

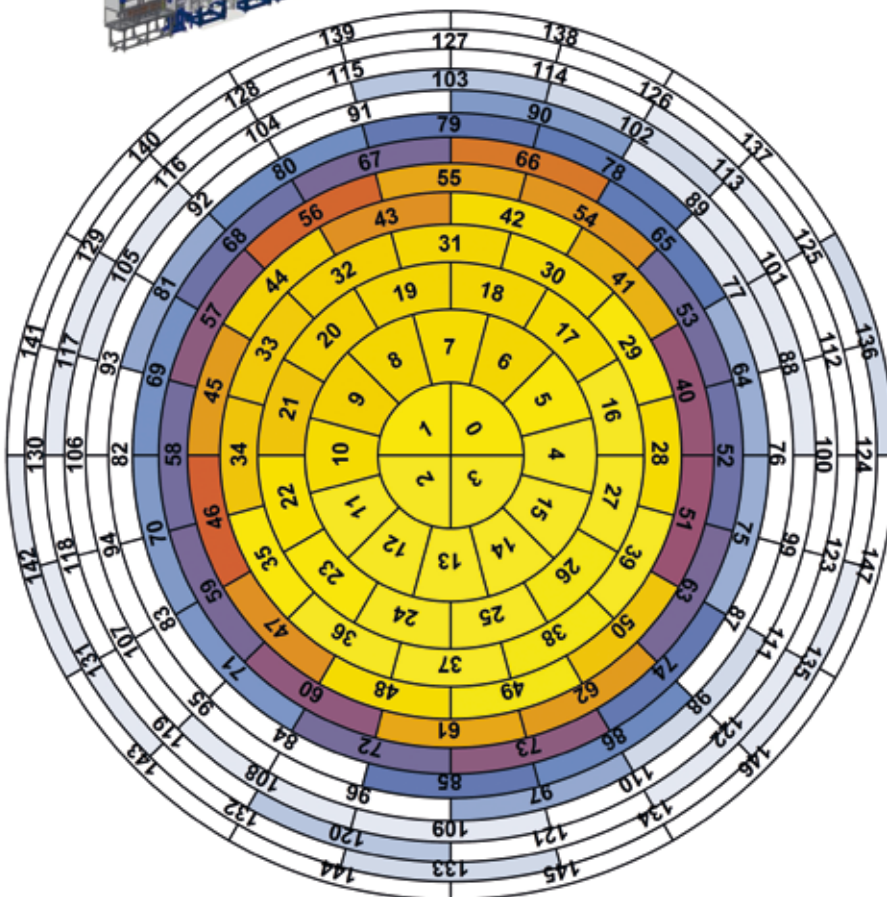
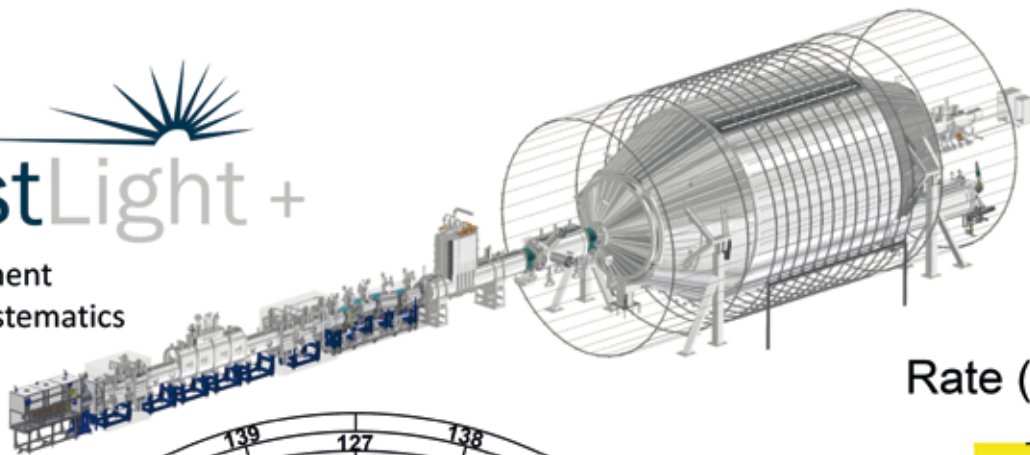
ITEP – Institut für Technische Physik

Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung
Jahresbericht 2016

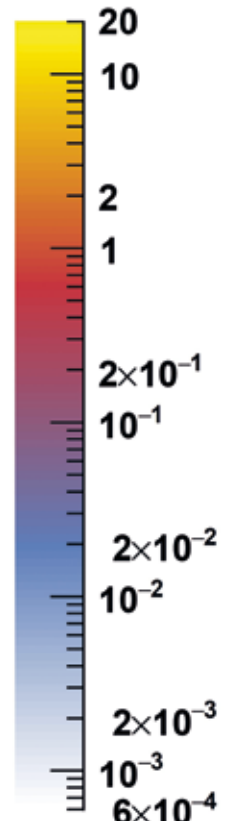
INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK

FirstLight +

- Alignment
- Ion Systematics



Rate (cps)



Impressum

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

Telefon +49 721/608-23501

www.itep.kit.edu



BG-zertifiziert nach NLF / ILO-OSH 2001

Texte:

M. Bacher, U. Besserer, B. Bornschein, L. Bornschein,
C. Day, W. Fietz, S. Fischer, L. Frances, W. Goldacker,
R. Größe, J. Haag, M. Hackenjos, B. Holzapfel,
A. Jansen, N. Kästle, B. Krasch, S. Mirz, H. Neumann,
S. Niemes, M. Noe, A. Off, M. Röllig, P. Schäfer,
T. Schneider, M. Steidl, M. Sturm, K. Vandemeulebroucke,
J. Wendel, S. Welte

Fotos und Grafiken:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Titelbild:

Groß-Experiment KATRIN erreicht nächsten Meilenstein

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

Druck: Systemedia GmbH, 75449 Wurmberg

März 2017

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 4 |
| Nachruf – Prof. Peter Komarek | 6 |
| Ergebnisse aus den Forschungsbereichen | 8 |
| Technologie für Fusionsmagnete | 8 |
| Supraleitende Hochfeldmagnete | 14 |
| Supraleitende Materialien und Energieanwendungen | 20 |
| Tritiumlabor Karlsruhe | 26 |
| Vakuumtechnik | 32 |
| Kryotechnik | 38 |
| Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN | 42 |
| Auszeichnungen und Preise | 48 |
| Lehre und Bildung | 50 |
| Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen | 50 |
| Doktorarbeiten – Master- und Diplomarbeiten – Bachelor- und Studienarbeiten | 52 |
| Kolloquien | 56 |
| Fach- und Gastvorträge | 57 |
| Zahlen und Daten | 59 |
| Organigramm | 59 |
| Personalstand | 59 |
| Personalveränderungen | 60 |
| Studentische Hilfskräfte | 62 |
| Gastwissenschaftler | 63 |
| Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien | 64 |
| Veröffentlichungen | 67 |
| Veröffentlichungen „Fusion“ | 67 |
| Veröffentlichungen „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“ | 72 |
| Veröffentlichungen „Karlsruhe Nano Micro Facility“ | 78 |
| Veröffentlichungen „Materie und Universum“ | 79 |
| Eingeladene Vorträge | 82 |
| Schutzrechtsbestände | 84 |
| Kontakt | 87 |

Vorwort

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

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

Die Arbeiten des ITEP sind langfristig in den Programmen „Fusion“, „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“ sowie „Materie und Universum“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren verankert.

Zur Bearbeitung seiner komplexen und zumeist multidisziplinären Aufgaben kann das ITEP auf große und einzigartige Versuchseinrichtungen, Labore und entsprechende technische Infrastruktur zurückgreifen.

Dazu gehören:

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

Auch im Jahr 2016 erzielte das Institut wichtige wissenschaftliche Ergebnisse, arbeitete an vielen erfolgreichen Entwicklungsprojekten und meisterte einige besondere Herausforderungen. Darauf blicken wir im Folgenden kurz zurück.

Der Arbeitsbereich **Fusionsmagnete** hat für das Fusionsexperiment JT60-SA die Entwicklung, den Bau und den Test von Hochstromzuführungen mit Hochtemperatur-Supraleitern übernommen. 2016 stellte er in enger Zusammenarbeit mit dem Bereich Kryotechnik und dem Technikhaus des KIT weitere zwölf Stromzuführungen mit bis zu 26 kA fristgerecht fertig und testete sie.

Weiterhin wurden umfangreiche Rahmenverträge mit ITER und F4E zur Untersuchung und zum Test von Materialien bei tiefen Temperaturen abgeschlossen.

Besonders erfreulich ist eine Auszeichnung für Dr. Walter Fietz und seine Kollegen: Sie erhielten den SOFT Innovationspreis der EU für Fusionsforschung. Dieser würdigt die vor einigen Jahren begonnene Entwicklung hochstromtauglicher Leiterkonzepte auf der Basis von Hochtemperatur-Supraleitern.



Dr. Walter Fietz bei der Verleihung des SOFT Innovationspreises der EU für Fusionsforschung.

Das **Tritiumlabor Karlsruhe (TLK)** entwickelt für das internationale Fusionsexperiment ITER und das zukünftige Fusionskraftwerk DEMO wichtige Komponenten des Brennstoffkreislaufs. 2016 starteten wesentliche Weiterentwicklungen der am TLK entwickelten Laser-Raman-Spektroskopie für Wasserstoffisotope. Dazu gehören die inline-Analyse von kryogenen Wasserstoffgemischen bei der Isotopentrennung in einem Fusionsbrennstoffkreislauf sowie der Spurennachweis von tritiierten Molekülen im Abgasstrom des Quellmagneten von KATRIN. Weiterhin bereitete das TLK ein einmaliges Experiment zur Tritiumextraktion aus flüssigem Blei-Lithium vor. Erste Messungen dazu sind 2017 zu erwarten.

Im Bereich **Vakuumtechnik** des ITEP liegen die Schwerpunkte auf der Entwicklung von Vakuumsystemen mit extrem hohem Saugvermögen und der Entwicklung von numerischen Codes, besonders für die Vakuumströmung im Übergangsbereich. 2016 entwickelten die Forscher neuartige Pumpkonzepte für den Brennstoffkreislauf für das zukünftige Fusionskraftwerk DEMO weiter. Sie erarbeiteten beispielsweise das Design einer Diffusionspumpe im Detail. Ein DFG finanziertes Forschungsprojekt zur Untersuchung verdünnter Gasströmungsphänomene wurde begonnen.

Der Bereich **Supraleitermaterialentwicklung** konzentriert sich auf die Entwicklung von wirtschaftlichen, verlustarmen und hochstromtauglichen Leiterkonzepten sowie auf die grundlegende Verbesserung des stromtragenden Verhaltens von supraleitenden Materialien. Die Arbeitsgruppe verbesserte durch Nanodotierung die Pinningeigenschaften von YBCO-Bandleitern deutlich und führte Entwicklungsarbeiten zur kontinuierlichen Herstellung von chemisch abgeschiedenen Bandleitern fort. Am CERN wurde ein am ITEP entwickeltes Roebel-Kabel mit Rekordstromdichten betrieben und ausführlich getestet.

Was **energietechnische Anwendungen der Supraleitung** betrifft, wurden drei Verbundprojekte zur Entwicklung von neuartigen Strombegrenzern, von Gleichstrom-Hochstromschienen und von Transformatoren erfolgreich weitergeführt. Das Verbundprojekt AmpaCity erhielt im Januar 2016 den Deutschen Innovationspreis für Klima und Umwelt des Bundesumweltministeriums in der Kategorie umweltfreundliche Technologien.



Die Projektpartner von AmpaCity bei der Verleihung des Deutschen Innovationspreises für Klima und Umwelt des Bundesumweltministeriums.

Der Arbeitsschwerpunkt des **Hochfeldlabors** liegt auf der Entwicklung von Magneten und Spulensystemen für hohe Magnetfelder mit Hochtemperatur-Supraleitern. 2016 wurde die Wickelhalle grundlegend renoviert. Sie steht nun für die Fertigung von Spulen und Magneten zur Verfügung. Weiterhin wurden eine MgB_2 -Spule für einen SMES und eine YBCO-Spule für einen Hochfeldmagneten erfolgreich getestet.

Der Bereich **Kryotechnik** entwickelt, erweitert und betreibt komplexe und umfangreiche Kryosysteme, unter anderem für das Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN und die Stromzuführungstestanlage CuLTka. Darüber hinaus sorgt dieser Bereich für die

Wartung und Instandhaltung der Kälteanlagen und die Versorgung des KIT mit kryogenen Flüssigkeiten. 2016 arbeitete der Bereich an Entwicklungsprojekten für einen 20-K-Kryostaten für flüssigen Wasserstoff und einen Kryostaten für einen supraleitenden Windkraftgenerator, nahm erste Aufbauten zur Entwicklung von kryogenen Gemischkältekreisläufen in Betrieb und begann damit zusammenhängende wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen durchzuführen.

Für das **Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN** (www.katrin.kit.edu) leistet das ITEP Beiträge zu den Tritiumkreisläufen, der Kryoversorgung und den supraleitenden Magneten. 2016 wurden erstmals alle Komponenten zusammen betrieben, und erste Elektronen konnten den Weg von der Quelle zum Detektor passieren. Weitere wichtige Arbeitsschritte zur vollständigen Integration dieser Komponenten in den Tritiumkreislauf für KATRIN wurden durchgeführt. Mithilfe der Infrarotspektroskopie gelang erstmals der Nachweis molekularer Clusterbildung in Deuterium. Das Verständnis der Clusterbildung ist wichtig für das Erreichen der Designsensitivität von KATRIN.

Im November 2016 erreichte uns die traurige Nachricht, dass unser ehemaliger Institutsleiter Professor Peter Komarek nach langer und schwerer Krankheit verstorben ist. Dies trifft uns sehr, da das ITEP und wir persönlich Professor Komarek sehr viel zu verdanken haben. Er leitete unser Institut von 1984 bis 2006 und hat die heutige Ausrichtung auf Fusionsmagnete, Supraleitung und Kryotechnik entscheidend geprägt.

In der **Lehre** bestätigten zwei erfreuliche Erfolge die hohe Qualität der Ausbildung: Die Vorlesung „Vakuumtechnik für Chemieingenieure“ von Dr. Christian Day erhielt das Gütesiegel „Geprüfte Lehrveranstaltung“ der Deutschen Vakuumgesellschaft (DVG). Dr. Francesco Grilli schloss seine Habilitation für das Fach „Superconductivity for Energy Applications“ an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik des KIT erfolgreich ab.

Unser ganz besonders herzlicher Dank gilt allen Mitarbeitern des ITEP sowie allen Kooperationspartnern aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie für die äußerst vertrauensvolle, fruchtbare und erfolgreiche Zusammenarbeit im Jahr 2016.

Herzlichst Ihre Institutsleitung

Mathias Noe

Bernhard Holzapfel

Nachruf

Prof. Peter Komarek

Durch Frau Komarek erhielten wir die traurige Nachricht, dass unser ehemaliger langjähriger Institutsleiter Prof. Dr. Peter Komarek nach langer und schwerer Krankheit in der Nacht zum 23. November 2016 verstorben ist. Prof. Komarek hatte sich bereits in jungen Jahren mit technischen Phänomenen befasst. So machte er ab 1955 eine Ausbildung zum Nachrichtentechniker am Technologischen Gewerbemuseum in Wien. Nach seinem anschließenden Studium an der Technischen Hochschule Wien schloss er im Dezember 1966 seine Promotion zum „Doktor der technischen Physik“ in Wien ab. Vom 01.09.1967 bis zum 31.08.1973 war er am „Institut für Technische Physik“ der damaligen Kernforschungsanlage Jülich tätig. Dort begann seine wissenschaftliche Laufbahn und er wurde zum stellvertretenden Abteilungsleiter. Am 01.07.1973 wechselte Prof. Komarek zur damaligen Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe an das Institut IEKP III unter Leitung von Prof. Heinz. Er wurde dort als Abteilungsleiter der neu gegründeten Abteilung „Kryoenergie-technik“ eingestellt.

Bereits ein halbes Jahr zuvor hat er in einem Gastvortrag zum Thema „das Forschungsgebiet kryogene Energietechnik“ die damaligen Karlsruher Kollegen von diesem neuen Thema begeistert. Schwerpunkte seiner Abteilung waren Energiespeicher, sowohl im Zusammenhang mit zukünftigen Fusionsreaktoren als auch Energiespeicher für integrierte Energieübertragungssysteme.

Im Januar 1974 schloss Prof. Komarek seine Habilitation in Graz ab und begann im gleichen Jahr mit der Vorlesung „Supraleitende Magnete in der Energietechnik“ an der TH Graz. Im März 1979 wurde er durch das österreichische Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung zum Honorarprofessor ernannt. Diese Ernennung war eine besondere Auszeichnung, da sie nur an externe Wissenschaftler vergeben werden durfte, die Ordinarien anderer Hochschulen oder diesen gleichwertig waren.

Ab 1979 wurde Prof. Komarek zum stellvertretenden Institutsleiter durch Prof. Heinz ernannt und führte gleichzeitig die Abteilung „Supraleitungsprojekte“ am Institut für Technische Physik (ITP). Er war damit neben Prof. Wühl – der den Bereich „Supraleitungsgrundlagen“ leitete, einer der beiden Abteilungsleiter in den Anfangsjahren des ITPs.

1981 wurde Prof. Komarek offiziell als „wissenschaftliches Mitglied“ des Kernforschungszentrum Karlsruhe

durch gemeinsamen Beschluss von Vorstand, wissenschaftlich-technischem Rat und Aufsichtsrat berufen, was eine besondere Auszeichnung darstellte. 1986 wurde Prof. Komarek offiziell zum geschäftsführenden Institutsdirektor des ITP und gleichzeitig als Honorarprofessor der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Karlsruhe berufen. In seiner Zeit als Institutsdirektor prägte Prof. Komarek die wissenschaftliche Ausrichtung unseres Instituts wesentlich.

- Unter seiner Leitung wurde 1986 in USA das LCT Projekt erfolgreich abgeschlossen. Unsere Spule erreichte dabei Spitzenwerte.
- Bereits kurz nach Entdeckung der Hochtemperatursupraleitung veranlasste er zukunftsweisende Arbeiten für Leiter- und Demonstratoren-Entwicklung in unserem Institut.
- Ende der 80er Jahre gelang es Prof. Komarek die Genehmigung für unsere 2 kW Kälteanlage zu erhalten,



Herr Prof. Komarek bei seiner Verabschiedung als Institutsleiter in 2006.

die direkt darauf bestellt wurde. Zeitgleich gelang es ihm mit Auflösung des IK II die Kryogruppe nun zu 100 % in unser Institut zu integrieren.

- 1989 forcierte er die Kooperation mit IPP Garching zur Entwicklung des supraleitenden Stellarators W-7X.
- Seit 1990 wurden unter Prof. Komareks Leitung supraleitende Energiekomponenten wie z. B. der SMES entwickelt.
- In dem gleichen Zeitraum waren erste Erfolge bei den 750 MHz NMR-Magnetsystemen zu verzeichnen. In HOMER wurde erstmalig ein Weltrekord von 20 Tesla in einer 180 mm Bohrung erreicht.
- In den Jahren 93/94 wurde die POLO Spule erfolgreich in TOSKA betrieben und getestet.

Neben zahlreichen weiteren Projekten – wie z. B. die ausschlaggebende Anbahnung des Baus und der Tests für die ITER-TFMC Spule – gelang es Prof. Komarek unser Institut auch wissenschaftlich-organisatorisch solide und erfolgreich auszurichten. So schaffte er es mit Auflösung der damaligen Hauptabteilung Ingenieurtechnik die dort tätige Arbeitsgruppe zur Entwicklung tritiumfester Vakuumpumpen in unser Institut zu integrieren. Unter seiner Leitung wurde die damalige Kryoplanlage HELITEX zur Kryopumpen-Testanlage TIMO weiterentwickelt und das Thema Vakuumtechnik wurde fester Bestandteil unseres Forschungsportfolios.

Auch mit Einführung der Programmorientierten Förderung setzte Prof. Komarek von Beginn an konsequent auf ein breites Forschungsportfolio, zuletzt mit den Programmen „Fusion“, „Rationelle Energieumwandlung und „Astroteilchenphysik“, was sich auch in der bis heute erhaltenen interdisziplinären Ausrichtung aus Physikern, Ingenieuren verschiedener Fachrichtungen und Technikern widerspiegelt.

Herr Prof. Komarek stellte unser Institut auch noch kurz vor seinem altersbedingten Ausscheiden zukunftssicher auf. So wurden beispielsweise unter seiner Leitung die Arbeiten für das Projekt KATRIN begonnen oder die ITER-Modellspule sowie die 70 kA-Stromzuführungen erfolgreich getestet. Weiterhin hat er die Projekte zum 1000 MHz NMR oder zum Broader Approach initiiert, um nur einen kleinen Auszug der Erfolge zu nennen. Herrn Prof. Komarek lag es am Herzen unser Institut zu einem sehr hohen internationalen Bekanntheits- und Anerkennungsgrad zu führen. Er vertrat die Interessen

unseres Instituts in vielen internationalen Gremien und führenden Veröffentlichungen.

So war Prof. Komarek beispielsweise:

- Deutscher Vertreter in der Kommission des „International Institute of Refrigeration“
- Europäischer Herausgeber der Zeitschrift „Nuclear Engineering and Design for Fusion“
- Europäischer Herausgeber der Zeitschrift „Cryogenics“
- Vorstandsmitglied des deutschen Kältetechnischen Vereins
- Leiter des Arbeitskreises „Kryotechnik“ in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

... um nur einen Auszug zu nennen.

In Anerkennung der Dienste, die Prof. Komarek für unser Institut und für die Wissenschaft geleistet hat, erhielt er neben vielen anderen Preisen und Ehrungen, den „Mendelsohn Award des International Cryogenic Engineering Committee“, die Wilhelm-Exner-Medaille und 2006 den Heinrich-Hertz-Preis für sein wissenschaftliches Lebenswerk.

Herrn Prof. Komarek lag viel daran, dass unser Institut auch nach seinem offiziellen Ausscheiden weiterhin erfolgreich und zukunftsfähig bleibt. Und so pflegte er einen engen Kontakt und eine freundschaftliche Beziehung zu Prof. Noe und stand ihm immer gerne mit Rat und Tat zur Seite.

Wir erinnern uns sehr gerne an unseren langjährigen Institutsdirektor Prof. Komarek. Er hat mit seinem unermüdlichen Einsatz und seiner Weitsicht die wesentlichen Grundsteine für unseren langjährigen Institutserfolg gelegt.

Wir denken an viele seiner beispielhaften Aktivitäten, an gemeinsame Erlebnisse und auch an viele hilfreiche Ratschläge. Wir werden Prof. Komarek in guter Erinnerung behalten, sein Andenken bewahren und das Institut in seinem Sinne weiterführen.



Mathias Noe

Bernhard Holzapfel



Die hier gezeigte HTS CroCo Version aus 3 und 2 mm breiten REBCO Bändern hat einen Durchmesser von 5,5 mm und eine Stromtragfähigkeit von 1460 Ampere bei 77 Kelvin.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Fusionsmagnete

Leitung: Dr. Walter Fietz

Der ITEP-Bereich Fusionsmagnete führte 2016 Arbeiten für internationale Fusionsprojekte (JT-60SA, ITER und DEMO) aus. Diese umfassten Materialuntersuchungen bei kryogenen Temperaturen, den Bau von Stromzuführungen für JT-60SA sowie Untersuchungen zum Einsatz von Hochtemperatur-Supraleitern (HTS) in künftigen Fusionsmagneten. Neben diesen Aufgaben trieb das Team die Entwicklung des HTS-Kreuzleiters (HTS CroCo) voran, um die Basis der Anwendung für Magnete sowie für die Energieübertragung zu schaffen.

HTS CrossConductor (HTS CroCo)

Weiterentwicklung der HTS CroCo-Fertigung

Der 2015 vorgestellte HTS-Kreuzleiter, englisch HTS CrossConductor oder kurz HTS CroCo, wurde 2016 weiter untersucht und fortentwickelt.

Einen Meilenstein stellte die Erweiterung der Fertigung auch auf kleinere Supraleiter-Bandbreiten dar (Abbildung 1). Durch das Verlöten der einzelnen HTS-Bänder entsteht ein mechanisch stabiler Leiter, der sich aber nicht in kleinen Radien biegen lässt, da die mechanischen Belastungen vom Leiterzentrum zum Rand hin kontinuierlich zunehmen. Somit erlaubt die Fertigung von HTS CroCos aus 2 und 3 mm breiten Bändern – anstelle der bisher verwendeten 4 und 6 mm breiten Bänder – die Halbierung der möglichen Biegeradien. Dies ermöglicht unter anderem geringere Schlaglängen bei der Verseilung von HTS CroCos in Kabeln für Fusionsmagnete oder auch für Energieübertragungskabel.



Abb. 1: Schliffbilder von drei HTS CroCos verschiedenen Durchmessers, für die HTS-Bänder unterschiedlicher Breite verwendet werden.

Konzeptionelles Design von supraleitenden Hochstrom-DC-Kabeln

Neben dem Einsatz des HTS CroCos in der Fusion wurde auch seine Anwendung zur Übertragung großer Gleichströme untersucht. Hohe Gleichströme finden sich bei-

spielsweise in der industriellen Elektrolyse (10 bis 350 kA) oder in Datenzentren (5 bis 25 kA). Durch die bei der Elektrolyse verhältnismäßig niedrigen Spannungen ergeben sich bei dem gegebenen hohen Energiebedarf äußerst große Transportströme.

Für diese Anwendungen bieten HTS-Materialien eine Reihe von Vorteilen, wie geringerer Spannungsabfall, Gewichts- und Volumeneinsparungen sowie geringere Transportverluste.

Daher entwickelte der ITEP-Bereich Fusionsmagnete ein konzeptionelles Kabeldesign, basierend auf dem HTS CroCo, für Ströme im Bereich von 35 bis 100 kA bei $T = 77\text{ K}$ (Abbildung 2 links). Für eine geplante erste experimentelle Realisierung sind die HTS CroCos einlagig und ringförmig um einen zentralen Kühlkanal angeordnet. Durch Variieren des Kupferanteils in den HTS CroCos lassen sich dabei unterschiedliche Kurzschlussstrom-Anforderungen realisieren, ohne dass ein zusätzlicher Kupferkern im Kabel erforderlich ist.

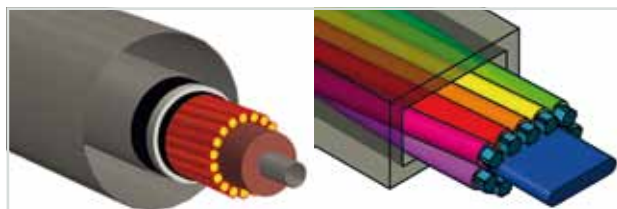


Abb. 2: Erste Designstudien für HTS CroCo-Anwendungen in Hochstromkabeln (links) und Fusionsmagneten (rechts).

Abbildung 2 (rechts) zeigt einen ersten Entwurf eines Rutherford-Kabels mit elf HTS CroCos, das in Fusionsmagneten angewendet werden könnte. Bei Anwendungen in Magneten ist eine ausreichend hohe Stromdichte entscheidend, sodass die HTS CroCos möglichst dicht gepackt sein müssen.



Abb. 3: Übergabe des Preises der Europäischen Union für Innovation in der Fusionsforschung, verliehen für die Entwicklung des HTS CroCo-Konzepts, auf der SOFT-Konferenz 2016.

SOFT Innovationspreis 2016

Im Rahmen des „Symposiums on Fusion Technologies“ (SOFT) wurde der HTS-Kreuzleiter mit dem ersten Platz beim Innovationspreis der Europäischen Union in der Fusionsforschung ausgezeichnet (siehe Abbildung 3). Besonders gewürdigt wurden die über die Anwendung in der Fusion hinausgehenden Einsatzmöglichkeiten des Leiterkonzepts – auch industrielle Anwendungen in der Energietechnik sind möglich.

Hochtemperatur-Supraleiter-Kabel- und Magnet-Entwicklung für DEMO

Messungen in FBI

Ein HTS CroCo mit einem Durchmesser von 9 mm wurde aus 22 Supraleiterbändern von 6 mm Breite und zehn Supraleiterbändern von 4 mm Breite hergestellt und in der FBI-Anlage höchsten Kräften mit Strömen von 10 kA bei 12 T und 4,2 K ausgesetzt. Dabei konnte er nicht zum Quench gebracht werden. Wie Abbildung 4 zeigt, ist der HTS CroCo ausgesprochen robust. Er zeigte vor und nach dieser Messung keinerlei Unterschied in der Stromtragfähigkeit bei 77 K.

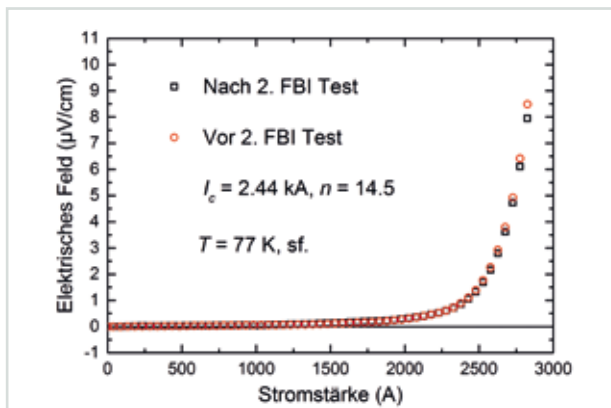


Abb. 4: Spannungsabfall an einem HTS CroCo bei 77 K vor bzw. nach einem FBI-Test, der mit einem Maximalstrom von 10 kA bei 4.2 K und 12 T durchgeführt wurde.

