen normale Betrieb der Stromzuführungen für JT-60SA möglich ist.

Die Hauptarbeiten für CuLTKa bestanden 2009 hauptsächlich im Umbau der Bühne sowie in der Konstruktion der Kryostate für die kryotechnische Infrastruktur. Zudem plante das ITEP sowohl den Stromanschluss für 30 kA zum existierenden Netzteil als auch die hochspannungsfeste elektrische Verdrahtung, die Datenerfassung und die Signalverarbeitung.

Damit der Prototypentest der W7-X Stromzuführungen möglichst rasch vorstatten gehen kann, wird dieser Test 2010 in TOSKA durchgeführt. Die Vorbereitungen dafür wurden 2009 größtenteils abgeschlossen, so dass TOSKA im Februar 2010 für den Start des Tests bereit war.

Sobald die Testanlage CuLTKa fertiggestellt ist, laufen die Tests in der für diesen Zweck spezialisierten Anlage. Sie ermöglicht im Vergleich zu TOSKA eine wesentlich höhere Testfrequenz, wie sie für eine fristgerechte Fertigstellung aller Stromzuführungen für W7-X und JT-60SA erforderlich ist. Der Bau der Serien-Stromzuführungen für W7-X sowie die entsprechenden Abnahmetests sollen bis Ende 2012 abgeschlossen sein. Anschließend sollen die 26 Stromzuführungen für JT-60SA gebaut und bis Ende 2015 in CuLTKa getestet werden.

Untersuchung transienter Hochspannungen an ITER Spulen

Große Magnetspulen bauen bei Schnellabschaltungen hohe Spannungen auf, die besonders bei schnellen Schaltvorgängen und im Fehlerfall beherrscht werden müssen. Der komplexe Aufbau des Spulensystems eines Fusionsreaktors und die naturgemäß großen Induktivitäten und Kapazitäten bedingen ein komplexes elektrisches Netzwerk, in dem sich bei schnellen Schaltvorgängen kurzfristig interne, lokale Spannungsüberhöhungen ausbilden können. Diese transienten Spannungen lassen sich mit einer direkten Messung nicht ermitteln; sie müssen über komplexe Simulationen erfasst werden, um klare Aussagen über die notwendigen Isolationskonzepte zu erhalten.



Abb. 1: Prototyp-Stromzuführung beim Zusammenbau der Komponenten Busleiter-Stromanschluss (links), HTS-Modul (Mitte) und Wärmetauscher (rechts, mit isoliertem Vakuumraum).

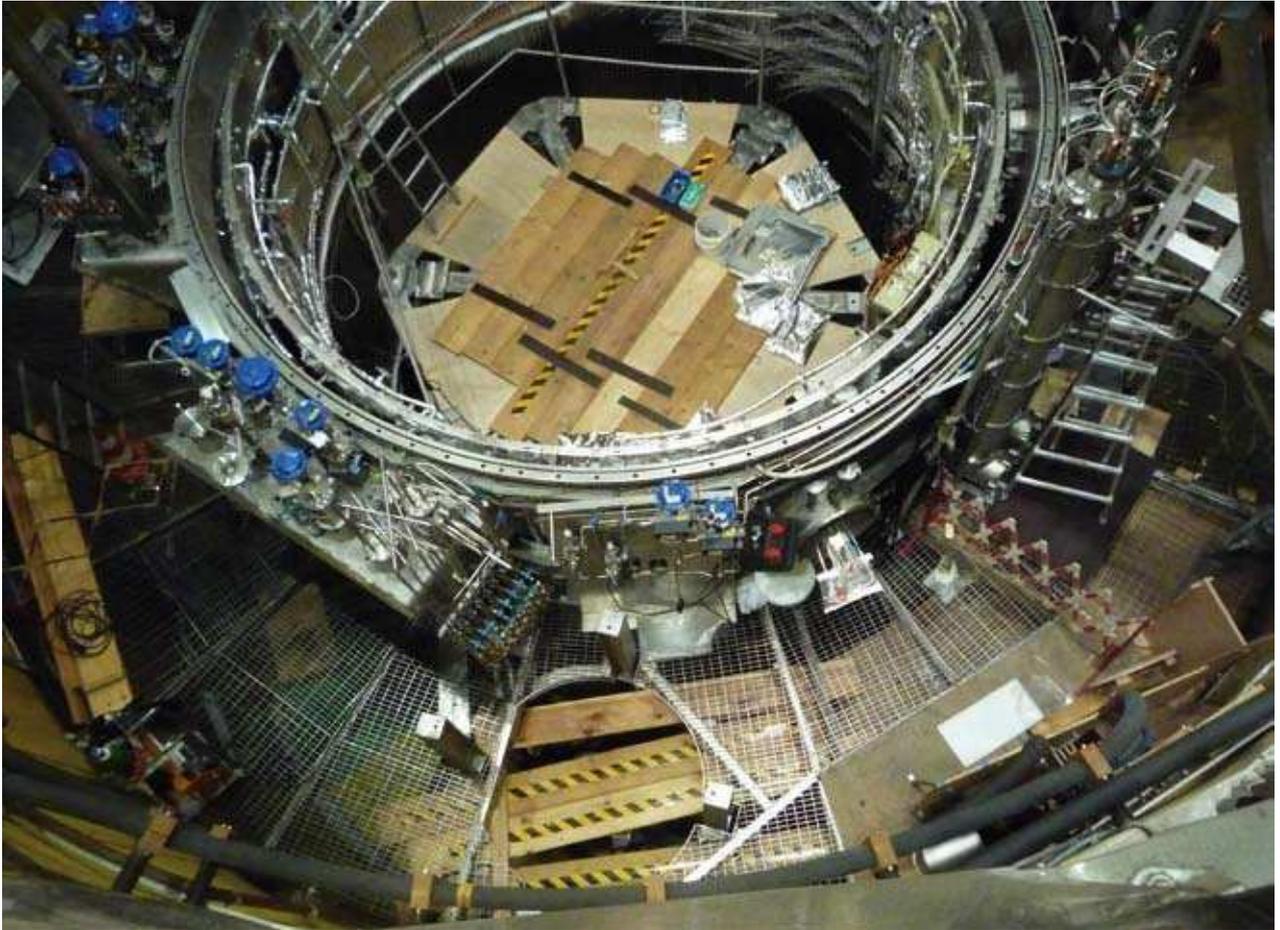


Abb. 2: TOSKA während der Anpassungsarbeiten für den Prototypentest der W7-X Stromzuführungen.

Das ITEP hat für ITER die Berechnung der transienten Spannungen an Poloidalfeldspulen (PF) übernommen. Dazu bildete der Bereich Fusionsmagnete die PF3 Spule und die PF6 Spule zunächst in einem detaillierten Finite-Elemente-Methode Programm nach, um die frequenzabhängigen Induktivitäten der einzelnen Windungen zu berechnen. Im nächsten Schritt wurden die Spulen in einem Netzwerkprogramm nachgebildet, um sowohl die Resonanzfrequenzen der beiden Spulen als auch die Spannungsverteilung innerhalb der Spulen zu berechnen.

Die Spannungsbelastung an Erd-, Lagen- und Leiterisolation der beiden Spulen wurde für vier Betriebszustände berechnet: Schnellentladung, Nennbetrieb und zwei Fehlerfälle mit einem Erdschluss.

Kryogene Materialtests und mechanische Tests von supraleitenden Kabeln

Arbeiten für ITER

In Vorbereitung auf die Konstruktion von ITER starteten 2009 konkrete Projekte zur Qualifikation von Material und Produktion. Dabei diente das während der vergangenen Jahre im institutseigenen Labor CryoMaK (Cryogene Materialtests Karlsruhe) gewonnene Datenmaterial als Referenz.

So liefen bis September 2009 im Task CRYOGT des EFDA (European Fusion Development Agreement) zahlreiche kryogene Untersuchungen. Zu nennen ist besonders die Qualifikation von kompaktiertem TF-Rohrmaterial und CS-Hüllmaterial aus Japan. Es wurden Zugproben und

Proben zur Bestimmung der bruchmechanischen Eigenschaften angefertigt und bei kryogenen Temperaturen getestet.

Neben den Aufgaben aus dem EFDA Task gab es bereits Anfragen aus der Industrie nach kryogenen Tests begleitend zur Produktion von ITER-Komponenten. Einige Beispiele:

- An He-Einlass-Elementen der TF Spule sind Ermüdungstest bei kryogenen Temperaturen vorgesehen.
- Zur Qualifikation der Produktion der TF-Kabelpakete soll das Isolationsmaterial durch Zug-, Biege- oder Scherbelastung getestet werden.
- Repräsentative Elemente aus dem Kabelpaket sollen Kompression und zyklischer Kraft ausgesetzt werden.

Bei der Entwicklung von elektrischen Trennern zur Verrohrung der supraleitenden Magnete sind neben elektrischen Tests und He-Druck-Tests auch mechanische Tests erforderlich. Da es bei diesen Komponenten im Betrieb auch zu einer Torsionsbelastung kommt, hat das ITEP mit der Vorbereitung einer kryogenen Torsions-Testeinrichtung begonnen. Dazu wird eine stillgelegte Anlage umgebaut und mit neuem Hydraulikaggregat und neuer Steuer- und Messelektronik versehen.

Arbeiten für W7-X

Im Rahmen des Aufbaus von W7-X nahm das ITEP im Jahr 2009 zahlreiche Standard-Zugtests an Strukturmaterial vor. Darüber hinaus kalibrierte es mit Dehnungsmessstreifen bestückte INCONEL Bolzen bis 530 kN bei Raumtemperatur und 4.2 K. Sie dienen zur Lagerung der Magnetspulen und können durch diese Kalibrierung

eine Rückmeldung über die Kraftverteilung im Magnet-system während des Betriebs geben.

Für die Entwicklung des Prototyps der Stromzuführung für W7-X stellte das ITEP systematische Scherversuche an Glas-Epoxy-Verklebungen mit 1.4429 Material an. Dabei zeigte sich der maßgebliche Einfluss der Oberflächenbehandlung des Stahlmaterials. So ließ sich bei glasperlengestrahnten Oberflächen keine zufriedenstellende Verbindung herstellen. Beste Ergebnisse traten nach einer Edelkorund-Strahlung auf. Die höchste dabei erreichte Scherspannung lag bei etwa 76 MPa.

Qualitätsmanagement

Um den Anforderungen eines Qualitätsmanagement-Systems, wie es verstärkt von der Industrie verlangt wird, gerecht zu werden, wurde die Akkreditierung des Messstands PHOENIX zur Messung von Standard-Zugproben bei 4.2 K nach DIN 17025 vorbereitet. Die Akkreditierung soll Mitte 2010 formal eingeleitet werden.

Elektromechanische Untersuchungen im Magnetfeld – FBI

Supraleitende Strombegrenzer werden gewöhnlich in flüssigem Stickstoff bei 77 K betrieben. Allerdings wird die Temperatur im Band im Begrenzungsfall um ein Vielfaches erhöht (beispielsweise auf 500 K). Die dabei auftretenden mechanischen Spannungen infolge der thermischen Ausdehnung können zum Versagen der elektrischen Eigenschaften beitragen. Um das thermische Ausdehnungsverhalten von Hochtemperatur-Supraleiter-Bändern zwischen 290 K und circa 900 K zu bestimmen, wurde während einer Projektarbeit eine Messapparatur aufgebaut. Systematische Untersuchungen an kommerziell verfügbaren HTS-Bändern lieferten dabei eine wertvolle Datenbasis.

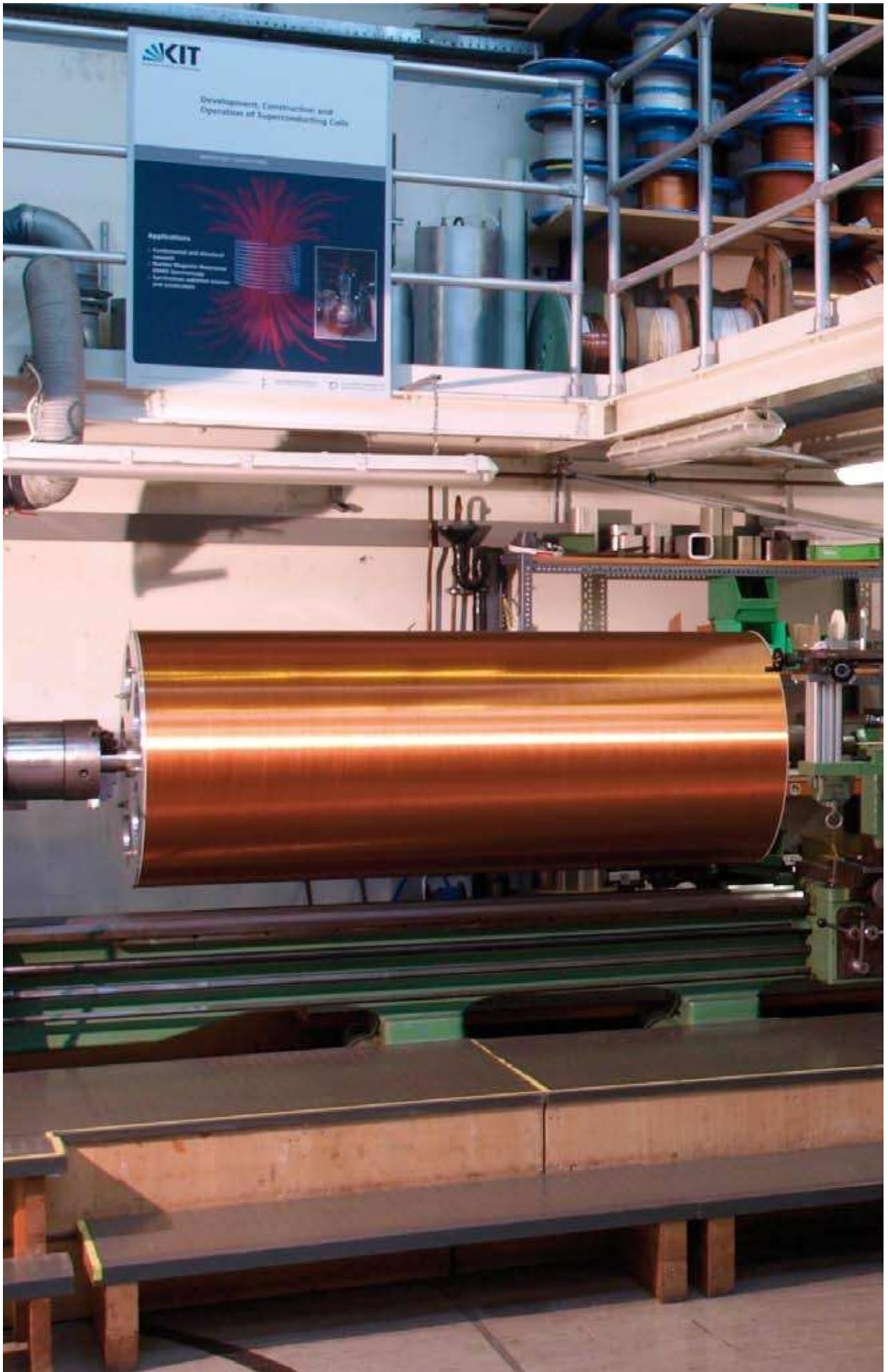
Um die Entwicklung von HTS-Kabeln zu unterstützen, stellte das ITEP für Rutherford-Kabelkonzepte grundlegende Betrachtungen der auftretenden Torsion der supraleitenden Bänder an. Dabei wurden die Spannungskomponenten über FEM-Rechnungen bestimmt und mit vorhandenen Zug-Experimenten verglichen. Es zeigte sich der deutliche Einfluss der Scherspannung auf die Stromtragfähigkeit im Vergleich zur longitudinalen Zugspannung bei der Torsion eines supraleitenden Bands.

Vorbereitende Arbeiten für das Magnetsystem des künftigen Demonstrationsreaktors DEMO

Studien und Analysen zu aktuell verfügbaren HTS-Materialien zeigen deutlich, dass der Hochtemperatur-Supraleiter RE-123 (auch „coated conductor“ genannt) es erlaubt, bei künftigen Fusionsreaktoren Magnetspulen bei vergleichsweise hohen Temperaturen von 65 K zu betreiben. Dies wiederum ermöglicht ein einfacheres Kühlkonzept, das Kälteleistung einspart, und mithin einen einfacheren und effizienteren Fusionsreaktor.

Das ITEP hat erste Konzepte für Hochstrom-Kabel aus Coated-Conductor-Material entwickelt. Details sind im Abschnitt „Supraleitermaterialentwicklung und energie-technische Anwendungen“ beschrieben.

Um diese Arbeiten in einen europäischen Rahmen einzubinden, führte das ITEP zahlreiche Abstimmungsgespräche mit Beteiligung von EFDA.



Solenoidspule gefertigt für den Helium-3 Polarisator der Universität Mainz

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

Hochfeldmagnetlabor

Die Entwicklung von supraleitenden Magneten im Hochfeldmagnetbereich ebenso wie für die Fusionsforschung oder die Kernphysik erfordert detaillierte Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der Supraleiter und über die erforderlichen elektrischen Komponenten im Magnetstromkreis, wie Stromzuführungen, Schutzkomponenten, supraleitende Schalter und Verbindungen. Zur Charakterisierung der Supraleiter untersuchte der Bereich Supraleitende Hochfeldmagnete des ITEP verschiedene Bi2223- und YBCO-Hochtemperatur-Supraleiter auf ihre Transportstromtragfähigkeit abhängig von der Temperatur ($T \leq 4.2$ K), dem äußeren Magnetfeld bis 20 T und der Winkelposition zwischen externem Magnetfeld und Bandleiter. Das Anisotropieverhalten wird standardmäßig nur in den zwei extremsten Positionen – 0°- und 90°-Winkel zwischen externem Magnetfeld und Bandleiter – ermittelt. Als Beispiel zeigt Abbildung 1 die Versuchsanordnung zur Bestimmung der $E(I)$ -Kennlinie unter Einfluss des externen Magnetfelds senkrecht zur breiten Seite des Bandleiters. Die Gesamtheit der Messungen, dargestellt in Abbildung 2, beweist das Potenzial der heute kommerziell erhältlichen technischen Hochstrom-Supraleiter für den Hochfeldmagnetbau.

Im Rahmen weiterer laufender Projekte untersuchte das Team unter anderem Supraleiter und Komponenten für die WGTS (fensterlose gasförmige Tritiumquelle) von KATRIN (Karlsruher Tritium Neutrino Experiment), das AC-Resistivitätsverhalten von NbTi-Supraleitern und das Restwiderstandverhältnis von Kupfer beispielsweise für die W7X-Stromzuführungen.

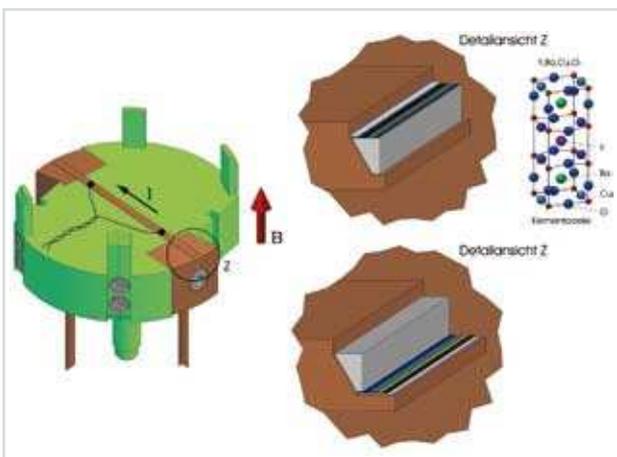


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Bestimmung der anisotropen physikalischen Eigenschaften von Hochtemperatur-Supraleitern, wobei das Magnetfeld senkrecht zur breiten Seite des Bandleiters steht.

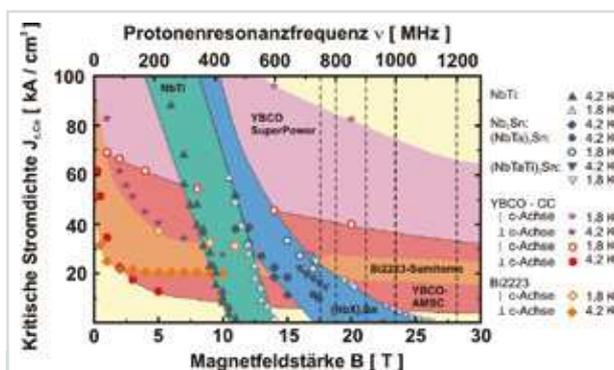


Abb. 2: Abhängigkeit der kritischen Stromdichte J_c vom äußeren Magnetfeld B für kommerzielle technische Supraleiter.

Modernisierung von HOMER I

Die Anlage HOMER I stellt ein unverzichtbares Instrument zur Charakterisierung potenzieller Supraleiter und zur Qualitätssicherung der Supraleiter in Forschungs- und Entwicklungs- sowie Technologietransfer-Projekten dar. Daher lässt sich eine Modernisierung der Anlage nur schrittweise auf den Versuchsbetrieb abgestimmt vornehmen. 2009 wurde die seit 1980 vorhandene alte Kryosteuerung – zum Teil eine pneumatische Vor-Ort-Bedieneinrichtung mit separater Temperaturerfassung auf einem Mehrkanalschreiber – durch eine moderne SPS-Steuerung zur Kälteversorgung von der 300-Watt-Anlage ersetzt und wurde diese in Betrieb genommen. Die neue Steuerung umfasst im Wesentlichen

- MIN-Auswahl mit Füllstandsregelung für HOMER I-Außenkryostat über Barriere
- Steuerungsoptimierung des Bypassventils
- Ansteuerung der Vakuumpumpen über die SPS
- Temperaturerfassung über die SPS
- Datenaustausch mit der 300W-Anlage und Bedienung des Kältekreislaufes in HOMER I von der 300W-Anlage aus
- Erstellung neuer Anlagenbilder im Bedien- und Beobachtungssystem WinCC für HOMER I und MTA I

Die SPS-Steuerung ermöglicht eine sichere und stabile Bedienung sowie eine Archivierung über ein Visualisierungssystem. Im Hinblick auf mögliche Tests im Rahmen des Projekts EuCARD begann zugleich die Modernisierung der Magnettestanlage MTA I (Steuerung MTA I seit 1988 in Betrieb). Dazu wurde ein neuer 19"-Einschub zur MTA-I-Einbindung der MIN-Auswahl mit Füllstandsregelung über Barriere in die neue Steuerung eingebaut.

Ausbau von HOMER II

Der künftige Versuchsbetrieb erfordert für HOMER II je nach experimenteller Fragestellung verschiedene Ein-

satzflansche zur Aufnahme der Testobjekte, der Stromzuführungen und der Instrumentierung. Derzeit werden drei Einsatzflansche geplant, gefertigt beziehungsweise aufgebaut. Da die Arbeitsanforderungen gestiegen und infolgedessen die Werkstätten stark ausgelastet sind, ließ sich der Einsatzflansch für den Dreifach-Testspulensatz zur Charakterisierung potenzieller Supraleiter in der Nähe des Betriebspunktes unter simultaner Lorentzkraft 2009 nicht vollständig aufbauen. Fertigstellung und Inbetriebnahme haben sich ins Jahr 2010 verschoben. Ein zweiter Flansch zur Aufnahme einer $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Einsatzspule wurde 2009 komplettiert. Abbildung 3 zeigt die konstruktive Vorgabe sowie den realen Magnetflansch.



Abb. 3: Magnetflansch zur Aufnahme einer 24 T $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Einsatzspule.

Die Anlage HOMER II wird im Endausbau drei Hauptspulenstromkreise mit starker elektromagnetischer Kopplung untereinander und einen ebenfalls stark induktiv an das Hauptspulensystem koppelnden Testobjektstromkreis aufweisen. Ein sicherer Versuchsbetrieb der supraleitenden Spulen von HOMER II erfordert zur Überwachung ein Quenchdetektionssystem, das normalerweise Zonen der supraleitenden Einzelspulen detektiert und rechtzeitig eine Sicherheitsabschaltung der gesamten Anlage einleitet. Dabei muss die Quenchdetektionseinheit hochspannungsfest und gegen elektromagnetische Störpulse abgeschirmt sein.

Das bisherige Quenchdetektionssystem musste für den Einsatz der neuen Magnetflansche erweitert werden. In das neue Design sind die positiven Erfahrungen mit den 2008 installierten Quenchdetektoren der Anlage HOMER I eingeflossen. Wie bei HOMER I sind die Quenchdetektoren redundant ausgelegt, flexibel und in den Abschaltkriterien wie Schwellspannung und Integrationszeiten variabel einstellbar. Für einen risikoarmen Betrieb der Anlage wurde ein kommerzielles Messwert-Erfassungssystem zur Überwachung der NbTi- und $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Hauptspulen beschafft. Dieses frei konfigurierbare System dient der kontinuierlichen Aufnahme, Darstellung und Archivierung der elektrischen Spannungen in den Magnetspulen, wie Quenchdetektor-Abgleich, Potenziale über den Supraleiterverbindungen, aber auch der Magnetfeldkontrolle durch Pick-up-Spulen und Hallsonden.