Entwicklung und Bau von Stromzuführungen für JT-60SA

Für den Bau des Satelliten-Tokamaks JT-60SA sind sechs Stromzuführungen mit einem Betriebsstrom von 26 kA für die TF-Spulen und 20 Stromzuführungen mit einem Maximalstrom von 20 kA für die CS- und PF-Spulen erforderlich. Nachdem 2014 und 2015 bereits die sechs TF-Stromzuführungen erfolgreich getestet, an F4E übergeben und nach Japan überstellt worden waren, wurden bis Ende 2016 insgesamt acht der zehn PF-Stromzuführungs-paare fertiggestellt; sechs Paare wurden erfolgreich in CuLTka getestet. Fünf Paare wurden an F4E



Abb. 5: HTS-Stromzuführungen PF03 bis PF10 in Transportkisten, bereit für den Versand nach Japan.

übergeben und nach Japan versandt (Abbildung 5). Alle Komponenten und Halbzeuge sind fertiggestellt, sodass die übrigen zwei PF-Stromzuführungs-paare im Zeit- und Kostenrahmen 2017 fertiggestellt sowie die Tests abgeschlossen werden können.

Designkonzept einer TF-Spule für DEMO

Das Konzept für eine TF-Spule im Fusionsreaktor DEMO mit REBCO-Bandleitern wurde weiter untersucht. Aufgrund des aktuellen, vom PROCESS Code vorgegebenen und im Rahmen der WPMAG-Arbeitsgruppe bei EUROfusion leicht modifizierten Spulendesigns waren Änderungen sowohl im Leiterstrom als auch an der Form und der Dicke des Spulengehäuses vorzunehmen. Der Bereich Fusionsmagnete des ITEP nahm anhand eines generischen Leitermodells, das auf dem CroCo-Strand aufbaut (Abbildung 6 oben), elektromagnetische, thermo-hydraulische und mechanische Untersuchungen vor. Eine eindimensionale Quenchanalyse des HTS ergab eine relativ hohe Maximaltemperatur im HTS-Kabel von 226 K (Abbildung 6 unten). Strukturmechanische Untersuchungen zeigten ebenfalls kritische Werte. Daher wird die Auslegung von Kabel und Jacket im künftigen Design angepasst.

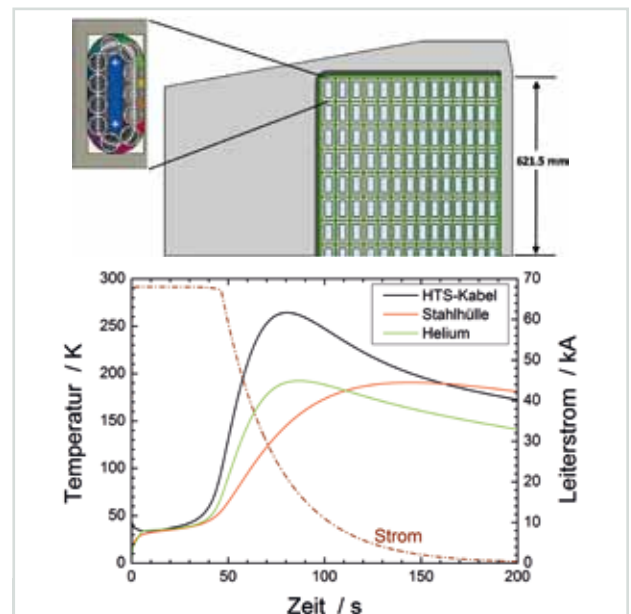


Abb. 6: Spulenquerschnitt und REBCO-Leiterdesign der TF-Spule für den Fusionsreaktor DEMO (oben) sowie Hotspot-Temperatur während eines Quenches und anschließender Schnellentladung der Spule.

Entwicklung einer 20-kA-REBCO-Stromzuführung

Alle bisherigen HTS-Hochstromzuführungen wurden mit dem Supraleiter BSCCO gebaut. Inzwischen stellt die Industrie jedoch fast ausschließlich den Supraleiter REBCO her. Das ITEP hat daher begonnen, eine 20-kA-HTS-Stromzuführung mit REBCO als HTS-Material zu entwickeln. Da sich REBCO-Bänder im Aufbau grundlegend von BSCCO-Bändern unterscheiden, lässt sich die für BSCCO eingesetzte Technologie nicht übernehmen. Zurzeit unternimmt das Team Lötversuche an Probestücken mit verschiedenen REBCO-Leitern, um die Stromeinkopplung zu optimieren. Alle übrigen für den Bau der 20-kA-REBCO-Stromzuführung notwendigen Komponenten sind hergestellt, sodass das Projekt mit der Fertigstellung und dem Test der Stromzuführung 2017 abgeschlossen werden kann.

CryoMaK – Kryogenes Materialtestlabor

Materialcharakterisierung für ITER und JT-60SA

Bei den laufenden Projekten ITER und JT-60SA steht zurzeit die Produktion der Magnetkomponenten im Vordergrund. Das CryoMaK und das Hochspannungslabor fungieren als wichtige Partner, um Design und Produktion zu sichern. Material und Komponenten werden von ITER, F4E oder beteiligten Firmen bereitgestellt, damit der Bereich Fusionsmagnete des ITEP die Qualifikation und Qualitätssicherung durch mechanische Tests, Hochspannungsprüfungen oder He-Leck-Prüfungen bei kryogenen Temperaturen in CryoMaK vornimmt. „Full-Size“ Komponenten, wie beispielsweise der 3x3 PF Mock-up (Highlight 1), wurden erfolgreich getestet.

Verlängerung des ITER-Vertrags bis 2018

Der bestehende Rahmenvertrag mit ITER wurde um weitere zwei Jahre verlängert, damit ITER Magnetkomponenten und -materialien weiterhin bei kryogenen Temperaturen mechanisch in CryoMaK untersucht werden können. Die Magnetproduktion wird dabei durch Qualifikationstests, beispielsweise quasi statische Tests und Ermüdungstests, an Komponenten wie TF-Terminal (siehe Abbildung 7) oder Jacket-Material begleitet.



Abb. 7: TF Terminal (Probenlänge ca. 1,5 Meter) bereitgestellt für Schweißnaht-Tests.

Kryogene Materialuntersuchungen

Neben den fusionsrelevanten Arbeiten, die einen Großteil der Aktivitäten ausmachten, nahm der Bereich Fusionsmagnete des ITEP 2016 die Forschung zu anwendungsorientierten kryogenen, materialwissenschaftlichen Themen auf. Der Einfluss der Umformtechnik Severe Plastic Deformation (SPD) an Kupferlegierungen auf die mechanischen Eigenschaften bei kryogenen Temperaturen wurde weltweit bisher nur wenig erforscht. Daher startete das ITEP zusammen mit dem IAM-WK (KIT Campus Süd), dem IFW Dresden und der Universität Košice ein Projekt, das Untersuchungen bei tiefen Temperaturen bis zu 4,2 K umfasste.

Im Rahmen dieser Studie entwickelten die Forscher einen Niedrigtemperatur (<math><100\text{ °C}</math>)-Umformungsprozess für Oxygen-Free-High-Conductivity (OFHC)-Kupfer. Die Entwicklung wurde anhand numerischer Simulationen (DEFORM 3D) an der Universität Košice vorbereitet und umgesetzt. Der Deformationsprozess über Equal Channel Angular Pressing (ECAP) begann mit Körnern in der Größenordnung von Mikrometern; durch mehrfache Umformung wurde die Größe auf wenige Nanometer reduziert (Abbildung 8).

Das OFHC-Material wurde, ausgehend vom ursprünglichen Zustand, durch vierfache Wiederholung des ECAP-Prozesses auf die experimentellen Untersuchungen vorbereitet. Strukturanalysen zeigten die erwartete Reduzierung der Korngrößen. Anschließend wurden am KIT mechanische Untersuchungen bei Raumtemperatur und kryogenen Temperaturen vorgenommen, um den Einfluss der Kornreduktion zu verifizieren.



Abb. 8: Nanograins durch extreme plastische Verformung zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften in Metallen (links vor, rechts nach der Umformung; das mittlere Bild symbolisiert den ECAP-Umformungsprozess).

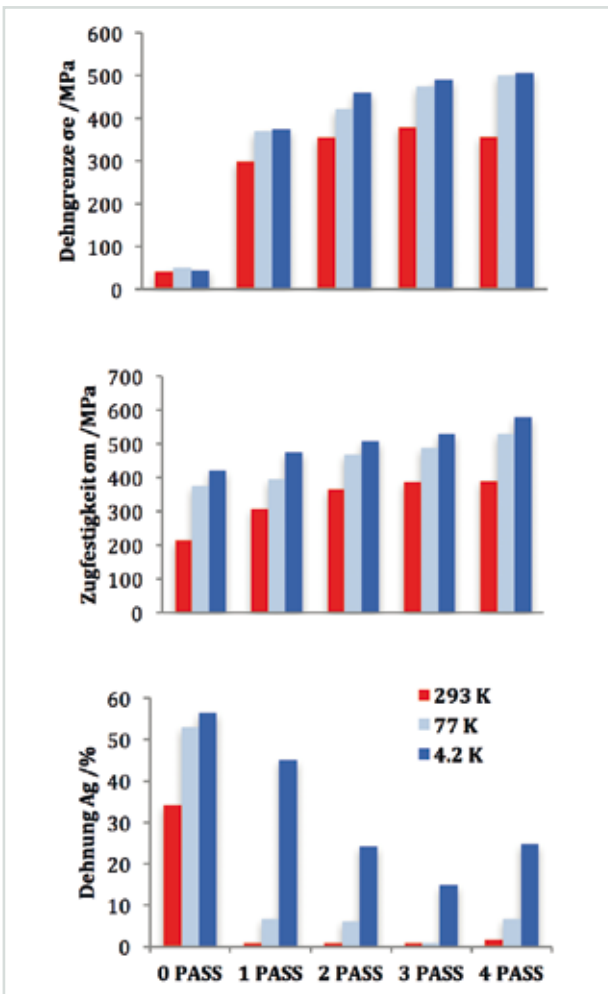


Abb. 9: Mechanische Eigenschaften vor (0 Pass) und nach sukzessiver Umformung (1–4 Pass).

Das Material zeigt auch bei kryogenen Temperaturen im Grundzustand eine hohe Duktilität und Festigkeit. In grobkörnigen Proben wird die Umformung nicht nur durch Gleiten von Fehlstellen erreicht, sondern besonders auch durch Verzwillingung. Nach dem ECAP-Prozess zeigt Kupfer im gesamten untersuchten Temperaturbereich eine deutlich höhere Festigkeit zusammen mit einer moderaten Verfestigung (Abbildung 9).

Dank der Kombination der einzigartigen Expertise der Projektpartner gelang damit erstmals eine vollständige und systematische Charakterisierung des Einflusses der Severe Plastic Deformation an OFHC-Kupfer. Die Ergebnisse werden nun auf materialwissenschaftlichen Konferenzen präsentiert und publiziert.

Highlight 1: CryoMaK Erfolgreiche Qualifikation von Full-Size PF-Proben

Da die unteren ITER PF-Spulen noch vor der TF-Spulenmontage in den Vakuumbehälter eingebracht werden müssen, ist die laufende Produktion der PF-Spulen in Europa und China zeitkritisch. Daher wurde die Zahl der Experimente innerhalb des laufenden F4E-Rahmenvertrags erheblich erhöht.

Erstmals wurde dafür ein 3x3 PF-Mock-up eines Wicklungspakets mechanisch und hochspannungstechnisch untersucht.



Abb. 10: Langer (links) und kurzer (rechts) PF 3x3 Prüfling, geliefert von ASG für elektrische und mechanische Tests.

Abbildung 10 zeigt die beiden von ASG hergestellten Prüflinge. Der längere (ca. 2,5 Meter) und der kürzere (ca. 0,5 Meter) 3x3 Prüfling wurden aus dem PF-Kabel mit der repräsentativen elektrischen Isolation hergestellt. Im CryoMaK-Labor wurde zunächst die Oberfläche mit einem mobilen Mikroskop auf Fehler unter-

sucht (Abbildung 11 oben links). Beide Prüflinge wurden anschließend thermisch zwischen Raumtemperatur und 77 K zyklisiert. Danach wurde im Hochspannungslabor verifiziert, dass keine Schäden der Isolation aufgetreten waren.



Abb. 11: Optische Oberflächenprüfung mit Mikroskop (oben links), Vorbereitung auf den kryogenen mechanischen Ermüdungstest (oben rechts), HV-Prüfung bei 77 K in einer Isolationsbox (unten).

Nach diesen Tests wurden aus dem längeren Prüfling zehn Scheiben mit einer Breite von rund 50 mm geschnitten, um eine optische Kontrolle durchzuführen und mechanische Push-out-Tests am mittleren Kabel bezüglich der maximalen Scherkräfte zwischen Isolation und Metalloberfläche vorzunehmen.

Zusätzlich wurde beim kürzeren Mock-up ein Ermüdungstest unter zyklischer transversaler Kompression durchgeführt (Abbildung 11 oben rechts). Die begleitenden elektrischen Hochspannungstests sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 77 K zeigten das robuste Design des Wicklungspakets. Damit wurden die beiden 3x3 PF Mock-ups erfolgreich qualifiziert.

Highlight 2: Niederohmige HTS CroCo-Verbinder

Die starre Verlotung der HTS-Bänder im HTS CroCo erlaubt keine Biegung mit kleinen Biegeradien, wie sie beispielsweise in Kabelschächten vorhanden sind. Um die Anwendbarkeit des Leiterkonzepts auch in räumlich engen Situationen sicherzustellen, wie in großen Rechenzentren, erarbeitete der Bereich Fusionsmagnete des ITEP ein einfach anzuwendendes Verbindungskonzept, das eine niederohmige Verbindung zweier HTS CroCos ermöglicht.



Abb. 12: Untersuchte Winkelverbinder für HTS CroCos.

HTS CroCo-Verbinderkonzepte

Das Team untersuchte vier verschiedene Winkelverbinderarten mit Biegeradien unter 50 mm und Kontaktlängen von 50 bzw. 60 mm. Abbildung 12 vermittelt eine Übersicht. Verbinder I besteht aus einem einfachen Kupferwinkel und dient als Referenzprobe. In den anderen Verbindertypen wurden auf unterschiedliche Weise zusätzliche Supraleiterbänder angeordnet (Abbildung 12, mittlere Spalte), um den Widerstand des Verbindungselements zu reduzieren. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich die Supraleiterbänder, solange sie noch nicht fest miteinander verlötet sind, senkrecht zur Bandfläche ohne Schädigung mit kleinen Radien biegen lassen.

Bei Verbinder II und III wurden die zusätzlichen Supraleiter in Nuten auf der Außenseite der Verbinder angebracht; bei Verbinder IV hingegen wurden die Supraleiter auf der Innenseite des Verbinders angeordnet. Dies ist an den Querschnitten durch die Verbinder (Abbildung 12, rechte Spalte) zu erkennen.

Das Verlöten der HTS CroCo-Enden erfolgte ohne komplizierte Bearbeitung der Kabelenden: Die Enden wurden einfach in die vorgesehenen Aufnahmen der Verbinder gelötet. Damit ist eine leichte Anwendbarkeit gewährleistet.

Abbildung 13 zeigt den Verbinder IV im Detail: Die zusätzlichen Supraleiterbänder sind in Grün skizziert; die Enden der HTS CroCos sind rechts und links dargestellt.

Experimentelle Tests der Verbinder

Die Verbinderkonzepte wurden durch Messungen des Verbinderwiderstands im Flüssigstickstoffbad ($T = 77\text{ K}$) untersucht. Dabei wurde aus den experimentell ermittelten Stromspannungs-Kennlinien der lineare Anteil bestimmt, der dem Verbinder zuzuschreiben ist.

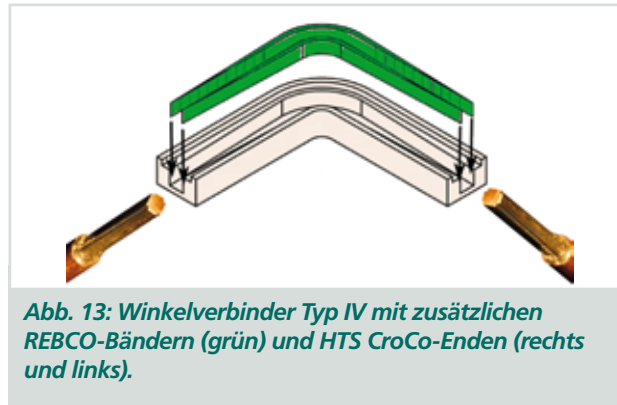


Abb. 13: Winkelverbinder Typ IV mit zusätzlichen REBCO-Bändern (grün) und HTS CroCo-Enden (rechts und links).

Abbildung 14 (a) zeigt die Resultate bei den untersuchten Verbindern. Abbildung 14 (b) vermittelt eine Übersicht der ermittelten Verbinderwiderstände.

Die Tests zeigten, dass das Einbringen zusätzlicher supraleitender Elemente den Verbinderwiderstand tatsächlich deutlich reduziert. Besonders für den Verbinder IV, bei dem sich die Zusatzsupraleiter auf der Innenseite des Verbindungselements und damit in direktem Kontakt mit den HTS CroCo-Enden befinden, führt dies zu einer Reduktion des Verbinderwiderstands um über 90 Prozent.

Die besten ermittelten Widerstände von knapp $40\text{ n}\Omega$ bedeuten bei der maximalen Stromtragfähigkeit eines HTS CroCos von ca. 3 kA einen Jouleschen Wärmeeintrag von ca. $0,36\text{ W}$. Dies ist gegenüber anderen Verlustquellen, wie beispielsweise Kryostatverlusten, nahezu vernachlässigbar.

Ergebnis ist, dass sich HTS CroCos in industriellen Hochstrom-DC-Anwendungen auch dort einsetzen lassen, wo enge Biegeradien gefordert sind, die durch ein Biegen der HTS CroCos selbst nicht zu erreichen sind.

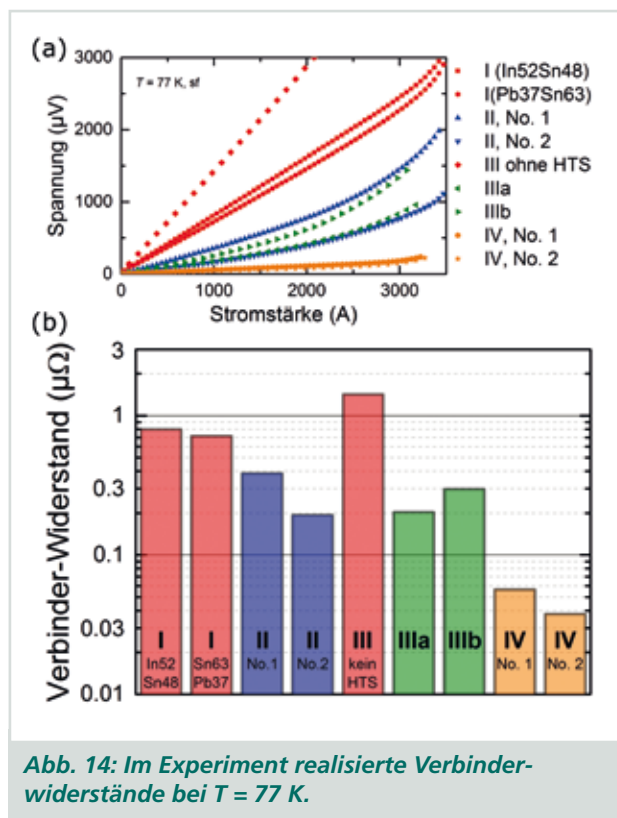


Abb. 14: Im Experiment realisierte Verbinderwiderstände bei $T = 77\text{ K}$.



Bau 257 mit HFM-Technikum: energetische Sanierung des Sheddachs mit Neugestaltung der oberen Seitenwände.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Hochfeldmagnete

Leitung: Dr. Theo Schneider

Der Bereich Supraleitende Hochfeldmagnete (HFM) des ITEP führte 2016 seine Arbeiten zur Entwicklung von supraleitenden Spulensystemen weiter. Er fokussierte dabei auf den Ausbau der Experimentieranlagen durch Hochtemperatur-Supraleiter-(HTS)-Einsatzspulen mit kommerziellen REBCO-Bandleitern im Zentralfeldstärkebereich von 25 bis 30 T. Dazu wurde eine im HFM gefertigte mehrlagige Prototyp-Solenoidspule unter Betriebsbedingungen ($T = 1,8\text{ K}$ und $B > 14\text{ T}$) in superfluidem Helium im Hochfeldlabor erfolgreich getestet. Eine großvolumige MgB_2 -Spule ($\varnothing = 380\text{ mm}$) für einen mit flüssigem Wasserstoff gekühlten supraleitenden Magnetspeicher (SMES) wurde weiteren Funktions- und Stresstests unterzogen. Die Arbeitspakete der NMR-Magnettechnologie-Kooperation mit dem Industriepartner Bruker BioSpin GmbH zur Fertigung und Qualitätssicherung der NMR-Spektrometer mit Frequenzen von 800 bis 1 000 MHz wurden vertragsgemäß erfüllt. Der Bereich HFM nahm auch die ersten winkelabhängigen I_c -Messungen bis 2 000 A bei 4,2 K an den REBCO-Bandleitern der am EU-Projekt EUROTAPES beteiligten Industriepartner vor.

Überdies unterstützte das Team die Arbeiten zu Sanierung und Umbau des HFM-Technikums im Bau 257. Eine Teilinbetriebnahme des Technikums erfolgte nach dem Wiederaufbau der Wickeleinrichtungen.

Sanierung von Bau 257 – erster Bauabschnitt

Im Frühjahr 2015 waren die energetische Sanierung des Gebäudes 257 und die vollständige Renovierung des darin befindlichen HFM-Technikums beschlossen worden. Das Finanzvolumen des ersten Bauabschnitts umfasste die energetische Sanierung des Sheddachs sowie grundlegende Arbeiten zur Neustrukturierung des Technikums. Nach der Komplettäumung des Technikums und intensiven Planungen in enger Zusammenarbeit mit der Dienstleistungseinheit Facility Management des KIT begann Ende 2015 der Umbau der Stahlbühne. Dieser war Ende Februar 2016 mit dem neugeschaffenen Arbeitsbereich (Abbildung 1a) abgeschlossen. Die energetische Sanierung des Sheddachs mit Austausch der Fenster begann im Sommer 2016. Zur besseren Lichtdurchflutung des Technikums wurden die oberen Seitenwände durch Mehr-



Abb. 1a-1d: Sanierung von Bau 257 – Arbeiten im 1. Bauabschnitt. Umbau der Stahlbühne mit Neuschaffung eines abgeschlossenen Arbeitsbereichs, energetische Sanierung des Sheddachs mit Seitenwänden, Bodenarbeiten und Teilinbetriebnahme.

kammer-Polycarbonat-Scheiben ersetzt, die auch eine hohe Wärmedämmung bewirken (Abbildungen 1b und 1c). Nach den abschließenden Bodenarbeiten wurden die ausgelagerten Maschinen ab Mitte Oktober wieder aufgestellt und eingerichtet (Abbildung 1d). Die Sanierung der Heizungen und der angrenzenden Räume sowie die Erneuerung des Rolltors sind für die zweite Bauphase ab Herbst 2017 vorgesehen.

Betrieb, Instandhaltung und Modernisierung

Um einen sicheren und störungsfreien Betrieb des Hochfeldlabors zu gewährleisten, führt der Bereich HFM jährliche Prüfungen der Experimentieranlagen durch, wie Potenzialausgleich, Druckstandsprüfung und Lecktest, und organisiert die Instandhaltung und Modernisierung der Anlagen. Bei diesen Arbeiten, die für ein erfolgreiches Experimentieren unerlässlich sind, werden jeweils auch die Dokumentationen überarbeitet und angepasst. 2016 wurde neben notwendigen Anpassungen der WinCC-Software auch ein neuer WinCC-Webserver mit mehreren Clientrechnern mit Zugriff auf alle Anlagenbilder installiert. Zur Druck- bzw. Füllstandsregelung des LHe-Vorratsbehälters der Experimentieranlage HOMER I wurde ein zusätzliches Ventil zur Abgasregelung eingebaut, getestet und in das Automatisierungssystem implementiert. Um den Betrieb der JUMBO-Anlage ökonomischer zu gestalten, ersetzte das Team die bisherige Sechsfach-Stromzuführung des JUMBO-Magnetsystems durch eine neue optimierte Zweifach-Stromzuführung. Der allgemeine Technologiewandel führt unter anderem dazu, dass sich Komponenten älterer Netzgeräte im Schadensfall nicht mehr reparieren lassen. Daher wurde die Analogtechnik der älteren Netzgeräte auf digitale Steuerung umgerüstet.

EU-Projekt EUROTAPES

Ein industrieller Einsatz von Hochtemperatur-Supraleitern ist nur möglich, wenn sich Drähte und Kabel aus HTS im Kilometermaßstab zu einem marktfähigen Preis produzieren lassen. Das EU-Projekt EUROTAPES, angesiedelt im Bereich Supraleitende Materialien und Energieanwendungen unter Professor Bernhard Holzapfel, zielt darauf, durch neue Materialien und Schichtarchitekturen sowie neuartige Prozesse das beste Design und den effizientesten Herstellungsprozess für REBCO-Bandleiter bis 500 Meter Länge zu finden. Dazu entwickeln die Wissenschaftler neue kostengünstige Zwischenschichten und texturvorgabende Schichten auf verbesserten RABiTS™- und IBAD/ABAD-Substraten. Eine Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der REBCO-Schichten, das heißt hohe Pinningkräfte und hohe Stromtragfähigkeit, soll durch fortschrittliche physikalisch-chemisch kombinierte Abscheidungsverfahren (PLD und CSD mit Nanoverbundstrukturen bzw. umweltfreundliche CSD-Verfahren im Tintenstrahldruckverfahren) erzielt werden. An dem Projekt sind die HTS-Bandleiter-Hersteller



Abb. 2: Querschnitt des Dnano-HTS-Bandleiters im EU-Projekt EUROTAPES.

Bruker HTS, Deutsche Nanoschicht (Dnano) und THEVA beteiligt. Sie führen die Ergebnisse in einen kostengünstigen industriellen Fertigungsprozess über.

Im Rahmen des Arbeitspakets „WP5-advanced measurements“ untersuchte das HFM-Team die Anisotropie des kritischen Stroms $I_c(B, \Phi)$ der hergestellten HTS-Bandleiter in LHe bei 4,2 K. Aufgrund der hohen Stromtragfähigkeit erfolgte die Charakterisierung der Projektleiter in der Experimentieranlage JUMBO des Hochfeldlabors. Erstmals wurden dabei Bandleiter von Dnano und THEVA bei 4,2 K in externen Magnetfeldern bis 10 T mit Transportströmen bis 2 000 A winkelabhängig gemessen. Abbildung 2 zeigt den Querschnitt eines ersten Dnano-Leiters mit Kupferstabilisierung.

Die I_c -Messungen der Dnano-HTS wurden im Winkelbereich 0 bis 180 Grad durchgeführt. Mehrere Messdurchläufe zeigten die Reproduzierbarkeit und Stabilität der Messungen (Abbildung 3), wobei die Proben immer wieder auf Raumtemperatur aufgewärmt wurden. Das Maximum der Anisotropie liegt bei 90 Grad; der Bandleiter steht dabei parallel zum externen Magnetfeld.

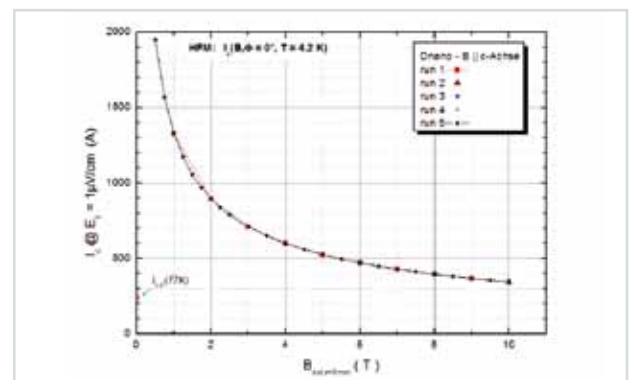


Abb. 3: Erste Messungen bei 4,2 K bis 10 T und 2 000 A Transportstrom an einem YBCO-Bandleiter der Firma Dnano (10 mm Bandbreite).

Der Herstellungsprozess von THEVA bedingt eine komplett andere Winkelabhängigkeit des kritischen Stroms. Für die $I_c(B, \Phi)$ -Messungen wurde daher nur der Winkelbereich von 0 bis 90 Grad gewählt (Abbildung 4). Das Maximum dieser HTS-Bandleiter liegt bei etwa 57 Grad.

Die $I_c(B, \Phi)$ -Fläche wurde anhand verschiedener mathematischer Modelle approximiert. Für Anwendungen im

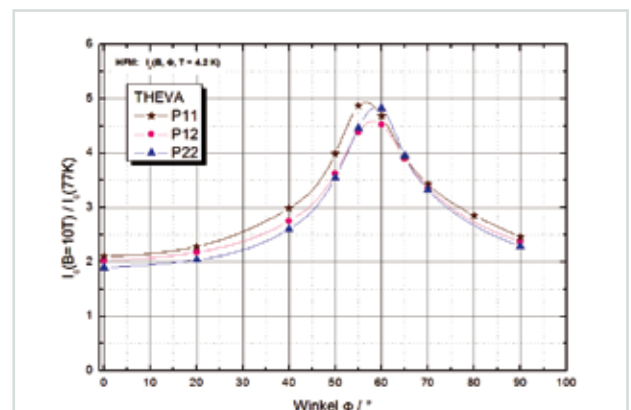


Abb. 4: Erste $I_c(B, \Phi)$ -Messungen bei 4,2 K am REBCO-Bandleiter der Firma THEVA (6 mm Bandbreite); dargestellt sind die Ergebnisse bei 10 T für drei Proben.