EuCARD

Was ist der Ursprung der Masse? Warum haben manche Teilchen keine Masse? Existiert das im Standardmodell postulierte Higgs-Boson? Diese und ähnliche Fragen stellen sich Teilchenphysiker auf der ganzen Welt. Aufschlüsse erhoffen sie sich von den Ergebnissen der Experimente am Teilchenbeschleuniger LHC (Large Hadron Collider) im CERN. Die European Strategy Group for Particle Physics hat im Juli 2006 die Prioritäten in der Teilchenphysik für die folgenden 15 Jahre festgelegt. Sie umfassen einen LHC Upgrade, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am TeV-Linearbeschleuniger und Untersuchungen in Neutrino-Anlagen. Diese ambitionierten Ziele erfordern die Mobilisierung aller europäischen Ressourcen. Denn die wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen gehen weit über den derzeitigen Stand und die Möglichkeiten einzelner Labors oder Länder hinaus.

EuCARD bündelt die Ressourcen von 37 europäischen Beschleunigerlaboren, Instituten, Universitäten und Industriepartnern, die in Beschleunigerwissenschaft und -technologien involviert sind. Das von ESGARD (European Steering Group on Accelerator R&D) initiierte Projekt ist teilfinanziert von der Europäischen Kommission innerhalb des 7. Rahmenprogramms für eine Dauer von vier Jahren ab 1. April 2009. Hauptziel ist, durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an innovativen Konzepten und Techniken die großen europäischen Forschungsbeschleuniger aufzurüsten, wobei die Forscher über die besten Einrichtungen verfügen sollen und Informationen über Netzwerke ausgetauscht werden sollen.

Ein Upgrade des LHC auf den zwei- bis dreifachen Energiewert bedeutet, dass die Dipolmagnete ein magnetisches Feld von 20 T erzeugen müssen. Dieser Feldwert lässt sich voraussichtlich nicht mehr mit NbTi und NbSn-Dipolen erreichen. Es sollen Spulen aus Hochtemperatur-Supraleitern eingesetzt werden. Geplant ist ein modularer Aufbau mit einer äußeren Hintergrundspule aus Nb_3Sn (Feldbeitrag 14 T) und einer inneren Einsatzspule aus HTS mit einem Beitrag von 6 T.

HTS-Dipolmagnete sind noch in der Entwicklungsphase und bilden somit ein Forschungs- und Entwicklungs-Paket im EuCARD-Projekt. Die Arbeiten gliedern sich in drei Phasen: HTS-Leiterspezifikation, HTS-Solenoid-Spulenbau und Tests sowie Bau eines HTS-Dipolmagneten. Die Gruppe Supraleitende Hochfeldmagnete des ITEP ist in die erste und zweite Projektphase von EuCARD involviert. Im ersten Projektzeitraum ging und geht es vor allem um die physikalischen Eigenschaften wie kritische Stromdichten, Messverfahren, Quench- und Stabilitätsbetrachtungen sowie um die Verfügbarkeit der kommerziellen Hochtemperatur-Supraleiter YBCO und Bi2212.

Solenoidspule für die Universität Mainz

Seit mehreren Jahren wird in der Medizin die Magnetresonanztomographie MRT mit eingatmetem, kernspinpolarisiertem Helium-3 als neues Verfahren zur bildlichen Darstellung der Lunge und ihrer krankhaften Veränderungen beispielsweise in der Ventilation eingesetzt. Die polarisierten Helium-3 Gasatome verhalten sich dabei wie kleine Stabmagneten (Dipole). Diese Dipole werden durch optisches Pumpen mithilfe eines Lasers entlang einer Vorzugsrichtung ausgerichtet. Die

entstehende makroskopische Magnetisierung des Gases ist rund 100.000 mal stärker als die Ausrichtung der Kerndipole, die das Magnetfeld eines MRT bei Wasserstoffkernen im Gewebe erreicht.

Die Helium-3 Arbeitsgruppe der Universität Mainz hat Verfahren des optischen Pumpens so weit vorangetrieben, dass die Kernspins des Edelgases ^3He in Litermengen polarisiert werden können, sowie Möglichkeiten gefunden, diese Polarisation über Tage zu erhalten. Derzeit entwickelt die Arbeitsgruppe einen neuen kompakten Polarisator zur Erzeugung von kernspinpolarisiertem ^3He . Das neue Design sieht vor, das benötigte Magnetfeld von 10 G nicht mehr mit unhandlichen Helmholtzspulen ($\varnothing = 1,6 \text{ m}$) zu realisieren, sondern durch einen kompakten Solenoiden, gewickelt mit isolierten Kupferdraht und abgeschirmt durch ein μ -Metallrohr, ein homogenes Feld im ganzen Spuleninneren zu erzeugen. Es soll eine neue optische Pumpstrecke entwickelt werden, die nur noch mit einem Laser arbeitet und insgesamt bedienerfreundlicher ist. Das ganze System ist etwas mehr als 2 m lang und hat einen Durchmesser von ca. 810 mm.

Bei der Herstellung des Solenoiden mit einem Durchmesser von 800 mm und einer Länge von 2 m sind die Erfahrungen und das Know-how von Hochfeldmagnetenexperten gefragt. So war der Bereich Hochfeldmagnete des ITEP für die gesamte Spulenfertigung verantwortlich, von der Beschaffung und maßhaltigen Vorbereitung des GFK-Spulenkörpers über die genaue Vorbereitung der einzelnen Arbeitsschritte, wie Umbau der Wickelvorrichtung für akkurate Drahtführung, exaktes Wickeln der Spule mit angepassten Spuleneingang und -ausgang, bis zum ungefährdeten Zusammenbau von Spule und μ -Metallrohr. Der fertige Solenoid, eingebracht ins μ -Metallrohr, wurde Ende 2009 an die Physiker der Helium-3-Arbeitsgruppe übergeben.



Abb. 4a



Abb. 4c



Abb. 4d



Abb. 4b

Abb. 4a-d: Fertigung des Solenoiden (Länge 2000 mm; Durchmesser 800 mm) für den Helium-3 Polarisator der Universität Mainz.

Highlight in 2009: 1000 MHz NMR-Spektrometer

Am 1. Juni 2009 gab die Bruker BioSpin GmbH die Markteinführung des weltweit ersten 1000 MHz NMR-Spektrometers bekannt. Dessen erfolgreiche Inbetriebnahme stellt einen weiteren Meilenstein der über 25-jährigen Kooperation zwischen dem KIT und der Bruker BioSpin GmbH dar (siehe Abbildung 6). Die überaus erfolgreiche Zusammenarbeit begann mit der Realisierung des weltweit ersten hochauflösenden 750 MHz NMR-Spektrometers. In diesem Projekt brachten von den Forschern des KIT eingeführte verlustarme Kryostatate mit neuer Unterkühltechnik in kompakter Bauweise, neue Spulendesigns, neue Spulentechniken, neue Magnetdesigns, die Realisierung des Persistent-Mode-Betriebs mit supraleitenden Verbindungen in hohen Magnetfeldern und supraleitende Schalter den Durchbruch. In den Nachfolgeprojekten wurden diese Techniken erfolgreich auf NMR-Spektrometer bis 950 MHz übertragen. Mitte des Jahres 2009 waren weltweit bereits über 150 Hochfeld-NMR-Magnetsysteme mit Resonanzfrequenzen zwischen 750 und 950 MHz installiert – ein Erfolg, den die Initiatoren 1985 nie vorausgesehen hätten.

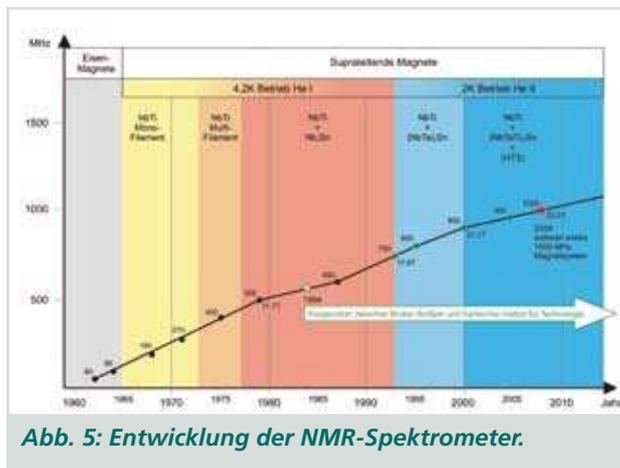


Abb. 5: Entwicklung der NMR-Spektrometer.

Die Entwicklung eines 1000 MHz Magnetsystems wurde weltweit seit Mitte der 90er Jahren vorangetrieben. Neben der vom BMBF geförderten deutschen Kooperation zwischen Bruker BioSpin GmbH, dem KIT und dem Supraleiterhersteller European Advanced Superconductors GmbH (EAS, früher Vacuumschmelze) versuchten auch Einrichtungen wie das NHFLM in Tallahassee/USA oder das NRM in Tsukuba/Japan sowie Industriefirmen wie Oxford Instruments, dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen. Die größte Schwierigkeit bei der Entwicklung eines 1000 MHz Magnetsystems, wobei 1000 MHz einem Magnetfeld von 23.5 T entsprechen, besteht im Aufbau der innersten Magnetsektionen.

Wie Abbildung 3 zeigt, sind die Stromtragfähigkeiten der konventionellen metallischen $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ -Supraleiter oberhalb 21.1 T nur noch gering. Ein 1000 MHz Magnetsystem ließ sich folglich nur mit verbesserten metallischen Supraleitern oder aber mit Hochtemperatur-Supraleitern als Alternative aufbauen. Das vom BMBF geförderte Projekt zielte daher darauf, das Potenzial der metallischen Supraleiter zu steigern und auch die Einsetzbarkeit der HTS in Form von Bi2223-Bandleitern zu untersuchen. Die Einführung der Hochtemperatur-Supraleitung in die Magnetetechnik verspricht auch die prinzipielle Möglichkeit, den für NMR-Zwecke nutzbaren Feldbereich erheblich zu höheren Feldern hin auszuweiten.

Der Einsatz neuer Supraleiter bringt jedoch zahlreiche Probleme mit sich, die für die metallischen Supraleiter prinzipiell bereits gelöst sind, wie Erarbeitung einer HTS-Spulenteknik, Wickeltechnik, supraleitende Verbindungen zwischen den Hochtemperatur-Supraleitern. Fragen stellen sich auch bei metallischen Supraleitern für den Dauerstrombetrieb. Wesentliche Schwerpunkte des Projektes waren die exakte physikalische Charakterisierung der HTS-Bandleiter hinsichtlich ihres kritischen Stroms, des n -Wertes, der Kraftbelastung und der thermischen Stabilität bis hin zur Festlegung der NMR-Tauglichkeit.

Innerhalb des Projektes zeigte das Team des KIT durch parallele Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten (Ausbau der HOMER II-Anlage auf Feldstärken von 25 T), dass die HTS-Bi2223-Bandleiter noch nicht weit genug entwickelt waren. Die Leiter wurden beim Einsatz in superfluidem Helium, der Arbeitstemperatur eines Hochfeld-NMR-Magneten, durch eindringendes Helium – das sogenannte Ballooning – zerstört. Bei einer Temperatur von 77 K (LN₂) war dieses Problem bekannt und ließ sich lösen; bei Temperaturen unterhalb von 4.2 K war es jedoch nie zuvor beobachtet worden.

Gleichzeitig wurden wesentlich verbesserte NbTi- und $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ Leiter entwickelt, die eine ausreichend hohe kritische Stromstärke I_c und eine erhöhte Kraftbelastung von über 200 MPa aufzeigten. Nach der erfolgreichen Übertragung der Verbindungstechnik auf die verbesserten Supraleiter stand dem Bau eines 1000 MHz-Magnetsystems nichts mehr im Wege.

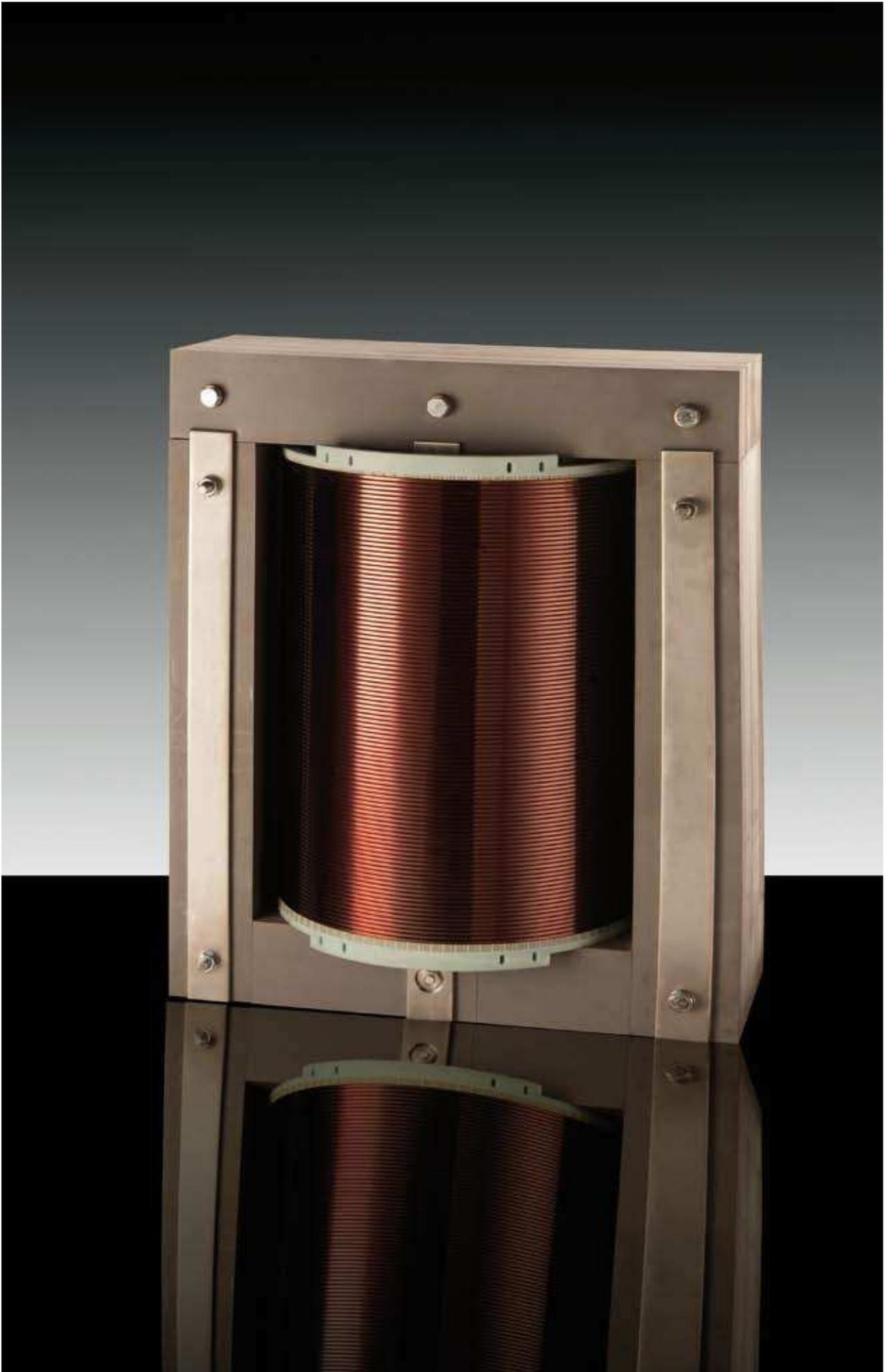
Es wurde ein Magnetsystem realisiert, das die Spezifikation von

- Magnetfeld: 23.5 T
- Resonanzfrequenz: 1000 MHz
- Räumliche Homogenität: $\Delta B / B_0 < 10^{-7}$ über 40 mm
- Zeitliche Stabilität (Drift): $\Delta B(t) / B_0 < 10^{-8}$ pro Stunde
- Auflösung: < 0.2 Hz

erreichte. Das erste 1000 MHz NMR-Spektrometer wurde für 11,7 Mio. Euro verkauft und ist seit Anfang Dezember am Bestimmungsort (CRMN, Lyon) installiert.



Abb. 6: Weltweit erstes 1000 MHz NMR-Spektrometer mit einer Feldstärke von 23.5 T (siehe www.bruker.biospin.com/pr090601.html)



Fehlerstrombegrenzender Modelltransformator mit Sekundärwicklung aus Hochtemperatursupraleitern

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

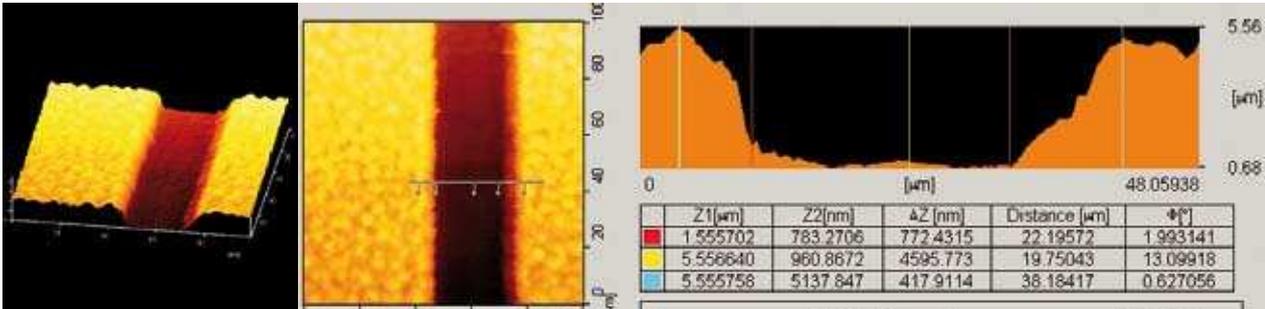


Abb. 1: AFM-Profilometerbild eines laserstrukturierten Schlitzes sowie Linienscan zur Bestimmung der Breite (22,2 µm) und Tiefe (4,6 µm).

Der Bereich Supraleiterentwicklung des ITEP konzentrierte sich 2009 auf die Herstellung von verseilten Magnesiumdiborid-Drähten (MgB_2) und strukturierten Hochtemperatur-Supraleitern aus YBCO-Bandleitern sowie die Fortentwicklung von Roebel-Kabeln aus YBCO-Bandleitern. Für beide Materialien arbeitete er besonders auch an der Entwicklung supraleitender Verbindungen. Darüber hinaus begann er mit ersten Konzepten von HTS-Höchststromkabeln für die Fusion.

Entwicklung von YBCO-Bandleitern

Die Arbeiten fokussierten auf Leiter für Wechselstromanwendungen. Wechselstromverlustarme YBCO-Bandleiter erfordern strukturierte Schichten. Als am besten geeignete Herstellungstechnik unter vielen Verfahren erarbeitete das Team ein Lasergravurverfahren mit einem Pikosekunden-YAG-Laser als optimalem Werkzeug. Im Hinblick auf künftige wechselstromverlustarme Bandleitermodifikationen nahm es Untersuchungen zur Laminierung strukturierter YBCO-Schichten vor und charakterisierte die Eigenschaften der supraleitenden Verbindung. Ziel ist die Reduktion der Hysteresis-Verluste durch Filamentisierung des Leiters mit zusätzlicher Transposition des Strompercolationspfades in eine zweite supraleitende Schicht. Abbildung 2 zeigt die Geometrie der Laserstruktur.

Das Team machte erste Versuche mit face-to-face-laminierten laserstrukturierten Proben. Dabei wandte es

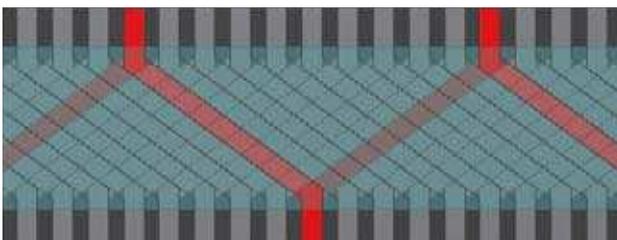


Abb. 2: CAD-Zeichnung der überlagerten Laserstruktur von zwei supraleitenden YBCO-Schichten und des entstehenden Transportstrompfades.

verschiedene Kontaktierungsdünnschichten aus deponierten Metallen oder lösungsdeponiertes Supraleitermaterial an. Es realisierte erste niederohmige Kontakte. Mithilfe von magnetoptischer Bildgebung analysierte es die Qualität der Laserstruktur; dabei zeigte sich die vollständige Auftrennung der Schicht am Schnitt.

Roebel-Kabel aus YBCO-Bandleitern

Wechselstromverlustarme Roebel-Kabel für hohe Betriebsströme für verschiedene künftige energietechnische Anwendungen werden ständig fortentwickelt. Das Kabelkonzept eignet sich besonders für Wicklungen. Je nach Anwendung sind wenige kA (Motoren, Transformatoren) bis mehr als 20 kA (zukünftige Fusionsmagnete) erforderlich. Für die elektrotechnischen Maschinen untersuchte der Bereich Supraleiterentwicklung des ITEP die Möglichkeiten von 4 mm schmalen Kabeln. Dabei wandte er unterschiedliche Leiterzahlen von 15, 35 und 50 an; der Einzelstrand bestand aus einem, drei oder fünf Leitern (siehe Abbildung 3). Die erzielten Stromdichten betragen circa 1,3 kA. Wechselstromverlustmessungen demonstrierten die erwartete Verlustreduktion und die Möglichkeit der Stromeinstellung über den Grad der Mehrfachverseilung.



Abb. 3: Roebel-Kabel mit 15, 35 und 50 Leitern (von oben nach unten) und 4 mm Breite.

Mikrostrukturuntersuchungen

Mithilfe von Röntgenstrukturanalyse und Elektronenmikroskopie untersuchte das Team die Mikrostruktur von heißisostatisch gepressten Nb₃Sn-Proben. Es analysierte die Phasenzusammensetzung sowie die Korngrößen und -strukturen. Eine Zusammenarbeit mit dem Berkeley National Laboratory und der Universität Twente erlaubte erstmals Zugmessungen direkt am reinen Massivmaterial. Punktkontaktspektroskopie am Physikalischen Institut (PI) des KIT bestätigte die Existenz einer zweiten Energielücke in stochiometrischem Nb₃Sn. Abbildung 4 zeigt ein elektronenmikroskopisches Bild von Nb₃Sn-Körnern von circa 0.01 mm Größe an einer Bruchfläche des Massivmaterials.

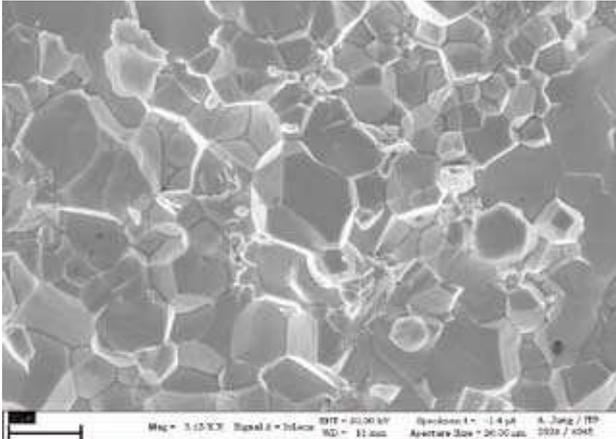


Abb. 4: Elektronenmikroskopisches Bild der Kornstruktur einer Nb₃Sn-Massivprobe. Die Korngrößen bewegen sich um 0.01 mm Durchmesser.

Weiterhin charakterisierte das Team die mikrostrukturellen Eigenschaften der MgB₂-Phase in supraleitenden Kontakten und korrelierte sie mit dem Mechanismus der Kontaktherstellung. Zu Laminierungsversuchen und zur Optimierung des Kontaktierungsverfahrens für YBCO-Bandleiter analysierte es mithilfe von Elektronenmikroskopie das Sinterverhalten und die Eigenschaft der Silberdeckschicht.

Magnesiumdiborid-Kabel und Anwendungen

Die Entwicklungsarbeiten zu Magnesiumdiborid konzentrierten sich auf die Herstellung von verseilten MgB₂-Kabeln für Wechselstromanwendungen. Obwohl MgB₂-Leiter sich im Gegensatz zu HTS-Bändern recht einfach mit rundem oder quadratischem Querschnitt produzieren lassen, gab es bisher weltweit nur wenige Anstrengungen, die AC-Verluste solcher Leiter zu reduzieren oder



Abb. 5: Verseiltes Kabel aus MgB₂-Drähten.

AC-verlustarme Hochstromkabel aus diesem Material zu entwickeln. Als Lösung für eine verlustreduzierte Struktur bieten sich zu Kabeln verseilte Einzelleiter an (siehe Abbildung 5). Der Bereich Supraleiterentwicklung des ITEP entwickelte zur Herstellung der Kabel eine automatische Verseilvorrichtung, welche die homogene Verseilung der Drähte gewährleistet.

Für den Persistent-Mode-Betrieb von supraleitenden Magneten wurden supraleitende Drahtverbindungen weiterentwickelt. Dank einer innovativen Herstellungstechnik ließen sich Drahtverbindungen realisieren, deren Stromtragfähigkeit bis zu 50 Prozent der Stromtragfähigkeit der Drähte beträgt. Im Magnetfeld weisen die Drahtverbindungen eine ganz ähnliche Feldabhängigkeit auf wie die Drähte – ein entscheidendes Kriterium für die technische Anwendung.

Wechselstromverluste in Supraleitern

Mit der magnetischen Pick-up-Coil-Methode wurden Wechselstromverluste sowohl an Roebel-Kabeln aus Coated-Conductor-Leitern als auch an verseilten Leitern aus MgB₂-Drähten gemessen. Für die MgB₂-Kabel wurden die AC-Verluste als Funktion der Feldamplitude und Frequenz vermessen, und die Wechselstromverlustreduktion ließ sich im prognostizierten Ausmaß nachweisen. Für die Coated-Conductor-Roebel-Kabel wurden die Verluste an vielfältigen Kabelausführungen durchgeführt. Als ausgesprochen effizient zur Reduktion der Magnetisierungsverluste (Hystereseverluste) erwies sich eine Reduktion der Kabelbreite auf nur 4 mm.

Die Modellierung der Wechselstromverluste von Roebel-Kabeln geschah auf Basis numerischer Modelle (siehe Abbildung 6) und wurde mit den Ergebnissen anderer Methoden verglichen. Weiterhin wurden verfeinerte Modelle zur Vorhersage von Wechselstromverlusten an Wicklungen aus Coated-Conductor-Komponenten erstellt sowie die verschiedenen Beiträge zu den Verlusten und der Einfluss der $J_c(B)$ Abhängigkeit analysiert.

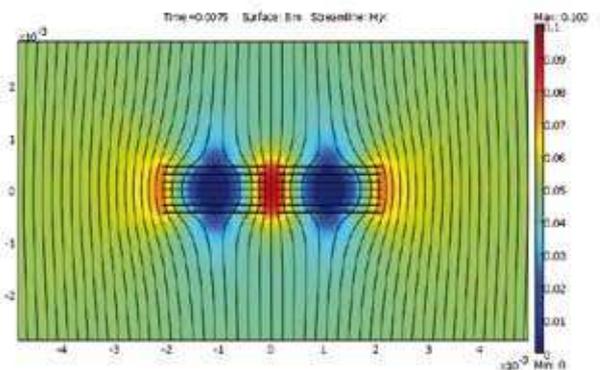


Abb. 6: Verteilung der magnetischen Flussdichte in einem Roebel-Kabel mit 14 Leitern. Die Feldamplitude ist 50 mT, entkoppelte Leiter sind angenommen.

Supraleitende energietechnische Anwendungen

Zur Entwicklung von supraleitenden Strombegrenzern aus YBCO-Bandleitern arbeitete das Team, auch im Rahmen einer Industriekooperation, an technischen Details, Kontaktierungsverfahren und Kühlmethoden. Die Arbeiten an neuartigen Betriebsmitteln für energietechnische Anwendungen auf Basis von YBCO-Bandleitern erweiterte es um zusätzliche Anwendungen. Zu den Ar-

beiten an Modulen für supraleitende resistive Strombegrenzer kamen Arbeiten an supraleitenden strombegrenzenden Transformatoren und Leitungen für Höchststromübertragungsstrecken. Im Bereich der Höchststromübertragungsstrecken erstellte das Team eine Durchführbarkeitsstudie, die sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, und stützte sie mit Experimenten an Modellen.

Die Laboreinrichtungen zum Test von Leitern und supraleitenden Betriebsmitteln wurden vorbereitet und besonders für die Untersuchung von HTS-Kabeln und SSB-Proben ausgebaut. Unter den neuen Geräten steht ein 8T-Magnetsystem mit Raumtemperaturbohrung von 85 mm Durchmesser zur Anwendung von temperaturvariablen Messeinrichtungen bereit. Für die Untersuchung von Kabeln wurden Mehrfachhalter gefertigt, die eine ökonomische Vermessung des Strandmaterials bei flexiblen Maßen erlauben. Die magneto-optische Bildgebung von Stromverteilungen erlaubt ergänzend zu ortsauflösenden Hall-Probe-Scans die Analyse von inhomogenen Leitereigenschaften.

Supraleitender strombegrenzender Transformator

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen an Modulen aus YBCO-Bandleitern für supraleitende resistive Strombegrenzer übertrug das Team auf die Anwendung von YBCO-Bandleitern in supraleitenden strombegrenzenden Transformatoren. Darüber hinaus nahm es an unterschiedlich stabilisierten YBCO-Bandleitern Untersuchungen zur Bestimmung des Rückkühlverhaltens der Supraleiter nach einer Strombegrenzung unter Laststrom vor. Dabei wurden die Maximaltemperatur, die der Supraleiter während der Strombegrenzung erreicht, sowie der im Supraleiter unmittelbar nach der Strombegrenzung fließende Laststrom systematisch variiert.

Aufbauend auf den Ergebnissen wurde ein supraleitender strombegrenzender Transformator entworfen, der einen auftretenden Kurzschlussstrom im elektrischen Energienetz auf die Hälfte reduziert und nach einer Strombegrenzung auch unter Nennbelastung noch zurückkühlt. Der Transformator hat eine Nennleistung von 60 kVA bei einer Primärspannung von 1000 V und einer Sekundärspannung von 600 V. Er wurde als Einphasentransformator realisiert (siehe Abbildung 7). Die Primärwicklung wurde aus handelsüblichem lackisoliertem Kupferleiter gewickelt. In der strombegrenzenden Sekundärwicklung wurden 48 m YBCO-Bandleiter auf zwei Lagen aufgewickelt. Der Transformator ist nicht für einen Dauerbetrieb vorgesehen und wird daher vollständig im Flüssigstickstoffbad gekühlt. Die fertiggestellten Elemente stehen für Messungen der strombegrenzenden Eigenschaften und des Rückkühlverhaltens unter Laststrom bereit.



Abb. 7: Bestandteile des HTS-Transformators, HTS-Sekundärspulen, Joch und Cu-Primärspule.

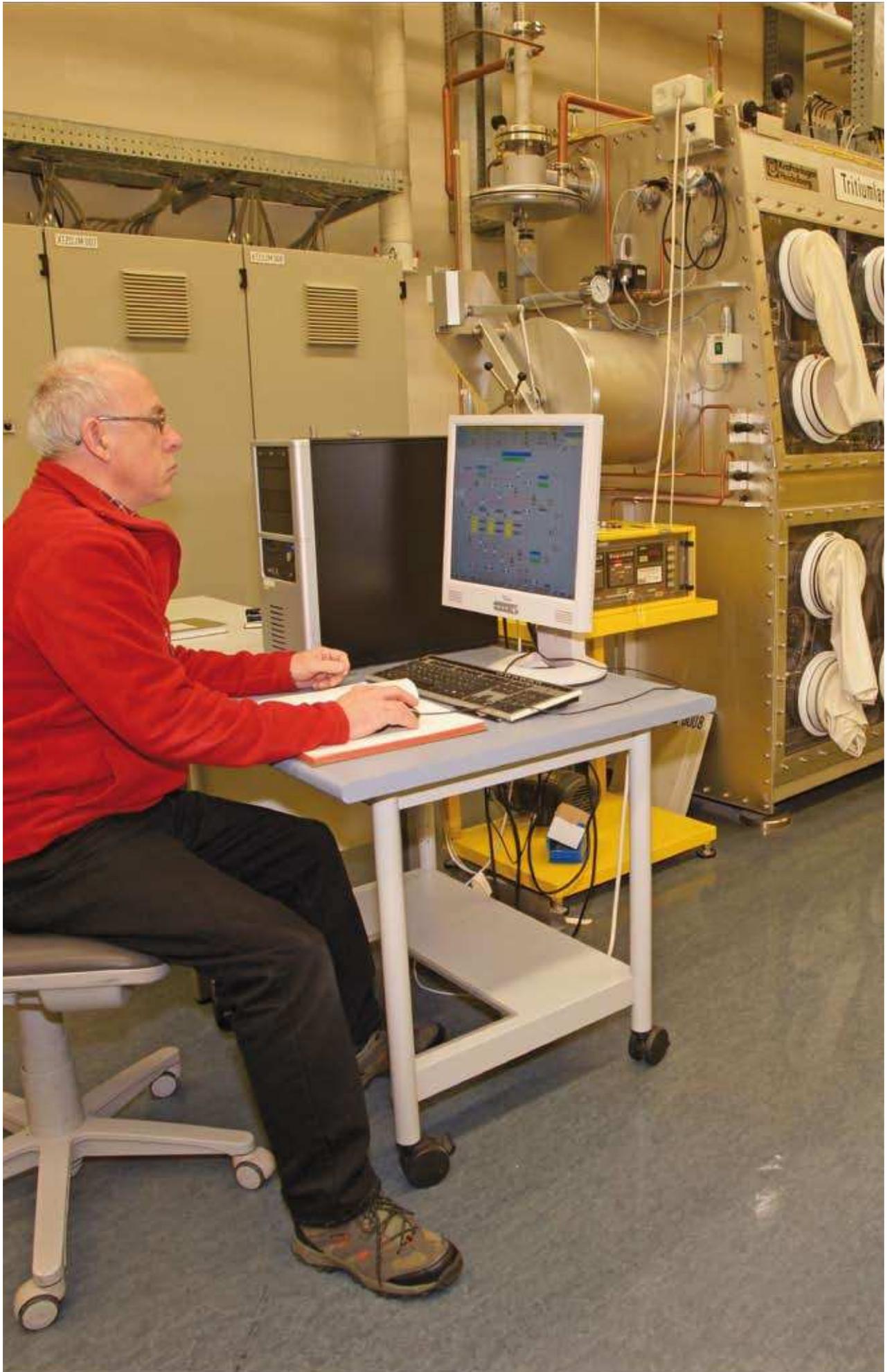


Abb. 1: Bereitstellung von Tritium aus dem Tritiumlager (Handschuhbox im Hintergrund).

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 über 1000 m² stehen mehr als zehn Handschuhkastensysteme mit einem Gesamtvolumen von rund 125 m³ als Einschluss für die tritiumführenden Versuchsapparaturen bereit. Gründungsaufgabe und umfangreichster Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Der zweite Schwerpunkt liegt auf dem Aufbau wesentlicher Systeme des Karlsruhe Tritium Neutrino Experiments (KATRIN) zur Messung der Ruhemasse des Elektronen-neutrinos.

Betrieb und Infrastruktur des TLK

Im Jahr 2009 waren die konventionelle Infrastruktur sowie die Tritiuminfrastruktur im Tritiumlabor zur Unterstützung der Forschungsvorhaben für das Programm Kernfusion uneingeschränkt verfügbar. Aus dem Tritiumlager wurde besonders die Experimentieranlage zur Entwicklung der Plasmaabgasreinigung für ITER (CAPER) mit reinem Tritium versorgt. Nach der Prozessierung in CAPER wurde das Tritium gereinigt, aufkonzentriert und wieder im Lager gespeichert (siehe Abbildung 1).

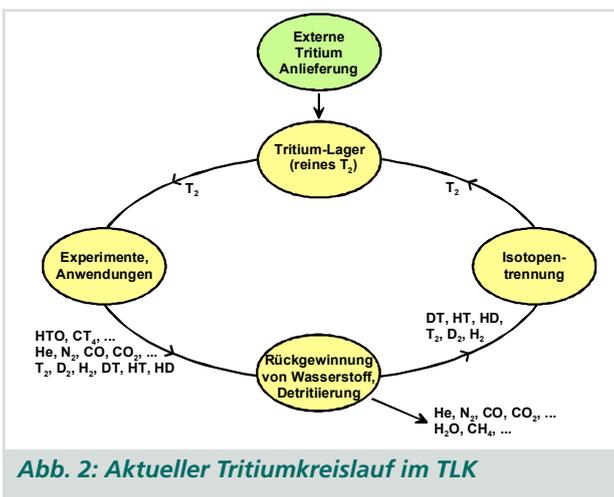


Abb. 2: Aktueller Tritiumkreislauf im TLK

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

Der Schwerpunkt der Leittechnikerarbeiten lag auf der Entwicklung einer Bausteinbibliothek als Grundlage für die PCS7 Projektierung der Visualisierung und Automatisierung der KATRIN-Tritiumkreisläufe, des Hauptspektrometers, des Vorspektrometers und des Monitorspek-

trometers. Mithilfe dieser Bibliotheken werden für die umgesetzten Anlagen einheitliche Automatisierungsfunktionen realisiert; für den Operateur ist eine einheitliche Bedienoberfläche gewährleistet. Die Arbeit konnte 2009 abgeschlossen werden; der erste Teil der Tritiumkreisläufe ging erfolgreich in Betrieb (vergleiche Abschnitt „KATRIN“).



Abb 3: Teleperm-M Schrank

Eine weitere wichtige Aufgabe war die Ausarbeitung eines Konzepts zum Ersatz des Prozessleitsystems des TLK. Da das Altsystem Teleperm-M vom Lieferanten nicht mehr gepflegt wird und Ersatzkomponenten nicht mehr verfügbar sind, ist ein Austausch unumgänglich. Der Austausch des kompletten Leitsystems wird rund drei Jahre dauern und darf den Betrieb des TLK nicht behindern. Daher bedarf es unbedingt einer genauen Planung. Anhand des ausgearbeiteten Konzepts ließen sich die optimale Vorgehensweise und der Ressourcenbedarf (Geld und Personal) bestimmen.

Die Isotopentrennanlage ging erfolgreich wieder in Betrieb. Sie war mehr als ein Jahr lang stillgestanden, um den Aufbau des Inneren Tritiumkreislaufes für KATRIN in der ISS Handschuhbox zu ermöglichen (siehe Abschnitt „KATRIN“).

Forschung und Entwicklung für ITER

Im Rahmen des Programms Fusion werden im Tritiumlabor Prozesse zur Wasserdetritierung (WDS) und zur Wasserstoffisotopentrennung (ISS) entwickelt und untersucht. Diese Technologien werden für den Brennstoffkreislauf zukünftiger Fusionsreaktoren benötigt und auf die entsprechenden Anforderungen abgestimmt.

Im TLK werden die Techniken im experimentellen Programm TRENTA entwickelt und miteinander kombiniert. Ziel dieser Arbeiten ist, wichtige Daten für die ITER Systeme WDS und ISS zu erhalten und somit entscheidend zum Design des europäischen Procurement-Packages WDS-ISS von ITER beizutragen.

In TRENTA3, dem Wasser-Detritierungs-System (WDS), wird der bekannte CECE (Combined Electrolysis Catalytic Exchange) Prozess zur Rückgewinnung von Tritium aus tritiiertem Wasser angewandt. Die beiden Hauptsysteme des CECE Prozesses sind zwei Elektrolyse-Einheiten mit einer Gesamtkapazität von 2 m³/h Wasserstoffgas und eine 8 m lange LPCE (Liquid Phase Catalytic Exchange) Kolonne.

Zur Wasserstoffisotopentrennung dient die kryogene Destillation bei Temperaturen von 20 bis 30 K. Dabei wird ausgenutzt, dass die verschiedenen Spezies (H₂, HD, D₂, HT, DT, T₂) unterschiedliche Siedetemperaturen haben. Im ersten Schritt wurden im TLK in den Jahren 2007 und 2008 verschiedene Packing-Materialien für die Kryokolonnen mit H₂ und D₂ getestet. Dabei lag der Fokus auf einer effektiven Auftrennung der Isotope sowie einem möglichst geringen Wasserstoffinventar. Bei einem späteren Betrieb mit Tritium bei ITER ist die Frage des Inventars eine der wichtigsten, da genehmigungsrechtlich relevant.

Die bedeutendste Aufgabe im Jahr 2009 war der Test des so genannten CY-Packings, das zu den Gewebe-Packings gehört und ersten Vorexperimenten zufolge vielversprechende Eigenschaften besitzt. Im Rahmen eines F4E-Tasks (Fusion for Energy, EU-Agentur) wurden in der zweiten Jahreshälfte mehrere einwöchige Messkampagnen im TLK vorgenommen, und das CY-Packing wurde mit unterschiedlichen H-D Gemischen in der Kryokolonne getestet. Erste Auswertungen deuten darauf hin, dass das Wasserstoffinventar, das sich bei Normalbetrieb in der Kryokolonne einstellt, höher ist als allgemein erwartet. Aktuell wird mit F4E diskutiert, wie diese wichtigen Arbeiten weitergeführt werden sollen.

Parallel zu den Messkampagnen mit der Kryokolonne wurden die Arbeiten zur Vereinigung der WDS und der Kryokolonne zur TRENTA4-Anlage vorangetrieben. Dabei lag der Fokus auf den Schnittstellen zwischen den beiden Teilsystemen. Abbildung 5 zeigt ein stark verein-



Abb. 4: Typisches Gewebe-Packing

fachtes Schema der Anlage, die im Jahr 2010 fertiggestellt werden soll.

Mit TRENTA4 wird das TLK in der Lage sein, das zurück gewonnene angereicherte Tritium von der WDS direkt der Kryokolonne (ISS) zuzuführen und damit das Kom- bisystem zu testen, das auch für zukünftige Fusionsreaktoren (beispielsweise ITER) zur Rückgewinnung von Tritium genutzt werden wird.

Blanket- und Tritiumtechnologie

Innerhalb des Programms FUSION ist im Hinblick auf DEMO die Rückgewinnung von Tritium aus dem Brutblanket eine große Herausforderung. Bisher wurden

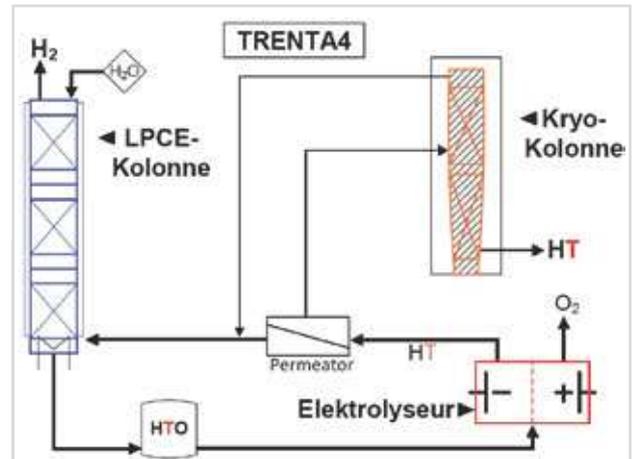


Abb. 5: TRENTA4 – WDS und Kryodestillation

nur Konzepte mit semi-kontinuierlichen Prozessen (verschiedene Fallen im Adsorptions- oder Regenerationsmodus) studiert. Optimal wäre jedoch ein kontinuierliches Konzept, das gleichzeitig auf starke Temperaturschwankungen verzichtet (Abkühlung, Aufheizung).

Das vom TLK im Jahr 2008 vorgeschlagene kontinuierliche Konzept benötigt einen so genannten PERMCAT, eine Kombination aus Katalysator und Permeator, um Tritium aus Wasser zurückzugewinnen, und einen selektiven Permeator als Vorstufe, um das Helium des Blanket-Spülgases weitestgehend abzutrennen.

Während für den PERMCAT eine technische Lösung im TLK existiert, müssen entsprechende Materialien für den selektiven Permeator noch gefunden werden. Daher gab es im Jahr 2009 im genannten Bereich zwei Arbeitsschwerpunkte: Zum einen wurde begonnen, die Anlage CAPER für das Prozessieren von tritiiertem Wasser mit einem PERMCAT umzubauen. Diese Arbeit wird 2010 beendet sein, sodass erste Testmessungen im nächsten Jahr realistisch sind. Zum anderen wurde gemeinsam mit dem Institut für Technische Verfahrenstechnik eine Studie über Zeolithmembranen beendet, die erste Hinweise auf das weitere Vorgehen bei der Identifikation geeigneter Permeatormembranen gibt. Die Arbeiten werden 2010 fortgesetzt.

Auf dem Gebiet der Tritiumtechnologie ist mit der erfolgreichen Inbetriebnahme einer optimierten Ionisationskammer in Kreuzbauweise (siehe Abbildung 6) ein wichtiger Schritt in die Zukunft gelungen, da damit fast verloren gegangenes Wissen von vor 20 Jahren reaktiviert werden konnte. Das TLK ist nun wieder in der

Lage, auf den jeweiligen Prozess abgestimmte Ionisationskammern nach dem Stand der Technik selbst herzustellen oder herstellen zu lassen.

Analytik im TLK

Die Beherrschung der qualitativen und quantitativen Analyse der sechs Wasserstoffisotope H_2 , HD, D_2 , HT, DT und T_2 sowie anderer tritierter Verbindungen (bei-

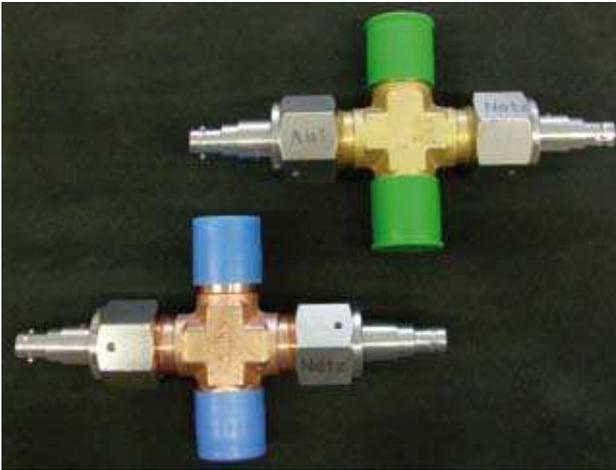


Abb. 6: Kreuz-I-Klammern, galvanisch beschichtet mit Gold bzw. Aluminium

spielsweise HTO) ist eine notwendige Voraussetzung für den Umgang mit Tritium und stellt hohe Ansprüche an Experimentatoren und Ausrüstung. Wegen der großen Bedeutung der Analytik für das TLK werden die Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten programm- und gruppenübergreifend koordiniert und durchgeführt.

Neben der im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Weiterentwicklung der in den Tritiumanlagen überall eingesetzten Prozessionisationskammer konzentrierte die Forschungs- und Entwicklungs-Arbeit sich im Jahr 2009 auf folgende Gebiete:

- Entwicklung eines Infrarotspektroskopiesystems an flüssigem Wasserstoff im Rahmen einer Diplomarbeit (siehe „Highlight 2009“ unten)
- Laser Raman Spektroskopiemessungen an tritiierten Wasserstoffisotopologen (siehe „Highlight“ im Abschnitt „KATRIN“). An diesen Arbeiten, die zusammen mit der Universität Swansea durchgeführt wurden, waren mehrere Diplomanden und Doktoranden beteiligt.
- Entwicklung eines BIXS Detektors (Beta-ray Induced X-ray Spectroscopy) zur Messung der Tritiumkonzentration in Wasser. In Zusammenarbeit mit der Universität Toyama im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein neuartiger Detektor (siehe Abbildung 7) in Betrieb genommen, und erste Messungen mit tritiiertem Wasser wurden durchgeführt. Diese Messungen werden derzeit ausgewertet.

Parallel zu den reinen Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten wurden bestehende Systeme wie Kalorimeter und Gaschromatographen sowie bestehende Kalibrierverfahren weiter optimiert. Diese Systeme bilden neben der I-Kammer das Rückgrat der Analytik im TLK und werden als standardmäßig genutzt.

Highlight in 2009: Infrarotspektroskopie an flüssigen Wasserstoffisotopologen

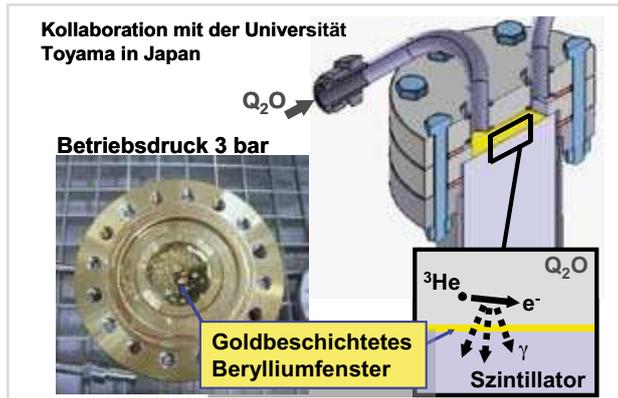


Abb. 7: BIXS Detektor

Wie oben erwähnt, besteht die TRENTA Anlage aus einem Wasserdetritierungssystem (WDS) und einer Isotopentrennanlage (ISS), in der zukünftig die Wasserstoffisotopologe H_2 , HD, D_2 , HT, DT, T_2 mithilfe der Kryodestillation getrennt werden können. Da die Siedepunkte der verschiedenen Isotopologe über eine Spanne von knapp 5 K verteilt sind, lässt die ISS sich als Rektifikationskolonne realisieren.