Hochfeldbereich, wie die NMR-Hochfeldmagnete, lässt sie sich extrapolieren. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die $I_c(B, \Phi)$ -Fläche der untersuchten Dnano-Bandleiter. Die Wissenschaftler verwendeten zur 3D-Anpassung die $I_c(B)$ -Abhängigkeit nach Kim, erweitert um die Anisotropie nach Blatter.

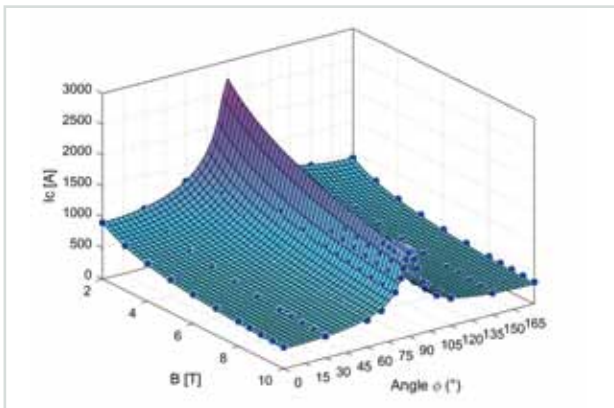


Abb. 5: Approximierte $I_c(B, \Phi)$ -Fläche bei 4,2 K des 10 mm breiten YBCO-Bandleiters der Firma Dnano.

Spulentechnologie

MgB₂-Spule

2015 hatte das HFM-Team eine Solenoidspule, gewickelt mit monolithischem MgB₂-Multifilament-Supraleiter, als Demonstrationsobjekt zur magnetischen Energiespeicherung SMES im Projekt LIQHYSMES realisiert und ersten vielversprechenden Tests unterzogen (siehe ITEP-Jahresbericht 2015). Weitere Untersuchungen zum transienten Verhalten der Spule wurden 2016 mit dem Vierquadranten-Netzgerät mit bis zu 4 kW Leistung durchgeführt (Abbildung 6). Die Tests im Einzelnen waren:

- Simulation von Deltafunktionen durch Spannungspulse $U \times \Delta t$ im Bereich von 1 V x 10 s bis 20 V x 0,5 s
- Stufenförmiges Anlegen der Spannung (1 V bis 20 V) bis zum Erreichen des Endstroms mit anschließender Entladung über den externen Schutzwiderstand
- Gesteuertes Laden auf Maximalenergie und anschließendes vollständiges Entladen der Spule unter Variation der Frequenz von 20 mHz bis 100 mHz

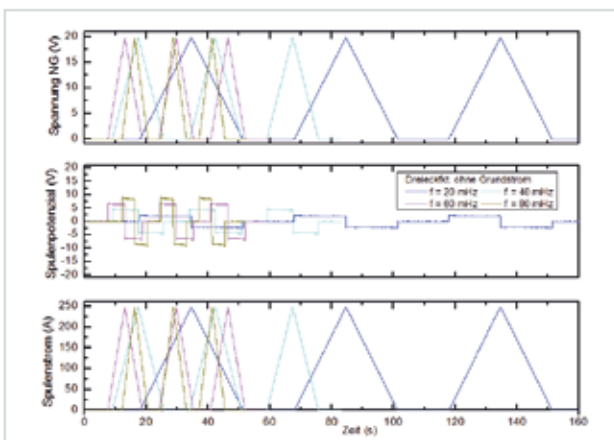


Abb. 6: Zyklisches Laden und Entladen der MgB₂-Spule mit Spannungen bis ± 20 V des 4Q-Netzgeräts in MTA I

Für den Test der SMES-Spule im Endkryostaten im flüssig-Wasserstoff-Bad wurden die Stromzuführungen konstruiert und fertiggestellt. Ein R&I-Schema für den

Testbetrieb ist erstellt, die Hardware ist beschafft und die MSR-Programmierung hat begonnen.

REBCO-Spule

Für die Erweiterung der HOMER II-Experimentieranlage mit HTS-Einsatzspulen fertigte das Team 2016 eine mehrlagige Prototypspule (Ergebnisse siehe Highlight).

KIT Innovation: Kooperation des KIT mit Bruker BioSpin GmbH

Innovation ist neben Forschung und Lehre als eine der drei Kernaufgaben im gesetzlichen Auftrag des KIT verankert. Dabei werden die Anwendung eines Produktes oder Prozesses und die Honorierung durch Lizenzen als Innovation angesehen.

Der Bereich Supraleitende Hochfeldmagnete am ITEP des KIT und die Bruker BioSpin GmbH entwickeln in einer seit 1985 laufenden Kooperation supraleitende Hochfeldmagnete für die hochauflösende NMR-Spektroskopie mit Protonenresonanzfrequenzen von 750 bis 1 000 MHz. Aktuell wurde das weltweit erste 1-GHz NMR-Spektrometer mit einem aktiv abgeschirmten AEON™-1 GHz-Magneten am Nordbayrischen Zentrum für hochauflösende NMR-Spektroskopie am Forschungszentrum für Bio-Makromoleküle der Universität Bayreuth installiert. Vermarktung und die daraus folgenden langjährigen Lizenzzahlungen in Millionenhöhe zeigen den hohen Stellenwert dieser Innovation auf.

1 200 MHz-Projekt

Weiterhin engagiert sich das Team bei der Entwicklung einer hochauflösenden, ultrastabilen NMR-tauglichen HTS-Einsatzspule für ein 1 200 MHz-NMR-Spektrometer, was einer Zentralfeldstärke von 28,2 T entspricht. Dazu wurden weitergehende Untersuchungen an neuen REBCO-Leitern bezüglich Kraftverträglichkeit, Anisotropie der Stromtragfähigkeit sowie der Stabilität der HTS gegenüber superfluidem Helium durchgeführt. Zusätzlich testete die Gruppe eine neuartige 2G-HTS-Wicklung aus Leiterlängen über 100 Meter in der Experimentieranlage HOMER I des HFM.

NMR-Magnettechnologie

Das HFM-Team unterstützt den Kooperationspartner seit mehr als 25 Jahren in ergänzenden Projekten zur NMR-Magnettechnologie durch flankierende Maßnahmen bei der Qualitätssicherung und der weltweiten Markteinführung der NMR-Spektrometer. Im Mittelpunkt stehen die Charakterisierung und Qualifizierung kommerzieller technischer Tieftemperatur-Supraleiter durch hochauflösende E(I)-Messungen in den Experimentieranlagen JUMBO und HOMER I bei Magnetfeldstärken bis 20 T und Temperaturen von 4,2 K, 2,2 K und 1,8 K. Ein weiterer Schwerpunkt lag 2016 auf den Untersuchungen der supraleitenden Eigenschaften der aus den Leitern hergestellten supraleitenden Verbindungen und Optimierung ihrer Restresistivität im pΩ-Bereich abhängig vom externen Magnetfeld und Transportstrom.

Die untersuchten Supraleiter und supraleitenden Verbindungen unterscheiden sich in ihrem prinzipiellen Aufbau, in Materialzusammensetzung, Herstellungsverfahren, Abmessungen und physikalischen Eigenschaften, was eine Vielzahl von Testkonfigurationen und -programmen erfordert. Die Ergebnisse der Experimente und ihre Auswertung sind Kooperations-Know-how und unterliegen der absoluten Vertraulichkeit.

Highlights Designänderung der HOMER II-Einsatzspulen

Das Magnetsystem der Experimentieranlage HOMER II ist so geplant, dass zusätzliche Einsatzspulen in der freien Bohrung von 185 mm des LTS-Hintergrundmagnetsystems die Zentralfeldstärke von derzeit 20 T in Richtung 25 T erhöhen. Lorentzkraft-Berechnungen und Extrapolationen des kritischen Stroms haben gezeigt, dass das LTS-Material $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ als Einsatzspulenleiter bei diesen Feldstärken die Grenze der maximalen Belastbarkeit erreicht. Eine erste HTS-Spule wurde schon 2004 mit den Bi-2223 HTS-Leitern der ersten Generation als Doppelpancake-Stapel gebaut und getestet. Die Spule erreichte ihr Designfeld von 5,4 T, wurde aber beim Aufwärmen auf Raumtemperatur durch eindringendes superfluides Helium He II (Ballooning) zerstört.

Für eine HOMER II-Einsatzspule mit REBCO-HTS-Bandleiter der zweiten Generation (2G) wurden die kommerziell verfügbaren 2G-HTS-Bandleiter fast aller Leiterhersteller detailliert in folgenden Punkten untersucht:

- $I_c(B)$ -Charakteristik bis 20 T und LHe II Temperaturen $< 2,2$ K
- Anisotropie-Verhalten des kritischen Stroms $I_c(B, \Phi)$ bei 4,2 K bis 10 T sowie Inter- und Extrapolation der $I_c(B, \Phi)$ -Fläche bis 30 T
- Zyklische und steigende Lorentzkraft-Belastung bis 500 MPa
- LHe II-Verträglichkeit der 2G-HTS in Bezug auf Degradation und Ballooning

Ergänzend wurden kleine mehrlagige Solenoid-Spulen ($\varnothing < 50$ mm) gefertigt und in Homer I bis 20 T in superfluidem He II erfolgreich getestet. Da die Verfügbarkeit größerer Leiterlängen gestiegen ist, wurde das ursprünglich anvisierte Spulenkonzept, bestehend aus zwei ineinander geschachtelten Doppelpancake-Stapeln, revidiert und durch fünf ineinandergeschachtelte mehrlagige Solenoid-Spulen ersetzt. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der beiden Spulendesigns.

Ausführliche Tests ergaben, dass mehrere 2G-HTS-Bandleiter verschiedener Leiterhersteller die Anforderungen an die kritische Stromdichte und die Kompatibilität mit superfluidem Helium erfüllen. Allerdings konnte nur Fujikura Inc. (Japan) die Gesamtleiterlänge und die not-

| | Material | Dimension |
|--|--------------------------|--|
| Lieferung | FYSC-SC05 2G-HTS | 2380 m in 9 Teillängen ($160 \text{ m} \leq \text{Teillänge} \leq 460 \text{ m}$) |
| Bandbreite | | 5,25 mm isoliert |
| Banddicke | | 0,29 mm isoliert |
| Isolation | Polyimid | 12,5 $\mu\text{m} \times 4$ |
| Substrat | Hastelloy | 100 μm |
| Supraleiter | GdBaCuO | 2,4 μm – 2,9 μm (Variation über Teillängen) |
| Stabilisierung | Cu-Laminierung einseitig | 100 μm |
| $I_c @ 1 \mu\text{V/cm}$ 77 K, s.f. | | Minimum 255 A – 352 A (Variation über Teillängen) |

Tabelle 1: Spezifikation der von Fujikura gelieferten 2G-HTS FYSC-SC05 Bandleiter.

wendigen Teillängen ohne normalleitende Verbindungen für die fünf Spulensektionen liefern.

Insgesamt fertigte Fujikura 2 380 Meter isolierte FYSC-SC05 HTS-Bandleiter in neun Teillängen bis zu 460 Meter. Einzelheiten sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Das Enddesign der HTS- Einsatzspule ergab sich aus einem Optimierungsprozess, der Feldhomogenität, maximal erhaltliche Bandleiterlängen ohne normalleitende Verbindungen, notwendige Gesamtleiterlänge, I/I_c -Auslastung der Bandleiter sowie Stücklängenabhängigkeit des Meterpreises des Leiters berücksichtigte. Abbildung 7 zeigt die fünf HTS-Spulensektionen im Hintergrundmagnetsystem der HOMER II-Anlage, bestehend aus drei $(\text{NbX})_3\text{Sn}$ und zwei NbTi Sektionen. Für die Einsatzspulen werden sechs Teillängen des FYSC-SC05 Bandleiter verwendet, wobei in der äußersten Sektion zwei 320-Meter-Teillängen normalleitend verbunden sein werden. Insgesamt werden 1 670 Meter HTS-Band-

| | Design: Doppelpancake DP | Design: Lagenwicklung |
|--|--|--------------------------|
| Design | 2 DP Stapel (17 innere DP, 24 äußere DP) | 5 Spulen |
| Außendurchmesser | 184 mm | 184 mm |
| Freie Bohrung | 50 mm | 68 mm |
| Höhe | 294 mm | 364 mm |
| Gesamtwindungen | 6982 | 4127 |
| 2G-Leiterlänge | 2642 m | 1670 m |
| Joints | 40 | 5 |
| Betriebsstrom für 5 T | 145 A | 232 A |
| Max. Hoop Stress ($B_z \times J \times r$) | 228 MPa | 365 MPa |

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Doppelpancake-Design vs. Solenoide.

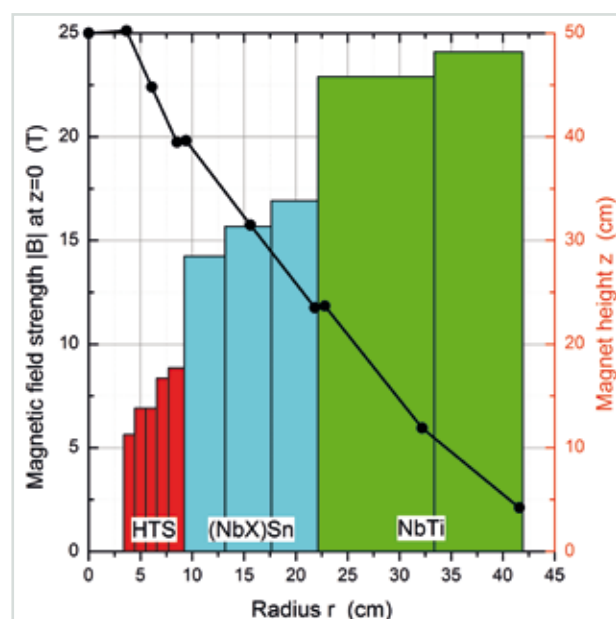


Abb. 7: Design der 5 T-REBCO-Einsatzspule zusammen mit den LTS-Hintergrundspulen.

leiter verwickelt. Die Spule hat eine freie Bohrung von 68 mm und liefert bei einem Magnetstrom von 232 A einen Feldbeitrag von 5 T. Die Induktivität beträgt 710 mH, die gespeicherte Energie ist 19,1 kJ. Es tritt ein maximaler Hoop-Stress durch die Lorentzkraft-Belastung von 365 MPa auf.

Mehrlagige Prototyp-Spule

Um das neue Lagen-Wickelkonzept mit HTS-Bandleitern sowie das Design und die Konstruktion der Spulensektionen zu validieren, fertigte und testete das HFM-Team eine maßstabsgetreue Prototyp-Spule.

Der GFK Spulenkörper der Prototyp-Spule hat einen Innendurchmesser von 130 mm und eine Gesamthöhe von 206 mm. Gewickelt wurden 18 Lagen mit je 21 Windungen mit einer Teillänge von 170 Metern der gelieferten Fujikura Bandleiter. Eine außen aufgebrachte Kupferwicklung dient über eine Brückenschaltung zur Quenchedetektion. Die Wicklung wurde mit Wachs imprägniert und ist durch eine mit Epoxidharz versiegelte Bandage aus Glasseidenband geschützt (siehe Abbildung 8).



Abb. 8: HTS-Prototyp-Solenoid.

Die Prototyp-Spule wurde in der 15 T-Konfiguration der Experimentieranlage HOMER I getestet. Dabei erfolgten jeweils mehrere Durchläufe bei festen statischen Hintergrundfeldern. Die Spule wurde mit 4 A/s auf einen maximalen Strom von 500 A geladen, bei Maximalstrom gehalten und wieder mit 4 A/s entladen. Durch die schrittweise Erhöhung des Hintergrundfelds von 2 T auf 14 T wurde die Spule einer steigenden Lorentzkraft ausgesetzt. Die Messungen wurden bei 4,2 K und zur Überprüfung der He II Verträglichkeit zusätzlich bei 1,8 K vorgenommen. Abbildung 9 zeigt die gemessene Spulenspannung $U(t)$ während der Messprozedur für zwei Testläufe bei 1,8 K im Hintergrundfeld von 14 T. Der Test ergab eine experimentell bestimmte Induktivität von ca. 15 mH, die mit der kalkulierten Induktivität von 15,4 mH weitgehend übereinstimmt. Der Feldbeitrag der Prototyp-Spule beträgt bei Maximalstrom 1,3 T. Die Spule war einer maximalen Lorentzkraft-Belastung von 476 MPa bei 14 T ausgesetzt.

Die Prototyp-Spule passierte alle Tests ohne Quench und ohne Anzeichen für eine Degradation. Damit demonstrierte sie die Machbarkeit und Zuverlässigkeit des Wicklungs- und Fertigungskonzepts.

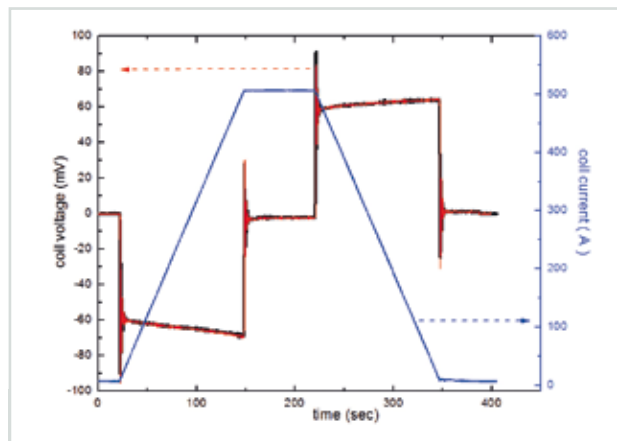
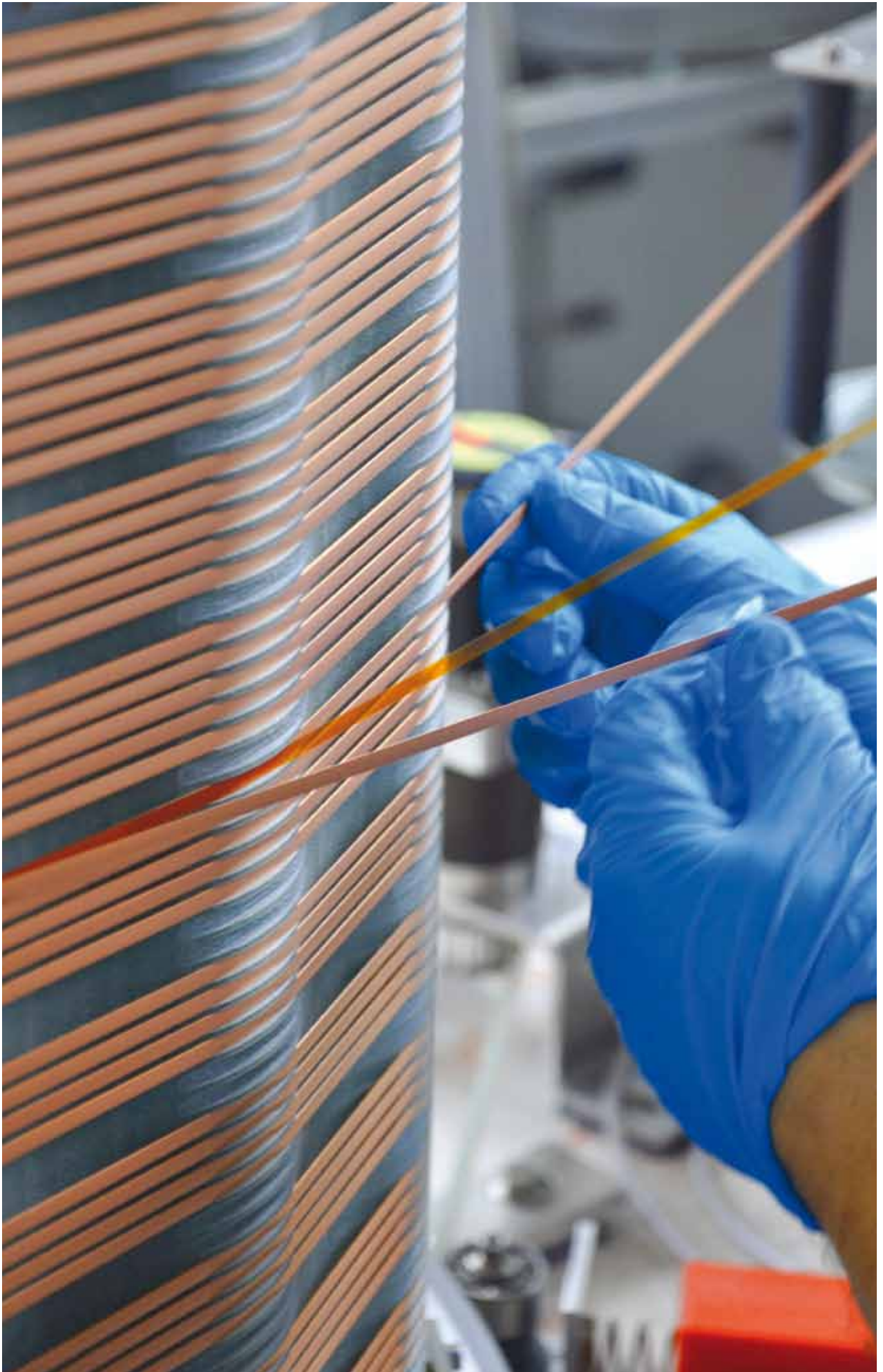


Abb. 9: $U(I)$ -Kurve der Prototyp-Spule während zweier Experimente mit ansteigendem Spulenstrom bis 500 A bei 1,8 K im Hintergrundfeld von 14 T.



Wickelvorgang an der REBCO-Bandleiter Sekundärspule eines supraleitenden Transformators.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Supraleitende Materialien und Energieanwendungen

Leitung: Dr. Wilfried Goldacker

Supraleitende Materialien

Der Bereich Supraleitende Materialien und Energieanwendungen des ITEP fertigte 2016 mithilfe der Chemischen Lösungsabscheidung (CSD) $Y_xGd_{1-x}Ba_2Cu_3O_7+12\%BaHfO_3$ -Nanokomposit-Schichten. Nachdem die für die thermischen Prozesse – Pyrolyse und Kristallisation – wesentlichen Parameter optimiert worden waren, wurden epitaktische Schichten mit exzellenter In-Plane- und Out-of-Plane-Orientierung ($\Delta\omega \sim 0,23^\circ$, $\Delta\phi \sim 0,14^\circ$) abgeschieden. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen eine dichte und homogene Oberflächenmorphologie mit lediglich oberflächlichen Vertiefungen und vernachlässigbarer Porendichte (Abbildung 1).

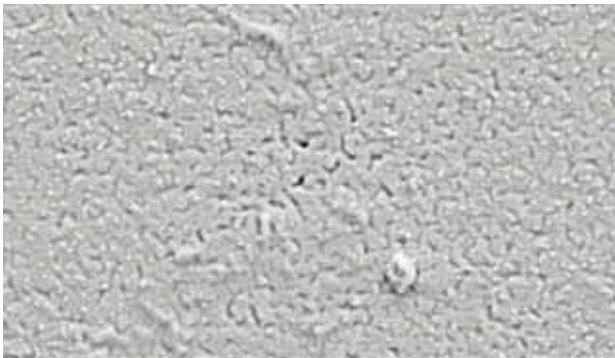


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer $GdBa_2Cu_3O_7+12\%BaHfO_3$ -Nanokomposit-Schicht mit dichter und homogener Oberfläche sowie weitgehend ohne Poren.

Die Schichten weisen bemerkenswerte supraleitende Eigenschaften auf: Die Sprungtemperatur T_c liegt, je nach Zusammensetzung hinsichtlich der Seltenen Erde (RE), zwischen 90 K ($x=1$) und 94 K ($x=0$) und damit im erwarteten Bereich. Die kritischen Transport-Stromdichten J_c bei 77 K erreichen bei $GdBa_2Cu_3O_7+12\%BaHfO_3$ -Werte bis zu 7 MA/cm^2 . Dies sind weltweit die höchsten Werte für CSD-Schichten. Die Pinningkraftdichte F_p bei 77 K erreicht $\sim 15 \text{ GN/m}^3$, was zuvor nur selten für CSD-Proben gemessen worden war (Abbildung 2).

Zur Untersuchung der Transporteigenschaften der supraleitenden Schichten ($J_c(B,\theta,T)$) in einem Kryomagneten (Physical Properties Measurement System – PPMS) sind Stege im Mikrometermaßstab erforderlich. Um diese Mikrostrukturen zu schaffen, wurde ein effizientes und kostengünstiges Photolithographie-Labor aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen.

Im Gemeinschaftslabor von ITEP und der Deutschen Nanoschicht GmbH liefen 2016 die Untersuchungen zur Herstellung langer REBCO-Bandleiter anhand chemischer Lösungsabscheidung im sechs Meter langen Klapprohrföfen an. In diesem Rahmen wurden zwei Bachelorarbeiten zu Strömungssimulationen erfolgreich abgeschlossen.

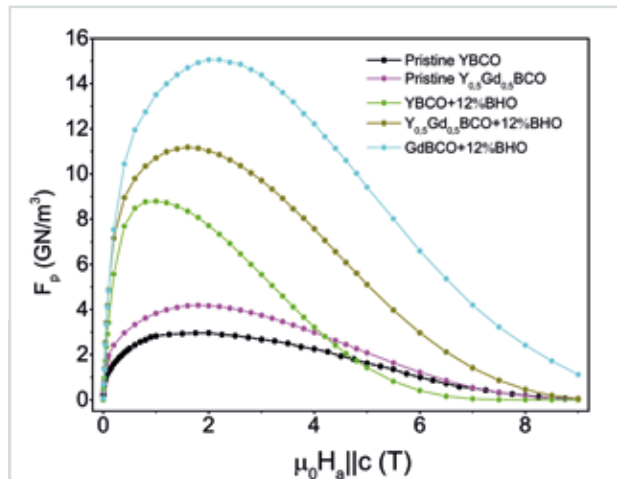


Abb. 2: Magnetfeldabhängigkeit der Pinningkraftdichte F_p bei 77 K für $Y_xGd_{1-x}Ba_2Cu_3O_7+12\%BaHfO_3$ -Nanokomposit-Schichten, zum Vergleich auch für reine $YBa_2Cu_3O_7$ - und $Y_{0,5}Gd_{0,5}Ba_2Cu_3O_7$ -Schichten.

Die Arbeiten simulierten die Aufskalierung vom diskontinuierlichen Labormaßstab auf den kontinuierlichen Reel-to-Reel-Prozess (Abbildung 3). Ihre Ziele waren, die im Kurzprobenmaßstab optimierten Parameter zur Schichterstellung auf einen quasi-industriellen Maßstab zu übertragen sowie bauliche Optimierungen des Gaseinlasses zu finden, um eine optimale Gestaltung des Strömungsprofils im Klapprohrföfen zu gewährleisten.

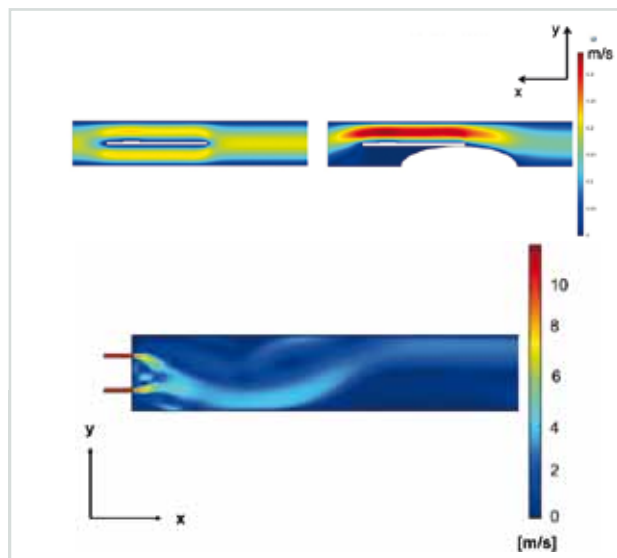


Abb. 3: Strömungssimulationen zur Aufskalierung chemisch abgeschiedener $REBa_2Cu_3O_7$ -Schichten vom Labormaßstab (oben) auf einen kontinuierlichen Reel-to-Reel-Prozess (unten).

Entwicklung von HTS-Leitern

HTS-Roebel-Kabel: Im Arbeitspaket Magnetentwicklung des EU-Projekts EuCARD² fokussierte der Bereich SUPRA des ITEP auf eine verbesserte Herstellung der HTS-Roebel-Kabel mithilfe der Punch & Coat (P&C)-Methode sowie auf die Herstellung von fünf bis sechs Meter langen Kabeln für Dipol-Testwicklungen bei CERN. Dabei erwies sich das P&C-Verfahren als erfolgreich und wurde als Standardverfahren für ein stabiles Verhalten der Strands im Kabel festgeschrieben. Das Team präparierte sowohl Stahl-Dummy-Kabel als auch Roebel-Kabel bis sechs Meter Länge für Testwicklungen bei CERN (aligned Block Design) sowie bei CEA Saclay (Cosinus-Theta-Design). Die Überführung des Roebel-Kabels in die Cosinus-Theta-Geometrie zwingt das Kabel in eine äußerst komplexe Biegung. Das Verhalten des Kabels in einer solchen Biegung wurde am KIT durch Messungen des Transportstroms untersucht. Dabei waren keinerlei Degradationen festzustellen. Durch die effektivere Strandkopplung im Biege-/Twistzustand ergaben sich sogar erhöhte Ströme.