Zur Prozesssteuerung von TRENTA (und künftig von ITER) wird eine Methode zur nichtinvasiven Konzentrationsbestimmung der Flüssigkeit im Sumpf der Säule – dem Ort der höchsten Tritiumkonzentration – gesucht. Dabei bedarf es einer analytischen Methode, die zuverlässig und schnell aktuelle Konzentrationswerte aus dem Sumpf der Kolonnen liefert, ohne die Destillationsprozesse zu stören.

Vorzuziehen ist eine Methode, die ohne explizite Probenahme auskommt, da eine Gasentnahme zu einer Störung des Systems und zur Entstehung von Abfall führt. Bisherige Methoden bei TRENTA basieren auf der Entnahme von Gasproben, die mithilfe eines Quadrupol-Massenspektrometers analysiert werden. Alternativ werden die entnommenen Gasproben erst oxidiert und mit einem Flüssig-Szintillator gemischt; anschließend wird mit einem Szintillationszähler die Tritiumkonzentration ermittelt. Beide Methoden erlauben nur eine zeitverzögerte Analyse und produzieren Abfall.

Als Methoden der Wahl bieten sich optische Methoden an, wie die Laser Raman Spektroskopie oder die Infrarotspektroskopie, da sie sich prinzipiell „inline“, das heißt ohne Probenahme, und in „real time“ anwenden lassen. In einer Physikdiplomarbeit, die 2008/2009 gemeinsam mit dem Institut für Experimentelle Kernphysik (IEKP) des KIT am TLK in der TRENTA Gruppe durchgeführt wurde, wurde die Verwendbarkeit von Infrarotsignalen für die Analyse von flüssigen H_2 , D_2 und HD untersucht.

Da bisher noch keinerlei Infrastruktur für diese Art von IR-Spektroskopie vorhanden war, musste zunächst ein geeigneter Messaufbau entwickelt werden, wobei die Entwicklung der Messzelle die größte Herausforderung darstellte. Die wichtigsten technischen Anforderungen waren:

- Tritiumkompatibilität aller Materialien
- Betrieb bei Temperaturen zwischen 20 und 25 K und einem Druck von 10 bar, dabei freier Zugang zu den optischen Fenstern der Zelle

Die im Rahmen der Arbeit erfolgreich aufgebaute und in Betrieb genommene Messzelle ist in Abbildung 8 zu sehen.

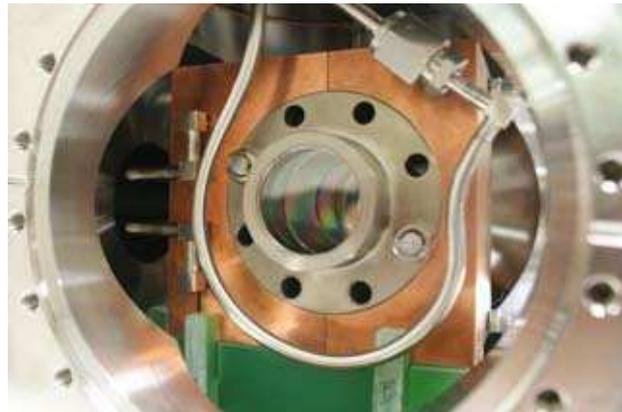


Abb. 8: IR-Messzelle im Kühlkörper

Der Kühlkörper der Messzelle wurde an das Kühlsystem der TRENTA-Anlage angeschlossen und mit dem dazugehörigen Refrigerator betrieben. Als IR-Detektor wurde das FT-IR-Spektrometer Tensor 27 (Bruker) verwendet. Dieses arbeitet in einem Wellenlängenbereich von 600 bis 12000 cm^{-1} und ermöglicht es, das von einer Siliziumcarbid Spitze bei 1350 K ausgestrahlte IR-Signal über einen Spiegel aus dem Spektrometer auszukoppeln und in einem externen Detektor (in diesem Fall HgCdTe) zu analysieren.

Abbildung 9 zeigt das Transmissionspektrum einer Mischung von 8,3% vol. H_2 in D_2 , gemessen in der flüssigen Phase bei 22 K und 2,5 bar Absolutdruck. Im Bereich zwischen 6500 cm^{-1} und 5700 cm^{-1} ist der so genannte zweite Vibrationsbereich von D_2 zu sehen, im Intervall von 5500 cm^{-1} bis 4000 cm^{-1} der erste Vibrationsbereich von H_2 .

Ergebnis der vorliegenden Arbeit:

- Die Machbarkeit der Methode wurde gezeigt.
- Alle theoretisch vorhergesagten Linien im Transmissionspektrum wurden identifiziert. Die Nachweisgrenze von HD ließ sich mithilfe der R_1 Resonanzbande zu <10 ppm bestimmen.
- Es ist noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten, um einerseits die Hardware zu optimieren (beispielsweise bessere Wärmeanpassung), andererseits mehr Erfahrung bei der Interpretation der IR-Spektren zu gewinnen.

Die Ergebnisse sollen auf der Tritiumkonferenz 2010 präsentiert werden.

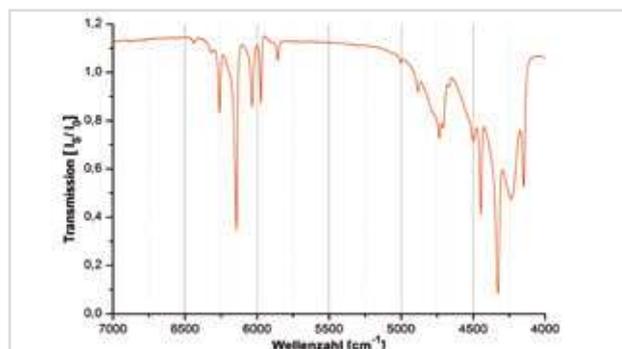
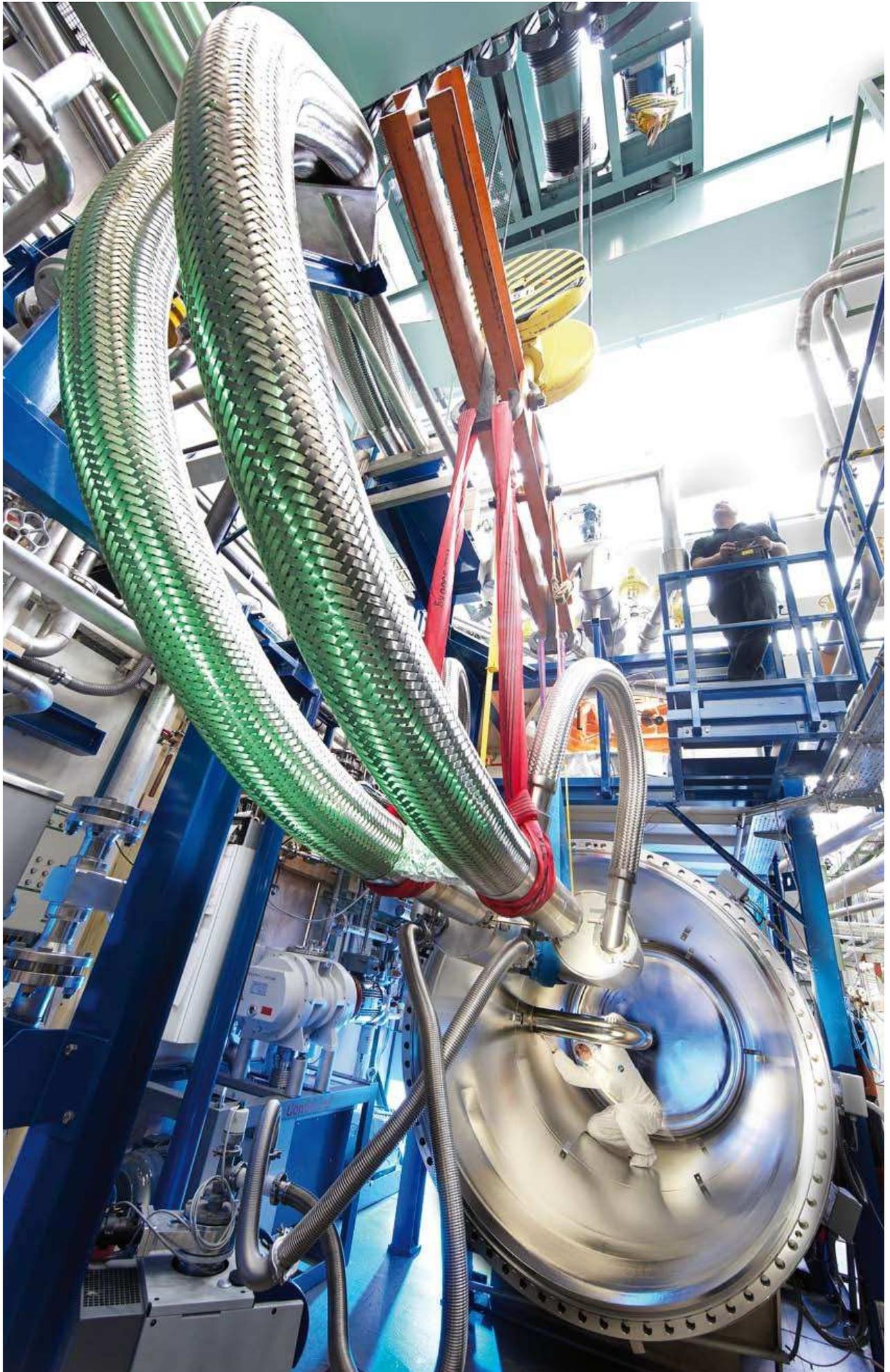


Abb. 9: Transmissionsspektrum H_2 in D_2



Arbeiten zur Vorbereitung der Testanlage TIMO-2

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Der Bereich Vakuumtechnik im ITEP nahm 2009 die Designarbeiten für ITER mit vollem Einsatz wieder auf. Er schloss auf allen für die Fusion relevanten Arbeitsgebieten Verträge mit der Fusionsagentur Fusion for Energy (F4E), die sicherstellen, dass die Arbeitsergebnisse vollständig in ITER einfließen werden. Vor diesem Hintergrund werden in den nächsten rund fünf Jahren alle drei großen Kryopumpensysteme für ITER (Torus, Kryostat und Neutralteilcheninjektion [NBI]) unter Leitung des ITEP bis zur Serienreife entwickelt. Dabei werden für die Kryostat- und die Toruspumpe Prototypen gebaut und in der Testanlage TIMO-2 im Institut geprüft; anschließend wird das finale Design der Serienpumpen erarbeitet. Für die NBI-Pumpen wird ebenfalls ein Prototyp gebaut, der direkt in der Neutralteilchen-Testanlage im italienischen Padua eingesetzt und dort getestet wird. Zu Beginn des Jahres hatte der Bereich Vakuumtechnik den Wechsel von einigen bewährten Mitarbeitern zu ITER und W7-X zu verkraften. Diese Stellen hat er jedoch inzwischen durch neue Mitarbeiter mit Schlüsselqualifikationen hervorragend wiederbesetzt. So nutzte er die Chance, die Arbeiten auf den Gebieten Thermohydraulik und Strömungssimulation auszubauen. Zudem arbeitet er derzeit daran, ein professionelles Qualitätsmanagementsystem aufzubauen, um auch in zukünftigen Ausschreibungen bei ITER und F4E wettbewerbsfähig zu bleiben.

Torus- und Kryostatkryopumpen für ITER

Der erste Schritt besteht darin, das komplette Design der Prototyp-Toruskryopumpe zu erstellen. Dazu wurden zunächst zusammen mit ITER alle relevanten Anforderungen zusammengetragen. Ziel ist, bereits den Prototyp so zu bauen, dass er sich später als Ersatzkryopumpe bei ITER verwenden lässt. Daher sind alle für nukleare Komponenten geltenden Vorschriften und Auslegungsrichtlinien einzuhalten. Vor allem gilt es, den Designprozess mit einem ausgiebigen Katalog begleitender Rechnungen zu belegen (Festigkeitsberechnungen, thermomechanische und -hydraulische Berechnungen, seismische Ereignisse etc.). Abbildung 1 zeigt den derzeitigen Entwicklungsstand.

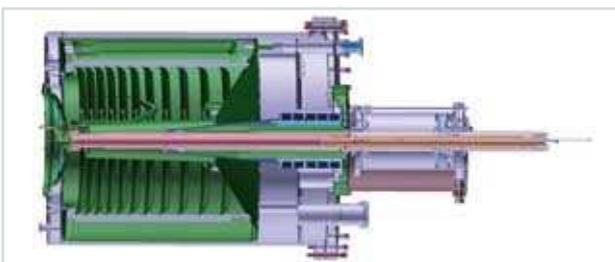


Abb. 1: 3D-CAD-Modell der Prototyp-Toruskryopumpe. Das Einlassventil (links) hat einen Durchmesser von 800 mm.

Die Toruskryopumpe enthält ein integrales Einlassventil zur Steuerung des eingehenden Gasstroms von der Plasmakammer und zum Schließen unter Regenerationsbedingungen. Für die Dichtung des Ventils am Pumpenkörper wird ein statischer metallischer Ring verwendet, dessen Verhalten für diese dynamische Anwendung jedoch noch nicht bekannt ist. Zur Absicherung des Designs wird daher nun eine Testanlage aufgebaut, um quantitativ die Abhängigkeit der resultierenden Leckrate von der Schließkraft (bis zu 200 kN) zu untersuchen.

In der Versuchsanlage TIMO-2 haben die letzten Umbaumaßnahmen begonnen; damit werden die beiden neu festgelegten zusätzlichen ITER-Betriebsmoden bereitgestellt. Das bedeutet erstens eine Versorgung mit 4.3 K (statt 4.5 K). Durch diese Absenkung der Eintrittstemperatur bei gleicher Austrittstemperatur von 4.7 K am Austritt der Pumpe lassen die nötigen kryogenen Ströme sich entsprechend reduzieren. Das ITEP realisiert dies einfach dadurch, dass das Flüssig-Helium-Bad im Kontrollkryostat der Versuchsanlage auf einen geringeren Druck abgepumpt wird. Dies kann die Gruppe Kryotechnik mit relativ geringem Aufwand im Rahmen der vorhandenen Kryoinfrastruktur leisten. Zweitens wird eine Versorgung mit 100 K verwirklicht. Diese Erhöhung gegenüber dem Standardtemperaturniveau von 80 K resultiert aus den Ergebnissen früherer Versuche und gestattet eine quasi 100-prozentige Freisetzung von Wasserstoff bei der Regeneration. In TIMO-2 wird die 100 K Versorgung mit Hilfe von flüssigem Stickstoff erreicht, der bei dieser Temperatur unter einem Siededruck von 8 bar steht (Konzept Messer Group, Krefeld). Nach Abschluss dieser Erweiterungen ist die Versuchsanlage TIMO-2 bereit für die Tests mit der Prototyp-Pumpe.

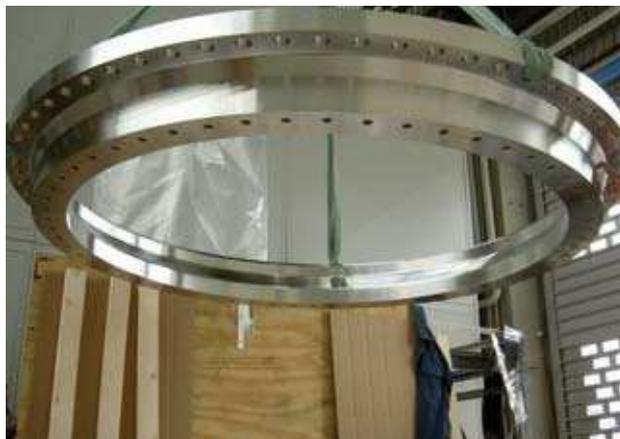


Abb. 2: Der Adapterflansch (2 m Durchmesser), erste Komponente für die neuen Tests in TIMO-2.

Ein erstes für den Einbau der Prototyp-Pumpe erforderliches Bauteil ist bereits geliefert. Es handelt sich um den Adapterflanschring, der als Zwischenstück und Halterung zwischen der Pumpe und dem TIMO-2 Testbehälterflansch fungiert (siehe Abbildung 2).

NBI-Kryopumpen für ITER

Mitte 2009 entschieden F4E und ITER, in Padua in Norditalien ein 1:1 Testbett für einen ITER Neutralteilcheninjektor zu bauen. Es handelt sich dabei um ein Projekt mit einer Laufzeit von zehn Jahren. Der Bereich Vakuumtechnik des ITEP ist bei diesem Projekt für die Kryopumpen verantwortlich, die sich als Prototyp für die ITER-NBI-Kryopumpen betrachten lassen. Diese Kryopumpen, von denen es bei ITER acht Stück geben wird, zeichnen sich durch ihre Größe aus (jeweils bis zu 8 m lang; 2,5 m hoch). Sie weisen ein Weltrekord-Saugvermögen von ~ 5000 m³/s für Wasserstoff auf – alternativ wären 2000 Stück der größten verfügbaren Turbomolekularpumpen erforderlich.

Die Kryopumpen werden mit tiefkaltem Helium (bei 4,5 K und 80 K) versorgt. Wesentlich für den Betrieb dieser außerordentlich großen Pumpsysteme ist eine optimale Kryoversorgung. Diese bedingt vor allem, dass der Druckverlust klein und damit akzeptabel ausfällt. Da so genannte hydrogeformte Bauelemente eingesetzt werden, ist es allerdings nicht möglich, den Druckverlust zuverlässig vorauszusagen. Daher lag 2009 ein Schwerpunkt auf Messungen von hydrogeformten Komponenten. Abbildung 3 zeigt die dazu verwendete Anlage THEA im Versuchsbetrieb, in der sich mit Wasser bei verschiedenen Temperaturen ähnliche Bereiche der Reynolds-Zahl reproduzieren lassen, wie sie in der Kryopumpe herrschen. So ließ sich beispielsweise nachweisen, dass der Druckverlust um etwa den Faktor drei kleiner ist als der bisher angenommene Wert, der auf industriellen Schätzungen beruht. Damit lässt sich das Design wesentlich vereinfachen. Da die Ergebnisse von THEA vielversprechend sind, läuft 2010 ein noch umfangreicheres Testprogramm, um weitere Optimierungspotenziale zu identifizieren.



Abb. 3: Messung von Druckverlusten komplexer Bauteile in einem weiten Bereich der Reynolds-Zahl in der Anlage THEA.

pumpe herrschen. So ließ sich beispielsweise nachweisen, dass der Druckverlust um etwa den Faktor drei kleiner ist als der bisher angenommene Wert, der auf industriellen Schätzungen beruht. Damit lässt sich das Design wesentlich vereinfachen. Da die Ergebnisse von THEA vielversprechend sind, läuft 2010 ein noch umfangreicheres Testprogramm, um weitere Optimierungspotenziale zu identifizieren.

Modellierung von Vakuumströmungen

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Strömungssimulation liefen mit großem Erfolg weiter. Dazu wurden Messungen an verschiedenen kurzen (kreisrunden) Strömungskanälen in der Anlage TRANSFLOW durchgeführt. Die kurzen Kanäle sind typisch für viele Vakuumanwendungen, nicht nur bei ITER, und die Strömungsvorgänge sind nur schwer zu beschreiben, da die Geschwindigkeitsprofile noch im Anlauf, das heißt nicht voll ausgebildet sind. Zum Vergleich mit den Messergebnissen wurden die Strömungsverhältnisse mit einem Direct Simulation Monte Carlo (DSMC)-Ansatz simuliert. Abbildung 4 zeigt beispielhaft das für die Modellierung verwendete Gitternetz. Die Dichte des Netzes ist variabel und in der Nähe des Ein- und Auslasses höher, um auch in diesen kritischen Bereichen mit starken Dichtegradienten eine ausgezeichnete Auflösung zu gewährleisten. Abbildung 5 verdeutlicht die hervorragende Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation. Dargestellt ist der volumetrische Durchfluss (Leitwert) als Funktion der inversen Knudsen-Zahl. Die Knudsen-Zahl beschreibt den Strömungszustand: Knudsen-Zahlen » 1 bedeuten stark verdünnte, das heißt freie molekulare Strömung, Knudsen-Zahlen « 1 bedeuten viskose Strömung.

Bereits 2008 wurden ähnlich überzeugende Ergebnisse für lange Kanäle mit ausgebildetem Strömungsprofil erzielt. Das mehrjährige Projekt zur Modellierung von Vakuumströmungen geht damit in die letzte Phase mit dem Ziel, auch geometrisch komplexe Systeme (beispielsweise mit temperaturinduzierten Dichtegradienten) zu modellieren. Zu diesem Zweck werden derzeit zwei verschiedene Monte-Carlo Programmpakete entwickelt.

Kooperationen

Der Bereich Vakuumtechnik des ITEP hat in den vergangenen Jahren umfangreiche Erfahrungen zur Vakuumströmung angesammelt, die auch international sichtbar sind. So stellte er für die Firma Carl Zeiss erfolgreich Strömungsberechnungen an einem Mehrkammer-Vakuumsystem für die Röntgenlithographie an. Zwei Forscher von den Universitäten Thessaloniki und Volos, mit

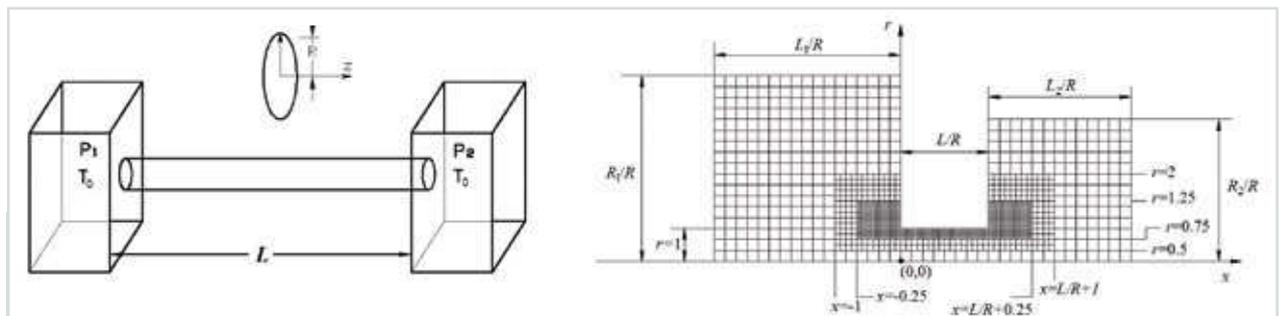


Abb. 4: Modellierung und Netzbildung für die numerische Simulation der Vakuumströmung durch kurze Rohre im Übergangsbereich.

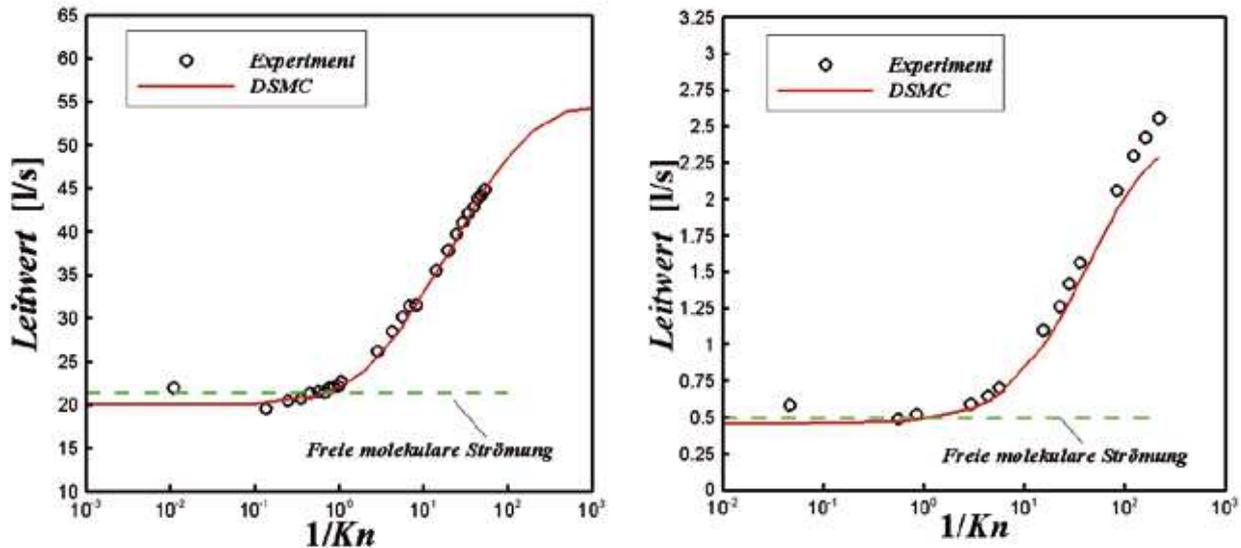


Abb. 5: Vergleich zwischen Messung (Stickstoff, Umgebungstemperatur, Anlage TRANSFLOW, ITEP) und Simulation (DSMC) der Strömungsverhältnisse für zwei kurze Rohre (links: Länge/Durchmesser = 1; rechts: Länge/Durchmesser = 4.28).

denen fruchtbare Kooperationen bestehen, kamen zu Gast aufenthalten ans Institut. Der weltweit führende Experte auf dem Gebiet der Modellierung verdünnter Strömungen, Professor Dr. Felix Sharipov, hat sich dafür entschieden, ein Jahr am ITEP zu verbringen, wo ein ständiger Austausch zwischen Theorie und Praxis stattfindet. Als erste Aufgabe ging die Gruppe Vakuumtechnik gemeinsam mit Shapiro eine in der Vakuumtechnik ganz zentrale, aber immer noch ungelöste Frage an: das grundlegende Verständnis von Leckagen wasserführender Rohrleitungen ins Vakuum und deren Nachweis. Dabei ist zu bedenken, dass sich auf dem Weg der Strö-

mung durch einen Mikroschlitz der Aggregatzustand des Wassers von flüssig (innen) nach gasförmig (spätestens am Austritt ins Vakuum) ändert. Mit dem Phasenübergang sind völlig andere Strömungsformen verbunden. Mithilfe der kinetischen Theorie, basierend auf der Lösung der Boltzmann-Gleichung, ließ sich zeigen, wie die Lage des Phasenübergangs von Temperatur, Druck und Spaltgröße abhängt und welches Konzentrationsprofil am Spaltaustritt zu erwarten ist. Dies ist die Schlüsselinformation, um in einem schwer zugänglichen System, beispielsweise ITER, die gemessenen Werte bei einer Heliumleckprüfung quantitativ zu interpretieren.

Highlight in 2009: Vorsicht – Der Künstler kommt oder Wie cool sind Kokosnüsse?

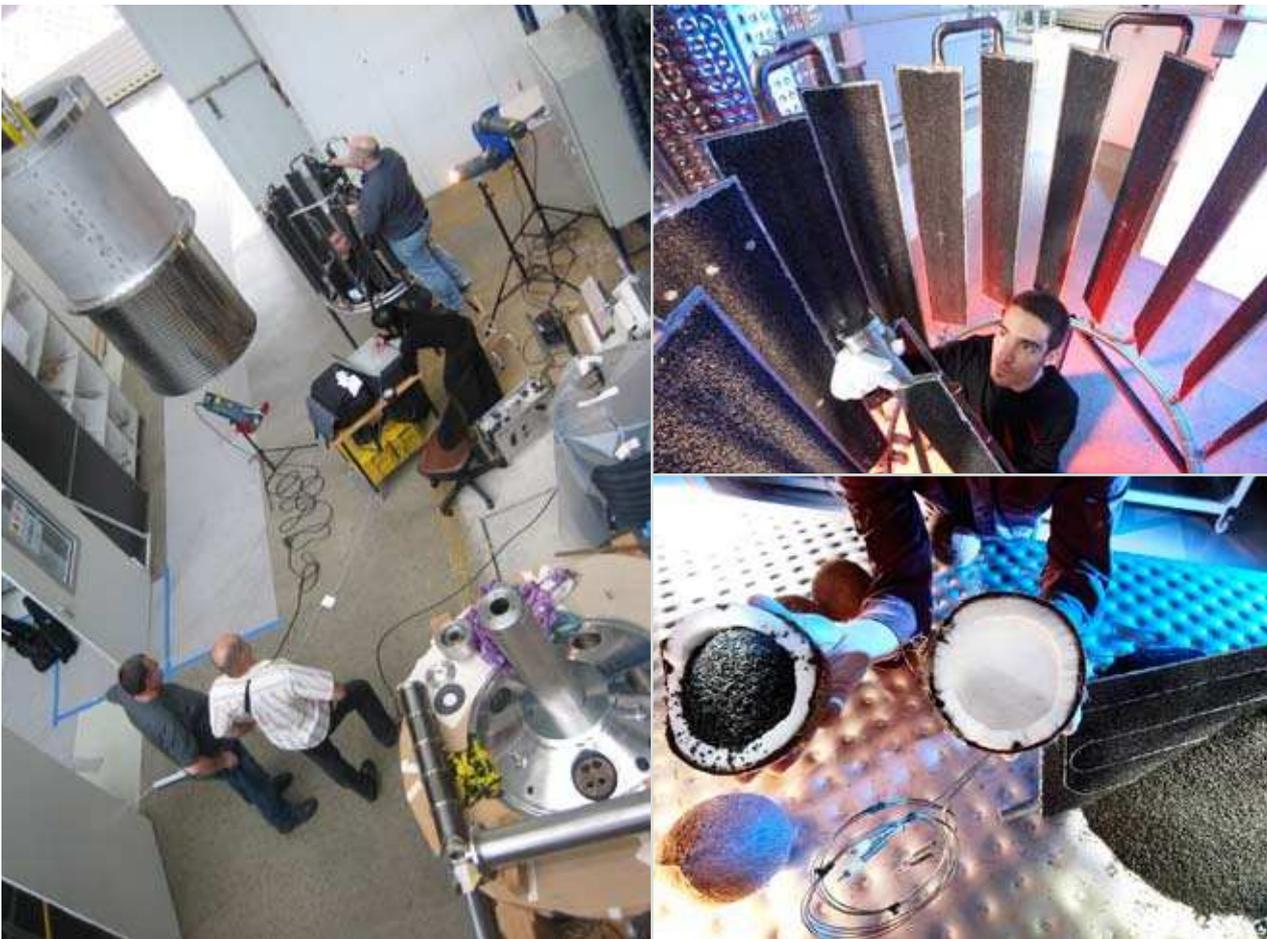
Eine Besonderheit der am ITEP entwickelten Kryopumpen ist die Kryosorption. Das bedeutet, dass die schwer zu pumpenden Gase nicht kondensiert werden, sondern an einem porösen Material adsorbieren und damit aus der Gasphase in eine gebundene Phase übergehen: Der Druck sinkt und es entsteht ein Vakuum. In langjährigen Versuchen hat der Bereich Vakuumtechnik einen bestimmten Aktivkohletyp gefunden, mit dem sich die besten Vakuumsaugvermögen realisieren lassen. Diese Kohle, ohne die ein Fusionsreaktor wie ITER nicht funktionieren würde, stammt aus der Verkokung von Kokosnussschalen. Vergleichende Untersuchungen verschiedener Chargen dieses Materials haben klar ergeben, dass die Eigenschaften eindeutig von der Qualität der Kokosnussernte im jeweiligen Jahr abhängen!

Diese Geschichte war für ITER Anlass genug, eine KIT-Homestory zu machen. Hauptakteure: die ITEP-Abteilung Vakuumtechnik, Kokosnuss-Aktivkohle der besten Provenienz sowie der Künstler und Fotograf Peter Ginter (www.peterginter.de).

Das Team war zwei Tage beschäftigt und kaufte wahrscheinlich alle Kokosnüsse in den Karlsruher Supermärkten auf. Aber es hat sich gelohnt: Ein Mann, eine Assistentin, die Fotomodelle der Vakuumabteilung, einfachste Mittel – tolle Fotos. Wer hätte gedacht, dass Aktivkohle so sexy daherkommen kann?

Dieses Projekt fand ein lebhaftes Medienecho mit Schlagzeilen wie „Handle with care, the totally tropical tokamak“ (New Scientist), „Vintage coconuts are cool“ (ITER Newsline), „Building a second sun: Take \$ 10 billion and add coconuts“ (Technology Review). Fazit: Eine großartige Kampagne für die Arbeit des Bereichs Vakuumtechnik im ITEP, für KIT und für ITER – und Spaß gemacht hat es obendrein.

Anmerkung: Natürlich hat das ITEP alle auf dem Markt verfügbaren Aktivkohlevorräte des besten Jahrgangs aufgekauft – immerhin einige Tonnen – und verfügt damit über ausreichend Material für die nächsten drei oder vier ITERs.



Der Fotograf am Set in der ITEP Halle und was dabei herauskam



Maschinenhalle 300 W-Kälteanlage

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Kryotechnik

Leitung: Dr. Holger Neumann

Kryotechnik für die Fusion

Die kryotechnischen Arbeiten im Programm „Fusion“ konzentrierten sich 2009 auf den Bau von supraleitenden Stromzuführungen und die Planung der Versorgung des entsprechenden Versuchstands CuLTKa (Current Lead Test facility Karlsruhe) inklusive Einbindung in die bestehende Kryoinfrastruktur. Um die Prototypen der Stromzuführungen bereits vor Fertigstellung von CuLTKa fertigen zu können, soll ein Testkryostat an TOSKA angeschlossen werden, was 2009 vorbereitet wurde. Alle diese Arbeiten sind für das Fusionsexperiment W7X in Greifswald bestimmt.

W7X-Stromzuführungen

Der Bereich Kryotechnik des ITEP führte 2009 die Arbeiten an den Prototypen der W7X-Stromzuführungen fort. Dabei ging es neben Designarbeiten bereits um die Fertigungsarbeiten einschließlich Vorversuchen zu einzelnen Fertigungsschritten. So nahm das Team Versuche zur Beschichtung der HTS-Stapel mit Parylen vor, um den Supraleiter vor Oxidation zu schützen. Die Prototypen der HTS-Module wurden mit Temperatursensoren bestückt.



Abb. 2: Prototyp-Stromzuführungen nach der Weichlötung von Wärmeübertrager, HTS-Modul und kaltem Kontakt.

Nach der Fertigung der beiden Wärmeübertrager für die Prototypen wurden die Vakuummäntel erfolgreich aufgeschweißt und leckgetestet. Auch die TVO-Sensorlanze mit Durchführung wurde appliziert. Damit sind die Arbeiten an den Wärmeübertragern abgeschlossen.

Ein weiterer wichtiger Schritt war der Zusammenbau der Prototyp-Stromzuführungen mit Weichlötung von Wärmeübertrager, HTS-Modul und kaltem Kontakt.

Vorbereitungen für den Test der W7X-Prototyp-Stromzuführungen in TOSKA

Da die Testanlage für die W7X-Stromzuführungen erst 2011 fertiggestellt sein wird, sollen die Prototypen in einem Testkryostat getestet werden, der an TOSKA angeschlossen wird, um die vorhandene Infrastruktur zu nutzen und den Aufwand gering zu halten.



Abb. 3: Testkryostat für Prototyp-Stromzuführungen mit Anschlussleitung an TOSKA.

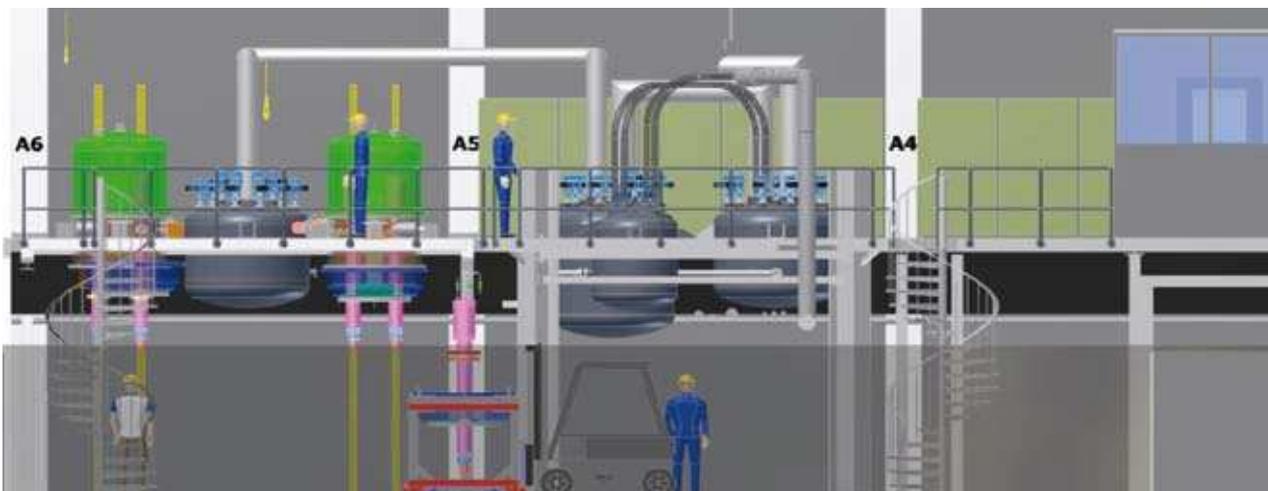


Abb. 4: CuLTKa

Das Testkryostat wurde ausgelegt und konstruiert. Die Fertigung wird 2010 abgeschlossen sein. Auch die Anschlüsse in TOSKA inklusive der Steuerung wurden 2009 weitestgehend für diesen Prototypentest modifiziert.

CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe)

Für den Serientest der W7X- und der JT60-Stromzuführungen konzipierte der Bereich Kryotechnik eine entsprechende Testanlage. Diese besteht im Wesentlichen aus einer Ventilbox zur Verteilung des Heliummassenstromes der 2 kW-Anlage auf TIMO, CuLTka, FBI und später eventuell auch auf das Hochfeldmagnetlabor, einem Kontrollkryostat für CuLTka mit einem Unterkühler zur Erzeugung verschiedener Temperaturniveaus, einer Ventilbox zur Verteilung der Massenströme auf einem von zwei Stromzuführungstestbehältern sowie den genannten Stromzuführungstestbehältern. 2009 wurden die Konzeptphase inklusive R&I-Schema abgeschlossen, die Bühne inklusive der Infrastruktur weitestgehend umgebaut und die Fertigung des ersten Testbehälters begonnen.

Kryotechnik für REU

Im Jahr 2009 wurde THISTA (Teststand für Untersuchungen zur thermischen Isolation in Kryoapparaten) umgebaut, um die Automatisierung der Bedienung und Messwerterfassung zu erhöhen sowie die Isolierung zur Reduktion der Nullverluste zu verbessern. Für Letzteres wurden Verbindungsleitungen und Kühlschild geändert. Zudem wurde der Vakuumpumpstand durch einen neuen ersetzt.



Abb. 5: THISTA; unteres Kühlschild mit Anschluss für Testobjekte und Sensoren.

Anschließend an den Umbau ging die Anlage in Betrieb, und es wurden die Nullverluste gemessen. Die Messung ergab, dass die Nullverluste durch die Umbaumaßnahmen um fast 30 Prozent gesunken sind, wodurch die Messgenauigkeit der Anlage sich deutlich verbessert hat. 2009 nahm das Team auch wieder Versuche an verschiedenen Superisoliationsarten für die Industrie vor. Das Kalibrierlabor wurde um einen Raum erweitert. Dieser erhielt 2009 die nötige Infrastruktur, wie Leitungen und Anschlüsse für Helium, Stickstoff, Druckluft und Strom sowie zwei Labortische für künftige Arbeiten mit dem erforderlichen Equipment.

Nach den Umbaumaßnahmen ging der Kalibrierkryostat wieder in Betrieb. Das Team untersuchte Rhodium-Eisen-Fühler unter verschiedenen Randbedingungen. Die Ergebnisse werden 2010 auf der ICEC 23 veröffentlicht. Nachdem in den vergangenen Jahren die Tauglichkeit



Abb. 6: Labortisch für das erweiterte Kalibrierlabor.

von FBG (Faser-Bragg-Gitter)-Sensoren für die Kryotechnik bewiesen wurde, sollen diese nun für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden. In Zusammenarbeit mit der Gruppe Hochfeldmagnete wurden die FBG-Sensoren auf einem NbTi-Leiter aufgebracht, um die entstehenden Kräfte beim Laden und Quenchen zu untersuchen. Die ersten Versuche waren äußerst vielversprechend; die Untersuchungen laufen 2010 weiter.

Für ein gemeinsames Projekt mit Siemens, in dem der Kühlkreislauf eines HTS-Generators untersucht werden soll, wurden rotierende optische Durchführungen für FBG-Sensoren erfolgreich getestet. Dies bedeutet, dass sich auf die problematischen Signalübertragungen mittels Schleifkupplungen verzichten ließe.

Kryoinfrastruktur

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

Die 300 W-(1,8K)-He-Tieftemperaturanlage war 2009 circa 866 Stunden in Betrieb, von denen 149 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb und 79 Stunden auf den Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren entfielen, so dass 638 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Hochfeldmagnetbereich geleistet wurden.

Die 2 kW-(4,5K)-He-Tieftemperaturanlage lief 2009 etwa 998 Stunden. Davon entfielen 498 Stunden auf den Verflüssigungsbetrieb und 192 Stunden auf den



Abb. 7: Leitwarte mit neuen und zusätzlichen Monitoren.

Spülbetrieb sowie das Kalt- und Warmfahren der Anlage. Damit wurden 283 Stunden reine Kälteleistung für Experimente im Bereich Fusion erbracht.

Insgesamt verflüssigten die Anlagen circa 116.317 Liter Helium. Davon wurden 72.148 Liter für Experimente im ITEP und 44.169 Liter an Fremdinstitute ausgegeben. Zu den Service-Leistungen kamen unter anderem zahlreiche Verbesserungen an den bestehenden Anlagen. So erhielt die Leitwarte neue und zusätzliche Monitore zur Steuerung und Überwachung der einzelnen Anlagen und Experimente.

Der 5.000-Liter-Tank der 300 W-Anlage bekam einen neuen Temperatursensor, der zunächst auf Umgebungstemperatur gebracht und anschließend wieder auf LHe-Temperatur abgekühlt werden musste. An der Hochdruck-Reinigungsanlage wurden einige defekte Hochdruckventile ausgetauscht. Für die Schallschutzhaube der Helium-Rückverdichtungsanlage wurde ein neuer Ventilator mit Frequenzumrichtersteuerung eingebaut; der Ventilator wurde mit einem neuen Abluftschalldämpfer ausgestattet.

Die MSR-Technik wurde auf eine Übernahme der Steuerung für CuLTKa vorbereitet, indem die AS5 Teleperm AS488TM gegen eine Simatic PCS7 inklusive Softwareportierung ausgetauscht wurde. Dafür wurde auch das Bussystem Teleperm CS275 zu Simatic Industrial Ethernet (PCS7) über eine neue Brücke gekoppelt.

Das Bediensystem wurde von WinCC V6.1 auf ein Leitsystem PCS7 V7.0 hochgerüstet. Dazu wurden der DAKO (S5->PCS7) und die AS5 (AS488->PCS7) umgebaut und die Anwendersoftware portiert oder neu geschrieben. Die Kopplungen mit sämtlichen Teilnehmern wurden neu gestaltet.



Abb. 8: Implementierung eines neuen Temperatursensors in den 5.000-Liter-Tank der 300 W-Anlage.



Abb. 1: Ankunft der DPS2-F im Juli 2009. Im Hintergrund ist das KATRIN Hauptspektrometer zu sehen.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Leitung: Dr. Beate Bornschein

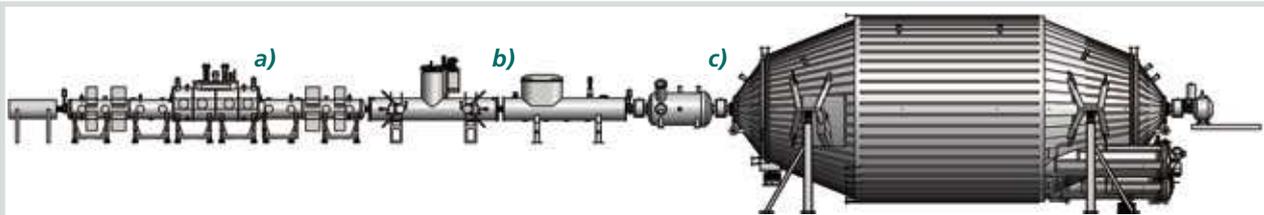


Abb. 2: Schematische Darstellung des internationalen Großexperiments KATRIN. Die bei β -Zerfällen in einer hochintensiven fensterlosen molekularen Tritiumquelle (WGTS, [a]) entstehenden Elektronen werden über eine Tritiumpumpstrecke mit den aktiven und passiven Elementen DPS2-F und CPS (b) zu einem System (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 modellunabhängige Messung der Neutrinomasse mit einer Sensitivität von $200 \text{ meV}/c^2$. Die Motivation für KATRIN ergibt sich aus der Schlüsselrolle von Neutrinos in der Astroteilchenphysik: Zum einen spielen massebehaftete Neutrinos eine spezifische Rolle als heiße dunkle Materie bei der Evolution großräumiger Strukturen im Universum, zum anderen kommt der Neutrinomasse eine Schlüsselfunktion 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 über starke Magnetfelder von supraleitenden Magneten adiabatisch durch die 70 m lange Experimentiereinrichtung geführt. Ein System aus zwei elektrostatischen Retardierungsspektrometern ermöglicht es, die Elektronenenergien mit einer Auflösung von $0,93 \text{ eV}$ zu bestimmen (Abbildung 2).



Abb. 3: WGTS Magnetkryostat. Die technologischen Anforderungen an den 16 m langen Kryostat sind hoch, sein technischer Aufbau ist äußerst komplex. Das System hat zwölf kryogene Kreisläufe; es werden sechs verschiedene Fluide (He , Ne , N_2 , Ar , T_2 und Kr) eingesetzt.

Derzeit ist eine weltweite Kooperation von mehr als 130 Wissenschaftlern und Ingenieuren unter Federführung des KIT damit befasst, dieses Schlüsselexperiment der Astroteilchenphysik im Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) aufzubauen. Die ersten Daten werden 2012 erwartet.

Design, Aufbau und erfolgreiche Ausführung des KATRIN Experiments stellen höchste Anforderungen an die Prozesstechnik, besonders die Tritiumverfahrenstechnik, die Ultrahochvakuum- und Kryotechnik und die Hochspannungsstabilisierungstechnik. Darüber hinaus bedarf es eines funktionierenden Projektmanagements, um die Einteilung der Ressourcen (Geld, Personal) mit den zeitlichen und inhaltlichen Zielen von KATRIN zu vereinbaren.

Im Rahmen des KATRIN Experiments ist das ITEP verantwortlich für Tritiumprozesstechnik sowie Magnettechnologie und Kryotechnologie; es stellt die Leitung auf diesen Gebieten. Die Arbeit des ITEP im Projekt KATRIN ist zu mehr als 95 Prozent im so genannten Quell- und Transportsystem angesiedelt, das in Abbildung 4 als Blockbild dargestellt ist. Wegen der Handhabung von Tritium wird das System komplett im TLK aufgebaut.

Hauptbestandteil ist ein so genanntes WGTS (siehe Abbildung 3), ein 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 so genannte Kalibrations- und Monitoringsystem (CMS-R) und im vorderen Teil – Richtung Spektrometer – das Transportsystem. Dieses hat die Aufgabe, die Tritiumzerfallselektronen ins Spektrometer zu leiten und gleichzeitig über Pumpen den Tritiumgasfluss ins Spektrometersystem um mehr als zwölf Größenordnungen zu reduzieren. Dies geschieht einerseits mit Hilfe einer differentiellen Pumpstrecke (DPS2-F) und andererseits – als letzte Stufe – mit einer kryogenen Pumpstrecke (CPS), die bei $3,5$ bis 4 K betrieben wird.

Zusätzlich dargestellt sind in Abbildung 4 die Tritiumkreisläufe (Inner Loop, Outer Loop), die für eine gere-

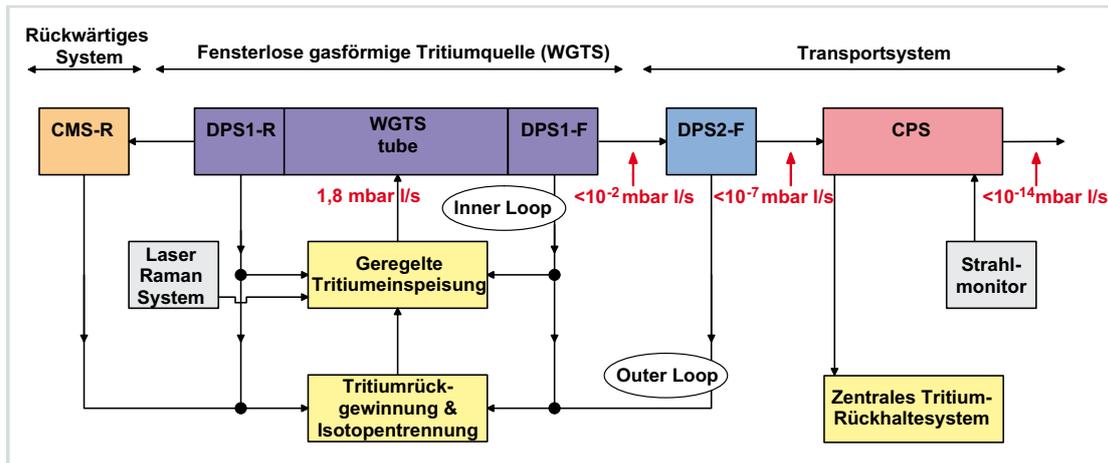


Abb. 4: Blockbild der KATRIN Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des TLK.

gelte Tritiumgaseinspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werten von über 95 Prozent halten. Das gleichzeitige Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases sorgt letztendlich für eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS (Tritiumquelle).