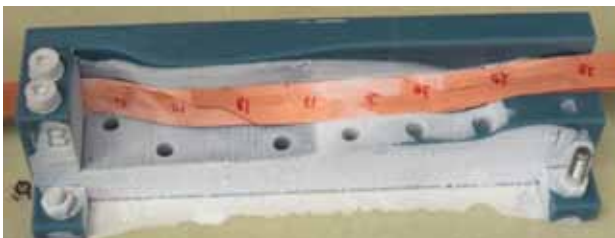


Abb. 4: Roebel-Kabel mit aufgezwungener Torsion für Cosinus-Theta-Dipolwicklung (Design CEA Saclay).

Das Verhalten der Roebel-Kabel in der Aligned-Block-Geometrie des CERN wurde dort in Wicklungen des innersten HTS-Dipolmagneten untersucht. Dazu wurde ein innovatives Quenchmessverfahren eingesetzt, mit dem sich der Quenchfall ausreichend schnell detektieren ließ. Somit war ein stabiler Betrieb des Magneten mit einer Reihe von Quenchereignissen ohne jegliche Degradation des Kabels möglich. Durch Absenken der Betriebstemperatur des Kabels auf 30 K wurde ein Magnetstrom von >12 kA beaufschlagt.

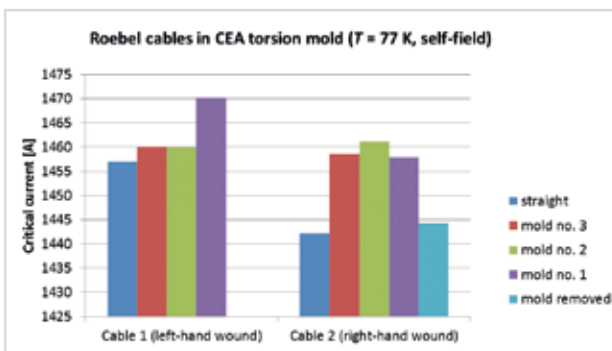


Abb. 5: Stromerhöhung im HTS-Roebel-Kabel bei unterschiedlich aufgezwungener Torsionsbiegung.

Energetische Anwendungen

Induktiver supraleitender Strombegrenzer (Projekt SmartCoil): Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts SmartCoil untersuchte der Bereich SUPRA verschiedene industrielle REBCO-Bandleiter auf ihre Eignung für

den Strombegrenzer und erfragte ihre Konfektionierung für diese Anwendung. Weiterhin arbeitete das Team erfolgreich an Design, Konstruktion und Funktionstest einer Komponente mit einer HTS-Bandleiter-Wicklung. In das Design flossen Erkenntnisse aus der Modellierung der AC-Verluste ein (siehe Modellierung).

HTS-DC-Generator für Windenergieanlagen

Beim Einsatz supraleitender Generatoren in Windenergieanlagen stellt sich die Frage nach AC- oder DC-Konzept, da Windparks häufig in DC-Technik vernetzt und/oder an den Netzeinspeisepunkt geführt werden. SUPRA führte Designstudien zu einem HTS-DC-Generator aus und verglich dabei vor allem zwei verschiedene Konzepte für die Rotorwicklung: ein Lagenwickelschema mit gleichmäßiger Verteilung der Windungen sowie einen konzentrischen Aufbau (bezogen auf Statorwicklung) aus einzelnen Wicklungen als Alternative. Die beiden Konzepte sind in den Abbildungen 6 und 7 schematisch dargestellt. Anders als bei der Präsenz eines Eisenkerns lässt sich im Luftspalt der konzentrischen Wicklungen kein magnetischer Fluss bündeln, wodurch der effektive Windungsfaktor bei diesem Ansatz deutlich kleiner ist. Zudem ist das Drehmoment nur noch 87 Prozent. Bei Generatoren voller Größe bietet das konzentrische Design jedoch erhebliche fertigungstechnische und ökonomische Vorteile: Die Aufteilung in Einzelspulen ermöglicht ein modulares Design, wodurch sich die benötigten Einzelleiterlängen für die Einzelspulen reduzieren, was wiederum deren Fertigung wesent-

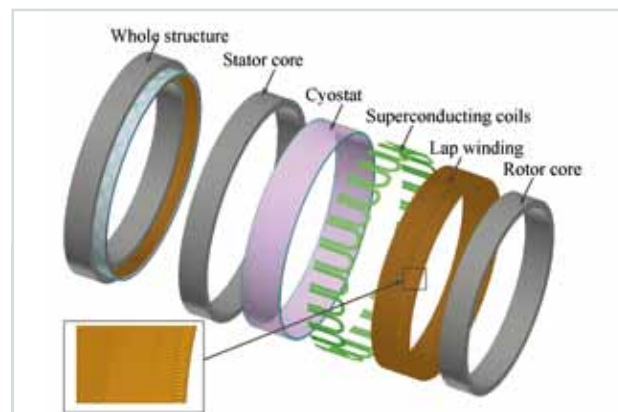


Abb. 6: Struktur des HTS-DC-Generators mit einer Doppelschicht-Lagenwicklung im Rotor (Kollektor und Bürsten sind nicht abgebildet).

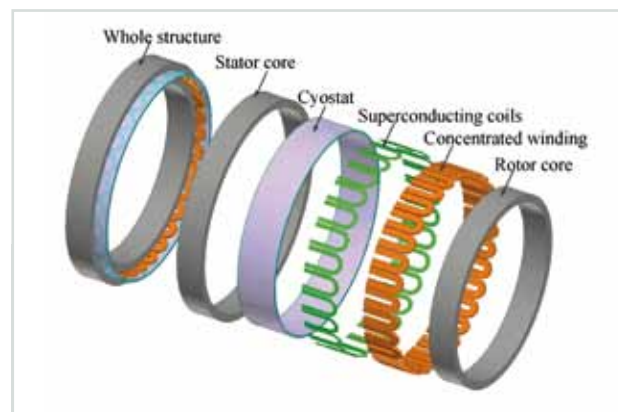


Abb. 7: Struktur des HTS-DC-Generators mit konzentrisch gewickeltem Rotor (Kollektor und Bürsten sind nicht abgebildet).

lich vereinfacht. Insofern stellt diese Variante in der praktischen Umsetzung eine ausgesprochen attraktive und ökonomische Lösung dar.

Modellierung und AC-Verluste von HTS

Wechselstromverluste in REBCO-Bandleitern lassen sich durch Anbringen einer Filamentstruktur (lasergebranntes Rillennmuster) effektiv reduzieren. SUPRA vermaß die AC-Magnetisierungsverluste an kupferstabilisierten Bandleitern, die sich durch die Zahl von Filamenten sowie die Dicke der Kupferschicht unterscheiden. Die Filamente wurden mit einem Laser hergestellt, sowohl vor als auch nach der Elektroplattierung des Kupfers (SBE- und SAE-Proben). Die SBE-Leiter wurden in enger Kooperation mit dem Bandleiterlieferanten SuperOx gefertigt. Der SAE-Prozess erwies sich als generell effektiver, was die Reduktion der Verluste und die Begrenzung der Filamentkopplung betrifft, besonders bei einer dünnen Kupferstabilisierung ($5\ \mu\text{m}$). Anhand von Elektronenmikroskopie (SEM) und Messung des transversalen Widerstands zwischen den Filamenten wurde die Qualität der Laserspuren charakterisiert. Die Arbeiten zeigen, dass Filamentierung die AC-Verluste reduziert.

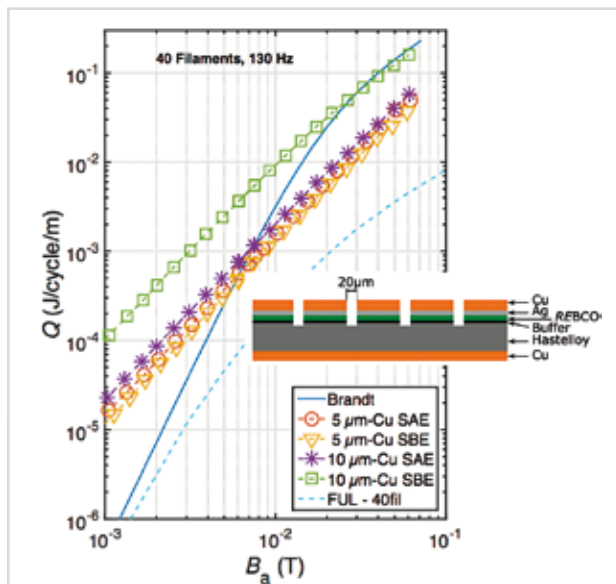


Abb. 8: Wechselstromverluste über der Magnetfeldamplitude von REBCO-Bandleitern mit Filamentstruktur (gebrannt mit Picosec-YAG-Laser).

Kritische Stromdichte: Im Rahmen der Arbeiten zu numerischer Modellierung entwickelte SUPRA eine parameterfreie Methode, um die lokale feld- und winkelabhängige Größe der kritischen Stromdichte $J_c(B_{loc}, \theta)$ aus Messungen der Stromabhängigkeit vom angelegten äußeren Magnetfeld unter variablem Winkel $I_c(B_{applied}, \theta)$ zu extrahieren. Für kleine angelegte Felder (beispielsweise $< 100\ \text{mT}$ für ein einzelnes HTS-Band bei $77\ \text{K}$) sind die beiden Felder unterschiedlich, da das Eigenfeld in den Messungen immer zugegen ist. Die Methode ist schnell (einige Minuten), bedarf keines Eingriffs durch den Anwender (keine vorgegebenen analytischen Formeln) und wurde erfolgreich in den BMWi-Verbundvorhaben SmartCoil (induktiver HTS-Strombegrenzer) und 3S (HTS-Industrie-Hochstromtrasse) eingesetzt.

Permanentmagnete: SUPRA entwickelte ein vollständig gekoppeltes elektromagnetisch-thermisches Modell zur Berechnung des eingefangenen magnetischen Flusses in

Bulk- und Bandstapelproben, die als Permanentmagnete eingesetzt werden. Für die Bandstapel simuliert das Modell alle supraleitenden Schichten in ihrer realen Abmessung ohne jegliche Vereinfachungen. SUPRA verwendete die 2D-Version des Modells, um die optimale Pulssequenz bei der gepulsten Magnetisierung des Bandstapels zu bestimmen. Die Ergebnisse aus der Modellierung unterstützten erfolgreich Experimente an der Universität Cambridge. Kürzlich begann die Ausweitung des Modells auf 3D. Das 3D-Modell wird zur Untersuchung der Magnetisierung gebogener Bandleiterstapel eingesetzt werden.

Modellierung einer DC-Hochstromtrasse aus Bandleiterstapeln:

Im Rahmen des Projekts 3S (industrielle HTS-Bandleiter-Hochstromtrassen) setzte SUPRA ein numerisches Modell ein, um den kritischen Strom eines supraleitenden DC-Busbar-Systems zu berechnen, das letztendlich für ein Aluminiumwerk bestimmt ist. Das Team modellierte und verglich mehrere Konfigurationen, um unter anderem die erforderliche Zahl supraleitender Bänder für den Zielstrom von $20\ \text{kA DC}$ zu bestimmen und diese Zahl zu optimieren.

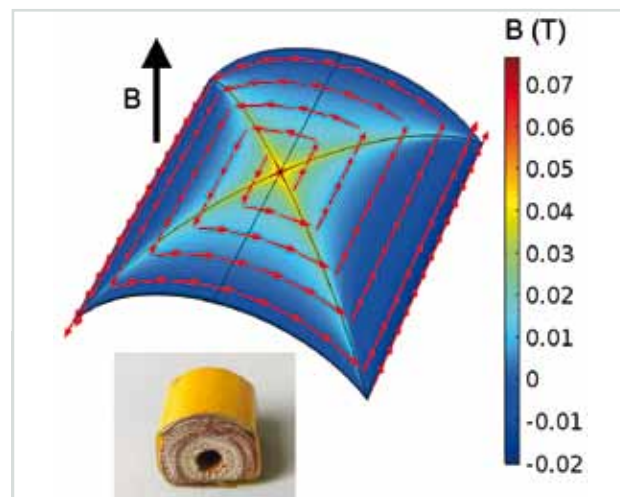


Abb. 9: 3D-Modellierung des magnetischen Flusses eines gekrümmten REBCO-Bandleiterstapels.

Verluste im induktiven Strombegrenzer: Für das Projekt SmartCoil (Siemens, ILK, KIT) modellierte SUPRA die AC-Verluste eines induktiven Strombegrenzers (Shielded Core Type FCL). Die Simulationen führten zu einem optimierten Design mit signifikant reduzierten Verlusten von akzeptablen $75\ \text{W}$ im Betrieb mit dem Designstrom. Vor allem wurde eine kleine Sektion identifiziert, die einen großen Teil – $25\ \text{Prozent}$ – zu den Gesamtverlusten beiträgt. Auf der Basis der Simulationen schlug das Team mehrere praktische Lösungen vor, um die Verluste in dieser Sektion zu reduzieren.

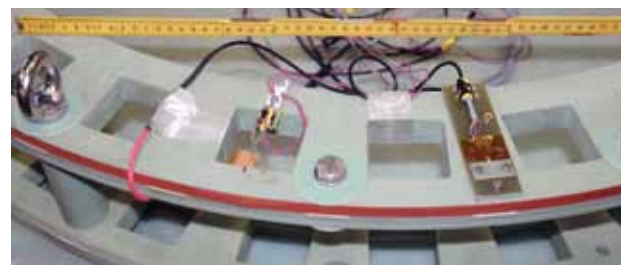


Abb. 10: Komponente des induktiven HTS-Strombegrenzers, Projekt SmartCoil (BMW-PtJ).

Highlight 1: DOble-COre (DOCO)-HTS-Roebel-Kabel

Das HTS-Roebel-Kabel auf Basis der REBCO-Bandleiter hat sich in Beiträgen zum EU-Projekt EuCARD² für den Einsatz in kompakten Magnetwicklungen qualifiziert und in ersten Kalttests bewährt. Für Dipolmagnete in realer Größe sind aus technischen Gründen höhere Ströme und damit größere Kabelquerschnitte gewünscht. Dies lässt sich in gewissen Grenzen durch eine größere Zahl von Strands bei gleichzeitig längerer Transpositionslänge erreichen, wie frühere Arbeiten zeigten (siehe Jahresbericht 2014). Die Verwendung von zwei oder drei Bändern pro Strand jeweils in einem Stapel ist mit Einschränkungen der Biegefähigkeit ebenfalls möglich und wurde bereits demonstriert (siehe Jahresbericht 2013). Solche Upgrade-Methoden verschlechtern jedoch die Wickel- und Biegeeigenschaften des Kabels signifikant. Einen prinzipiellen Ausweg eröffnet die Wahl einer größeren Kabelbreite. Der dazu benötigte Bandleiter ist allerdings industriell oder in anwendbaren Längen noch nicht erhältlich. Ein breiteres Roebel-Kabel bietet einen entsprechend größeren Supraleiteranteil im Querschnitt und dadurch eine höhere Stromtragfähigkeit. Einen Nachteil stellen die auf Strom bezogenen höheren Magnetisierungsverluste dar.

Das von SUPRA neu designte DOCO-Roebel-Kabel (DOble-COre-Kabel) löst dieses Problem: Die Verbreiterung des Roebel-Kabels wird durch die Verseilung einer weiteren Schicht von Strands geeigneter Geometrie über das Grundkabel erreicht. Die Stromaufteilung erfolgt auf eine größere Zahl transponierter Strands. In Abbildung 11 ist das Prinzip für ein teilbestücktes DOCO-Kabel (Stahl-Dummy) im Vergleich zum Standardkabel dargestellt. Das Team SUPRA validierte den Ansatz experimentell durch die Präparation und Vermessung eines Subsize-Kabels (Strandbreite 50 Prozent), bestehend aus einem inneren Kabel von 6 mm Breite und einem äußeren Kabel von 12 mm Breite. Die Herstellung der Strands aus Bandleitern des Herstellers SuperPower erfolgte nicht mit dem Standardstanzverfahren, sondern mithilfe eines präzisen Picosekunden-YAG-Lasers in Längen von ca. 60 Zentimetern. Das Laserschneiden funktioniert zerstörungsfrei und hochpräzise, wie das innere Roebel-Kabel eindrucksvoll demonstriert. Das in diesem Fall extrem homogene zugrunde liegende Bandleitermaterial zeigt nach dem Schneiden in die Meanderform keinerlei Stromeinbußen und nur geringste Schwankungen zwischen den geschnittenen Strands (Transportstrom $105,6 \text{ A} \pm 0,5\%$ bei 77 K), wie Abbildung 12 anhand der U/I-Graphen zeigt. Das DOCO-Kabel beinhaltet damit das homogenste je hergestellte HTS-Roebel-Kabel. In der äußeren Roebel-Lage wirkt sich die übliche Inhomogenität des Bandleitermaterials aus und führt im Mittel zu $58 \text{ A} \pm 7,3\%$ Transportstrom. Aus den gemessenen Daten ergibt sich ein Designstrom des Kabels von 1657 A . Der aufgrund numerischer Modellierung erwartete Strom beträgt 1196 A , entsprechend einer Reduktion von 28 Prozent durch das Eigenfeld des Leiters. An den Stromzuführungen wurde mit 1331 A etwas mehr gemessen, bedingt durch eine höchst effektive Stromumverteilung im Kabel. Abbildung 13 zeigt die modellierte Feldverteilung im Querschnitt des DOCO-Kabels.

Die erfolgreiche Demonstration des DOCO-Roebel-Kabels eröffnet die Möglichkeit, verlustarme HTS-Kabel für große Dipol- und Fusionsmagnete mit $>>20 \text{ kA}$ Betriebsstrom bei Temperaturen von 4 bis 20 K im Hochfeld ($B = 13\text{-}16 \text{ T}$) herzustellen.



Abb. 11: Verseilschema eines DOCO-Kabels, zur Veranschaulichung mit Teilbestückung der äußeren Kabelschicht (oben) sowie des Standardkabels (unten).

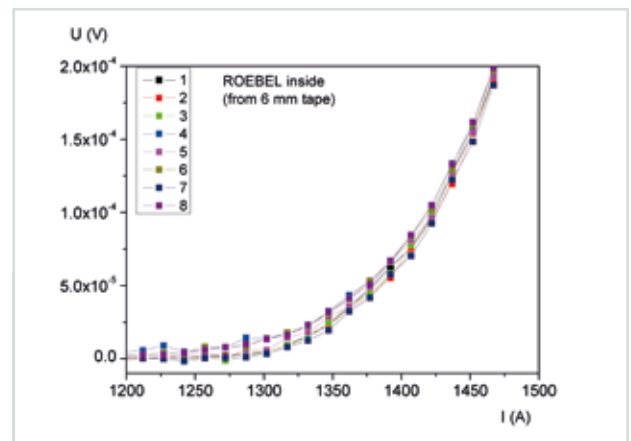


Abb. 12: U/I-Verhalten der acht Strands des inneren Roebel-Kabels bei Vermessung des Gesamtkabels.

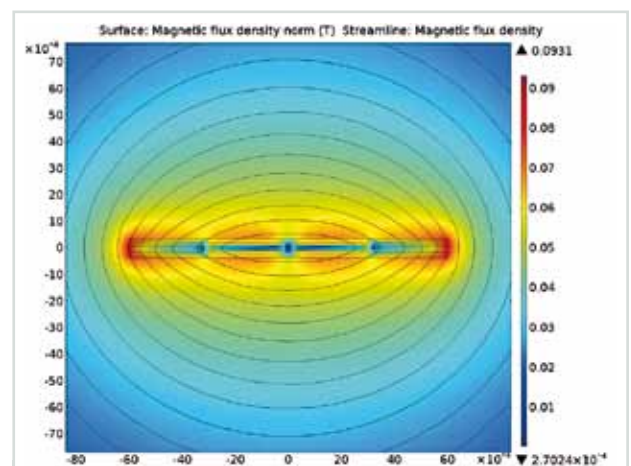


Abb. 13: Numerische Modellierung der Eigenfeldverteilung im Querschnitt des DOCO-Kabels.

Highlight 2: Supraleitender Transformator mit Begrenzung von Kurzschlussströmen

Zur effektiven Begrenzung von Kurzschlussströmen in Verteil- und Übertragungsstromnetzen sind viele technische Lösungen verfügbar. Eine der innovativsten Lösungen bilden auf HTS-Materialien basierende supraleitende Strombegrenzer, die sich nach dem Begrenzungsfall selbstständig erholen. Bisher wurden Strombegrenzer hauptsächlich als selbstständige Komponenten in resistiver und induktiver Auslegung und Funktionsweise entwickelt und demonstriert. Die Funktion wird in entsprechender Auslegung jedoch zunehmend auch in Komponenten wie Transformatoren und Kabel integriert.

Auf der Grundlage eines bereits im Jahresbericht 2013 des ITEP beschriebenen Verfahrens erarbeitete SUPRA nun ein valides und realisierbares Konzept für einen kurzschlussstrombegrenzenden Transformator der 1-MVA-Klasse. Das Team achtete dabei besonders auf die elektro- und kryotechnische Umsetzbarkeit der einzelnen Transformatorbestandteile, die nicht immer mit einer hinsichtlich der Strombegrenzung erstrebenswerten Auslegung einhergeht.

Basierend auf der Auslegung des supraleitenden Transformators, fertigte SUPRA einzelne Komponenten und nahm Untersuchungen zur Verifizierung und zur Verbesserung des Auslegungsverfahrens und der verwendeten transienten Simulationsmodelle vor. Weiterhin führte das Team Experimente zu den im erarbeiteten Transformator-Konzept verwendeten Supraleitermaterialien durch. Diese betrafen die Anordnung von Leitern in Leiterverbänden, die Stapelung von Leitern sowie das Quench- und Recovery-Verhalten der jeweiligen Leiterkonfigurationen.

Der erarbeitete Transformator hat eine Leistung von ca. 600 kVA und besteht aus einer normalleitenden Primärwicklung, die bei 20 kV betrieben wird, einem Eisenkern und einer supraleitenden Sekundärwicklung bei 1 kV (Abbildung 14). Dabei handelt es sich beim Eisenkern, der Primärwicklung sowie weiteren Komponenten um konventionelle Transformatorbauteile, wie sie auch in herkömmlichen Transformatoren der gleichen Leistungsklasse eingesetzt werden. Die supraleitende Sekundärwicklung wird bei 77,3 K in flüssigem Stickstoff betrieben und ist dazu von einem speziellen dünnwandigen und vakuumisolierten GFK-Kryostaten umgeben. Die Wicklung wurde komplett an einer eigens eingerichteten automatischen Wickelvorrichtung im ITEP hergestellt. Das Design des Transformators und des Kryostaten erlaubt es, alle Bestandteile außer der Sekundärwicklung bei Raumtemperatur zu betreiben und damit den Kühlaufwand auf ein Minimum zu reduzieren.

Seit Oktober 2016 ist der Transformator komplett aufgebaut und instrumentiert und steht für die Vermessung 2017 bereit. Der Messplan beinhaltet unter ande-

rem die Bestimmung grundlegender Transformatorparameter, des Strombegrenzungsverhaltens sowie des Verhaltens des Transformators nach der erfolgreichen Begrenzung eines Kurzschlussstroms.

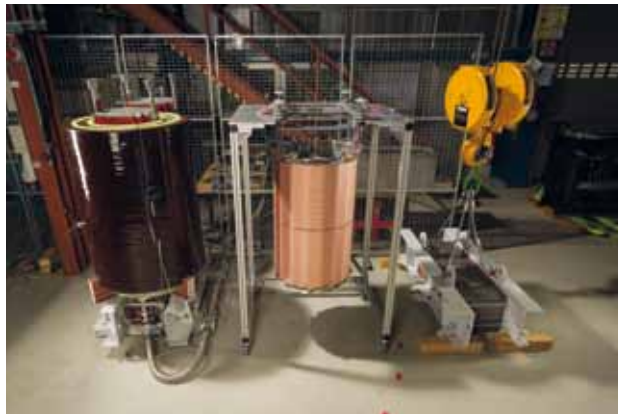


Abb. 14: Komponenten des supraleitenden Transformators – links die konventionelle Primärwicklung aus Kupfer, in der Mitte die Supraleiter-Sekundärspule aus REBCO-Bandleiter, rechts das Oberteil des Eisenjochs.



Abb. 15: Oberseite der supraleitenden Wicklung mit Anschlüssen und Sensorik, beispielsweise Rogowski-Spulen zur Strommessung.



Abb. 16: Blick auf die supraleitende Wicklung. Die spezielle Nutung des Wickelkörpers sorgt für Stabilität bei der thermischen Ausdehnung des Bandleiters im Strombegrenzungsfall.



Nachwuchswissenschaftler betreiben mehrere Standard-Analytiksysteme (Raman-System, Infrarotspektrometer, Quadrupolmassenspektrometer) im TLK.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Tritiumlabor Karlsruhe

Leitung: Dr. Beate Bornschein

Das Tritiumlabor Karlsruhe ist ein in Europa und Amerika einzigartiges Halbleitertechnikum mit einer Umgangsgenehmigung für 40 g ($1,5 \cdot 10^{16}$ Bq) Tritium, 100 kg abgereichertes Uran sowie Rubidium und Krypton als Prüfstrahler zu Kalibrierzwecken. Auf einer Experimentierfläche von mehr als 1 100 Quadratmetern stehen mehr als 20 Handschuhkastensysteme mit einem Volumen für die tritiumführenden Versuchsapparaturen zur Verfügung. Gründungsaufgabe und erster Arbeitsschwerpunkt des TLK ist die Entwicklung von Technologien für den Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren. Der zweite umfangreiche Arbeitsschwerpunkt liegt auf dem Aufbau und dem Betrieb wesentlicher Systeme des Karlsruher Tritium Neutrino Experiments KATRIN zur Messung der Ruhemasse des Elektronantineutrinos. Demgemäß werden die Arbeiten zu gleichen Teilen innerhalb der Programme „Fusion“ (FUSION) sowie „Materie und Universum“ (MU) gefördert.

Wissenschaftlicher Nachwuchs ist für die Zukunft des TLK äußerst wichtig. In den vergangenen Jahren hat das TLK daher in Zusammenarbeit mit IEKP, IFRT, ITTK und ITVT interessante Forschungsarbeiten vergeben und damit vermehrt Studierende und Doktoranden an sich gebunden (siehe Tabelle 1). Dem TLK liegt viel daran, den jungen Menschen eine hervorragende und ausgewogene Ausbildung zukommen zu lassen, die neben den fachlich-wissenschaftlichen Inhalten auch die heute zunehmend gefragten Soft Skills umfasst.

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------------|------|------|------|------|------|
| Bachelor | 12 | 9 | 13 | 10 | 2 |
| Diplom/Master | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| Promotion | 10 | 11 | 10 | 11 | 9 |

Tabelle 1: Abgeschlossene und laufende Arbeiten im TLK.

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

Betrieb und Infrastruktur des TLK

Auch 2016 lag der primäre Schwerpunkt der Arbeiten der drei TLK-Betriebsgruppen Mess- und Automatisierungstechnik (MAT), Haustechnik, Dokumentation und Tritiumbilanzierung (HDT) sowie Tritiumverfahrenstechnik (TVT) auf der Gewährleistung eines genehmigungskonformen, zuverlässigen und sicheren Betriebs, basie-

rend auf dem aktuellen Stand der Technik. Neben dem bereits äußerst effektiv organisierten Strahlenschutz nimmt der Arbeits- und Unfallschutz immer mehr Raum ein. Grund sind die durch das Großexperiment KATRIN bedingten Herausforderungen des vermehrten Einsatzes von technischem Personal und der Erzeugung starker Magnetfelder. Zudem hat sich der Prüfbedarf für elektrische Einrichtungen drastisch erhöht.

Ein weiterer betrieblicher Arbeitsschwerpunkt, der zunehmend an Bedeutung gewinnt, liegt auf der gruppenübergreifenden Unterstützung der innerhalb der Programme FUSION und MU im TLK laufenden F&E-Arbeiten. Die TLK-Betriebsgruppen unterstützen die Experimentatoren, häufig junge Studierende, die ihre Forschungsarbeiten im TLK durchführen und naturgemäß anfangs keine Erfahrung im Umgang mit Tritium haben, bei der Umsetzung der Messaufgabe in eine zuverlässige und sicher funktionierende Versuchseinrichtung und stellen die notwendigen Sicherheitseinrichtungen und Hilfsysteme zur Verfügung. Dies beginnt mit einer sorgfältigen Realisierungs- und Sicherheitsstudie mit Budgetplanung und schließt in der Regel mit einer erfolgreichen Inbetriebnahme der Versuchseinrichtung mit Tritium ab. Danach werden die Anlagen wiederkehrend geprüft und, falls notwendig, mit dafür speziell geschultem Personal Interventionen durchgeführt. Mittel- und langfristig wird das TLK diese Unterstützung ausbauen und um Schulungsmaßnahmen ergänzen. Im Berichtszeitraum durchgeführte Unterstützungsmaßnahmen waren:

- Hilfe bei der Ressourcenplanung
- Kritisches Feedback bei Sicherheitsbetrachtungen
- Verfahrens- und leittechnische Realisierung
- Konstruktionsunterstützung
- Fertigungsbegleitung

Im Fokus der Aufmerksamkeit standen die folgenden Experimentiereinrichtungen:

- Tritium Absorption IR-Spectroscopy 2 (TA_{PIR} 2)
- Tritium-Hydrogen-Deuterium Loop (TriHyDe)
- ZEolite Membranes for Tritium Experiments (ZEMTE_x)
- Multi Nozzle Vacuum Sieve Tray (MNVST)

Die genannten Maßnahmen erweisen sich als zunehmend essenziell für die erfolgreiche Realisierung von experimentellen F&E-Arbeiten im TLK.

Das Genehmigungsverfahren für die durch KATRIN bedingte Erhöhung des zulässigen gasförmigen Tritiuminventars wurde fortgesetzt. Aufgrund neuerer Erkenntnisse zur Tritiumemission mussten neue Störfallbetrachtungen seitens des TLK durchgeführt werden.

Die TVT-Gruppe führte neben den bereits beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen zusätzlich forschungsbedingte Umbaumaßnahmen an Handschuhboxen

durch. Diese waren erforderlich, um die Experimentier-einrichtungen ZEMTE_x und SNVST in die zweiten Hüllen von CAPER und TIDE einbauen zu können. Besonders die Modifikation der tritiumkontaminierten CAPER-Box brachte einen äußerst hohen Planungs- und Arbeitsaufwand mit sich. Abbildung 1 zeigt das beteiligte TVT-Team nach erfolgreichem Umbau der CAPER-Box.

Hauptaufgaben der TVT-Gruppe sind jedoch weiterhin der langfristige zuverlässige Betrieb der Tritiuminfrastruktur sowie die Wartung und die wiederkehrenden Prüfungen aller zweiten Hüllen. Spezielle Probleme der Tritiumtechnologie bestehen in der nicht gewährleisteten langfristigen Verfügbarkeit ihrer hochspezialisierten Komponenten sowie in den hohen Kosten für diese Komponenten. Deshalb führte die Gruppe erstmals an einer Normetex Spiraltaumelpumpe, die nach langjährigem Tritiumbetrieb versagte, in der Reparaturhandschuhbox eine erfolgreiche Fehleranalyse durch und begann mit ihrer Reparatur. Dazu setzte sie selbstgebaute Werkzeuge und Standardkomponenten ein. Dies war auch deshalb notwendig, weil die Firma Normetex die Produktion dieses für das TLK unverzichtbaren Pumpentyps eingestellt hat. Aus dem gleichen Grund startete eine Kooperation mit einem amerikanischen Pumpenhersteller, der diesen Pumpentyp weiterbauen will. Zusätzlich nahm die Gruppe Tests mit dem selbstgebauten modularen Tritiumrückhaltesystem (TRS) vor und begann mit der kälte-technischen Erneuerung aller Bestands-TRS. Für die ausgesprochen teure Sauerstoffregelung der inertisierbaren Handschuhboxen testete sie erfolgreich eine selbstentwickelte Alternative. Die Kostenersparnis beträgt 80 Prozent; zugleich ist die Zuverlässigkeit deutlich erhöht.

Die MAT-Gruppe unterstützte auch 2016 den Betrieb und die Forschung durch zahlreiche Maßnahmen in den Bereichen Softwareentwicklung (PCS7-Systeme), elektrotechnische Planung, Instandhaltung und -setzung sowie Durchführung wiederkehrender Prüfungen an sicherheitstechnisch wichtigen Sensoren und Ablaufsteuerungen. So führte die Gruppe die Migration der lokalen Leitsysteme von CAPER, TRENTA, ISS-DGC und TriTop von PCS7 V8.0 SP2 nach PCS7 V8.2 erfolgreich durch. Für TriHyDe erfolgten die elektrotechnische Planung, Bestückung und Verdrahtung der benötigten Schaltschränke sowie die Erstellung von PCS7 Bausteinen. Für ZEMTE_x wurde mit der Softwareentwicklung begonnen. Breite Unterstützung fand auch das KATRIN Rear System durch PCS7-Softwareerstellung, Loopchecks und Erweiterung der Bibliothek mit Steuer- und Visualisierungsbausteinen einschließlich deren Online-Dokumentation. All diese Arbeiten erfolgten unter strenger Einhaltung der TLK-Sicherheitsvorgaben.

Die HDT-Gruppe gewährleistete den kontinuierlichen Betrieb der Haustechnik sowie der sicherheitstechnisch wichtigen Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), zur Kälteversorgung, zur Brandfrüherkennung sowie zum Objektschutz. Die behördlich geforderte Dokumentation und Qualitätssicherung wurde fortlaufend aktualisiert; die Experimentatoren wurden auf diesem Gebiet beraten. Zudem wurden weitergehende Maßnahmen zum Arbeitsschutz eingeführt und der Zugang von Fremdpersonal im Rahmen des Projekts KATRIN optimiert. Ein Beispiel ist die Realisierung eines Magnetfeldsicherheitskonzepts mit Unterweisung, Kontrollmaßnahmen, Absperrvorrichtungen, Magnetfeldsonden und Warnleuchten.



Abb. 1: Ein Teil der TVT-Mannschaft nach erfolgreicher Intervention an der CAPER-Box.

Bedingt durch die zunehmend notwendige Präsenz von Fremdpersonal wurde ein neues Zugangskontroll- und Schließsystem entwickelt und installiert. Dieses erlaubt zeit- und personenabhängig den Zutritt zu bestimmten Arbeitsbereichen im TLK und wird 2017 in Betrieb gehen. Weitere Aktionen waren die Inbetriebnahme und technische Abnahme einer neuen Elektrohauptverteilung, der Ersatz und die erfolgreiche Inbetriebnahme von USV-Anlage und USV-Hauptverteilung in einer noch stabileren, dreiphasigen Ausführung neuesten Standards sowie die vollständige Erneuerung der Brandmeldeeinrichtungen für die Gebäude im Verantwortungsbereich des TLK.

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 (beispielsweise. HTO) ist eine notwendige Voraussetzung für den Umgang mit Tritium und stellt hohe Ansprüche an Experimentatoren und Ausrüstung. Wegen der großen Bedeutung der Analytik für das TLK werden die F&E-Arbeiten programm- und gruppenübergreifend koordiniert und vor allem im Rahmen von studentischen Abschlussarbeiten durchgeführt. 2016 konzentrierten sich die F&E-Arbeiten auf folgende Gebiete:

- Weiterentwicklung der Laser-Ramanspektroskopie an gasförmigen tritiierten Wasserstoffisotopologen, mit Schwerpunkt auf der Entwicklung der Kapillar-Raman-Methode.
- Messung von molekularen (Wasserstoff-)Dimeren. Dimere sind besonders bei der Diskussion der systematischen Unsicherheiten im KATRIN-Experiment von Bedeutung.

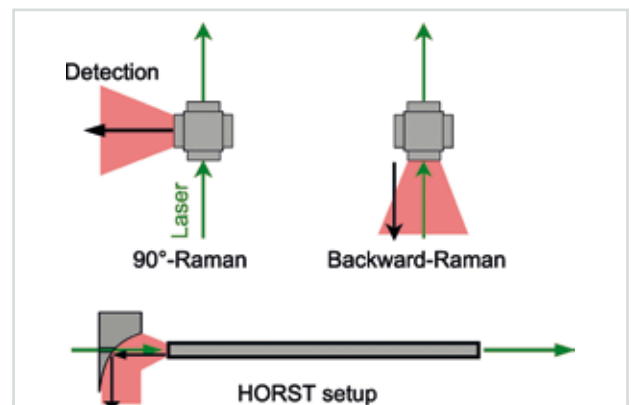


Abb. 2: Drei mögliche Varianten zur Detektion von Raman-Licht.

Parallel zu den reinen F&E-Arbeiten wurden Kalorimeter, Ionisationskammern und Gaschromatographen sowie bestehende Kalibrierverfahren weiter optimiert. Die genannten Instrumente werden standardmäßig genutzt, bilden das Rückgrat der Analytik im TLK und müssen immer einsatzbereit sein.

Weiterentwicklung und Fortschritte bei der Ramanspektroskopie

Die Ramanspektroskopie ist eine der flexibelsten Messmethoden, über die das TLK derzeit verfügt. Speziell die Möglichkeit zur gleichzeitigen Messung der chemischen und ortho-para Zusammensetzung von Wasserstoffproben ist ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal und für verschiedenste Experimente relevant, wie beispielsweise KATRIN. Daher wurde 2016 ein weiteres LARA-System mit dem bewährten 90°-Aufbau realisiert (Abbildung 2 oben links). Bei dieser Version wird ein Laserstrahl durch eine Raman-Zelle geleitet. Das gestreute Raman-Licht wird in einem Winkel von 90° zum einfallenden Laserstrahl detektiert und anschließend mit der Software LARASoft analysiert.

Des Weiteren befindet sich ein neues System in der finalen Entwicklungsphase, bei dem die Probe und der Laserstrahl durch eine dünne Kapillare (Innendurchmesser zwei Millimeter) geleitet werden (Abbildung 2 unten). Die Innenseite der Kapillare ist verspiegelt, wodurch das Raman-Signal aufgrund von Mehrfachreflexionen erhöht wird. Die Erhöhung des Raman-Signals bei gleichbleibendem Rauschen des Untergrunds (Fluktuationen des Spektrums aufgrund von Störsignalen) führt zu einer Erhöhung der Sensitivität um mindestens eine Größenordnung gegenüber dem aktuell am TLK verwendeten LARA-System. Dank der höheren Sensitivität lassen sich Gasproben mit geringen Drücken oder Spuren im Gasgemisch (bis $6,4 \cdot 10^{-3}$ mbar) nachweisen, was die Analytik am TLK vorantreibt. Derzeit befindet sich der erste tritiumkompatible Prototyp in der Fertigung, sodass 2017 die ersten Tritiummessungen mit diesem System zu erwarten sind.

Molekulare Dimere bei KATRIN

Die im Experiment KATRIN angestrebte Sensitivität lässt sich nur erreichen, wenn viele technische und physikalische Unsicherheiten auf einem bisher unerreichten Niveau verstanden sind. Eine dieser Unsicherheiten ist die Bildung von molekularen Clustern aus zwei Wasserstoffmolekülen (Dimere) bei tiefen Temperaturen. Die Existenz dieser Dimere ist zwar dokumentiert, jedoch gibt es keine systematischen Untersuchungen, welche die absolute Zahl solcher Dimere abhängig von Temperatur und Druck des Gases erforschen. Derzeit wird davon ausgegangen, dass diese Dimere auf zweierlei Arten zur systematischen Unsicherheit des Experiments KATRIN beitragen können: zum einen durch die doppelte Masse im Vergleich zum einzelnen Molekül und zum anderen durch die Struktur der Dimere. Durch die doppelte Masse wird die Rückstoßenergie beim β -Zerfall des Tritiums im Vergleich zum molekularen Zerfall halbiert. Dies beeinflusst die Energie des zu messenden Elektrons und damit die Form des Energiespektrums, aus dem am Ende des Experiments die Neutrinomasse bestimmt werden soll. Daher ist es wichtig zu wissen, welcher Anteil von Molekülen als Dimere vorliegt, um diesen systematischen Einfluss korrekt in der Auswertung der Ergebnisse von KATRIN berücksichtigen zu können.

Um den absoluten Anteil an Dimeren zu erforschen, begannen Forscher am TLK 2016 mit systematischen Untersuchungen der Druck- und Temperaturabhängigkeit. Dafür setzen sie die IR-Absorptionsspektroskopie ein. Erste Daten zeigen bereits, dass zumindest im Fall von Deuterium bei KATRIN-typischen Temperaturen Dimere zu erwarten sind. Die genauen Auswirkungen sind noch zu untersuchen.

Zusätzlich trägt die Struktur der Dimere zur Unsicherheit bei. Um diese Struktur zu untersuchen, ist die Raman-Spektroskopie besser geeignet. Jedoch ist bisher kein Raman-System verfügbar, mit dem es möglich ist, Wasserstoffproben bei tiefen Temperaturen zu untersuchen. Daher wurde mit der Entwicklung eines entsprechenden Systems begonnen. Die größte Herausforderung besteht darin, dass im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Aufbauten (Abbildung 2 oben links) das Raman-Licht in entgegengesetzter Richtung zum Laserstrahl aufgesammelt werden muss, da in der kryogenen Messzelle kein Platz für ein um 90° versetztes Fenster vorhanden ist. Dies bedeutet, dass Fluoreszenzlicht, welches vom Laser in den Fenstern erzeugt wird, gemeinsam mit dem Raman-Licht höchst effizient aufgesammelt wird und damit der so wichtige Parameter des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses deutlich schlechter als bei bisherigen Systemen ausfällt. An einem ersten Testaufbau zeigten die Wissenschaftler 2016, dass es ihnen dennoch möglich sein wird, die Wasserstoffproben bei tiefen Temperaturen zu untersuchen.

Blanket- und Tritiumtechnologie

Die zukünftigen Fusionsreaktoren, die mit einer Brennstoffmischung aus Deuterium und Tritium betrieben werden sollen, benötigen sogenannte Blankets, auch Brutblankets (BB) genannt, in denen das Tritium durch eine Kernreaktion aus Lithium erzeugt wird. Dazu werden Neutronen verwendet, die aus dem eigentlichen Fusionsprozess stammen. Der im Blanket erzeugte Brennstoff Tritium muss möglichst schnell und vollständig aus dem Blanket gewonnen und dann dem Fusionsprozess zur Verfügung gestellt werden. Dazu wird das Tritium mithilfe eines Spülgases aus dem Blanket extrahiert.

Da sich die aktuell für die ITER-Testblanketmodule (TBM) verfolgten Konzepte nicht auf das wesentlich größere DEMO-Blanket übertragen lassen, sind neue Konzepte für die Extraktion des Tritiums aus dem Blanket gefragt. Aufgrund des großen Unterschieds zwischen den ITER-TBM und den DEMO-BB sowie der Notwendigkeit, den Durchsatz des Tritium-Extraktions-System (TES) um einen Faktor 1 000 im Vergleich zu ITER zu erhöhen, ist es bei der Konzeptionierung der fortgeschrittenen Prozesse unabdingbar, den Energieverbrauch, den Platzbedarf und das Tritiuminventar zu minimieren. Deshalb setzt das TLK bei seinen F&E-Vorhaben einerseits weiterhin auf fortgeschrittene Membranprozesse für feste Brutblankets und hat andererseits ein komplett neues F&E-Vorhaben für fortgeschrittene Tritiumextraktionstechniken im Bereich der flüssigen Blankets gestartet. Es handelt sich hier um das sogenannte Vacuum-Sieve-Tray-Verfahren, das weltweit erstmals im TLK mit Tritium realisiert werden soll. Aufgrund der technischen Komplexität, der relativ hohen Kosten für Tritiumexperimente sowie der Unerfahrenheit am TLK im Umgang mit flüssigen Metallen bei hohen Temperaturen (bis zu 450 °C) wurde entschieden, als Zwischenschritt in einem vorläufigen Aufbau nur mit Deuterium zu arbeiten.

Highlight 2016: Blanket- und Tritiumtechnologien

Zukünftige Fusionsreaktoren werden ihre Energie aus der Fusion von Deuterium (D) mit Tritium (T) erzeugen. Aufgrund seiner begrenzten Verfügbarkeit muss Tritium in einem sogenannten Brutblanket, das die Plasmakammer des Reaktors umschließt, erbrütet werden, um dann anschließend ins Plasma eingespeist zu werden. Für die Tritiumerbrütung wird Lithium mit Neutronen beschossen. Derzeit untersuchen Forscher unterschiedliche Konzepte für das Brutblanket, wobei zwei Gruppen zu unterscheiden sind: feste Blankets (beispielsweise Lithium-Keramik) und flüssige Blankets (flüssiges, eutektisches Blei-Lithium, Pb-16Li).

Während der Experimentalreaktor ITER die Machbarkeit der Tritiumerbrütung demonstrieren soll, indem verschiedene Testblanketmodule (TBM) getestet werden, soll das Demonstrationskraftwerk DEMO beweisen, dass in zukünftigen Fusionskraftwerken die Selbstversorgung mit Tritium gewährleistet ist. Dazu gehört nicht nur die effektive Produktion von Tritium, sondern auch eine zuverlässige und effiziente Technologie, das Tritium zurückzugewinnen; sei es aus einem Gas, das durch ein festes Blanket strömt, oder aus flüssigem Pb-16Li. Darüber hinaus stellen Extraktion und Rückgewinnung von Tritium eine wichtige Schlüsseltechnologie dar, bei der das Tritiuminventar minimiert werden muss und bei der zugleich viele Sicherheitsbestimmungen erfüllt sein müssen.

Tritiumextraktion aus Heliumspülgas unter Verwendung von Zeolith-Membranen

Anorganische Zeolith-Membranen besitzen den entscheidenden Vorteil, dass sie nicht nur einfach zu skalieren, sondern auch tritiumkompatibel sind. Das TLK sieht dieses Verfahren als neuesten Stand der Technik an, um Q_2 ($Q=H, D, T$) aus dem Spülgas (99,9 Prozent He, 0,1 Prozent H_2 , Spuren von HT und HTO) fester Blankets (wie Li_4SiO_4) zurückzugewinnen. Vorläufige Studien zeigen, dass NaA und MFI-ZSM5 Zeolith-Membranen unter Berücksichtigung ihres Permeationsvermögens, das bereits experimentell überprüft wurde, und ihres Separationsfaktors für binäre Mischungen von H_2/He und H_2O/He besonders geeignet sind.

Um das Tritiuminventar zu minimieren und das Ziel der eigenständigen Deckung des Brennstoffbedarfs (tritium self-sufficiency) zu erreichen, ist es bei DEMO erforderlich, 90 Prozent des im Spülgas befindlichen Tritiums zurückzugewinnen und die Konzentration des Tritiums im Permeat um einen Faktor 20 zu erhöhen. Um solche Anforderungen zu können, bedarf es einer Kaskade an hintereinander geschalteten Membranen. Daher wurde, basierend auf experimentellen Daten, ein Rechenprogramm entwickelt, um solche Membrankaskaden zu errechnen und zu optimieren.

Um die Zuverlässigkeit einer solchen neuen Technologie im Umgang mit Tritium zu überprüfen, wurde ein Experiment entwickelt, mit dem sich das Verhalten von MFI-ZSM5 Zeolithen mit tritiierten Mischungen untersuchen lässt. Der Aufbau des Experimentes (ZEMTEx: Zeolith Membranes for Tritium Experiments) wird aktuell in die bereits bestehende CAPER C Anlage integriert (Abbildung 3). In einem ersten Schritt werden Permeationsexperimente mit trockenen Mischungen (nur Q_2/He)

durchgeführt, in einem zweiten Schritt auch mit Wasser. Dieses einzigartige Experiment wird es ermöglichen, Isotopieeffekte und Membranalterung aufgrund von Strahlung zu erforschen.

Tritiumextraktion aus Pb-16Li mithilfe von Siebböden (Vacuum Sieve Tray – VST)

Die Extraktion vom Tritium aus flüssigem Pb-16Li wird im Rahmen der F&E-Arbeiten zu flüssigen Brutblankets (wie heliumgekühltes Blei-Lithium, wassergekühltes Blei-Lithium und Dual Coolant Blei-Lithium) untersucht. Die Methode der Vakuum-Siebböden (Vacuum Sieve Tray – VST) ist eine neue und vielversprechende Technologie, bei der eine Anordnung von Düsen das zentrale Element bildet. Das Funktionsprinzip besteht darin, dass ein Strahl aus flüssigem Metall aus einer oberen Kammer durch mehrere Düsen mit submillimetergroßem Durchmesser in Richtung einer unteren, evakuierten Kammer strömt (Abbildung 4). Der anfangs fließende Strahl aus flüssigem Metall teilt sich schnell in einzelne Tröpfchen auf. Diese Tröpfchen besitzen eine hochfrequente Oszillation (bis zu 200 Hz). Durch diese Oszillationen wird aktuell die Verbesserung des Massentransports erklärt, die bei experimentellen Untersuchungen an der Kyoto Universität in Japan nachgewiesen wurde. Damit ist die VST-Methode ein ausgesprochen guter Kandidat.

Die berechnete Effizienz der Extraktion ist stark korreliert mit der Fallzeit der Tröpfchen. Die Fallzeit wiederum hängt von der Geometrie der gesamten Apparatur ab (beispielsweise Fallhöhe, Durchmesser der Kammern, Düsendurchmesser und -länge). Zudem hängt die Fallzeit auch von der Temperatur ab, da diese die Viskosität und somit den Druckverlust beeinflusst. 2016 wurde eine Simulationssoftware geschrieben, mit der alle Abhängigkeiten sich berechnen und mit der sich sämtliche Experimente mit nur einer einzelnen Düse nachrechnen lassen. Dieser Programmcode, dessen Hauptstärke eine genaue Berechnung des Druckverlusts ist, wurde verwendet, um die beiden am TLK entwickelten Experimente zu optimieren. Darüber hinaus lässt sich der Programmcode auch für eine erste Abschätzung zur Skalierung von DEMO einsetzen.

Um die VST-Technologie auf die Anforderungen der DEMO-Brutblankets zu skalieren, werden hohe Pb-16Li Flussraten benötigt (die Pb-16Li Flussrate wird beispielsweise derzeit auf bis zu $1\,000\text{ kg s}^{-1}$ für das HCLL-Konzept geschätzt). Daher soll in einem nächsten techni-

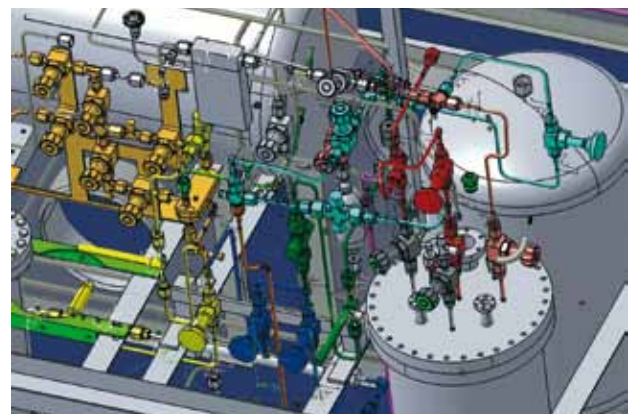


Abb. 3: CAD-Zeichnung der ZEMTEx-Erweiterung in der CAPER-Anlage (Box C).



Abb. 4: Vier verschiedene Düsensysteme, die im MNVST-Experiment getestet werden.

schen Schritt die Geometrie geändert werden. Eine Möglichkeit ist die Verwendung eines Flansches mit mehreren Düsen. Ein nachteiliger Effekt, der bei der Verwendung von mehreren Düsen auftritt, ist die mögliche Reabsorption von Tritium durch einen anderen, zweiten Tropfen. Um dieses Phänomen zu untersuchen und in späteren Experimenten berücksichtigen zu können, wurde ein erstes Experiment namens Multi-Nozzle Vacuum Sieve Tray (MNVST) zur Untersuchung der Reabsorption von Tritium entwickelt. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Quantifizierung und Simulation des möglichen Einflusses der Reabsorption auf die Effizienz der Extraktion. Geplant ist, acht unterschiedliche Geometrien mit unterschiedlicher Düsenanzahl und Verteilung sowie variablem Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Düsen zu testen. Vier Beispiele sind in Abbildung 4 zu sehen.

Das MNVST Experiment, das derzeit in Betrieb genommen wird, wurde so designt, dass es zum einen eine hohe Flexibilität aufweist und zum anderen verschiedene Anordnungen von Pumpen für die untere Kammer, in der die Tropfen fallen, erlaubt. Insgesamt können zwischen einem bis vier Pumpstutzen gleichzeitig verwendet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Pumpstutzen mit Fenstern versehen werden können, um mit einer Hochgeschwindigkeitskamera Informationen über die Größe des Tropfens oder die Frequenz der Oszillation zu erhalten.

Die MNVST-Anlage ist ein Schlüsselexperiment, da zum einen der Einsatz von Fenstern für spätere Experimente mit Tritium wegen der notwendigen zweiten Hülle bei hohen Temperaturen nicht möglich ist. Zum anderen ergibt sich die Gelegenheit, die Machbarkeit der Methode zu überprüfen, bevor das System einer tritiumhaltigen Atmosphäre ausgesetzt wird. So lassen sich auch Einblicke in mögliche technische Fragen wie Korrosion – aufgrund des Pb-16Li – oder Erstarrung des flüssigen Metalls erhalten.

Das Single-Nozzle Vacuum Sieve Tray (SNVST) Experiment ist das zweite Experiment am TLK zur Untersuchung der Extraktion von Tritium aus Pb-16Li. Das Hauptaugenmerk der SNVST Anlage, die nur ein einzelnes Düsentableau besitzt, liegt auf der Untersuchung der Düsenlänge, des Düsendurchmessers sowie der Fallhöhe, um damit ein tieferes Verständnis der zugrundeliegenden Physik des Extraktionsprozesses zu erhalten. Des Weiteren werden die experimentellen Ergebnisse für den Vergleich und die Verbesserung des eigens geschriebenen Programmcodes herangezogen. Eine Messung mit Tritium wäre ein weltweit erster Proof-of-Principle. Damit ist ein wichtiger Schritt in Richtung eines besseren Verständnisses der Isotopieeffekte und der Alterung des Materials – Korrosionseigenschaften von Pb-16Li – getan.

Neben der Extraktion und Rückgewinnung von Tritium wird die SNVST-Anlage zur Bestimmung eines verlässlichen Wertes der Sieverts-Konstante verwendet. Diese Konstante ist notwendig, um quantitative Aussagen über die Anreicherung von Tritium in Pb-16Li zu treffen. Bisherige Messergebnisse weichen um zwei Größenordnungen voneinander ab, wodurch das Design für viele Teilsysteme des Tritiumbrennstoffkreislaufs erschwert.

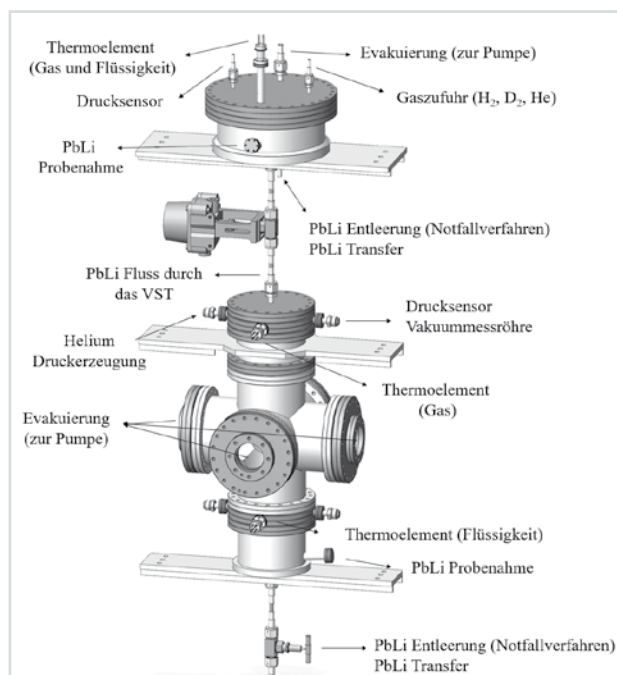


Abb. 5: CAD-Zeichnung des MNVST-Aufbaus.



Die erste tritium-kompatible Flüssigkeitsringpumpe beim Zusammenbau in der Herstellerfirma.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Vakuumtechnik

Leitung: Dr. Christian Day

Im Jahr 2016 wurden im Bereich Vakuumtechnik die drei neuen Vakuumpumpentechnologien für das Fusionskraftwerk DEMO wesentlich weiterentwickelt. Darüber hinaus wurde die Architektur des gesamten inneren Brennstoffkreislaufs für DEMO weiter konsolidiert. Das neue Konzept sieht drei Kreisläufe vor: Der erste Teilkreislauf führt direkt aus den Vakuumpumpen unverbrannten Brennstoff an die Pelletinjektoren zurück, der zweite ist ein kontinuierlich betriebener Bypass des Restgases mit Isotopenseparation innerhalb der Tritiumanlage, und der dritte ist schließlich der mit Kryodestillation und Wasserdetriierung ausgerüstete Umlauf, der die verbleibenden Wasserstoffisotope in die reinen Wasserstoffisotope überführt. Diese Arbeiten sind fest im Europäischen Fusionsprogramm EUROfusion verankert, in dem zum ersten Mal der gesamte Brennstoffkreislauf mit all seinen Untersystemen als Einheit betrachtet wird, um entsprechende Optimierungspotentiale zu realisieren. Das Management des Arbeitspaketes TFV (Tritium-Materiezufuhr-Vakuum) hat sich etabliert, siehe Abbildung 1. Nahziel ist die Entwicklung eines in sich konsistenten vor-konzeptionellen Designs bis 2020.

Im Physikprogramm wurde der eigene Neutralteilchen-Code DIVGAS weiter validiert. Darüber hinaus wurde ein neues Projekt gestartet, in dem der DEMO-Divertor in einem interdisziplinären Ansatz von Materialwissenschaften, Vakuumtechnologie und Plasmaphysik gemeinsam entwickelt wird.