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

WGTS

Die WGTS wird aktuell von der Firma RI im Auftrag von VARIAN gebaut. VARIAN hat durch Kauf der Firma ACCEL den ursprünglichen Vertrag übernommen. Die technische Begleitung von Konstruktion und Fertigung bei industriellen Partnern bedeutet einen großen Aufwand für das ITEP: 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 1.5×10^{16} Bq pro Tag (40 g) haben und unterliegt als tritiumführendes System hohen Qualitätsanforderungen.

Hauptaufgaben im Jahr 2009 waren die Überprüfung von Vorprüfunterlagen sowie fertigungsbegleitende Qualitätssicherungstests (Lecktests, Oberflächenabnahmen etc.). Dabei lag der Fokus der Arbeiten auf den für den Demonstrator erforderlichen Baugruppen. Beim Demonstrator handelt es sich im Prinzip um eine verkürzte WGTS ohne die äußeren differentiellen Pumpstrecken und ohne die Magnete, die das Führungsfeld für die Tritiumzerfallselektronen aufbauen werden.

Der Demonstrator (siehe auch Abbildung 5) soll die Machbarkeit der auf 30 mK stabilisierten Temperaturregelung für das Strahlrohr demonstrieren. Dazu wird er derzeit beim Industriepartner aufgebaut; im Frühjahr 2010 wird er an das TLK geliefert, um dort zusammen mit der KATRIN Kältemaschine betrieben zu werden. Eine der technologischen Schlüsselstellen in der Fertigung – das korrekte Verschweißen der zwei 5 m langen Strahlrohrteilstücke – wurde bereits erfolgreich abgeschlossen.

Parallel zum Aufbau des Demonstrators schloss der Industriepartner auch die Fertigung der sieben Magnete weitestgehend ab. Allerdings zeigten erste fabrikseitige Kaltfahrttests, dass an einigen Stellen noch Optimierungsbedarf besteht.



Abb. 5: Temperatursensoren am Strahlrohr (Dampfdruckthermometer/Pt500)

Ein wichtiges Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnis im Jahr 2009 war das Redesign des WGTS-Strahlrohrkondensators. Durch die Wahl von Blei im Inneren des Kondensators ließ sich dessen Wärmekapazität und damit thermische Trägheit erhöhen. Dadurch ist eine geringere Schwankung der Strahlrohrtemperatur zu erwarten, was einen entscheidenden Einfluss auf die KATRIN Sensitivität haben wird. Das Ergebnis wurde in einer renommierten Fachzeitschrift publiziert.

DPS2-F

Nach erfolgreicher Güteprüfung bei der Firma ASG in Genua wurde die DPS2-F im Juli 2009 an das KIT geliefert (Abbildung 1). Seitdem wird sie für die Abnahmeprüfungen vorbereitet. Schwerpunkte der Arbeiten liegen auf dem Aufbau des aus fünf Schaltschränken bestehenden Kontrollsystems und auf der Feldverkabelung, die allerdings erst 2010 fertiggestellt wird. Die Abnahmeprüfungen beginnen im März 2010.

CPS

Die CPS wird von der Firma ASG in Genua gefertigt (siehe Abbildung 6). Aufseiten von KATRIN begleitet ein institutsübergreifendes Projektteam die Fertigung.

Nach Abnahme des technischen Designreports im Juni 2009 verlagerte sich der Schwerpunkt der Arbeiten auf die Fertigungsbegleitung mit Qualitätssicherungstests vor Ort. Parallel dazu fixierte die Kryogruppe das R&I Schema für die Sensoren und die Steuerung der CPS, und ergänzende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Sensoren begannen. Ein wichtiger Meilenstein des Projekts war der erfolgreiche Kalttest des ersten Magnetmoduls, der einen Testquench beinhaltetete.

Kälteanlage & Kryotransferleitung

Im Jahr 2009 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Schnittstellen zur DPS2-F. So wurden unter anderem die flexiblen Kryoleitungen, die zwischen Ventilbox und DPS2-F benötigt werden, in die Fertigung gegeben, und



Abb. 6: CPS, Fertigung bei ASG

die Abstimmung der Automatisierungssysteme von DPS2-F und KATRIN Kältemaschine wurde vorangetrieben.

Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut (unter anderem im Rahmen von Diplom- und Doktorarbeiten). Im Jahr 2009 konzentrierten sich die Arbeiten wie schon im Vorjahr auf den Aufbau desjenigen Teils der Kreisläufe, der für die geregelte Tritiumgaseinspeisung zuständig ist. Aus Platzgründen wurde dieser Teil in einer schon vorhandenen Handschuhbox (ISS-Box) aufgebaut (siehe Abbildung 7). Die gesamten Verrohrungs- und MSR-Arbeiten für diesen Abschnitt waren im Sommer abgeschlossen. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme und Optimierung der Regelparameter zeigten erste Testmessungen, dass die von KATRIN verlangte Stabilität (0,1%) der Gaseinspeisung erreicht wird. Dies markiert einen wichtigen physikalischen Meilenstein.

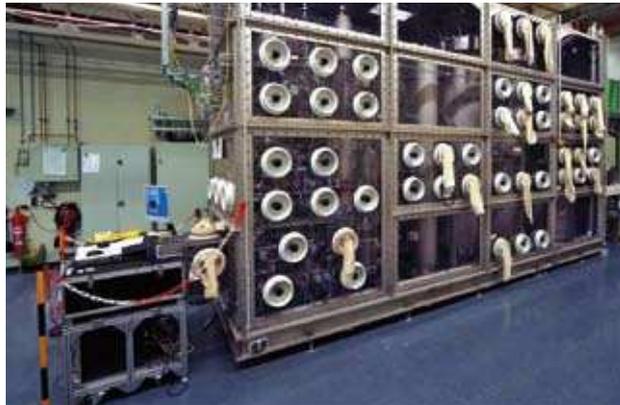


Abb. 7: Blick auf die ISS Handschuhbox mit dem angeschlossenen LARA System. Der neu aufgebaute Teil des Tritium Loops befindet sich im linken Teil der Box.

Im Fokus der physikalischen Forschung stand die Laser-Raman-Spektroskopie (LARA) an den Wasserstoffisotopologen H₂, HD, D₂, HT, HD und T₂. Dabei wurde das neu aufgebaute LARA System systematisch untersucht (siehe „Highlight 2009“).

Danksagung

Die Aufgaben zu KATRIN wurden innerhalb des ITEP bereichsübergreifend angegangen und erfolgreich ausgeführt, 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 von ITEP, Institut für Kernphysik (IK), Institut für Experimentelle Kernphysik (IEKP), TID-F und SPM. Dafür herzlichen Dank!

Highlight in 2009: Laser-Raman-Spektroskopie an gasförmigen Wasserstoffisotopologen

KATRIN strebt eine Sensitivität von $0,2 \text{ eV}/c^2$ für die modellunabhängige Bestimmung der Neutrinomasse an. Das lässt sich nur erreichen, wenn sowohl die statistischen als auch die systematischen Fehler der Observablen m^2 unterhalb von $0.017 \text{ eV}^2/c^4$ liegen. Um dies zu gewährleisten, muss die isotopische Reinheit des Tritiumgases, das in die Quelle injiziert wird, kontinuierlich überwacht werden. Dies soll mit Hilfe der Laser-Raman-Spektroskopie erfolgen.

Der Raman-Effekt beschreibt die inelastische Streuung von Licht an Molekülen. Dabei wird die Wellenlänge des gestreuten Lichts verschoben, da ein Teil der Photonenenergie in Rotations- und/oder Vibrationsanregungen des Moleküls transferiert wird. Die Verschiebung der Wellenlänge hängt damit ab von der Art des Moleküls, an dem das Licht gestreut wird. Bei der Aufnahme eines Spektrums erfolgt die Identifikation des Moleküls über die Wellenlänge und die Bestimmung der Menge der vorhandenen Moleküle über die Linienintensitäten.

Die LARA-Methode zeichnet sich dadurch aus, dass die Messungen sich kontakt- und zerstörungsfrei vornehmen lassen und die Messung sich daher in einen verfahrenstechnischen Prozess einbauen lässt. Gasproben können im Prinzip „inline“, das heißt ohne Probenahme, und fast in „real time“ vorgenommen werden. Damit stellt die Laser-Raman-Spektroskopie ein exzellentes Instrument zur Bestimmung der isotopischen Reinheit der KATRIN Quelle dar.

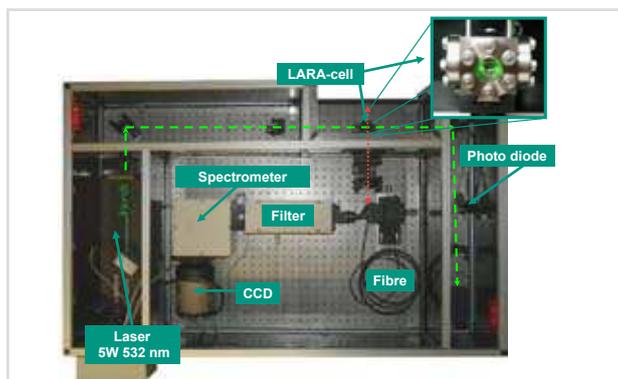


Abb. 8: LARA Aufbau für KATRIN. Dieses System wurde in mehrjähriger Zusammenarbeit mit der Universität Swansea/Wales entwickelt.

KATRIN stellt an LARA folgende Anforderungen:

- Nachweisgrenze für Wasserstoffisotopologe geringer als $0,1 \text{ mbar}$ bei einem Gesamtdruck von ca. 100 mbar
- Reproduzierbarkeit der Signale mit einer Präzision von $<0.1\%$ (1σ) in $<250 \text{ s}$ bei 100 mbar
- Stabilität des optischen Aufbaus und der aktiven Elemente wie Laser und CCD Detektor innerhalb einer KATRIN Messphase von 60 d
- Tritiumkompatibilität der LARA Zellen (künftig werden 40 g Tritium/d durchgepumpt)

Die im Herbst 2008 im TLK begonnenen Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten wurden 2009 im Rahmen von zwei Diplomarbeiten und einer Doktorarbeit fortgesetzt. Dabei lag der Fokus auf der Untersuchung der Untergrundbeiträge zum Spektrum und der Stabilität des LARA Systems (Laserstrahlintensität, „beam walk“, Alterungsprozesse an den Laserfenstern etc.).

Herausragendes Ergebnis im Berichtszeitraum war die erstmalige gleichzeitige Messung aller Wasserstoffisotopologe (H_2 , HD , D_2 , DT , HT , T_2) im TLK (siehe Abbildung 9). Mehrwöchige Messkampagnen belegten, dass die von KATRIN geforderte Präzision in einem Messintervall von 250 s sich realisieren lässt.

Die Arbeiten werden 2010 fortgesetzt. Dabei wird ein spezieller Tritiumkreislauf (Loopino) die KATRIN Quelle imitieren.

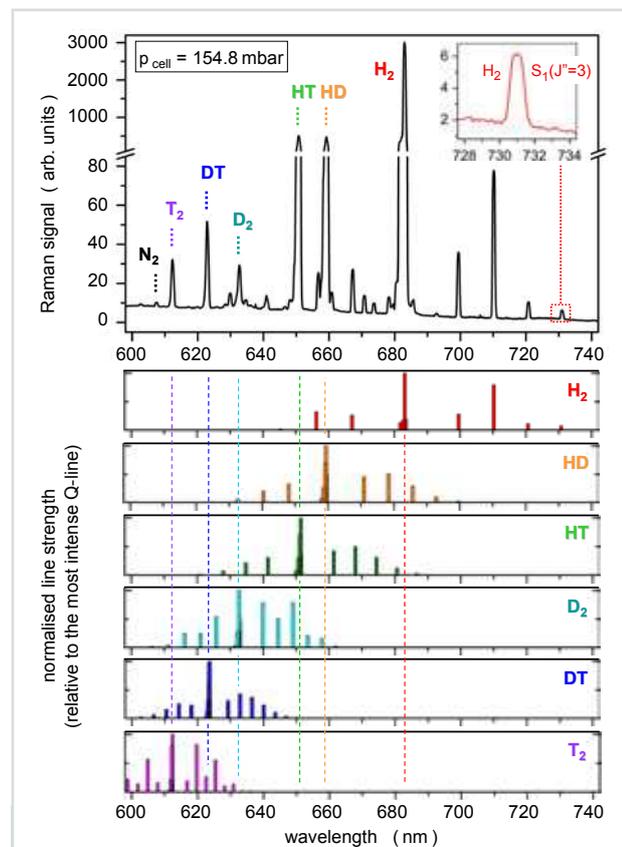


Abb. 9: Raman-Spektren einer äquilibrierten Mischung von Wasserstoffisotopologen (Messzeit 1000s). Die Q1-Linien aller Isotopologen sind markiert. Unten: Modellspektren, Q1-Linie Faktor 20 unterdrückt (Sturm et. al, Laser Physics 20 (2), 2010).

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

Universität Karlsruhe – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

WS 08/09 – Supraleitende Systeme für Ingenieure (Noe, Neumann, Siegel)

SS 09 – Supraleitertechnologie (Noe, Schlachter, Weiss)

SS 09 – Seminar Projektmanagement für Ingenieure (Noe, Day, Grohmann)

Universität Karlsruhe – Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

WS 08/09 – Vakuumtechnik I (Day)

WS 09/10 – Kryotechnik (Neumann)

WS 09/10 – Vakuumtechnik I (Day)

Universität Karlsruhe – Fakultät Maschinenbau

WS 08/09 – Fusionstechnologie I (Fietz, Weiss)

SS 09 – Fusionstechnologie II (Bornschein, Day)

Leibniz Universität Hannover – Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

SS 09 – Neue Komponenten der elektrischen Energieversorgung (Noe, Berger)

Duale Hochschule BW – Fachbereich Maschinenbau

WS 08/09 – Konstruktionslehre I (Bauer)

SS 09 – Arbeitssicherheit und Umweltschutz (Bauer)

WS 08/09 – Thermodynamik I für Maschinenbauer (Neumann)

SS 09 – Technische Thermodynamik II für Maschinenbauer (Neumann)

Seminare / Sommerschulen

Seminar „Die Kunst sich selbst zu präsentieren“
5.–6. März 2009

Karlsruhe

VDI-Seminar Kryotechnik

25.–27. März 2009

Karlsruhe

MATEFU Spring Training School

„Superconducting Magnets“

5.–9. April 2009

Cadarache, Frankreich

CIGRE Workshop on Test Techniques and Procedures
for HTS Power Applications

13.–15. Mai 2009

Nagoya, Japan

Karlsruhe-Dresden

Doktorandenseminar zur Supraleitung

27.–29. Mai 2009

Colditz

NESPA Kryo Workshop

15.–16. Juni 2009

Karlsruhe

ESAS Summer School on Materials and Applications on
Superconductivity

21.–26. Juni 2009

Lans en Vercors, Frankreich

International Summer School on Fusion Technologies

31. August–11. September 2009

Karlsruhe

Haus der Technik, Seminar Kryostatbau

9.–11. September 2009

Karlsruhe

Lehre und Bildung

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

Betreute Diplom-/ Bachelor-/ Masterarbeiten 2009 (* abgeschlossen)

Peter Baumgartner (SEW-Eurodrive)

Applikative Anforderungen an die Sicherheitstechnik bei Geschwindigkeits- und Positionsüberwachungssystemen
Zweitgutachten

Colains Donfack

Charakterisierung von Hochtemperatur-Supraleitern für Supraleitende Strombegrenzer

Sebastian Fischer (IK)

Laser-Raman Messungen an H-Isotopen im dynamischen Bereich

Christian Friedmann*

Integration des Vorspektrometers in die KATRIN Beamline

Andreas Kosmider (IK)*

Analyse von Wasserstoffisotopomeren in der flüssigen Phase durch Infrarotspektroskopie

Haifeng Mao

Determination of Measurement Uncertainty in High Precision Cryogenic Temperature Measurement under Magnetic Fields

Frank Merkel

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

Thomas Polzer*

Konstruktion einer Ausheizkammer

Florian Priester (IK)

Systematische Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten des KATRIN Tritiumloops

Alexander Reiner*

Entwicklung eines 3D Messtisches für eine Magnetfeldmessung im Raum

Enrico Rizzo*

Determination of the heat transfer characteristics in the fin-type heat exchanger for the HTS current leads of W7-X and JT-60SA

Magnus Schlösser (IK)*

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

Rolf Schön (IK)

Untersuchung eines BIXS-Detektors zur Messung der Tritiumkonzentration in Wasser

Sarah Stern (IBS)

Neuentwicklung und Konzeptionierung eines Schutzzaunsystems für den Maschinen- und Anlagebau
Zweitgutachten

Thomas Voigt

Rückkühlverhalten von Supraleitern in Fehlerstrombegrenzern

Elisabeth Weiß*

Vorbereitung der Akkreditierung des Labors für kryogene Werkstoffprüfungen nach DIN 17025

Betreute Studienarbeiten 2009 (* abgeschlossen)

Stanislav Cherevatskiy*

Verlustberechnung supraleitender Transformatoren

Sebastian Stämmler (TVT Campus Süd)

Membranverfahren zur Abtrennung von Wasserstoff und Wasserdampf

Yuvens Tantra*

Untersuchung elektromechanischer und thermischer Eigenschaften technischer Hochtemperatursupraleiter und Strukturmaterialien

Betreute Technikerarbeiten 2009 (* abgeschlossen)

Carsten Schlenker*

Auslegung und Realisierung von Mess-Sensorik im kryogenen Temperaturbereich

Austauschprogramm DH-Studenten mit Industriepartner, Fa. Babcock Noell (Kathrin Ehrhardt und Christian Pulch)

**Duale Hochschule Baden-Württemberg 2009
(* abgeschlossen)****Kerstin Brohl**

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

Isabelle Ehleben

Maschinenbau – DH-Karlsruhe

Beate Frank

Mechatronik – DH-Karlsruhe

Clemens Frenzel

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

Christian Friedmann*

Technisches Management – DH-Mannheim

Nando Gramlich

Maschinenbau – DH-Mannheim

Nadja Kästle

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

Steffen Mundt

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

Marcus Oberle

Maschinenbau – DH-Mannheim

Christian Pulch

Wirtschaftsingenieurwesen – DH-Karlsruhe

Michael Schmidt

Maschinenbau – DH-Mannheim

Pit-André Singer

Elektrotechnik – DH-Karlsruhe

Sascha Singer

Elektrotechnik – DH-Karlsruhe

Elisabeth Weiss*

Technisches Management – DH-Mannheim

Doktorarbeiten 2009

(* abgeschlossen); ⁽¹⁾ derzeit in Elternzeit)

Christian Barth

Mechanisch stabilisierte Hochtemperatur-Supraleiter-Kabel

André Berger

Entwicklung supraleitender strombegrenzender Transformatoren

Frank Eichelhardt (IK)*

Bestimmung des Tritiumrückhaltevermögens mit einer Argonfrostpumpe

Aleksandra Gotsova (IK) ¹⁾

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

Olaf Mäder

Gleichstrom-Höchststromübertragungsleitungen mit Hochtemperatur-Supraleitern

Robert Michling (ITU)

Performances Assessment of Water Detritiation Process

Christian Schacherer*

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender Strombegrenzer

Magnus Schlösser (IK)

High-precision Laser Spectroscopy on Hydrogen Isotopologues

Mark Stemmler (U Hannover)*

Entwicklung und Simulation von supraleitenden Hochspannungsstrombegrenzern

Michael Sturm (IK)

Aufbau und Test des Inner Tritium Loop von KATRIN

Michael Schwarz*

Wärmeleitfähigkeit supraleitender Kompositleiter im Temperaturbereich von 4 K bis 300 K

Stanimira Terzieva

Preparation and investigation of Roebel-Cables from Coated Conductors

Alexander Winkler

Transient electrical behaviour of ITER PF coils

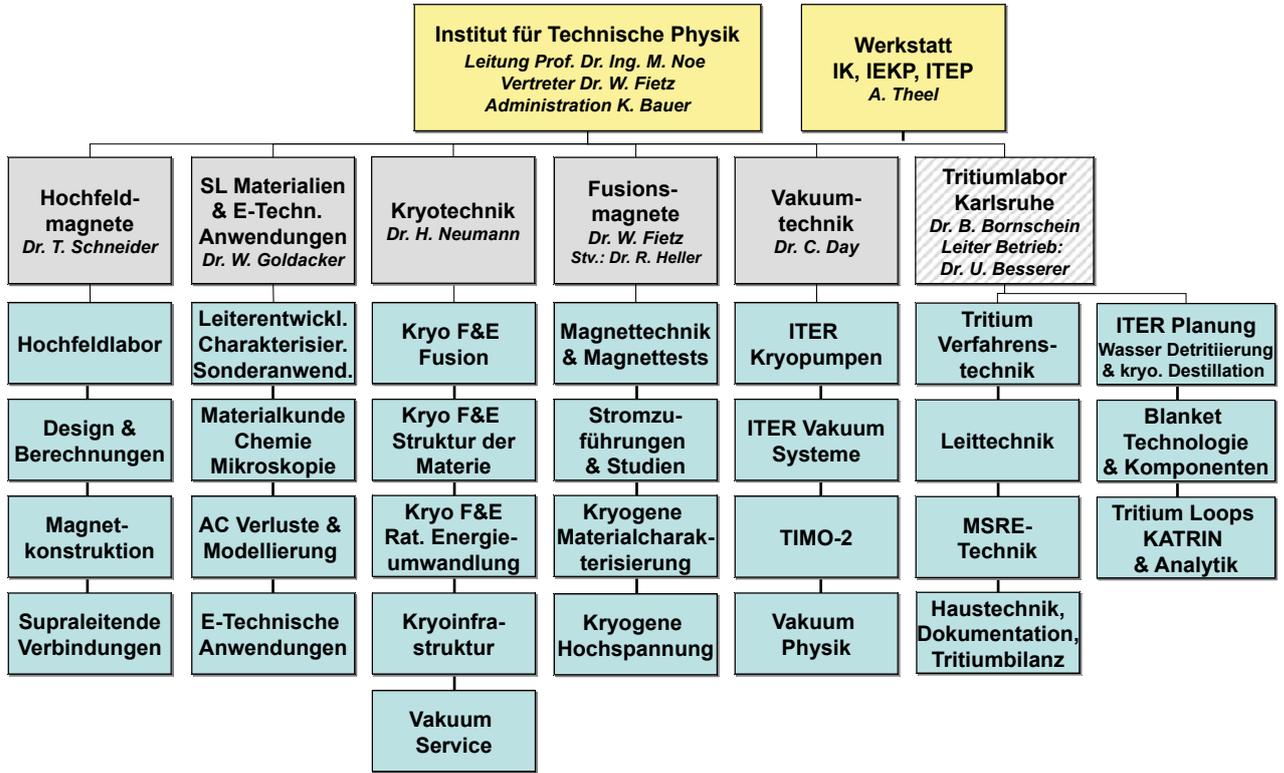
Lehre und Bildung

ITEP Kolloquien 2009

28.1.2009	Verlustberechnung supraleitender Transformatoren S. Cherevatskiy; Studienarbeit	7.7.2009	Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung von supraleitenden Strombegrenzern Ch. Schacherer; Doktorand
12.3.2009	Modelling Activities on ITER cryopumps and cryodistribution M. Scannapiego; VAKUUM	14.7.2009	KIT-Zentrum Energie W. Breh; KIT-Büro
17.3.2009	Mechanical analysis of JT-60 SA T coils M. Nannini; FUSION	21.7.2009	Parametric study of the heat transfer of the fin-type heat exchanger geometry in HTS current leads for fusion applications E. Rizzo; FUSION
21.4.2009	Datenschutz betrifft uns alle B. Kneifel; KIT	8.9.2009	Superconductors for future high field use: Why not multifilamentary YBCO or something even better? (NHMFL/ USA) D. Larbalestier; SUPRA
5.5.2009	Development of YBCO Roebel cables for high current capacity and management of AC loss (Industrial Research Ltd. Lower Hutt, New Zealand) N. Long; SUPRA	25.9.2009	Vorbereitung der Akkreditierung des Labors für kryogene Werkstoffprüfungen nach DIN 17025 E. Weiß; Bachelorarbeit
12.5.2009	CPS Cryogenic Design S. Putselyk; KATRIN/KRYO	29.9.2009	„Integration des Vorspektrometers in die KATRIN Beamline“ Chr. Friedmann; Bachelorarbeit
20.5.2009	HTS Transformers – A Brief Sketch of Their Promise and the Progress Needed to Realize that Promise A. Wolsky; SUPRA	10.11.2009	Die Verwendung von Monte-Carlo-Methoden zur Simulation von Vakuumsystemen X. Luo; VAKUUM
26.5.2009	Fiber Bragg Grating Based Temperature Distribution Evaluation of Multilayer Insulations between 300 K–77 K R. Ramalingam; KRYO	17.11.2009	Numerical modeling of HTS F. Grilli; SUPRA
9.6.2009	ITEP – Arbeitsschutz mit System K. Bauer; ADMIN	24.11.2009	Erfahrungen mit dem DPS2-F System für das KATRIN Experiment R. Gehring; KATRIN/SUPRA
16.6.2009	Messung der thermischen Ausdehnung und ausgewählte elektromechanische Eigenschaften von supraleitenden Bandleitern Y. Tantra, Studienarbeit	1.12.2009	Properties of HTS Roebel cables S. Terzieva; SUPRA
19.6.2009	Erhöhung von J_c und Birr von MgB_2 – Drähten mittels Kaltverdichtung: Beschreibung des Effekts durch ein Verteilungsmodell (Université de Genève) R. Flükiger; SUPRA	4.12.2009	Progress in High Field Magnets M. Bird; NHFML
23.6.2009	Overview of Breeder Blanket and Tritium Technology at TLK D. Demange; T L K	8.12.2009	Finite-Element-Berechnungen der Toruskryopumpen für ITER H. Strobel; VAKUUM
30.6.2009	Services der Stabsabteilung Innovation sowie „Schutzrechte und Patente im KIT“ J. Fahrenberg, Steffi Finke; S I	15.12.2009	Calculation of Transient Electrical Behaviour of ITER PF Coils A. Winkler; Doktorand
		22.12.2009	Entwicklung supraleitender Transformatoren A. Berger; Doktorand

Zahlen und Daten

Organigramm ITEP (16.09.2009)



Personalstand (19.11.2009)

Gesamt

Akademiker (davon 2 Trainees, 2 EU-Abgeordnete)
 Ingenieure und Techniker
 Sonstige
 Doktoranden (davon 6 nicht von ITEP finanziert)
 Diplomanden
 DH-Studierende

169 Während 2009:

Praktikanten 11
 Gäste 9
 Studentische Hilfskräfte 17

Zahlen und Daten

Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien

Christian Day

- Mitglied des Vorstandsrates der Dt. Vakuumgesellschaft.
- Associated Expert of the Indian Vacuum Society.
- Chairman of the ITER Vacuum Pumping Systems Package Design Review.
- Chairman of the Coordinating Committee on Fuelling & Pumping, EFDA.
- Deputy Leader of the Topical Group Heating & Current Drive, EFDA.
- International Symposium of Fusion Nuclear Technology, Member of Technical Committee.
- Mitglied im Verein Dt. Ingenieure.
- Chartered Engineer of American Vacuum Society.