Vakuumtechnologie für DEMO

Das für DEMO in den letzten Jahren entwickelte neue Konzept des Brennstoffkreislaufs arbeitet im Gegensatz zu den Kryo-Vakuumpumpen an ITER kontinuierlich und ohne Kryogen. Durch eine fest eingebaute Separation

des Divertorabgases kann zudem ein Großteil des unverbrannten Brennstoffs direkt rezykliert werden, wodurch sich die aufgebauten Tritiuminventare und Prozesszeiten deutlich verringern lassen. Dieses sogenannte DIR-Konzept (Direkte Interne Rezyklierung) besteht aus drei Pumpstufen. Zur Separation sollen superpermeable Metallfolien verwendet werden. Als Hochvakuumpumpe werden Diffusionspumpen eingesetzt, die, um tritiumverträglich zu sein, mit dem Flüssigmetall Quecksilber betrieben werden. Als mechanische Pumpe zur Kompression bis Umgebungsdruck werden schließlich Flüssigkeitsringpumpen verwendet, die ebenfalls mit Quecksilber als Arbeitsmittel betrieben werden. Das auf diesen drei Pumpentypen beruhende Konzept zur Umsetzung des DIR wurde inzwischen als KALPUREX-Prozess (Karlsruhe liquid metal based pumping of reactor exhaust gases) patentiert. Alle drei Pumpkonzepte wurden im Berichtsjahr 2016 wesentlich vorangetrieben.

Die Metallfolienpumpe ist zweifelsohne noch am weitesten vom angestrebten Prototypstatus entfernt. Das Hauptziel des Entwicklungsprogramms in den nächsten Jahren ist es, die Folientechnologie besser zu verstehen, erste theoretische Ansätze zur Simulation zu entwickeln und danach in Versuchen zu validieren. Als erster Schritt in diese Richtung wurden in diesem Jahr weitere umfangreiche Tests gemacht, um den Superpermeationseffekt als solchen zu quantifizieren (vgl. Abbildung 2). Bei den bisher durchgeführten Tests wurde Vanadium als Folienmaterial verwendet, zur Atomisierung des zu pumpenden Wasserstoffgases wurden Mikrowellen verwendet.

Die Funktionalität der Quecksilberdiffusionspumpe für die Anwendungen in der Fusion wurde bereits 2014 gezeigt. Darauf aufbauend wurde in diesem Jahr nun in



Abb. 1: Jahresabschlusstreffen des TFV-Teams im Forschungszentrum ENEA in Frascati, Italien.

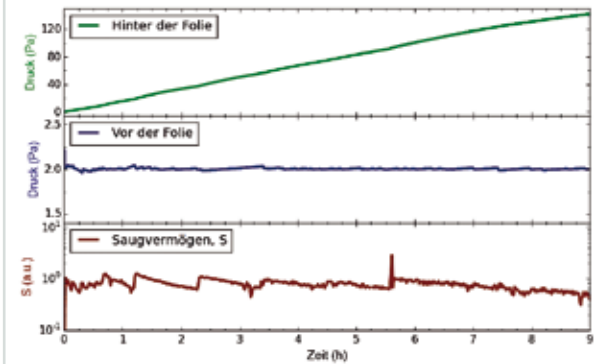


Abb. 2: Demonstration eines konstanten Saugvermögens für Wasserstoff mit einer Vanadiumfolie. Oben: Die Metallfolien-Versuchsanlage HERMES. Unten: Es wurde eine Kompression von 60 erreicht.

mehreren Iterationsschritten ein Design für eine Testpumpe entwickelt, bei der alle kritischen Bauteile so modular angeordnet sind, dass sie einfach ausgewechselt werden können, und damit parametrische Untersuchungen erlauben. Abbildung 3 zeigt das finale Design; im nächsten Jahr werden die Herstellungszeichnungen erstellt und die Fertigung wird eingeleitet.

Um die eventuelle Rückströmung von Quecksilberdampf wirkungsvoll zu unterdrücken, wurde ein spezielles Baffle-System entwickelt, mit einer optimierten Durchtrittswahrscheinlichkeit von 11,4 %. Insgesamt erreicht die Testpumpe damit ein rechnerisches Saug-

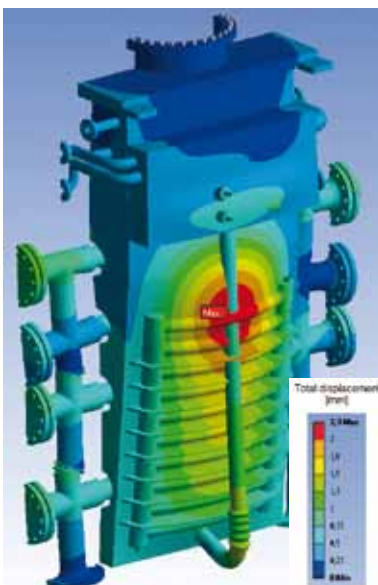


Abb. 3: Berechnete Verformungen (in mm), gerechnet für den Störfall einer internen Wasserstoffexplosion.

vermögen von etwa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ für Stickstoff und $7 \text{ m}^3/\text{s}$ für Wasserstoff. Skaliert auf die Größe für DEMO können auf diese Weise etwa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ Saugvermögen für Wasserstoff pro Diffusionspumpe realisiert werden.

Die Technologieentwicklung der Quecksilberringpumpe ist am weitesten fortgeschritten. Sie wird bereits in einer großskaligen Anwendung untersucht, nämlich in einem Pumpstand zur Verwendung in der Tritium-Anlage von JET (Active Gas Handling System, AGHS). JET sieht für den Zeitraum 2018 bis 2020 eine Versuchskampagne mit Tritium und Deuterium-Tritium-Mischungen vor. Dies ist weltweit die erste Kampagne mit tritiumhaltigen Gasen in einer Fusionsanlage seit 2004 und der letzten längeren Kampagne in 1998. Bereits für die Kampagne 2004 wurde ein Kryo-Hochvakuumumpstand von uns entwickelt, im AGHS eingebaut und mit Erfolg (bis heute) betrieben. Weil keine tritium-kompatiblen Alternativen am Markt oder in anderen Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehen, hat der Bereich die Aufgabe übernommen, einen tritium-kompatiblen Vorvakuumumpstand auf der Basis der neuen Technologie der Quecksilberringpumpen zu entwickeln. Damit können wertvolle Betriebserfahrungen gesammelt werden, die dann wiederum in das Design der DEMO-Systeme einfließen können. Dieser Pumpstand wird nicht nur zwei Quecksilber-Flüssigkeitsringpumpen enthalten, um die Anforderungen an die JET-Vorpumpen zu erfüllen, sondern auch noch eine zuschaltbare Booster-Einheit, die auf dem Quecksilberdiffusionsprinzip beruht. Damit kann der Pumpstand direkt als Vorpumpe für die verwendeten Tubomolekularpumpen bei JET eingesetzt werden. Und es werden zusätzlich erste Erfahrungen über das Zusammenspiel von Diffusions- und Ringpumpe gesammelt. Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Pumpstandes, der als turn-key-Einheit in einer Handschuhbox angeordnet sein wird.

Die Box wurde in diesem Jahr komplett zusammengebaut. Die Ringpumpen wurden geliefert, der Booster wurde von Öl- auf Quecksilberbetrieb umgerüstet. Nach erfolgter Montage wird der Pumpstand an die Anlage THESEUS angeschlossen, die, ebenfalls in diesem Jahr, für Wasserstoffbetrieb ausgebaut wurde. Die dafür notwendigen Abnahmetests wurden erfolgreich durchgeführt, im November erteilte der TÜV die entsprechende Betriebsgenehmigung. Wenn die Tests an THESEUS im

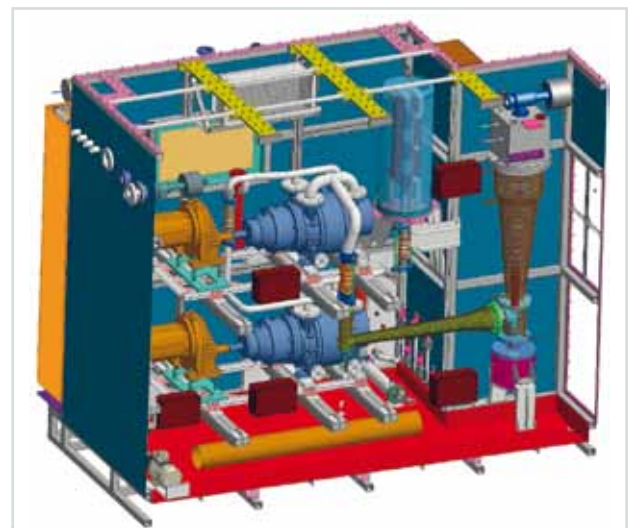


Abb. 4: Prinzipaufbau des quecksilberbasierten Vorvakuumumpstandes für JET.

nächsten Jahr abgeschlossen sind, wird der Pumpstand an JET zum weiteren Einbau geliefert.

DEMO Physikprogramm

Im DEMO-Physikprogramm konzentriert sich der Bereich im wesentlichen auf die Physik des Teilchenabtransports im Divertor eines Tokamaks, und hier insbesondere auf den Bereich unterhalb der Divertorkassetten: Dort ist das Plasma wieder in Neutralgas umgewandelt, und dies ist der Bereich, wo die Pumpsysteme an koppeln.

Das Plasmaszenario für DEMO wird sich wesentlich von dem von ITER unterscheiden. So ist es nötig, ein Divertorplasma im sogenannten 'detachment Modus' aufrecht zu halten, nur dann können die resultierenden Wärmelasten von den Divertormaterialien bei gleichzeitiger Neutronenstrahlung beherrscht werden. Dieser Plasmazustand ist noch nicht völlig verstanden, man möchte daher in das Design der Maschine möglichst viele Kontrollmöglichkeiten einbauen. Auch hier kommen wieder die Pumpsysteme ins Spiel. Sie müssen das bei der Fusionsreaktion gebildete Helium abziehen (zusammen mit dem unverbrannten Brenngas und anderen benötigten Hilfs gasen, die dem Plasma zugefügt werden, um die Stabilität zu erhöhen). Die Divertorstrecke muss daher nach oben offen sein, um die Teilchen aufnehmen und abführen zu können, andererseits wäre eine Verdichtung hilfreich, um im gleichen Volumen eine höhere Teilchenzahl ausschleusen zu können. In bisherigen Fusionsanlagen hat man daher den Divertor mit einem sogenannten Dom versehen. Für DEMO haben wir nun mit dem eigenen Neutralteilchencode DIVGAS eine prinzipielle Studie zur Charakterisierung des Divertordoms durchgeführt, die im nächsten Jahr fortgesetzt werden wird. Erste Ergebnisse zeigt Abbildung 5.

Arbeiten für ITER

Für die Vakuumanlage des Neutralteilcheninjektors (NBI) von ITER agiert der Bereich als Unterauftragnehmer der italienischen Fusionsassoziation Consorzio RFX. In Padua wird derzeit die Anlage MITICA aufgebaut, ein Prototyp des ITER-NBI in 1:1 Größe, und für ITER validiert. Der NBI produziert zunächst Wasserstoffionen, die dann in einem elektrischen Feld erst beschleunigt

und schließlich neutralisiert werden. Diese energiereichen Teilchen werden dann ins Reaktionsgas eingeschossen (als Neutralteilchen können sie den elektrischen Plasmakäfig durchdringen), um es auf die benötigten Temperaturen zu bringen. Eine wichtige NBI-Komponente ist dabei der Neutralisierer: eine starke Gasquelle, die die beschleunigten Ionen neutralisiert.

Hier konnte der Bereich gut seine Expertise im Forschungsfeld 'Verdünnte Gasströmung' einbringen. So musste nachgewiesen werden, dass im Falle einer Betriebsstörung der Gaszufuhr an den Neutralisierer, die interne Trägheit ausreichend groß ist, um genügend Gas nachzuliefern, solange bis der Teilchenstrahl automatisch abgeschaltet ist. Dies kann mit Puffervolumina und entsprechend dimensionierten Düsen in der Gaszufuhr erreicht werden. Die Aufgabe wurde im Bereich sowohl rechnerisch als auch experimentell (Anlage TRANSFLOW) angegangen. Abbildung 6 zeigt den Gesamtaufbau der Testanlage in Padua und beispielhaft ein Ergebnis der in TRANSFLOW durchgeführten Messungen.

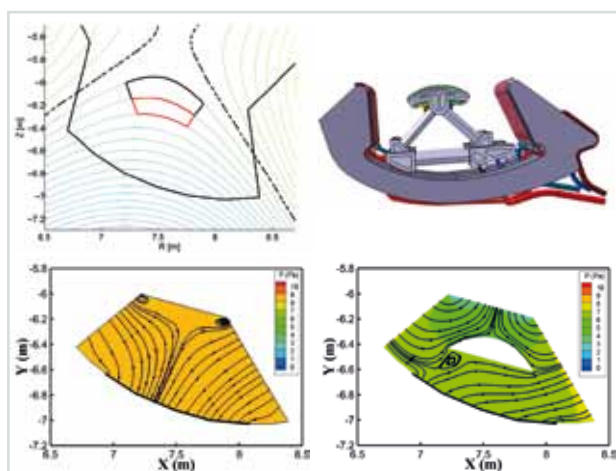


Abb. 5: Ab-initio Entwicklung des DEMO Divertors. Oben: Erste funktionelle Struktur. Unten: Berechnete Druckverteilung im Sub-divertor bei einer hohen (links) und einer tiefen (rechts) Anordnung des Doms.

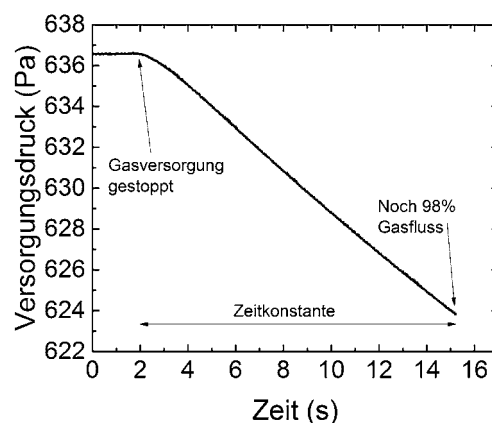


Abb. 6: Oben: Gesamtansicht der Anlage MITICA. Mitte: Verwendete Düsengeometrie. Unten: Experimentelle Charakterisierung des Gaszufuhrsystems.

Highlight 2016 Vakuumtechnik: Experimente zum Kryopumpenbetrieb bei erhöhten Temperaturen erfolgreich abgeschlossen

Seit mehr als 20 Jahren entwickelt der Bereich Vakuumtechnik am ITEP Kryopumpen, deren Design speziell auf die Anforderungen der Kunden zugeschnitten wird. So wurden z. B. die Kryopumpen zur Prozessierung des Plasmaabgases bei ITER hier entwickelt.

Die für DEMO diskutierten Torusabgas-Vakuumpumpen sollen, wie oben erklärt, im KALPUREX-Prozess eingesetzt werden, was erfordert, dass die Pumpen eine bestimmte Separationsfunktion aufweisen. Dies kann im Prinzip auch in Kryopumpen realisiert werden, wenn der Betrieb der Kryopumpen so geführt wird, dass die gepumpte Gasmischung bereits während des Pumpens und/oder bei der Regeneration an Wasserstoff angereichert bzw. an Helium abgereichert wird. Dies kann dadurch erreicht werden, dass man innerhalb der Pumpe gegenüber dem herkömmlichen Design wie es z. B. bei ITER verwendet wird, eine weitere zusätzliche Pumpstufe bei erhöhten Temperaturen einführt: An der ersten Stufe bei 80 K kondensieren die schwereren Gasbestandteile und die Verunreinigungen, an einer zweiten Stufe bei vermuteten 20 K würden die Wasserstoffe gepumpt, während Helium erst an der dritten Stufe bei 4 K gepumpt wird. Dabei müssen die Flächen der zweiten und dritten Stufe mit Aktivkohle beschichtet werden, um den Adsorptionsprozess auszunutzen. Da das Pumpverhalten einer beschichteten Oberfläche bei der Zwischentemperatur 20-25 K nicht bekannt ist (die wenigen zur Verfügung stehenden Literaturdaten streuen stark und sind inkonsistent) wurden entsprechende Tests durchgeführt, in denen die Pumpe, der Gasfluss und die Gaszusammensetzung variiert wurden. Die Versuchskohle wurde nicht variiert, hier hat man die bei den ITER-Versuchen als 'beste' gefundene Type beibehalten. Das wichtigste Versuchsziel war es, die maximal erlaubte Temperatur für eine zweite Stufe zu finden, bei denen Wasserstoffe noch ausreichend gut gepumpt werden und dadurch die Wasserstoff-Helium-Separation im Zusammenspiel mit einer dritten Stufe bei 4 K am besten gelingt. Außerdem lässt sich aus den Versuchsergebnissen durch Vergleich mit Rechnungen eine wichtige Information extrahieren: Der Sticking-Koeffizient, der das Wechselwirkungsverhalten zwischen Gas und Aktivkohleoberfläche (bei jeweils gegebenem Druck und Temperatur) beschreibt. Mit dieser Information und den spezifischen in-house Designwerkzeugen, die in den letzten 10 Jahren entwickelt wurden, kann das Design einer DEMO-Kryopumpe zuverlässig und ohne weitere experimentelle Zwischenschritte zur Validierung einzelner Teilelemente durchgeführt werden, so dass man nur noch einen finalen Test einer Pumpe nahe 1:1 Maßstab durchführen muss.

Der Kryosorptionsprozess

Das effektive Pumpen von Wasserstoffisotopologen und Helium ist für die üblichen Hochvakuumumpen, die auf dem Prinzip des Impulstransfers beruhen, eine anspruchsvolle Aufgabe. In Kryopumpen dagegen lässt sich das sehr effektiv bewerkstelligen, wenn man die tiefkalten Oberflächen zusätzlich mit einem porösen Material beschichtet, so dass der Oberflächeneffekt der Kryosorption ausgenutzt werden kann. Damit wird erreicht, dass Gase bei relativ höheren Temperaturen als bei der Kondensation wirkungsvoll gepumpt werden.

Aktivkohle ist das Material der Wahl für die Kryosorption, der Wirkungsgrad wird durch den Sticking-Koeffizienten angegeben.

Das Saugvermögen einer Kryopumpe wird nicht nur durch den Sticking-Koeffizienten vorgegeben, sondern auch durch die geometrische Anordnung der Pumpflächen innerhalb des Pumpenvolumens. Beide Effekte zusammen werden durch die Einfangwahrscheinlichkeit beschrieben, die eine experimentell zugängliche Größe ist. Der Sticking-Koeffizient wiederum, dessen Werte übertragbar sind und essentiell wichtig, um neue Designs zu entwickeln, kann aus Simulationen des Saugvermögens und entsprechenden Vergleich mit Messungen abgeleitet werden. Ziel des Projektes war es also, eine Testkonfiguration für eine Testoberfläche bei relevanten erhöhten Temperaturen experimentell zu untersuchen.

Beschreibung des Versuchsaufbaus

Die Testanordnung besteht aus einem einzigen, hydrogeformten Kryopanel, das einseitig mit Aktivkohle (mit dem für ITER entwickelten Verfahren) beschichtet wurde und mit superkritischem Helium aus der vorhandenen Infrastruktur am Kryopumpen-Testbett TIMO-2 versorgt wird. Das Kryopanel ist dabei mit elektrischen Heizern und einer Temperaturkontrolle versehen, so dass Temperaturen zwischen 6 und 25 K an der pumpenden Oberfläche realisiert werden können. Das Testpanel ist von einem 80 K gekühlten Schild umgeben und in vertikaler Position unmittelbar hinter einem Einlassbaffle hoher Durchtrittswahrscheinlichkeit angeordnet. Das Einlassbaffle ist nicht optisch dicht, um zu erreichen, dass die funktionale Abhängigkeit der Einfangwahrscheinlichkeit von dem Sticking-Koeffizienten ausreichend stark ist, so dass die resultierenden experimentellen Unsicherheiten klein gehalten werden können. Außerdem werden damit Untersuchungen bei sehr hohen spezifischen Gasflüssen möglich, die relevant für den geplanten DEMO-Betrieb sind.

Die Experimente wurden in 2 Phasen ausgeführt, vgl. Abbildung 7. In der ersten Phase zeigte die beschichtete Fläche des Testpanels in Richtung Einlass, so dass Teilchen mit Umgebungstemperatur die kryogene Fläche direkt erreichen können. In der zweiten Phase wurde das Panel um 180° gedreht, so dass die beschichtete Seite nach hinten zeigt. Dann können die Teilchen nur durch zusätzliche Stöße mit der gekühlten Wand die Pumpfläche erreichen, sie sind also bereits vorgekühlt und tragen entsprechend weniger Energie ein.

Die Pumpe wurde in den Vakuumbehälter von TIMO-2 eingebaut, siehe Abbildung 8, und Messungen für verschiedene Gase und Paneltemperaturen durchgeführt (H_2 , D_2 , He, Ne and H_2 -He and D_2 -He Mischungen).

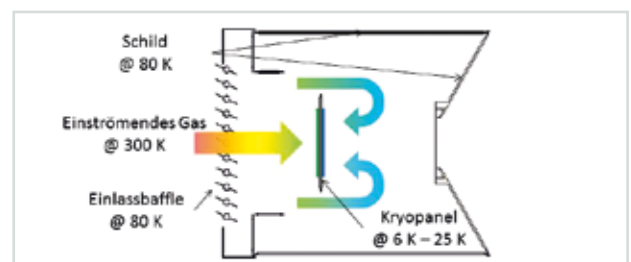


Abb. 7: Schema der Versuchsanordnung.

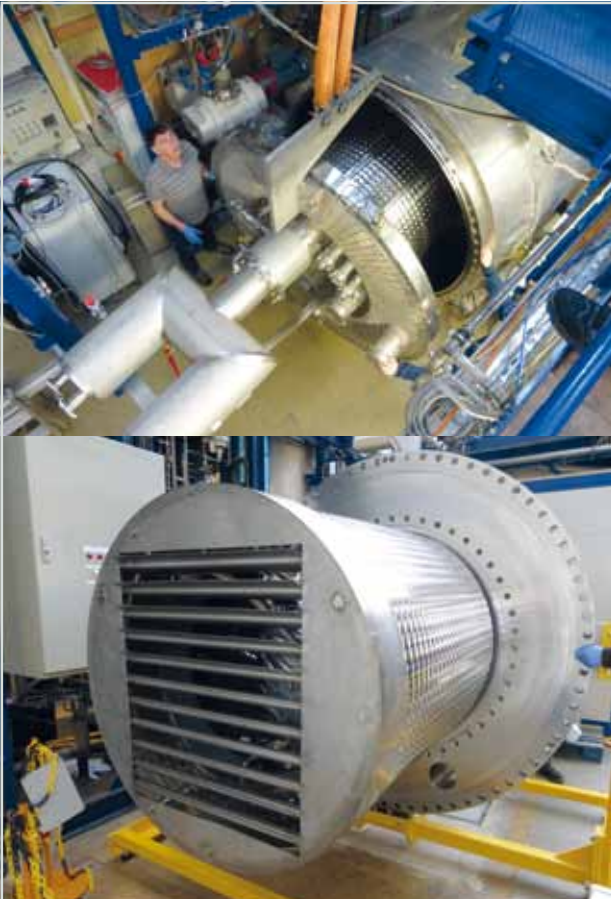


Abb. 8: Oben: Einbau der Testinstallation in TIMO. Unten: Sicht auf das Einlassbaffle.

Experimentelle Ergebnisse

Die nachstehenden Abbildungen 9 und 10 zeigen beispielhaft Messergebnisse des Saugvermögens. Abbildung 9 (oben) illustriert den starken Einfluss der Temperatur, während der Einfluss der gepumpten Gasmenge schwach ist. Dabei ist der Einfluss der Temperatur besonders stark im Bereich unterhalb 12 K. Abbildung 9 (unten) vergleicht das Saugvermögen bei den beiden untersuchten Konfigurationen und sonst gleichen Versuchsparametern. Es zeigt sich, dass trotz der höheren Durchtrittswahrscheinlichkeit im Fall der ersten Konfiguration das Saugvermögen deutlich schlechter ist, insbesondere bei kleinen Temperaturen der Kryofläche. Dies ist auf die unzureichende Thermalisierung der einkommenden Gasteilchen zurückzuführen. Insbesondere bedeutet dies, dass die Designvariante mit einem optisch offenen Baffle im Betrieb keinerlei Vorteile, sondern sogar Nachteile hat. Abbildung 10 verdeutlicht den sehr starken Einfluss des Heliumgehalts im zu pumpenden Gas und zeigt eindrücklich, dass das Saugvermögen mit steigenden Helium-Anteilen überproportional stark fällt. Dies bedeutet für die weitere Designarbeit an einer Kryopumpe für DEMO, dass das zur Verfügung stehende Saugvermögen direkt durch den Heliumgehalt im Abgas, und damit eng an die Plasma-Physik bzw. die erreichbare Effizienz in der Fusionsreaktion gekoppelt ist.

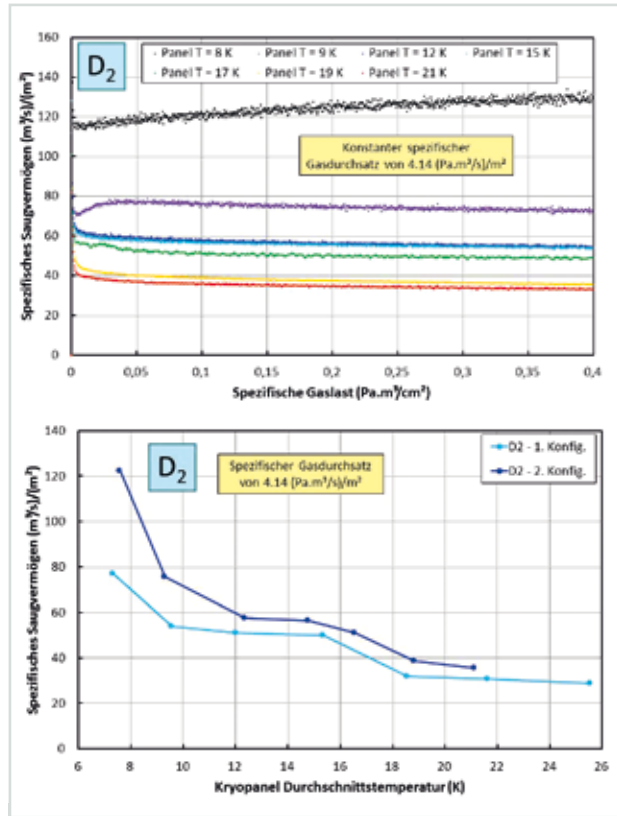


Abb.9: Saugvermögen von D_2 .

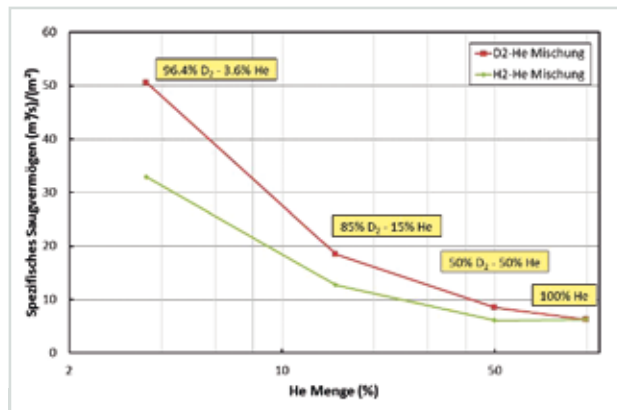


Abb. 10: Einfluss des Heliumanteils in D_2 -He bzw. H_2 -He-Mischungen auf das Saugvermögen bei 6 K.

Nächste Schritte

Im nächsten Schritt werden die Messungen nun simuliert, um schließlich den Sticking-Koeffizient als geometrieunabhängiger und damit übertragbarer Parameter zu extrahieren. Mit diesen Werten wird dann ein Design einer Kryopumpe für DEMO erarbeitet werden.

Die Vorbereitung und Durchführung der TIMO-Experimente bedeutete einen straffen Zeitplan und war nur mit vereinten Kräften möglich. Darauf sind wir besonders stolz und hoffen dass sich dieses erfolgreiche Zusammenspiel sowohl innerhalb der Gruppe als auch gruppenübergreifend auch in der Zukunft fortsetzt.



Modularer Kryostat für das EU-Projekt SUPRAPOWER.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Kryotechnik

Leitung: Dr. Holger Neumann

Kryoinfrastruktur

Auch im Jahr 2016 betrieb der Bereich Kryotechnik die Helium-Tiefemperaturanlagen des ITEP sowie die gesamte Rückgewinnung erfolgreich. Ausfälle und Störungen wurden umgehend behoben. Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten wurden in den vorgegebenen Intervallen vorgenommen. Zu den ausgeführten Arbeiten gehörten:

- Instandsetzen der LN₂-Transferleitung in Bau 406
- Austausch aller Vakuumbauteile an der LN₂-Leitung
- 2 000-Stunden-Service des Rückverdichters V20 (Abbildung 2)
- Rückbau des stillgelegten Kolbenverdichters V15
- Wiederkehrende Prüfungen an Behältern und Anlagenteilen (Abbildung 3)
- Dichtheitsprüfungen am Kältemittelkreislauf 2 kW-TTA (Abbildung 1)
- Inbetriebnahme des neu programmierten Heliumbilanzierungs- und Abrechnungsprogramms
- Reparatur der V2 Ölpumpe (Verdichter 2 kW-TTA)
- Komplettreinigung der Wärmeübertrager 2 kW-TTA
- Wechsel aller Filter an den Verdichtereinheiten der 2 kW-TTA
- Neubau der Kaltwasserleitungen der Verdichter 2 kW-TTA
- Planung einer G-He-Rückgasleitung 416
- Projektierung eines neuen fünfstufigen Heliumverdichters
- Modernisierung von Vakuumsteuerungsracks
- Konzeption, Design und Aufbau von O₂-Monitoren für verschiedene Bereiche des ITEP

2016 war die 300-W-Helium-Tiefemperaturanlage insgesamt 655 Stunden in Betrieb. 54 Stunden entfielen auf den Verflüssigungsbetrieb, 18 Stunden auf den Spül- und Probetrieb. Die übrigen 583 Stunden erbrachte die Anlage reine Kälteleistung für die Experi-

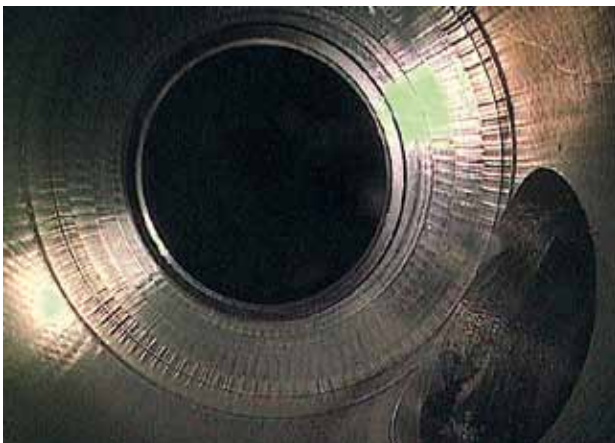


Abb. 1: Dichtheitsprüfungen am Kältemittelkreislauf 2 kW-TTA

mente des Hochfeldlabors, und zwar 102 Stunden für MTA und 481 Stunden für HOMER I.

Die 2-kW (4,5 K)-Helium-Tiefemperaturanlage war 2016 bis Redaktionsschluss 3 159 Stunden in Betrieb. Davon dienten insgesamt 269 Stunden dem Spül- und Probetrieb. Diese Stundenleistung schließt das Kalt- und Warmfahren der Anlage mit ein. 685 Stunden entfielen auf den Verflüssigungsbetrieb. Das Experiment CuLTka (Current Lead Test facility Karlsruhe) wurde 999 Stunden mit Kälte versorgt. Der Bereich Vakuum erhielt 1 203 Stunden Kälteleistung.

Die ITEP-Kryoinfrastruktur garantierte verschiedenen Instituten auch 2016 umfangreiche und zuverlässige Lieferungen von Helium-Flüssigbehältern. So wurden insgesamt 240 825 Liter Helium in Dewars abgefüllt. Davon wurden 75 456 Liter für Experimente am ITEP ausgeliefert. Die übrigen 165 369 Liter gingen an Fremdinstitute. Die 500-W-Heliumtiefemperaturanlage für das Experiment KATRIN im Bau 456 lief ab Frühjahr 2016 fast durchgehend 4 930 Stunden. Davon entfielen 160 Stun-



Abb. 2: Ausbau der konzentrischen Ventile des Verdichters V20. Die Revision der Ventile gehört zum 2 000-Stunden-Service.



Abb. 3: Filterkerzenwechsel an Koaleszer F1351 – 2 kWTTA.

den auf den Spülbetrieb. Die CPS wurde bis Redaktionsschluss 4 519 Stunden mit Kälte versorgt. Die WGTS erhielt 2 300 Stunden Kälteleistung der 500-W-Anlage. Die Mitarbeiter der Kryoinfrastruktur nahmen auch 2016 alle erforderlichen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten zuverlässig und schnellstmöglich vor. So gelang es, längere Anlagenstillstände zu vermeiden. Modernisierungsarbeiten liefen auch für die einzelnen Bereiche.

Die Reinigungs- und Rückgewinnungsanlagen waren insgesamt 2 400 Stunden in Betrieb. Studierende und Auszubildende, die der ITEP-Kryoinfrastruktur angehören, wurden beauftragt, unterschiedliche Projekte selbstständig zu bearbeiten.

Kryotechnik für FUSION

Innerhalb des Programms FUSION konzentrierte sich der Bereich Kryotechnik 2016 auf die Optimierung des Betriebs der CuLTka-Anlage (Abbildung 4) und den Test der Stromzuführungen für das internationale Projekt JT-60SA.

Nach der Optimierung des Kryosystems der CuLTka-Anlage und den ersten sieben Stromzuführungstests wurden 2016 zwei Doppeltests mit acht Stromzuführungen erfolgreich abgeschlossen. Damit sind bis jetzt insgesamt 18 Stromzuführungen für den japanischen Tokamak getestet worden.

Im Unterschied zu einem Einzeltest lassen sich bei einem Doppeltest vier statt bisher nur zwei Stromzuführungen innerhalb eines Abkühlzyklus testen.

Dank der Möglichkeit, vier Stromzuführungen zeitgleich zu testen, sowie einer Anpassung des He-Kreislaufs, besonders der Reingastrückführung (Abbildung 5)



Abb. 4: Die CuLTka-Testanlage nach dem Ausbau von vier Stromzuführungen.



Abb. 5: Verbesserte He-Reingastrückführung zur 2 kW-Kälteanlage.

zur 2-kW-Kälteanlage, wurden die Stromkosten für den Test von vier Stromzuführungen nahezu halbiert.

In den Phasen zwischen den Tests gehören die laufende Wartung und Instandhaltung der CuLTka-Anlage zu den Hauptaufgaben der Betriebsmannschaft, um einen reibungslosen Testbetrieb zu gewährleisten.

Kryotechnik für SCI

Speicherkonzept LIQHYSMES

Das neuartige Hybrid-Speicherkonzept LIQHYSMES (LIQUID HYdrogen & SMES) bietet einen Lösungsansatz zum Ausgleich von Last- und Einspeiseschwankungen durch fluktuierende regenerative Quellen bei der Energieversorgung. Anhand eines Demonstrators zeigt das von der Wasserstoffinitiative EWI geförderte Projekt das Funktionsprinzip eines solchen Energiespeichers.

Der Bereich Kryotechnik des ITEP ist mit den Arbeiten zum Kryosystem betraut, inklusive eines Regenerators/Rekuperators, der mit flüssigem Wasserstoff als Kühlmedium betrieben wird. Im Bereich HFM des ITEP wurden bereits die supraleitende Magnetspule und die zugehörige Magnetstromsteuerung entwickelt und erfolgreich in flüssigem Helium getestet.

Im nächsten Schritt wird die Magnetspule in flüssigem Wasserstoff getestet. Für den Aufbau des Kryosystems wurde ein P&ID erstellt (Abbildung 6), das alle wichtigen Daten zu Auslegung, Spezifikation und Bau der Anlage sowie deren Steuerung enthält.

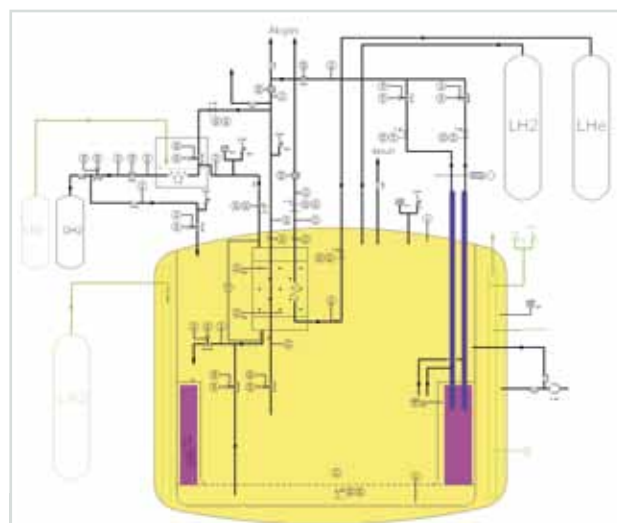


Abb. 6: P&ID des Kryosystems inklusive Regenerator/Rekuperator für den Test der Spule in LH₂.

In Zusammenarbeit mit der Wasserstoffgruppe des IKET werden der Aufbau der Anlage im Hinblick auf den sicheren Umgang mit flüssigem Wasserstoff spezifiziert und die Dokumentation für die TÜV-Abnahme erstellt. Die ersten Komponenten für das Kryosystem wurden spezifiziert, bestellt und geliefert (Abbildung 7).

Technologieentwicklung zur effizienten und ökonomischen Kühlung von Hochtemperatur-Supraleiter-Anwendungen

Im Rahmen der Technologieentwicklung zur effizienten und ökonomischen Kühlung von Hochtemperatur-Sup-



Abb. 7: ATEX-konforme Kryovertile für den explosionsgefährdeten Bereich.

raleiter-Anwendungen führte der Bereich Kryotechnik des ITEP in Kooperation mit dem Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK) und dem Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) grundlegende Arbeiten zur Entwicklung kryogener Gemischkältekreisläufe (Cryogenic Mixed Refrigerant Cycles – CMRC) durch. Dabei entwickelte das Team unter anderem ein neues Auslegungsmodell für mikrostrukturierte Wärmeübertrager in solchen Systemen. Auf der Basis des Modells baute es gemeinsam mit dem IMVT den in Abbildung 8 gezeigten Wärmeübertrager-Prototyp.

Die prognostizierte Leistung des Apparats entspricht bei einer Baulänge von 20 Zentimetern und 1 500 Mikrokanälen von 360 μm Durchmesser etwa der eines Rohr-in-Rohr-Wärmeübertragers von 20 Meter Länge (Faktor 100). Die Arbeiten wurden über den Strategiefonds des Programms „Speicher und vernetzte Infrastrukturen“ (SCI) gefördert.



Abb. 8: Prototyp eines Mikrostruktur-Wärmeübertragers für kryogene Gemischkältekreisläufe.

Parallel dazu untersuchten Forscher des ITTK die thermodynamischen Eigenschaften nichtbrennbarer Kältemittelgemische für HTS-Anwendungen mit Kältemitteln der vierten Generation.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft das Phasengleichgewicht eines binären Gemischs aus den Kältemitteln R23 und R1234yf bei konstanter Temperatur. Diese Daten bilden eine essenzielle Grundlage für die Prozessauslegung. Um den kryogenen Temperaturbereich unter 100 K abzudecken, wurde eine neue Versuchsanlage geplant.

SUPRAPOWER (Superconducting, reliable, lightweight, and more powerful offshore wind turbine)

Nachdem der Bereich Kryotechnik für das EU-Projekt SUPRAPOWER 2015 eine Dummy-Spule in einen Testkryostaten eingebaut und den Gesamtaufbau getestet hatte, stellte er 2016 die beiden endgültigen modularen Kryostaten für die supraleitenden Spulen fertig. Weil

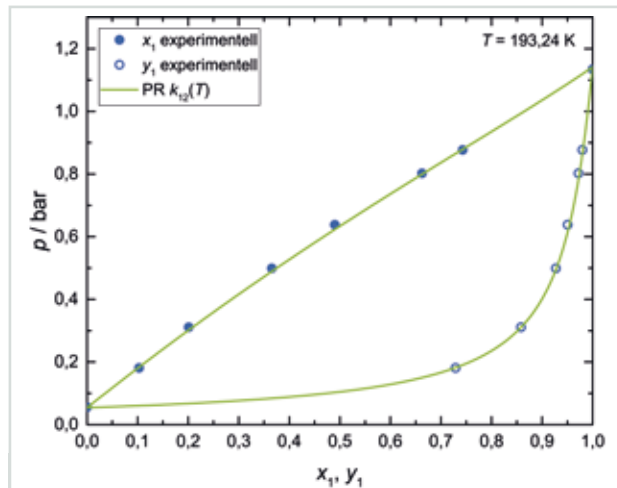


Abb. 9: Phasengleichgewichtsisotherme eines binären Gemischs aus R23 (1) und R1234yf (2).

das Spulendesign von den Projektpartnern mehrfach geändert wurde, bedurfte es auch bei den Kryostaten mehrerer Iterationen bis zur endgültigen Festlegung der Abmessungen. Auch wenn das prinzipielle Design dem Testkryostaten entspricht, wurden einige Vereinfachungen eingebracht, die den Fertigungsaufwand verringern. Die modularen Kryostaten bestehen im Wesentlichen aus einem Stützsystem aus Titanstäben zwischen Spule und thermischem Schild, dem thermischen Kupferschild, das thermisch an die erste Stufe des Kleinkühlers bei ca. 80 K angebunden wird, einem weiteren Stützsystem aus Titanstäben zwischen thermischem Schild und Vakuumbehälter sowie dem Vakuumbehälter (Abbildung 10).

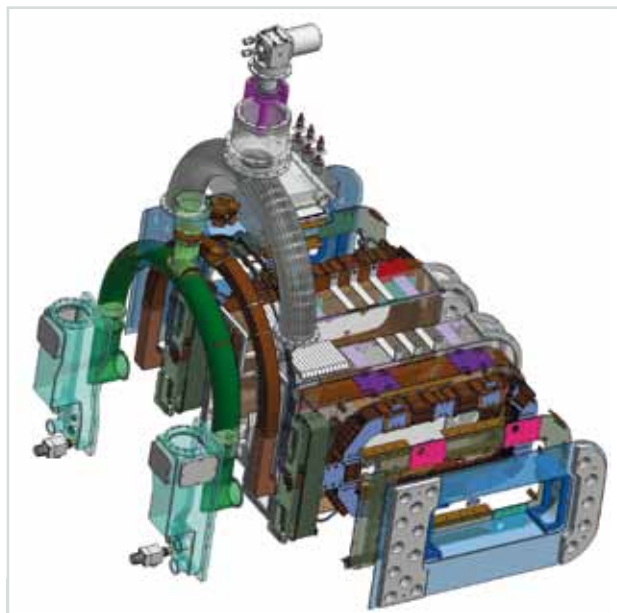


Abb. 10: Explosionszeichnung des Kryostatsystems mit zwei supraleitenden Spulen für den Demonstrationsgenerator des EU-Projekts SUPRAPOWER.

Auch der nichtmodulare Kryostat als thermische Verbindung zwischen dem Kleinkühler und den beiden Spulen, in den auch die Stomzuführungen integriert werden, wurde nach mehreren Iterationsschritten mit den Projektpartnern konstruiert und im Wesentlichen fertiggestellt.



Blick auf die STS-Beamline. Hinter der Wand im Hintergrund beginnt der Spektrometerbereich (SDS) von KATRIN.

Ergebnisse aus den Forschungsbereichen

Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN

Leitung: Dr. Beate Bornschein

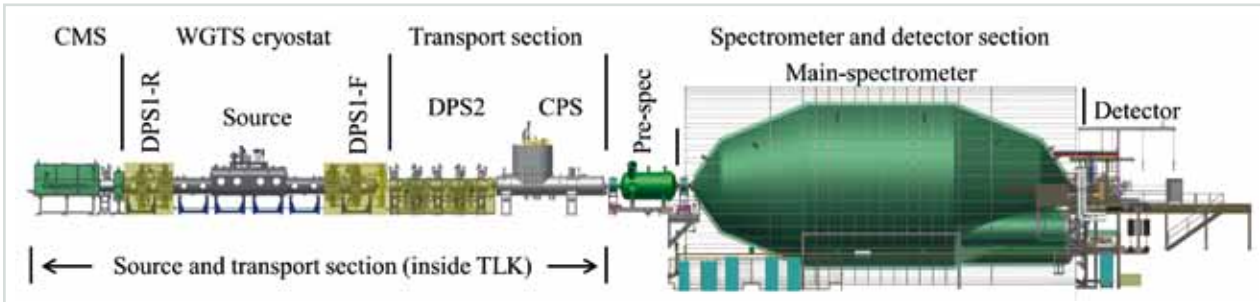


Abb. 1: Schematische Darstellung des internationalen Großexperiments KATRIN. Die bei β -Zerfällen in einer hochintensiven, fensterlosen, molekularen Tritiumquelle (WGTS) entstehenden Elektronen werden über eine Tritiumpumpstrecke mit den aktiven und passiven Elementen DPS2 und CPS zu einem System aus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

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

Das Prinzip von KATRIN basiert auf der präzisen Vermessung des Spektrums von Elektronen aus dem β -Zerfall molekularen Tritiums nahe dem kinematischen Endpunkt von $18,6 \text{ keV}$ (maximale beim β -Zerfall frei werdende Energie). Dazu werden Elektronen aus einer fensterlosen, gasförmigen Tritiumquelle (10^{11} Zerfälle/Sekunde) durch Magnetfelder von supraleitenden Magneten (bis zu 6 T) adiabatisch, das heißt, ohne deren Energie zu verändern, durch die 70 Meter lange Experimentiereinrichtung geführt. Ein System aus zwei elektrostatischen Retardierungsspektrometern erlaubt es, die Elektronenenergien mit einer Auflösung von $0,93 \text{ eV}$ zu bestimmen (Abbildung 1).

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

Im Rahmen von KATRIN hat das ITEP die verantwortliche Leitung für die Tritiumprozesstechnik sowie die Kryotechnologie inne. In diesem Bereich stellt das Institut mehrere Teilprojektleiter (Taskleiter). Die Arbeit des ITEP ist zu mehr als 95 Prozent im sogenannten Quell- und Transportsystem angesiedelt. Dieses ist in Abbildung 2 als Blockbild dargestellt. Wegen der Handhabung großer Mengen an Tritium (40 g/Tag) wird das System komplett im TLK und mit dessen Expertise aufgebaut.

Hauptbestandteil ist ein supraleitendes Magnetsystem von 16 Metern Länge, Windowless Gaseous Tritium Source (WGTS) genannt, das in seinem $\approx 30 \text{ K}$ kalten Strahlrohr die gasförmige Tritiumquelle beherbergt. Außerdem befinden sich auf der Strahlachse im rückwärtigen Teil das sogenannte Kalibrations- und Monitoringssystem (CMS) und im vorderen Teil – Richtung Spektrometer – das Transportsystem. Dieses hat die Aufgaben, die β -Elektronen aus dem Tritiumzerfall ins Spektrometer zu leiten und gleichzeitig mithilfe von Pumpen den Tritiumgasfluss ins Spektrometersystem um mehr als zwölf Größenordnungen zu reduzieren. Dies geschieht einerseits mit einer differentiellen Pumpstrecke (DPS2) durch den Einsatz von Turbomolekularpumpen und andererseits – als letzte Stufe – mit einer kryogenen Pumpstrecke (CPS), die bei $3,5$ bis 4 K betrieben wird. Sowohl DPS2 als auch CPS stellen supraleitende Magnetkryostatsysteme von sieben bzw. neun Meter Länge dar. Die CPS wurde bei externen Firmen gefertigt und fertigungsbegleitend von Teams aus IKP, IEKP, ITEP und PPQ betreut. Die DPS2 ist modular aufgebaut; die Magnete wurden ebenfalls bei einer externen Firma gefertigt.

Zusätzlich dargestellt sind in Abbildung 2 die Tritiumkreisläufe (Inner Loop, Outer Loop), die für eine geregelte Tritiumgaseinspeisung sorgen und die Tritiumreinheit auf Werte von über 95 Prozent halten. Das gleichzeitige stabile Einspeisen und Abpumpen des Tritiumgases sorgt letztlich für eine stationäre Gassäulendichte im Strahlrohr der WGTS (Tritiumquelle).

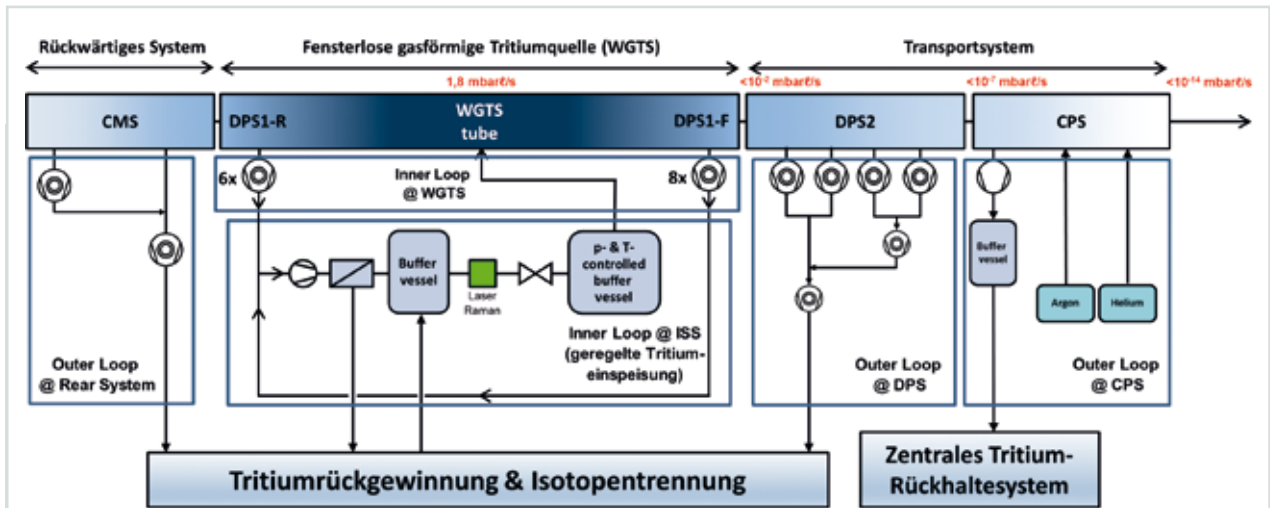


Abb. 2: Blockbild der KATRIN-Tritiumquelle und ihrer Schnittstellen zur Infrastruktur des TLK.

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

WGTS-Magnetkryostat

Im Jahr 2016 lag der Fokus ganz auf der Inbetriebnahme des KATRIN Quellkryostaten. Der WGTS-Magnetkryostat wurde erfolgreich mit allen Hilfsgewerken verbunden, beispielsweise der Transferleitung des ITEP, der Medienversorgung für die Strahlrohrkühlung und dem Dampfdruckkalibrationssystem. Mitte des Jahres gelang die Integration in das gesamte Quell- und Transportsystem. Alle Verbindungspunkte wurden den geforderten Leck- und Druckprüfungen unterzogen. Detaillierte Abnahme- und Funktionsprüfungen schlossen sich an, das gesamte System wurde in Betrieb genommen. Schwerpunkte lagen auf Sensorik, Aktorik und Sicherheitschaltungen. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde die CE-Kennzeichnung erreicht. Zusammen mit den Kryo-Operateuren des ITEP (Abbildung 3) wurde die WGTS schließlich auf die Zieltemperatur von 30 K abgekühlt. Die Strahlrohrstabilität lag im Rahmen der Spezifikationen. Das Magnetsystem erwies sich als höchst zuverlässig. Das Magneten auf 100 Prozent des spezifizierten Magnetfelds gelang rechtzeitig vor der First-Light-Messung im Oktober 2016.

DPS2

Der Neubau der DPS mit Einzelmagnetsystemen und einem am KIT entwickelten und gefertigten Strahlrohrsystem war 2015 weitgehend abgeschlossen. Anfang 2016 wurde die Installation der Strahlrohrelemente und Pumpstutzen der KATRIN Beamline in den warmen Bohrungen bzw. zwischen den Magneten der DPS beendet.



Abb. 3: Leitwarte zum 4K-Betrieb der WGTS- und CPSKryostaten.

Beim folgenden Dichtheitstest gemäß den Anforderungen des TLK an ein primäres tritiumführendes System (AK1) wurde in einem Strahlrohrelement ein nicht zu tolerierendes Leck gefunden. Dies erforderte eine Reparatur des betreffenden Elements. Während dieser Zeit wurde die Strahlrohrverbindung zur CPS und zur WGTS erfolgreich geschlossen. Im Sommer wurde das reparierte Strahlrohrelement in die Beamline eingesetzt und erfolgreich auf Dichtheit getestet. Die DPS war damit für die First-Light-Messung von KATRIN einsatzbereit. Unterdessen zeigte sich bei einer notwendigen Reparatur an einem der DPS-Magnete durch die Firma CMI, dass das Ersetzen der Indiumdichtung am Diodenflansch möglich ist, ohne dass das primäre System geöffnet werden muss.

CPS

Bei der CPS fokussierten die Aktivitäten 2016 ganz auf die Überführung in den Routinebetrieb. Nach umfangreichen Arbeiten zur Integration in die Kryoinfrastruktur wurde der zwölf Tonnen schwere Kryostat im Mai und Juni mit Unterstützung der ITEP-Kryobetriebsmannschaft kaltgefahren. Das heißt, eine stabile und stetige Befüllung sowohl aller sieben Magnetmodule mit Flüssighelium als auch des 900-Liter-Flüssighelium-Reservoirs wurde erreicht. Im Rahmen der vertraglichen Abnahmetests wurde anschließend das Magnetsystem bis 5,0 T erfolgreich getestet. (Das Erreichen des Designwerts von 5,6 T stand bei Redaktionsschluss noch aus.) Ein Meilenstein war die erfolgreiche Demonstration der Funktionalität des Magnetsicherheitssystems, nachgewiesen durch die sichere Energieabführung eines induzierten Quenches bei 5 T mit anschließender Demonstration der Magnetintegrität. Erstmals wurden auch Teile der Strahlrohre, die später als Kryokaltfalle mit Argon-Frost dienen werden, durch den 3 K-Pumpstand auf eine Durchschnittstemperatur von ca. 3,7 K gebracht. Die vertraglichen Abnahmetests werden 2017 mit der finalen Dichtigkeitsprüfung des Strahlrohres abgeschlossen.

Tritiumkreisläufe

Die Tritiumkreisläufe von KATRIN werden im TLK entwickelt und aufgebaut, unter anderem im Rahmen von Bachelor-, Diplom- und Doktorarbeiten. 2016 konzentrierten sich die experimentellen Arbeiten auf die Fortführung der Testexperimente CLARA und die Durchführung neuer Testexperimente – des FTICR-Platinentests und des Tests der Rb/Kr-Quelle für den zu Kalibrierzwecken benö-

tigten Kryptonmodus der KATRIN WGTS. Bei dem Tritium-Adsorption-Desorption-Experiment TriADE wurde der Umbau von einem Abzugs- zu einem Handschuhboxenexperiment durchgeführt. Damit sind nun Messungen mit einer Tritiumaktivität von $> 10^{10}$ Bq möglich.

Die für den späteren Tritiumbetrieb von KATRIN erforderlichen zusätzlichen Tritiumrückhaltesysteme wurden geliefert. An den Handschuhboxen für WGTS und DPS wurden die Installationsarbeiten fortgesetzt. Die Beamline-Ventile wurden montiert, die Rahmen der Handschuhboxen der WGTS wurden installiert (Abbildung 4). Insgesamt drei der 18 Turbomolekularpumpen an der WGTS- und DPS-Beamline wurden für die First-Light-Messkampagne temporär in Betrieb gesetzt und mit einer eigens dafür installierten hartverdrahteten Sicherheitsschaltung abgesichert (Abbildung 5).

Die Primärsystemverrohrung der Loops an WGTS und DPS2 wurde in enger Zusammenarbeit mit der Konstruktionsgruppe des IKP neu konstruiert; Fertigung und Montage wurden an die Firma RI vergeben. Im ersten Quartal 2017 wird sie voraussichtlich installiert, in den Monaten danach folgen die Verkabelung und die inaktive Inbetriebnahme des gesamten Loop-Systems. Parallel zur Magnetinbetriebnahme wurden die Schnittstellen zur Tritiuminfrastruktur weiterentwickelt. Das Argon-Einlass System zur Präparation des Argon-Frosts wurde mechanisch komplett aufgebaut und ist bereit für die MSR-Inbetriebnahme und seinen darauffolgenden Einsatz.

Laser-Raman-System (LARA)

Zur kontinuierlichen Überwachung der Tritiumreinheit im KATRIN Tritiumkreislauf wird ein Laser-Raman-System



Abb. 4: WGTS-Magnetkryostat mit montierten Ventilen, Crash-Momentabsicherungen, Turbomolekularpumpen und Rahmen der Handschuhbox.



Abb. 5: Turbopumpe des Tritiumkreislaufs mit magnetischer Abschirmung und Crash-Momentabsicherung, bereit zum Ersteinsatz für First-Light-Messung.

verwendet. Es misst automatisiert und berührungslos die Gaszusammensetzung, indem es das Tritiumgas mit Laserlicht durchstrahlt und das gestreute Licht spektral analysiert. 2016 wurden die Inbetriebnahme des Experiments KATRIN und der damit verbundene Dauerbetrieb des LARA-Systems weiter vorbereitet: Der bisher eingesetzte Laser (532 nm, 4 W cw) wurde durch ein verbessertes Modell ersetzt; die Anbindung des LARA-Systems an die Handschuhbox wurde überarbeitet. Beide Maßnahmen erhöhen die Verlässlichkeit des Aufbaus und vereinfachen die Wartungsarbeiten. Die Anbindung des LARA-Systems an das Datenerfassungssystem von KATRIN wurde fortgesetzt. Vor allem wurde mit dem Aufbau der dazu benötigten IT-Infrastruktur begonnen. Der Einfluss der magnetischen Streufelder der WGTS- und Rear-Section-Magnete auf das LARA-System wurde während der First-Light-Messungen von KATRIN erstmals untersucht und erwies sich als vernachlässigbar klein. Die Einweisung von Mitarbeitern in Betrieb und Wartung des Laser-Raman-Systems wurde fortgesetzt.

TRIHUDE

Im Tritium-Hydrogen-Deuterium-Experiment (TRIHUDE) lassen sich Kalibriergasmischungen aller sechs Wasserstoffisotope im thermischen Gleichgewicht herstellen. Das Experiment besteht aus zwei getrennt nutzbaren Gewerken: dem Analysierloop (A-Loop) und dem Prozessierloop (P-Loop). Aufgaben des A-Loops sind, genau definierte Gasmischungen herzustellen sowie unterschiedliche am TLK entwickelte Analysemethoden zu kalibrieren und zu vergleichen. So lässt sich das LARA-System zur Überwachung der Gaszusammensetzung der Quelle von KATRIN entscheidend verbessern. Der P-Loop bildet die Schnittstelle zur Infrastruktur des TLK. Er kann kleinere Gasmengen reinigen und versorgt den A-Loop sowie weitere, kleinere Testexperimente mit hochreinen, tritiierten Prozessgasen. Beide Kreisläufe befinden sich zurzeit in der letzten Phase des verfahrenstechnischen und elektrischen Aufbaus (Abbildung 6) und stehen kurz vor der Inbetriebnahme. 2016 wurden alle Komponenten getestet und in der Handschuhbox montiert. Parallel dazu wurde die benötigte Mess- und Regeltechnik installiert und geprüft. Erste Messungen und Ergebnisse sind Anfang 2017 zu erwarten.