Wilfried Goldacker

- Fellow of Institute of Physics (IOP), UK
- Superconducting Science and Technology (SUST-IOP), Executive Board Member
- EUCAS-2009, Dresden, Programme Committee Member
- International Cryogenic Material Conference, (ICMC) Member of Board of Directors
- Applied Superconductor Conference 2010 (ASC), Programme Committee Member, Section Materials
- International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM-2010), Advisory Committee Member, Antalya
- International Cryogenic Materials Conference (ICEC-ICMC-2010), Wroclaw, Conference-Chair for ICMC
- Montecantini, 6th International Conference: Science and Engineering of new Superconductors (CIMTEC-2010), Programme Committee member
- 3rd. International conference on Ceramics (ICC-2010), Osaka, Organisation committee Co-Organizer of Symposium 9D: Ceramics for Electricity; Advanced Superconducting Materials
- DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE Mitglied im Fachkreis: K184 „Supraleiter“
- VAMAS, Versailles Project on Advanced Materials and Standards, Technical Working Area 16, Superconducting Materials, Commission Member
- NESPA-Workshop „Cryogenics“, Veranstalter

Reinhard Heller

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

Mathias Noe

- International Council of Large Electric Systems (CIGRE) Sekretary of working group D.1.15 „Superconducting and Insulating Materials for HTS Power Applications“
- International Council of Large Electric Systems (CIGRE) Member of working group D.3.23 „Application and feasibility of fault current limiters in power systems“
- International Energy Agency, Implementing Agreement for a co-operative programme for assessing the impacts of high-temperature superconductivity on the electric power sector, German representative
- The European Society for Applied Superconductivity, Board member
- Joint CCE-FU-F4E GB Working group on DEMO. Working group member
- International Conference on Magnet Technology, Member of International Organizing and Scientific Program Committee
- Applied Superconductivity Conference, Member of International Program Committee
- Industrieverband Supraleitung, Gastmitglied
- Helmholtz Programm Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Topicsprecher Supraleitung
- Vorsitzender des wissenschaftlich-technischen Rates des Forschungszentrums Karlsruhe
- KIT Zentrum Energie, Mitglied im Lenkungsausschuss und Ko-Sprecher Energiespeicherung und -verteilung

Klaus-Peter Weiss

- DKE/DIN K 184 – Supraleiter. Stellvertretender Obmann
- IEC TC90 – Superconductivity – Member WG 2 – „Critical current measurement of Nb-Ti composite superconductors“
Member WG 7 – „Critical current measurement method of Nb₃Sn composite superconductors“
Member WG 11 – „Critical temperature measurement – Critical temperature of composite superconductors“

Veröffentlichungen

Programm „Kernfusion“ (FUSION) (* ISI referiert)

Aiello, A.; Bühler, L.; Ciampichetti, A.; Demange, D.; Dörr, L.; Freibergs, J.F.; Ghidersa, B.; Ilic, M.; Laffont, G.; Messemer, G.; Platnieks, I.; Rampal, G.; Tincani, A. Mockup testing facilities and qualification strategy for EU ITER TBMs.

9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

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

Design and experimental activities in view of water detritiation-isotopic separation system combination in TRENDA, facility.

Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.398–403
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.12.093

* Bekris, N.; Coad, J.P.; Widdowson, A.; Erbe, A.; Ehrmann, J.; Kloppe, B.

JET-EFDA Contributors

Assessment of the flash-lamp photon-cleaning detritiation method tested at JET.

Journal of Nuclear Materials, 390-391(2009) S.614–17
DOI:10.1016/j.jnucmat.2009.01.308

Class, A.; Heller, R.; Fietz, W.H.; Rizzo, E.; Savoldi Richard, L.; Zanino, R.

Optimization of the fin-type heat exchanger geometry in HTS current leads for fusion applications.

21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT–21), Hefei, China, October 18–23, 2009

Cristescu, I.; Dörr, L.; Eichelhardt, F.; Liger, K.; Michling, R.; Pinna, T.; Zamfirache, M.; Welte, S.; Wurster, W. Design and R&D activities in EU in support of ITER water detritiation and cryogenic distillation systems as in kind contribution.

9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

Day, C.

Kryovakuumtechnik und Kryopumpen.

VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 25.–27. März 2009

Day, C.; Hanke, St.; Luo, X.; Sonato, P.

The cryosorption pumping system for the neutral beam test facility MITICA.

19th AIV Conf.'Energy and Materials: Technologies Comparison and Perspectives', Senigallia, I, May 19–21, 2009

Day, C.

ITER, the next step to clean energy by fusion. Size matters. Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 22.–27. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) VA 1.1

* Day, C.; Haas, H.

Experimental assessment of the ITER cryosorption pump high temperature regeneration.

Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.665–68
DOI:10.1016/j.fusengdes.2009.02.018

Day, C.; Antipenkov, A.; Amoskov, V.; Belov, A.; Gaponok, E.; Kukhtin, V.; Lamzin, E.; Shatil, D.; Sytchevsky, S.

Numerical simulations of electro-magnetic transients in ITER cryopumps with the use of TYPHOON code.

Internat.Conf.on Mathematical Modeling and Computational Physics, Dubna, Russia, July 7–11, 2009

Day, Chr.; Hauer, V.; Luo, X.; Varoutis, S.; Valougeorgis, D. Recent developments in fusion vacuum flow modelling for ITER and beyond.

9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

Day, Chr.

Cryopumps and vacuum. (eingeladen)

NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009

Day, Chr.; Hauer, V.

Characterization of cryosorbent materials for vacuum pumping of hydrogen.

3rd Internat.Symp.on Hydrogen in Matter (ISOHIM-09), Chennai, IND, December 13–16, 2009

* Dremel, M.; Day, C.; Hanke, S.; Luo, X.

Cryopump design development for the ITER neutral beam injectors.

Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.689–93
DOI:10.1016/j.fusengdes.2009.01.004

* Dremel, M.; Day, Chr.; Hemsworth, R.; Pearce, R.; Mayaux, C.

Cryopump design for the ITER heating neutral beam injector.

Nuclear Fusion, 49(2009) S.075035/1–9
DOI:10.1088/0029-5515/49/7/075035

Ehrlich, A.

Influence of pressure on HTS and LTS.

2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009

Eichelhardt, F.; Cristescu, I.; Michling, R.; Welte, S.

Modification and enhancement of solid polymer membrane electrolyzers for operation with tritiated water at TLK.

9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009

- * Fietz, W.H.; Heller, R.; Kienzler, A.; Lietzow, R.
High temperature superconductor current leads for WENDELSTEIN 7-X and JT60-SA.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 19(2009) S.2202–05
DOI:10.1109/TASC.2009.2019550
- Fink, S.; Winkler, A.; Fietz, W.; Noe, M.
Definition of procedures for coil electrical testing and preparation for PF transient analysis.
Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7483 (Juli 2009)
- Fink, S.; Noe, M.; Zwecker, V.; Leibfried, T.
Lightning impulse breakdown voltage of liquid nitrogen under the influence of heating.
9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Haas, H.; Day, Chr.; Dremel, M.; Hauer, V.; Piazza, G.
Preparing the test facility TIMO-2 for the acceptance tests with the ITER torus cryopump.
Chang, H.M. [Hrsg.]
Proc.of the 22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
Gyeongnam : The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, 2009 S.663–68
ISBN 978-89-957138-2-2
- Hanke, S.; Day, C.; Dremel, M.
The novel cryopump for the neutral beam injection systems of ITER.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 22.–27. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) VA 1.3
- Hanke, S.
The adaption of the cryopump for the ITER neutral beam injection systems to the dedicated test facility.
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009
- Hauer, V.; Day, C.
Strömungsberechnung in großen Vakuumsystemen.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 22.–27. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) VA 1.2
- * Hauer, V.; Day, C.
Conductance modelling of ITER vacuum systems.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.903–07
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.12.115
- * Heller, R.
Safety analysis of the 70 kA ITER HTS current lead demonstrator.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 19(2009) S.1504–07
DOI:10.1109/TASC.2009.2017839
- * Keller, P.; Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Jung, C.; Aubele, A.
Electromechanical and thermal characterization of stacked Bi-2223 tapes at cryogenic temperature.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 19(2009) S.2893–96
DOI:10.1109/TASC.2009.2018503
- Luo, X.; Dremel, M.; Day, Ch.
ProVac3D and application to the neutral beam injection system of ITER.
Abe, T. [Hrsg.]
Proc.of the 26th Internat.Symp.on Rarefied Gas Dynamics, Kyoto, J, July 20–25, 2008
Melville, N.Y.: AIP, 2009 S.1099–1104
(AIP Conference Proceedings ; 1084)
ISBN 978-0-7354-0615-5
- Luo, X.; Day, C.; Dremel, M.
ProVac3D and application to the neutral beam injection system of ITER.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Dresden, 22.–27.März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) VA 1.4
- Luo, X.; Day, C.
A 3D Monte Carlo vacuum modeling of the neutral beam injection system of ITER.
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009
- * Masiello, A.; Agarici, G.; Bonicelli, T.; Simon, M.; Antoni, V.; De Esch, H.; De Lorenzi, A.; Dremel, M.; Franzen, P.; Hemsworth, R.; Liniers, M.; Marcuzzi, D.; Martin, D.; Piovan, R.; Simonin, A.; Sonato, P.; Surrey, E.; Svensson, L.; Tanga, A.; Toigo, V.; Waldon, C.; Zaccaria, P.
European programme towards the 1MeV ITER NB injector.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.1276–80
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.12.090
- Michling, R.; Cristescu, I.; Eichelhardt, F.; Welte, S.; Wurster, W.
Operation and characterization of a water detritiation facility at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
36th International Conference on Plasma Science (ICOPS) and 23rd Symposium on Fusion Engineering (SOFE-23), San Diego, Calif., May 31–June 5, 2009
- * Michling, R.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Welte, S.; Wurster, W.
Modification, enhancement and operation of a water detritiation facility at the Tritium Laboratory Karlsruhe.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.338-43
DOI:10.1016/j.fusengdes.2009.03.003
- * Munakata, K.; Shinozaki, T.; Inoue, K.; Kajii, S.; Shinozaki, Y.; Takeishi, T.; Knitter, R.; Bekris, N.; Fujii, T.; Yamana, H.; Okuno, K.
Tritium release from lithium orthosilicate pebbles deposited with palladium.
Journal of Nuclear Materials, 386–388(2009) S.1091–94
DOI:10.1016/j.jnucmat.2008.12.298

- Neumann, H.
Thermal insulation.
Matefu Spring Training School 'Superconducting Magnets', St.Paul lez Durance, F, April 5–9, 2009
- Neumann, H.; Zahn, G.
Cryogenic helium circulation pumps for forced flow cooling.
Matefu Spring Training School 'Superconducting Magnets', St.Paul lez Durance, F, April 5–9, 2009
- Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Schacherer, C.; Ehrlich, A.
Thermal conductivity of HTS coated conductors.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009
- Schwarz, M.; Weiss, K.P.
Thermal conductivity of HTS coated conductors.
2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009
- * Schwarz, M.; Weiss, K.P.; Heller, R.; Fietz, W.H.
Thermal conductivity measurement of HTS tapes and stacks for current lead applications.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.1748–50
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.11.031
- * Sugiyama, T.; Tanaka, M.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Welte, S.; Michling, R.; Asakura, Y.; Uda, T.; Yamamoto, I.
Performance tests of tritium separation by LPCE column at TLK facility.
Fusion Science and Technology, 56(2009) S.861-66
- * Varoutis, S.; Naris, S.; Hauer, V.; Day, C.; Valougeorgis, D.
Computational and experimental study of gas flows through long channels of various cross sections in the whole range of the Knudsen number.
Journal of Vacuum Science and Technology A, 27(2009) S.89–100
DOI:10.1116/1.3043463
- Varoutis, S.; Hauer, V.; Day, C.
Investigation of vacuum flows in fusion reactors.
American Vacuum Society 56th Internat.Symp. and Exhibition, San Jose, Calif., November 8–13, 2009
- Varoutis, s.; Hauer, V.; Day, Ch.; Pantazis, S.; Valougeorgis, D.
Experimental and numerical investigation in flow configurations related to the vacuum systems of fusion reactors.
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009
- Weiss, K.P.
Materials at low temperatures.
NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009
- Weiss, K.P.; Ehrlich, A.; della Corte, A.; Vostner, A.
Tensile test results on compacted and annealed 316LN material.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009
- Weiss, K.P.
Reliability of test equipment and certification.
IEC-TC90 (Superconductivity) Working Group 5 Meeting, Andong, Korea, July 13–14, 2009
- Weiss, K.P.
The CryoMaK laboratory at the Institute for Technical Physics.
Vortr.: Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Changwon, Korea, 15. Juli 2009
- Welte, S.; Demange, D.; Wagner, R.
Mechanical design and first experimental results of an upgraded technical PERMCAT reactor for tritium recovery in the fuel cycle of a fusion machine.
9th Internat.Symp.on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11–16, 2009
- * Welte, S.; Ana, G.; Cristescu, I.; Dörr, L.; Kuntz, B.; Michling, R.
Construction and commissioning of an ITER sized Pd/Ag permeator for a water detritiation experiment.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.1969–72
DOI:10.1016/j.fusengdes.2009.02.027
- Winkler, A.; Fink, S.
Frequency behaviour of NbTi coils.
2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009
- Winkler, A.
Calculation of transient voltages of ITER PF coils.
21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21), Hefei, China, October 18–23, 2009
- Winkler, A.
Frequency behaviour of the impedance of the superconducting coils.
9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Winkler, A.; Fink, S.; Fietz, W.H.; Noe, M.
Calculation of transient electrical behaviour of ITER PF coils.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.1979–81
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.11.081
- Wurster, W.; Ana, G.; Cristescu, I.; Eichelhardt, F.
Combustion of hydrogen from the ITER water detritiation-system.
36th International Conference on Plasma Science (ICOPS) and 23rd Symposium on Fusion Engineering (SOFE-23), San Diego, Calif., May 31–June 5, 2009

Veröffentlichungen

Programm „Rationelle Energieumwandlung“ (REUN) (* ISI referiert)

Bach, R.; Prusseit, W.; Noe, M.; Willen, D.; Goldacker, W.; Poelchau, J.

Conceptual study of superconducting urban area power systems.

9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009

Beckenbach, M.; Ernst, R.; Hornung, F.; Klaeser, M.; Lahn, H.; Leys, P.; Neumann, H.; Ruf, C.; Stamm, M.; Schneider, T.

Superconducting high field magnet engineering at the Forschungszentrum Karlsruhe.

21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21), Hefei, China, October 18–23, 2009

Berger, A.; Kudymow, A.; Voigt, T.; Noe, M.

Recovery characteristic of coated conductors for superconducting fault current limiters.

9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009

Berger, A.

Development of superconducting, current limiting transformers.

2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009

Berger, A.; Cherevatskiy, S.; Noe, M.; Leibfried, T.

„Comparison of the Efficiency of Superconducting and Conventional Transformers“

in Journal of Physics: Conference Series, EUCAS 2009

* Brambilla, R.; Grilli, F.; Nguyen, D.N.; Martini, L.; Sirois, F.

AC losses in thin superconductors: the integral equation method applied to stacks and windings.

Superconductor Science and Technology, 22(2009) S.075018/1-10

DOI:10.1088/0953-2048/22/7/075018

Brambilla, R.; Grilli, F.

Simulating Superconductors in AC Environment: Two Complementary COMSOL Models. 2009 Consol Conference, Milan, Italy, 14–16 October 2009

Dione, M.; Sirois, F.; Grilli, F.; Mahseredjian, J.

New EMTP-RV Equivalent Circuit Model of Core-Shielding Superconducting Fault Current Limiter Taking into Account the Flux Diffusion Phenomenon.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 19, No. 3, pp. 1913–1917, 2009.

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Jung, A.; Fillinger, H.; Godeke, A.; Mentink, M.G.T.

Properties of homogeneous binary and ternary HIP-processed Nb₃Sn bulk.

Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009

Goldacker, W.

Verlustarme HTS-Roebelkabel für die Energietechnik. Votr.: Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstofforschung, Dresden, 20. Februar 2009

4. Braunschweiger Supraleiter-Seminar, Braunschweig, 12.–13. Mai 2009

Goldacker, W.

Investigation of bending properties in coated conductors.

VAMAS/IEC TC-90 Meeting, Tsukuba, J, 5. November 2009

Goldacker, W.; Terzieva, S.; Kling, A.; Kudymow, A.;

Heller, R.; Grilli, F.; Gömöry, F.; Vojenciak, M.

Status of Roebel cables from Coated conductors.

22nd Internat.Symp.on Superconductivity (ISS 2009), Tsukuba, November 2–4, 2009

Goldacker, W.; Schlachter, S.I.; Kudymow, A.;

Drechsler, A.; Terzieva, S.

Possible new concepts for AC CC-cables with very high currents.

Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2009), Barcelona, E, November 22–24, 2009

Goldacker, W.; Heller, R.; Grilli, F.

Variations for the ROEBEL-cable design and correlated properties.

9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009

* Goldacker, W.; Frank, A.; Kudymow, A.; Heller, R.;

Kling, A.; Terzieva, S.; Schmidt, C.

Improvement of superconducting properties in ROEBEL assembled coated conductors (RACC).

IEEE Transactions of Applied Superconductivity, 19(2009) S.3098-3101

DOI:10.1109/TASC.2009.2018284

* Goldacker, W.; Frank, A.; Kudymow, A.; Heller, R.;

Kling, A.; Terzieva, S.; Schmidt, C.

Status of high transport current ROEBEL assembled coated conductor cables.

Superconductor Science and Technology, 22(2009) S.034003/1-10

DOI:10.1088/0953-2048/22/3/034003

- Grilli, F.; Sirois, F.; Laforest, M.; Ashworth, S.P. Periodic Space-Time Formulation for Numerical AC Loss Computation in Superconductors. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 19, No. 3, pp. 3565–3568, 2009.
- Grilli, F.; Brambilla, R.; Martini, L.; Sirois, F.; Nguyen, D.N.; Ashworth, S.P. Current Density Distribution in Multiple YBCO Coated Conductors by Coupled Integral Equations. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 19, No. 3, pp. 2859–2862, 2009.
- Grilli, F.; Pardo, E.; Vojenčiak, M.; Terzieva, S. Simulation of ac loss in Roebel coated conductor cables. *International Workshop on Coated Conductors Applications – CCA2009, Barcelona, Spain, 22–24 November 2009.*
- Grilli, F.; Sirois, F.; Brault, S.; Brambilla, R.; Martini, L.; Nguyen, D. N.; Goldacker, W. Ac losses in non-inductive coated conductor coils with field-dependent critical current density. *9th European Conference on Applied Superconductivity, Dresden, Germany, 13–17 September 2009.*
- Grilli, F. Measuring and computing transport ac losses in HTS. *2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009*
- Grossholz, H.; Hartenbach, I.; Kotzyba, G.; Pöttgen, R.; Trill, H.; Mosel, B. D.; Trill, H.; Schleid, T.; Solid State, J. Eu₅F₄S₃: Synthesis, crystal structure, and magnetic properties of the mixed-valent (II/III) fluoride sulphide EuF₂*(EuFS)₂, *Chem.* 182 (2009) 3071.
- Holubek, T.; Kudymov, A.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W. Transport properties and the stability of stabilized six-strand MgB₂ cable. *9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009*
- * Holubek, T.; Schlachter, S.I.; Goldacker, W. Fabrication and transport properties of superconducting MgB₂ cables. *Superconductor Science and Technology*, 22(2009) S.055011/1-5
DOI:10.1088/0953-2048/22/5/055011
- Hornung, F.; Rimikis, A.; Schneider, Th. Current sharing and critical current distribution in Be-2223 tapes. *21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21), Hefei, China, October 18–23, 2009*
- * Hornung, F.; Schneider, T. Upgrade of the 15 T JUMBO facility for time dependent high resolution U(I)-measurements. *IEEE Transactions of Applied Superconductivity*, 19(2009) S.3605–08
DOI:10.1109/TASC.2009.2019068
- Kario, A.; Häbler, W.; Herrmann, M.; Rodig, C.; Schubert, M.; Nenkov, K.; Holzapfel, B.; Schulz, L.; Schlachter, S.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.; Morawski, A. Comparison between ex and in situ route of preparing MgB₂ bulks and conductors. *9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009*
- Kario, A.; Morawski, A.; Häbler, W.; Herrmann, M.; Rodig, C.; Schubert, M.; Nenkov, K.; Scheiter, J.; Holzapfel, B.; Schultz, L.; Schlachter, S.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W. Properties of MgB₂ superconducting tapes prepared using home made ex situ powder. *21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21), Hefei, China, October 18–23, 2009*
- Kotari, M.; Omura, K.; Kojima, H.; Hayakawa, N.; Endo, F.; Noe, M.; Okubo, H. Development of 2 MVA class superconducting fault current limiting transformer (SFCLT) with YBCO coated conductors. *9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009*
- Kotzyba, G.; Nast, R.; Ringsdorf, B.; Goldacker, W.; Semerad, R. Filament transposition for reduction of AC losses in CC tapes. *Internat.Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2009), Barcelona, E, November 22–24, 2009*
- * Kudymow, A.; Schacherer, C.; Noe, M.; Goldacker, W. Experimental investigation of parallel connected YBCO coated conductors for resistive fault current limiters. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19(2009) S.1806–09
DOI:10.1109/TASC.2009.2019042
- Lucarelli, A.; Yang, R.; Grilli, F.; Haugan, T.; Barnes, P.; Lüpke, G. Dynamic field and current distributions in multifilamentary YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films with magnetic coupling. *Journal of Applied Physics*, Vol. 106, p. 063904, 2009.
- * Lucarelli, A.; Grilli, F.; Lüpke, G.; Haugan, T.J.; Barnes, P.N. Finite-element simulations of field and current distributions in multifilamentary superconducting films. *Superconductor Science and Technology*, 22(2009) S.105015/1-6
DOI:10.1088/0953-2048/22/10/105015
- Mäder, O.; Schacherer, C.; Berger, A.; Goldacker, W.; Noe, M. Recovery behavior of coated conductors. *9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009*
- Mäder, O. A simple, 2-dimensional, adiabatic, time-transient model of a high temperature superconductor. *2nd Dresden-Karlsruhe Seminar on Materials and Applications in Superconductivity, Colditz, May 27–29, 2009*

- * Martinez, E.; Angurel, L.A.; Schlachter, S.I.; Kovac, P.
Transport and magnetic critical currents of
Custabilized monofilamentary MgB₂ conductors.
Superconductor Science and Technology, 22(2009)
S.015014/1-7
DOI:10.1088/0953-2048/22/1/015014
- * Martinez, E.; Munoz, O.; Angurel, L.A.; Yang, Y.;
Schlachter, S.I.
Analysis of the quench onset and propagation in MgB₂
conductors.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,
19(2009) S.3533–36
DOI:10.1109/TASC.2009.2018855
- Müller, R.; Süßer, M.
Comparison of cryogenic temperature sensor
installations inside or outside the piping.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryo-
genic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz.,
June 28–July 2, 2009
- * Müller, S.; deBoer, W.; Schneider, M.; Sabellek, A.;
Schmanau, M.; Rühle, C.; Schneider, T.; Hall-Wilton, R.
Study of leakage currents in PC CVD diamonds as
function of the magnetic field.
physica status solidi (a), 9(2009) S.2091-97
DOI:10.1002/pssa.200982221
- Nast, R.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Weiss, K.P.;
Goldacker, W.
The influence of the maximum heat treatment
temperature on the performance of thin
reinforced multifilament Bi-2212 wires for cables.
9th European Conf.on Applied Superconductivity
(EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Nast, R.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Weiss, K.P.;
Goldacker, W.
The influence of the maximum heat treatment
temperature on the performance of thin
reinforced multifilament Bi-2212 wires for cables.
9th European Conf.on Applied Superconductivity
(EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Neumann, H.
Thermal performance of different glass microspheres
in comparison to perlite between 77 and 300 K.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryo-
genic Materials Conf.(ICMC), Tucson,
Ariz., June 28–July 2, 2009
- Neumann, H.
Cooling techniques and thermal insulation.
(eingeladen)
NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009
- Neumann, H.
Wärmeübertragung an Kryogene – Kühltechniken.
VDI-Wissensforum Kryotechnik,
Karlsruhe, 25.–27. März 2009
- Neumann, H.
Thermische Isolation.
VDI-Wissensforum Kryotechnik,
Karlsruhe, 25.–27. März 2009
- * Nguyen, D.N.; Grilli, F.; Ashworth, S.P.; Willis, J.O.
AC loss study of antiparallel connected YBCO coated
conductors.
Superconductor Science and Technology, 22(2009)
S.055014/1-9
DOI:10.1088/0953-2048/22/5/055014
- Noe, M.
CURL 10 test program fault current limiters (FCL).
CIGRE Workshop Test Techniques and Procedures for
HTS Power Applications, Nagoya, J,
Mai 13–15, 2009
- Noe, M.
Summary on field test results of superconducting
power equipment.
Colloquium of CIGRE Study Committee D1 'Materials
and Emerging Test Techniques', Budapest, H,
September 20–25, 2009
- Noe, M.
Field test experience of superconducting power
equipment.
21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21),
Hefei, China, October 18–23, 2009
- Noe, M.
Applications and requirements for YBCO coated
conductors in fault current limiters.
Internat.Workshop on Coated Conductors for
Applications (CCA2009), Barcelona, E,
November 22–24, 2009
- Noe, M.
Konzept für eine effiziente Energieversorgung von
Ballungsräumen.
16. Fachkongress Netztechnik – Kabeltagung 2009,
Erfurt, 30. November–1. Dezember 2009
- Noe, M.; Sander, M.
Status und Perspektiven supraleitender magnetischer
Energiespeicher.
Elektrische Energiespeicher: Schlüsseltechnologie für
energieeffiziente Anwendungen,
VDI-Fachtagung, Fulda, 25.–26. März 2009
- * Omura, K.; Kojima, H.; Hayakawa, N.; Endo, F.;
Noe, M.; Okubo, H.
Current limiting characteristics of parallel-connected
coated conductors for high-T_c superconducting fault
current limiting transformer (HTc-SFCLT).
IEEE Transactions on Applied Superconductivity,
19(2009) S.1880–83
DOI:10.1109/TASC.2009.2018067
- * Ramalingam, R.; Süßer, M.; Narayankhedkar, K.G.;
Krieg, G.; Atrey, M.D.
Design parameter evaluation of a metal recoated Fiber
Bragg Grating sensors for
measurement of cryogenic temperature or stress in
superconducting devices.
Cryogenics, 49(2009) S.202–09
DOI:10.1016/j.cryogenics.2009.01.005

- Ramalingam, R.; Süßer, M.; Neumann, H.
Evaluation of temperature distribution of multi-layer insulations using Fiber Bragg Grating sensors.
Chang, H.M. [Hrsg.]
Proc.of the 22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
Gyeongnam: The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, 2009 S.437–42
ISBN 978-89-957138-2-2
- Roths, J.; Pierer, J.; Andrejevic, G.; Kuttler, R.; Süßer, M.
Investigations on fiber Bragg cryogenic temperature sensors.
Chang, H.M. [Hrsg.]
Proc.of the 22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
Gyeongnam: The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, 2009 S.473–78
ISBN 978-89-957138-2-2
- Sander, M.
FEM-calculations on the frequency dependence of hysteretic losses in coated conductors.
9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Sander, M.; Gehring, R.; Noe, M.
A novel energy storage concept based on hydrogen and superconductors.
Electrical Energy Storage Applications and Technologies (EESAT 2009), Seattle, Wash., October 4–7, 2009
- Schacherer, C.
Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung supraleitender resistiver Strombegrenzer.
Dissertation, Universität Karlsruhe 2009
Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2009
(Karlsruher Schriftenreihe zur Supraleitung; Bd.001)
ISBN 978-3-86644-412-6
- * Schacherer, C.; Langston, J.; Steurer, M.; Noe, M.
Power hardware-in-the-loop testing of a YBCO coated conductor fault current limiting module.
IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 19(2009) S.1801-05
DOI:10.1109/TASC.2009.2018048
- * Schmidt, C.; Frank, A.; Goldacker, W.; Kling, A.; Terzieva, S.
Progress in assembling coated conductor cables by the Roebel technique (RACC).
Physica C, 469(2009) S.1422–26
DOI:10.1016/j.physc.2009.05.050
- Schlachter, S.I.; Braun, U.; Drechsler, A.; Goldacker, W.; Holubek, T.; Kling, A.; Schmidt, C.
Cabling of thin MgB₂ strands for high-current conductors with reduced AC losses.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz., June 28–July 2, 2009
- Schlachter, S.I.; Goldacker, W.
Prospects of high-temperature superconductors for space applications.
23rd Space Cryogenics Workshop, Arcadia, Calif., June 23–25, 2009
- Schlachter, S.I.; Fillinger, H.; Drechsler, A.; Goldacker, W.; Grilli, F.; Ringsdorf, B.; Schmidt, C.
Superconducting properties and AC-losses of MgB₂ cables with thin strands.
9th European Conf.on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009
- Süßer, M.
Die Temperaturmessung unter schwierigen Randbedingungen mittels Dampfdruckthermometern und Pt500.
TEMPERATUR 2009: Verfahren und Geräte in der Temperatur- und Feuchtemesstechnik, Berlin, 24.–25. Juni 2009
- Süßer, M.
Introduction to cryogenic temperature measurement. (eingeladen)
NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009
- Süßer, M.
Kryogene Mess-, Regel- und Sicherheitstechnik.
Seminar Kryostatbau, Essen, 9.–11. September 2009
- Süßer, M.
Messverfahren für Kleinstdurchflüsse.
VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengemessung in Rohrleitungen', Düsseldorf, 18.–20.Februar 2009
VDI-Seminar 'Durchfluss- und Mengemessung in Rohrleitungen', Karlsruhe, 14.–16. Oktober 2009
- Süßer, M.
Diskussion der DIN EN 13648 Kryobehälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2009, Berlin, 18.–20. November 2009
- Süßer, M.
Kryogene Mess- und Regeltechnik.
VDI-Wissensforum Kryotechnik, Karlsruhe, 25.–27. März 2009
- Süßer, M.
Comparison of TVO- and Cernox temperature sensors.
Chang, H.M. [Hrsg.]
Proc.of the 22nd Internat.Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat.Cryogenic Materials Conf.(ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008
Gyeongnam: The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, 2009 S.479–82
ISBN 978-89-957138-2-2

Süßer, M.; Roths, J.

Optical system for cryogenic liquid level measurement in small volumes.

Chang, H.M. [Hrsg.]

Proc. of the 22nd Internat. Cryogenic Engineering Conf. (ICEC 22) and Internat. Cryogenic Materials Conf. (ICMC 2008), Seoul, Korea, July 21–25, 2008

Gyeongnam: The Korea Institute of Applied Superconductivity and Cryogenics, 2009 S.469–72
ISBN 978-89-957138-2-2

* Stadel, O.; Muydinov, R.; Bräuer, G.; Rikel, M.O.;

Ehrenberg, J.; Bock, J.; Kotzyba, G.; Nast, R.; Goldacker, W.; Samoylenkov, S.V.; Kaul, A.R.

MOCVD and MOD of YBCO and buffer layers on textured metal tapes.

IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 19(2009) S.3160–63

DOI:10.1109/TASC.2009.2018736

Sysoev, V.V.; Schneider, T.; Goschnick, J.; Kiselev, I.; Habicht, W.; Hahn, H.; Strelcov, E.; Kolmakov, A. Percolating SnO₂ nanowire network as a stable gas sensor: direct comparison of long-term performance versus SnO₂ nanoparticle films. Sensors and Actuators B, 139(2009) S.699–703
DOI:10.1016/j.snb.2009.03.065

Terzieva, S.; Nast, R.; Goldacker, W.; Grilli, F. Striated strands for ROEBEL cables. Internat. Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2009), Barcelona, E, November 22–24, 2009

Terzieva, S.; Kling, A.; Kudymow, A.; Goldacker, W.; Heller, R.; Grilli, F.; Gömöry, F.; Vojenciak, M. ROEBEL – cables from coated conductors with different aspect ratio. 9th European Conf. on Applied Superconductivity (EUCAS'09), Dresden, September 13–17, 2009

Veröffentlichungen

Programm „Struktur der Materie“ (* ISI referiert)

Fränkle, F.; KATRIN-Collaboration
KATRIN Vorspektrometer Status und Messungen.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes
Hadronen und Kerne mit dem Nuclear Physics Board
der European Physical Society (EuNPC),
Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.44(2009) HK 29.7

Gehring, R.; Bornschein, B.; Gil, W.; Grohmann, S.
First tests of the DPS2-F magnet system of the KATRIN
experiment.
21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21),
Hefei, China, October 18–23, 2009

Gil, W.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Gehring, R.;
Kazachenko, O.; Kleinfeller, J.; Putselyk, S.;
KATRIN Collaboration
The cryogenic pumping section of the KATRIN
experiment.
21st Internat.Conf.on Magnet Technology (MT-21),
Hefei, China, October 18–23, 2009

Glück, F.; KATRIN-Collaboration
The penning trap between the pre- and main
spectrometers of the KATRIN experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,
München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-
schaft, R.6, B.44(2009) T 101.7

Glück, F.; Hugenberg, K.; Valerius, K.; Weinheimer, C.;
Zacher, M.; KATRIN-Collaboration
Simulations of the entrance and exit regions of the
KATRIN main spectrometer.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes
Hadronen und Kerne mit dem Nuclear
Physics Board der European Physical Society (EuNPC),
Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.44(2009) HK 8.3

Gotsova, A.; KATRIN-Collaboration
Calibration setup for testing vacuum-capabilities of
the DPS2-F for KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,
München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-
schaft, R.6, B.44(2009) T 104.6

Grohmann, S.; Gil, W.; Neumann, H.; Weiss, C.
Commissioning of the cryogenic transfer system for
the KATRIN experiment.
Cryogenic Engineering Conf.(CEC) and Internat.Cryo-
genic Materials Conf.(ICMC), Tucson, Ariz.,
June 28–July 2, 2009

Grohmann, S.
The magnet and cryogenic systems of KATRIN.
NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009

Grohmann, S.
Messung des Wärmeeinfalls in der kryogenen
Transferleitung für KATRIN.
Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2009,
Berlin, 18.–20. November 2009

* Grohmann, S.
Stability analyses of the beam tube cooling system in
the KATRIN source cryostat.
Cryogenics, 49(2009) S.413-20
DOI:10.1016/j.cryogenics.2009.06.001

Hötzel, M.; KATRIN-Collaboration
Modellierung der Tritiumquelle für das
KATRIN-Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,
München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 101.5

* Köllö, Z.; Demange, D.; Bornschein, B.; Dörr, L.;
Günther, K.; Kloppe, B.
Calibrating a gas chromatograph to measure tritium
using calorimetry.
Fusion Engineering and Design, 84(2009) S.1073–75
DOI:10.1016/j.fusengdes.2008.11.106

Lukic, S.; KATRIN-Collaboration
Tests with the second differential pumping section
for KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik,
München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen
Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 104.5

Maurel, D.; KATRIN-Collaboration
Simulation und Entwicklung eines Monitordetektors
zur Messung der Intensität der fensterlosen Tritium-
quelle am KATRIN-Experiment.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes
Hadronen und Kerne mit dem Nuclear
Physics Board der European Physical Society (EuNPC),
Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesell-
schaft, R.6, B.44(2009) HK 67.66

Poon, A.; KATRIN-Collaboration
A dedicated system for monitoring the tritium source in KATRIN.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes Hadronen und Kerne mit dem Nuclear Physics Board der European Physical Society (EuNPC), Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) HK 39.5

Reich, J.; KATRIN-Collaboration
A large air coil system and precision magnetic monitoring at the KATRIN main spectrometer.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes Hadronen und Kerne mit dem Nuclear Physics Board der European Physical Society (EuNPC), Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) HK 29.5

Reimer, S.; KATRIN-Collaboration
Elimination von Ionen durch ein elektrostatisches Dipolsystem bei KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 101.6

Schlösser, M.; KATRIN-Collaboration
Erste Laser-Raman-Messungen mit Tritium für KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 104.7

Schmitt, U.; KATRIN-Collaboration
Halbleiterdetektoren im KATRIN-Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 55.7

Sturm, M.
Die Tritiumkreisläufe von KATRIN.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 101.4

Wandkowsky, N.; KATRIN-Collaboration
Das externe Luftspulensystem für das KATRIN Experiment.
Frühjahrstagung DPG, Fachverband Teilchenphysik, München, 9.–13. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) T 101.8

Zboril, M.; Beck, M.; Bonn, J.; Dragoun, O.; Kaspar, J.; Kovalik, A.; Ostrick, B.; Otten, E.W.; Schlösser, K.; Spalek, A.; Thümmel, T.; Venos, D.; Weinheimer, C.; KATRIN-Collaboration
Solid $^{83}\text{Rb}/^{83}\text{mKr}$ source for the KATRIN experiment.
Gemeinsame Frühjahrstagung des DPG-Fachverbandes Hadronen und Kerne mit dem Nuclear Physics Board der European Physical Society (EuNPC), Bochum, 16.–20. März 2009
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.44(2009) HK 39.4

Veröffentlichungen

Eingeladene Vorträge

Ion Cristescu

- I. Cristescu; L. Dörr; F. Eichelhardt; K. Liger; R. Michling; T. Pinna; M. Zamfirache; S. Welte; W. Wurster „Design and R & D activities in EU in support of ITER water detritiation and cryogenic distillation systems as in kind contribution.“ 9th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), Dalian, China, October 11.–16., 2009

Christian Day

- Chr. Day „The next step to clean energy by fusion. Size matters“, Frühjahrstagung DPG, Fachverband Vakuumtechnik, 22. März 2009, Dresden.
- Chr. Day, St. Hanke, X. Luo, P. Sonato „The cryosorption pumping system for the Neutral Beam test facility MITICA“, 19th Conference of the Italian Vacuum Society, 20th May 2009, Senigallia, Italien.
- Chr. Day, V. Hauer, X. Luo, St. Varoutis, D. Valougeorgis „Recent developments in fusion vacuum flow modelling for ITER and beyond“ 9th Int. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-9), 15th October 2009, Dalian, China.

Wilfried Goldacker

- W. Goldacker „Verlustarme HTS-Roebelkabel für die Energietechnik“, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung, 20. Februar 2009, Dresden
- W. Goldacker „Possible new concepts for AC CC-cables with very high currents“. Workshop on Coated Conductors for Application, Nov. 22–24, 2009, Barcelona.

Xueli Luo

- X. Luo „Overview of MOVAK3D, ITERVAC and ProVac3D“, NBI Modelling workshop, 24th March 2009, Padova, Italien.

Mathias Noe

- M. Noe „Supraleitende Betriebsmittel für die Stromversorgung der Zukunft“ BMWi Workshop Netze für die Stromversorgung der Zukunft, Perspektiven für die Energieforschung, 3. Februar, Bonn
- M. Noe, M. Sander „Status und Perspektiven supraleitender magnetischer Energiespeicher“ VDI Fachtagung Elektrische Energiespeicher, 25.–26. März 2009, Fulda
- M. Noe „Curl 10 Test Program“ CIGRE Workshop on Test Techniques and Procedures for HTS Power Applications 13.–15. Mai 2009, Nagoya, Japan
- M. Noe „Superconducting Fault Current Limiters, Superconducting Transformers and Cryogenic Electrical Insulation“ European Summer School on Superconductivity 2009, June 21–26, 2009 at Lans en Vercors, Frankreich

- M. Noe, R. Bach, W. Prusseit, W. Goldacker, D. Willén, J. Poelchau, C. Linke „Conceptual study of superconducting urban area power systems“ European Applied Superconductivity Conference EUCAS 2009, 31.8–3.9.2009, Dresden
- M. Noe, H. Okubo „Summary on Field Test Results of Superconducting Power Equipment“ International Colloquium on Materials and Emerging Test Technologies, CIGRE Special Colloquium, 23. September 2009, Budapest
- M. Noe, „High Temperature Superconducting Power Equipment – Progress in Europe“ KEPRI-EPRI Joint Superconductivity Conference, 15.–17. November 2009, Daejeon, Korea
- M. Noe, „The exact role of SFCL for SMART grid network“ KEPRI-EPRI Joint Superconductivity Conference, 15.–17. November 2009, Daejeon, Korea
- M. Noe, „Applications and Requirements for YBCO Coated Conductors in Fault Current Limiters“ Workshop on Coated Conductors for Application, Nov. 22–24, 2009, Barcelona
- M. Noe, R. Bach, W. Prusseit, W. Goldacker, D. Willén, J. Poelchau, C. Linke „Konzept für eine effiziente Energieversorgung von Ballungsräumen“ 16. Fachkongress Netztechnik – Kabeltagung 2009, 1.–2. Dezember 2009, Erfurt

Felix Sharipov

- F. Sharipov, St. Varoutis, D. Valougeorgis „Numerical simulation of gas flows through short tubes driven by a pressure drop“ Symposium of the American Vacuum Society, 11th November 2009, San Jose, CA, USA.
- F. Sharipov „Rarefied Gas Dynamics: Numerical modelling vs. Experimental“ GASMEMS 09, 7th September, Eindhoven, Niederlande.

Sonja Schlachter

- S. I. Schlachter, H. Fillinger, A. Drechsler, W. Goldacker, F. Grilli, B. Ringsdorf, C. Schmidt „Superconducting Properties and AC-Losses of MgB₂ Cables with Thin Strands“ Vortrag, European Applied Superconductivity Conference EUCAS 2009, 13.–17. September 2009, Dresden

Klaus-Peter Weiss

- K. P. Weiss „Materials at low temperatures.“ NESPA-Cryo-Workshop, Karlsruhe, 15.–16. Juni 2009
- K. P. Weiss „The CryoMaK laboratory at the Institute for Technical Physics.“ Vortr.: Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Changwon, Korea, 15. Juli 2009

Veröffentlichungen

Schutzrechtsbestände

* Neue Schutzrechtsanmeldungen in 2009

** Schutzrechtserteilungen mit Wirkung für Deutschland in 2009

Periodisch arbeitende Kältemaschine

Hofmann, Albert

DE 1247050

GB 1247050

JP 3857587

US 6622491

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

AT 1149452

BE 1149452

CA 2,365,228

CH 1149452

DE 1149452

DE 10003556

DK 1149452

ES 2226781

FR 1149452

GB 1149452

IT 1149452

NL 1149452

SE 1149452

US 6654222

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory

DE 10036519

EP 01116149.4-1233

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

Hofmann, Albert

CN 2815086

DE 10137552

US 699818

Zwangsgekühlte Hochstromzuführung

Friesinger, Günter; Heller, Reinhard

DE 10212438

Flacher, aus elektrisch leitenden Strängen zusammengesetzter verlustarmer elektrischer Leiter

Klimenko, Evgueni

EP 03001748.7-2208

Zusätzliche Einrichtung in einem Strombegrenzer zur Strombegrenzung im Fehlerfall

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

CA PCT/EP2005/010850

CN 200580041670.7

DE 102004058633

EP 05791533.2-1231

KR 2007-7010180

US 7327542

Planar-helischer Undulator

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

DE 102006056052

EP 07846613.3-1226

JP 2009538613

US 12/516,508

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

Kläser, Marion

DE 102006012508

EP 07723071.2-1231

US 12/225,192

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

Schneider, Theo

DE 102006012511

EP 07723070.4-2208

US 12/225,188

Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Strombegrenzer

Gehring, Rainer; Sander, Michael

DE 102007042711.7-45

Mit einer Kühlschicht versehener hochtemperatur-supraleitender Bandleitervorbund

Schacherer, Christian; Schwarz, Michael

DE 102007061891.5-34

WO PCT/EP2008/009571

Stromversorgung und Verfahren für eine gepulst betriebene induktive Last

Gehring, Rainer; Jüngst, Klaus-Peter;

Kuperman, Grigory; Noe, Mathias

DE 102008053679 **

WO 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

Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Verbindung von Nb₃SN und NbTi-Leitern und supraleitende Verbindung

Hehn, Werner; Schneider, Theo; Turowski, Peter
CH 459156
ES 459156
FR 459156
GB 459156
NL 459156
SE 459156
DE 459156

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

Graf, Franz; Lehmann, Wolfgang; Müller, Wolfgang; Roth, Gerhard; Turowski, Peter
US 522800

NMR-Magnetsystem mit supraleitender Spule in einem Low-Loss-Kryostaten

Graf, Franz; Lehmann, Wolfgang; Müller, Wolfgang; Roth, Gerhard; Stautner, Wolfgang; Turowski, Peter
DE 4039365

Verfahren zur kontaktfreien, longitudinalen und transversalen Homogenitätsuntersuchung der kritischen Stromdichte j_c in Band-Supraleitern und einem Messapparatur zur Durchführung des Verfahrens

Grube, Kai; Polak, Milan; Reiner, Hans; Schauer, Wolfgang; Schiller, Heinz-Peter
DE 874246

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 P 1097385
FR 1097385
GB 1097385
JP 3589984
US 6456094
DE 1097385

Schutzsystem in einem Leistungsmodulator zum Schutze der Last

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory
CH 1131874
DK 1131874
FR 1131874
GB 1131874
NL 1131874
SE 1131874
US 665518
DE 1131874

Kapazitiver Spannungsteiler zur Messung von Hochspannungsimpulsen mit Millisekunden-Impulsdauer

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

Axialer, kryotechnisch geeigneter Potentialtrenner

Fink, Stefan; Friesinger, Günter
DE 1196711

Kontakt

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

Telefon: +49 7247/82-Durchwahl
E-Mail: Vorname.Nachname@kit.edu

www.kit.edu/itep

Leitung

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

Stellvertretende Leitung

Dr. Walter Fietz (-4197)

Sekretariat

Marion Gilliar (-3501)

Professor a. D.

Prof. Dr. Peter Komarek (-2652)

Hochfeldmagnete

Dr. Theo Schneider (-2344)

Kryotechnik

Dr. Holger Neumann (-2625)

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Dr. Wilfried Goldacker (-4179)

Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Leitung

Dr. Beate Bornschein (-3239)

Administration

Kai Bauer (-3705)

Fusionsmagnete

Dr. Walter Fietz (-4197)

Dr. Reinhard Heller (-2701)

Vakuumtechnik

Dr. Christian Day (-2609)

Koordination KATRIN im ITEP

Dr. Beate Bornschein (-3239)

Kontakt

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

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

www.kit.edu/itep

Herausgeber

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

Stand Mai 2010

www.kit.edu