Rear Section

Die Rear Section (Calibration and Monitoring System – CMS), erfüllt wichtige Kalibrier- und Monitoringaufgaben für KATRIN. Die Planung der mechanischen Aufbauten – Primärsystem und Handschuhboxen – der Tritiumkreisläufe an der Rear Section ist abgeschlossen; die Komponenten sind vorhanden. Der Aufbau von Primärsystem und Handschuhboxen kann allerdings erst dann fortgeführt werden, wenn die hochintensive UV-Lichtquelle verfügbar ist. Daran anschließend sind die Integration in die Infrastruktur des TLK sowie gewerkspezifische Inbetriebnahmetests geplant.

Danksagung

Die Aufgaben zu KATRIN liefen innerhalb des ITEP bereichsübergreifend mit großem Erfolg, wobei das TLK naturgemäß den größten Teil der Arbeiten übernahm. Alle Teilaufgaben profitierten von einer engen und fruchtbaren Zusammenarbeit mit Studierenden, Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des ITEP, des Instituts für Kernphysik (IKP), des Instituts für experimentelle Kernphysik (IEKP) und der Hauptwerkstatt (TID-DGTTEC). Dafür herzlichen Dank!

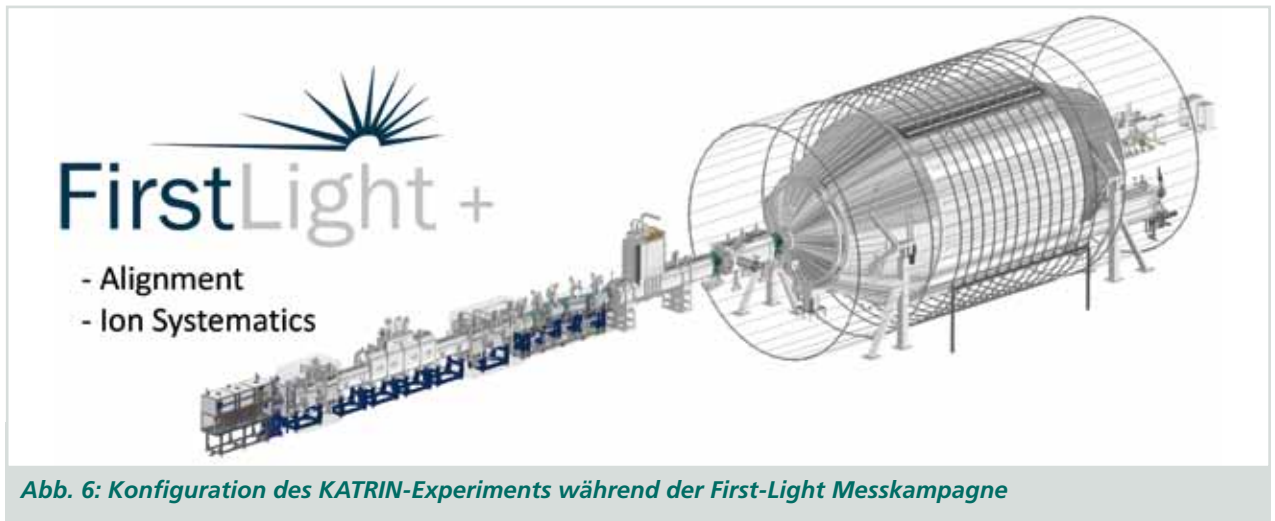


Abb. 6: Konfiguration des KATRIN-Experiments während der First-Light Messkampagne

Highlight 2016: First Light und Temperaturstabilisierung der fensterlosen Tritiumquelle

Die 2015 angelieferten Großkomponenten WGTS und CPS für KATRIN wurden 2016 an die Infrastruktur des TLK und des ITEP angeschlossen und gingen erfolgreich in Betrieb. Anschließend wurden alle Großkomponenten zur endgültigen KATRIN Beamline zusammengeslossen. Die Messkampagne „First Light“ zeigte eindrucksvoll, dass es möglich ist, Elektronen durch die komplette Beamline zu führen. Ein Schlüsselement der Anlage bildet das auf 30 K gekühlte Strahlrohr der WGTS. Dieses übertraf während der Inbetriebnahme die geforderten Spezifikationen. Im Folgenden werden die Messungen im Einzelnen vorgestellt.

First Light

Einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Neutrinomassenmessung bildete die am 14. Oktober 2016 erfolgreich durchgeführte First-Light-Messung. Bei diesem Testlauf wurden erstmals Elektronen am rückwärtigen Ende des Quellbereichs erzeugt und mithilfe des magnetischen Führungsfelds durch die 70 Meter lange Anlage bis zum Detektor geleitet, wo sie schließlich nachgewiesen wurden. Als Elektronenquelle diente eine goldbeschichtete Edelstahlplatte, aus der mithilfe von UV-Licht Elektronen herausgelöst wurden. Die Kombination aller Großkomponenten zur endgültigen KATRIN Beamline erlaubte es eindrucksvoll, die spezifizierten elektromagnetischen Transporteigenschaften zu testen. Insgesamt vier Turbomolekularpumpen erzeugten mit den zugehörigen Vorpumpen das erforderliche Vakuum innerhalb der Beamline. Die Elektronenquelle wurde zusätzlich um eine Ionenquelle ergänzt, um im späteren Verlauf der Messkampagne das in der Transportstrecke integrierte Ionen-Blockierungssystem zu überprüfen.

Temperaturstabilisierung und -überwachung der fensterlosen gasförmigen Tritiumquelle

Um die angestrebte Sensitivität von $200 \text{ meV}/c^2$ zu erreichen, ist es essenziell, alle systematischen Fehler, die sich auf die Neutrinomassenmessung auswirken, während der Inbetriebnahme des KATRIN Experiments zu ermitteln. Ein Großteil der Fehler stammt aus der gasförmigen Tritiumquelle. Entscheidend sind dabei alle Faktoren, welche die zu beobachtende kinetische Energie der Zerfallselektronen beeinflussen können. Eine Schlüsselrolle spielt die Temperatur der gasförmigen Tritium-

quelle, da die kinetische Energie der Tritiummoleküle linear mit steigender Temperatur zunimmt. Die kinetische Energie der Zerfallselektronen setzt sich aus der Zerfallsenergie und der kinetischen Energie des primären Moleküls zusammen, die eine systematische Unsicherheit in der Analyse der Neutrinomasse bildet. Um diesen systematischen Effekt zu reduzieren, muss die Tritiumquelle auf 30 K abgekühlt werden, und die absolute Temperatur muss auf 150 mK genau bestimmt werden. Eine große Herausforderung ist die technische Umsetzung der Temperaturstabilität und -homogenität in einem Bereich von 0,1 Prozent.

Aufbau des KATRIN WGTS-Kryosystems

Der Quellkryostat ist nach dem Zwiebschalenprinzip aufgebaut (Ref. 1), wobei die einzelnen Schichten mechanisch voneinander entkoppelt sind, um die Wärmelast durch Wärmeleitung zu minimieren. Mehrere Schichten Superisulationsfolie und ein Isoliervakuum reduzieren zudem die Wärmelast durch Konvektion sowie die Wärmestrahlung. Direkt auf das Kryostatengehäuse folgt der mit flüssigem Stickstoff gekühlte Schild, umgeben von mehreren Lagen Superisulationsfolie. Diese reduzieren die Wärmelast auf den innenliegenden Heliumtank, in welchem sich die supraleitenden Spulen in einem Bad aus flüssigem Helium bei einer Temperatur von etwa 4 K befinden. Der Heliumtank ist ringförmig um das Strahlrohr montiert. Damit die gasförmige Tritiumquelle im Strahlrohr realisiert werden kann, muss das Strahlrohr auf etwa 30 K temperiert werden, da das molekulare Tritium bei noch tieferen Temperaturen vom gasförmigen in den flüssigen oder sogar festen Aggregatzustand übergehen würde. Um die 30 K technisch zu erreichen, ist das Strahlrohr vom sogenannten Inneren Schild umgeben, der mit gasförmigem Helium auf 27 K gekühlt wird.

Die aktive Kühlung des Strahlrohrs auf 30 K erfolgt über zwei an der Außenseite horizontal angebrachte Rohre. In ihrem Inneren befindet sich ein Zweiphasengemisch aus flüssigem und gasförmigem Neon, dessen Temperatur sich direkt über den Gasdruck regulieren lässt (Ref. 1). Um die geforderte Temperaturstabilität zu erreichen, kühlt ein primärer Heliumkreislauf einen Kondensator auf etwa 27 K. In dessen Innerem kondensiert das gasförmige Neon; dieses lässt sich daraufhin erneut zur Zweiphasenkühlung verwenden. Um die Temperaturschwankungen des primären Heliumkühlkreislaufs auf den Zweiphasen-Neonkreislauf zu dämpfen, besitzt der Kon-

densor eine Kaltmasse aus Blei. Mehrere Heizer im Zweiphasenrohr ermöglichen es, aktiv die Temperatur und den Druck im Zweiphasenkreislauf zu regulieren und dadurch die restlichen Schwankungen auszugleichen.

Aufbau des WGTS-Temperaturerfassungssystems

Um im geplanten KATRIN Messbetrieb die Messung der Temperaturstabilität und -homogenität über fünf Jahre zu gewährleisten, mussten Temperatursensoren mit charakteristischen Eigenschaften identifiziert werden. Zu diesen Eigenschaften zählt neben der Langzeitstabilität auch die Stabilität gegenüber thermischen Zyklen, das heißt mehrmaligem Abkühlen und Aufwärmen des Systems.

Eine weitere Herausforderung besteht im Einfluss des Magnetfelds auf die Temperatursensoren, da die Temperaturmessung über die Widerstandsmessung von Pt500 Sensoren erfolgt. Aufgrund der starken magnetischen Felder wird der Widerstand der Pt500 Sensoren erhöht. Dadurch kann die gemessene Temperatur um mehr als 1 K abweichend angezeigt werden. Eine automatisierte Kalibrierung ließ sich nicht implementieren, da die magnetische Feldstärke und die Widerstände nicht linear korreliert und zudem bauteilspezifisch sind.

Als Lösung wurden Dampfdrucksensoren identifiziert, die eine In-situ-Kalibrierung der einzelnen Pt500 dauerhaft ermöglichen. Diese Dampfdrucksensoren sind thermisch direkt an die Pt500 gekoppelt und bestehen aus einem geschlossenen Edelstahlzylinder, welcher je zur Hälfte mit flüssigem und gasförmigem Neon gefüllt ist. Über die magnetfeldunabhängige Druckmessung des Dampfdruckensors wird die zur Kalibration nötige Temperatur erreicht (Ref. 2).

Messung der Temperaturstabilität des Strahlrohrs

Im September 2016 erreichte die WGTS ihre Arbeitstemperaturen, und die wesentlichen Inbetriebnahmetests wurden erfolgreich abgeschlossen. Daraufhin begannen die ersten Stabilitäts- und Homogenitätsmessungen der Strahlrohrkühlung.

Die Temperatur des Strahlrohrs übererfüllte über einen Zeitraum von sechs Tagen die KATRIN Anforderungen an die Temperaturstabilität von 30 mK/2h um einen Faktor drei (Abbildung 7). Anschließend wurde die Temperaturstabilität durch eine verbesserte Regelung der Heizleistung optimiert. Mit dem derzeitigen Messauf-

bau lassen sich Schwankungen von ± 5 mK zuverlässig bestimmen.

Temperaturhomogenität entlang des Strahlrohrs Mithilfe der kalibrierten Pt500 Sensoren wurde des Weiteren erstmals die Temperaturhomogenität des gesamten WGTS-Strahlrohrs untersucht. Der Großteil der Temperatursensoren weist im Rahmen der Messungenauigkeit die gleiche Temperatur auf. Allerdings wurde, wie schon 2011, am Demonstrator eine erhöhte Temperatur am rückwärtigen Ende des zehn Meter langen Strahlrohrs beobachtet (Abbildung 8). Da über dieses Ende die Gaszuleitung für die Dampfdrucksensoren sowie die Einspeiseleitung für das Tritium erfolgen, könnten sie für die höhere thermische Last in diesem Bereich verantwortlich sein. Im Vergleich zum Demonstrator beträgt die Diskrepanz nun 0,65 K (vorher 0,85 K).

Ausblick auf 2017

Nach der erfolgreichen First-Light-Kampagne sowie den abgeschlossenen Einzelbetriebnahmen der Großkomponenten wird 2017 das Loopsystem fertiggestellt werden. Damit wird der Aufbau des Experiments KATRIN abgeschlossen sein. Die inaktive Inbetriebnahme des gesamten KATRIN Experiments ist für die zweite Hälfte des Jahres 2017 geplant.

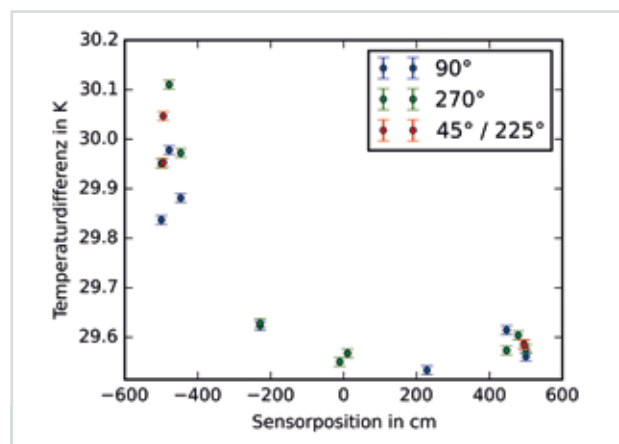


Abb. 8: Temperaturhomogenität des WGTS-Strahlrohrs. Im Rearbereich des Strahlrohrs wurde ein signifikanter Temperaturanstieg gemessen.

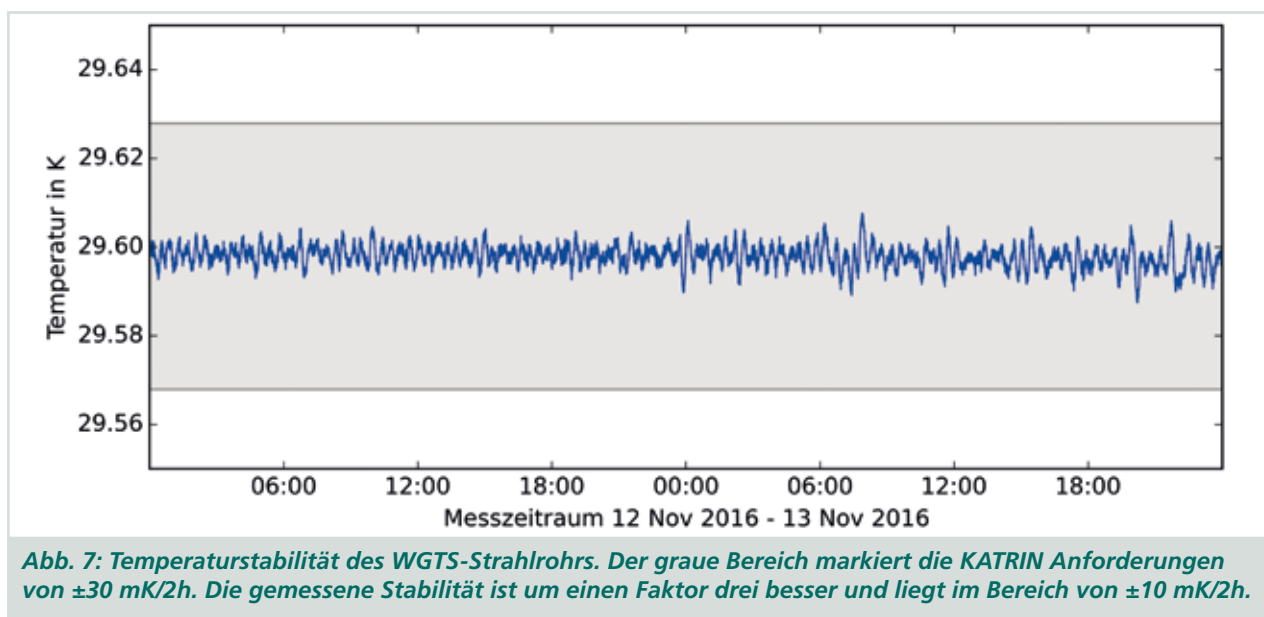


Abb. 7: Temperaturstabilität des WGTS-Strahlrohrs. Der graue Bereich markiert die KATRIN Anforderungen von ± 30 mK/2h. Die gemessene Stabilität ist um einen Faktor drei besser und liegt im Bereich von ± 10 mK/2h.

Auszeichnungen und Preise

Auch das Jahr 2016 erwies sich für das ITEP als ereignisreich und fruchtbar. Das Institut und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erhielten Auszeichnungen und Preise in verschiedenen Bereichen.

SOFT Innovationspreis der EU-Kommission für KIT und SPC

Für die Entwicklung eines supraleitenden Leiterkonzepts mit herausragenden Eigenschaften erhielten das KIT und das Swiss Plasma Center (SPC) den ersten SOFT Innovation Prize der EU-Kommission für Fusionsforschung. Den mit 50 000 Euro dotierten Preis übergab Dr. András Siegler, Direktor der Europäischen Kommission verantwortlich für Energieforschung und -innovation, an Dr. Walter Fietz vom ITEP des KIT, Vertreter der Zusammenarbeit zwischen KIT-ITEP und EPFL-SPC, im September 2016. Mit der Auszeichnung würdigt die EU-Kommission den HTS-Kreuzleiter (HTS CrossConductor, kurz HTS CroCo), ein neuartiges Hochtemperatur-Supraleiter (HTS) -Konzept, das innerhalb der Fusionsforschung entwickelt wurde und darüber hinaus Potenzial für weitere Anwendungen besitzt, unter anderem in der Energieübertragung. „Unser neuartiges Leiterdesign mit kreuzförmigem Querschnitt schafft es, mehr Strom energieeffizient zu transportieren als vergleichbare Kabel, und ist ausgesprochen einfach zu fertigen“, sagten Dr. Walter Fietz und Dr. Michael Wolf, Entwickler des HTS CroCo. „Die Auszeichnung der EU für unser Konzept freut uns und zeigt, wie vielversprechend es für die Anwendung ist.“ Der HTS CroCo wurde, basierend auf den Arbeiten von Davide Uglietti und Pierluigi Bruzzone (EPFL-SPC), von Dr. Michael Wolf, Dr. Walter Fietz, Dr. Klaus-Peter Weiss und Dr. Reinhard Heller am ITEP des KIT entwickelt.



Dr. András Siegler, Direktor für Forschung und Innovation im Energiebereich der Europäischen Kommission (links), übergibt den Preis an Dr. Walter Fietz.

Deutscher Innovationspreis für das Verbundprojekt AmpaCity

Das Projekt AmpaCity zeigt, wie die Stromnetze für die Zukunft fit gemacht werden können. Dafür verlieh Bundesumweltministerin Barbara Hendricks den Projektpartnern, unter ihnen Professor Mathias Noe, Direktor des ITEP, den Deutschen Innovationspreis für Klima und Umwelt (IKU) in der Kategorie Umweltfreundliche Technologien. Das Preisgeld beträgt 25 000 Euro. Im Vergleich zu herkömmlichen Kabeln überträgt das in AmpaCity eingesetzte moderne Supraleiterkabel eine fünf Mal höhere Strommenge pro Kabelquerschnitt. Dem Projekt AmpaCity ging eine ausführliche Studie unter Federführung des KIT zur technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Supraleiterlösung auf der innerstädtischen Mittelspannungsebene voraus. Innerstädtische Verteilnetze gemäß der Vorstudie weitgehend auf 10 000-Volt-Supraleiter umzustellen und die Hochspannungsanlagen zurückzubauen, würde mittelfristig zu mehr Effizienz, einem schlankeren Netz sowie niedrigeren Betriebs- und Instandhaltungskosten bei gleichzeitig geringerem Flächenverbrauch führen. Projektpartner von AmpaCity sind RWE als Netzbetreiber, der Kabelhersteller Nexans, der neben dem Energiekabel auch einen supraleitenden Kurzschlussstrombegrenzer für den Testbetrieb lieferte, und das KIT, das den Feldversuch wissenschaftlich begleitet.



Die Projektpartner von AmpaCity bei der Verleihung des Deutschen Innovationspreises für Klima und Umwelt des Bundesumweltministeriums.

IEEE Van Duzer Preis für Francesco Grilli

Dr. Francesco Grilli, Gruppenleiter für AC-Verluste und Modellierung im Bereich Supraleitende Materialien und Energieanwendungen des ITEP, erhielt den IEEE Van Duzer Preis 2014 für das Reviewpaper „Computation of Losses in HTS Under the Action of Varying Magnetic Fields and Currents“, das er als Erstautor mit E. Pardo, A. Stenvall, D. N. Nguyen, W. Yuan und F. Gömöry verfasst hatte. Der vom IEEE Council on Superconductivity verliehene Van Duzer Preis würdigt die beste Publika-

tion eines Jahres in der Zeitschrift IEEE Transactions on Applied Superconductivity. Beurteilt werden die Publikationen nach den Kriterien hohe erwartete Zitierhäufigkeit, technische Exzellenz der vorliegenden Arbeit und Vollständigkeit des Reviewartikels hinsichtlich des betrachteten Forschungsthemas. Der Preis wurde während der Applied Superconductivity Conference in Denver, Colorado (4. bis 9. September, 2016) übergeben. Er ist mit einem Zertifikat verbunden und mit 1 000 US Dollar dotiert.

Auszeichnung der Vorlesung „Vakuumtechnik für Chemieingenieure“

Die Vorlesung „Vakuumtechnik für Chemieingenieure“ die Dr. Christian Day, Leiter des Bereichs Vakuumtechnik am ITEP, schon seit der Gründung des KIT am Campus Süd anbietet, erhielt das Gütesiegel „Geprüfte Lehrveranstaltung“ der Deutschen Vakuumgesellschaft (DVG) „Die Vakuumtechnik ist eine klassische Schlüsseltechnologie made in Germany. Die Studierenden können sicher sein, eine Vorlesung zu hören, die den aktuellen Wissensstand abbildet und neueste Trends aufgreift. Ich freue mich bereits auf die Re-Zertifizierung 2019“, sagte Christian Day anlässlich der Verleihung. Die DVG hat die Aufgabe, wissenschaftliche und technische Disziplinen auf dem Gebiet der vakuumgestützten Wissenschaften und Technologien zu betreuen. Mit dem Gütesiegel bestätigt sie, dass die Lerninhalte der Vorlesung mit Übungen dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechen und mit den Ausbildungsrichtlinien der DVG übereinstimmen. Das KIT ist die einzige Universität in Deutschland, welche die wissenschaftlichen Grundlagen und industriellen An-

wendungen der Vakuumtechnik in einer eigenständigen Vorlesung im Masterstudium vermittelt.

Arbeitsschutz am ITEP ausgezeichnet

Das ITEP erhielt 2016 erneut das Zertifikat „Arbeitsschutz mit System“ von der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) und der Unfallkasse Baden-Württemberg (UKBW). Damit wurde der Arbeitsschutz am ITEP bereits zum vierten Mal ausgezeichnet. Am 21. Oktober 2016 nahmen die Direktoren Professor Mathias Noe und Professor Bernhard Holzapfel die Urkunde für die Re-Zertifizierung entgegen. Das Zertifikat „Arbeitsschutz mit System“ (AMS) steht für geprüften, systematischen und wirksamen Arbeitsschutz. Bei der Verleihung anwesend waren neben Vertretern der UKBW und der VBG auch Mitarbeiter involvierter Dienstleistungseinheiten des KIT, Vertreter des Personalrats und einige Mitarbeiter des ITEP. Wie Professor Mathias Noe betonte, erhält ein einmal erreichtes hohes Niveau im Arbeitsschutz sich nicht von allein, sondern erfordert den Einsatz aller Beteiligten und eine ausgesprochen gute Zusammenarbeit. Tanja Hund, stellvertretende Geschäftsführerin der UKBW, beglückwünschte das ITEP zur erfolgreichen Re-Auditierung. Wie sie bestätigte, spielen Sicherheit und Gesundheitsschutz bei allen Entscheidungen und Abläufen am ITEP eine wichtige Rolle. Für die AMS-Zertifizierung müssen über die gesetzlichen Vorschriften hinaus weitere Anforderungen erfüllt werden. Dies betrifft den Nachweis einer nachhaltigen Weiterentwicklung und eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Nach den Worten von Ulrich Hoffmann, federführender Begutachter der UKBW., liegt darin der Unterschied zwischen gutem und hervorragendem Arbeitsschutzmanagement.



Verleihung des Gütesiegels in der DVG-Geschäftsstelle in Kaiserslautern: Dr. Michael Wahl, Leiter der DVG-Geschäftsstelle, Dr. Christian Day vom ITEP des KIT, Professor Michael Kopnarski, Präsident der DVG (von links).



Verleihung des Zertifikats „Arbeitsschutz mit System“: Dr. Melanie Raith (UKBW), Kai Bauer (ITEP), Tanja Hundt (UKBW), Ulrich Hoffmann (UKBW), Professor Mathias Noe (ITEP), Andreas Becker (VBG), Uwe Marx (VBG) und Stefan Zimmermann (ITEP) (von links).

Lehre und Bildung

Vorlesungen, Seminare, Workshops und Sommerschulen

Vorlesungen

KIT-Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Supraleitende Systeme der Energietechnik (Holzapfel)
 WS 15/16, WS 16/17

Supraleitende Materialien (Holzapfel) WS 15/16, WS 16/17

Energy Storage and Network Integration (Noe) WS 15/16, WS 16/17

Übungen zu Energy Storage and Network Integration (Noe, Kottonau) WS 15/16, WS 16/17

Project Management for Engineers (Noe, Grohmann, Day) SS 16

Grundlagen und Technologie supraleitender Magnete (Holzapfel) SS 16

Superconducting Materials for Energy Applications (Grilli) SS 16

KIT-Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik

Vakuumtechnik (Day) WS 15/16, WS 16/17

Übung zu Vakuumtechnik (Varoutis) WS 15/16, WS 16/17

Kältetechnik A (Grohmann) WS 15/16, WS 16/17

Übungen zu Kältetechnik A (Grohmann, Mitarbeiter) WS 15/16, WS 16/17

Kryotechnik B (Grohmann) WS 15/16, WS 16/17

Übungen zu Kryotechnik B (Grohmann, Heidt; Grohmann, Gomse, Weber) WS 15/16; WS 16/17

Kryotechnik A (Grohmann) SS 16

Übungen zu Kryotechnik A (Grohmann, Heidt) SS 16

Kältetechnik B (Grohmann) SS 16

Übungen zu Kältetechnik B (Grohmann, Mitarbeiter) SS 16

KIT-Fakultät Maschinenbau

Fusionstechnologie A* (Bornschein, Demange, Day, Fietz, Weiss) WS 15/16, WS 16/17

Fusionstechnologiekolloquium* (Noe) SS 16

Magnet-Technologie für Fusionsreaktoren (Fietz, Weiss) SS 16

Vakuumtechnik und Tritiumbrennstoffkreislauf (Bornschein, Day, Demange) SS 16

KIT-Fakultät Physik

Hauptseminar Astroteilchenphysik: Neutrinos und dunkle Materie* (Bornschein, Gröbke, Schlösser, Fischer) WS 15/16, SS 16, WS 16/17

Hauptseminar für Lehramtsstudierende zu ausgewählten Themen der modernen Physik* (Holzapfel) WS 15/16
Messmethoden und Techniken in der Experimentalphysik (Priester, Röllig; 4SWS) SS 16

House of Competence

Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren für Studierende der Physik I* (Bornschein) WS 15/16

Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren für Studierende der Physik II* (Bornschein) WS 15/16

Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren in den MINT-Fächern (Bornschein) WS 15/16

Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren in der Physik II (Parallelkurs)* (Bornschein) SS 16

Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren in der Physik und Meteorologie* (Bornschein) WS 16/17

... und weitere Kurse „Wissenschaftliches Schreiben und Präsentieren...“ mit inhaltlich-konzeptioneller Beteiligung von Dr. B. Bornschein

Duale Hochschule BW – Fachbereich Maschinenbau

Konstruktionslehre (Bauer) WS 15/16, WS 16/17

Arbeitssicherheit und Umweltschutz (Bauer) SS 16

Thermodynamik 1 für Maschinenbauer (Neumann) WS 15/16, WS 16/17

Thermodynamik 2 für Maschinenbauer (Neumann) SS 16

* Organisation mit ITEP Beteiligung

Seminare / Sommerschulen / Workshops

7th ITEP Young Scientists Seminar

11.–14. Januar 2016, Kristberg, Österreich

Admin-Strategie-Workshop

18.–19. Februar 2016, Bad Dürkheim

ZIEHL V Tagung*

15.–16. März 2016, München

Seminar Kryotechnik*

21. März – 08. April, Zhejiang University in Hangzhou, China

VDI-Seminar Kryotechnik

27.–29. April 2016, Karlsruhe

Interne Bewertung der Forschungsthemen

02.–03. Juni 2016, Edenkoben

Seminar „Die Kunst sich selbst zu präsentieren“

06.–07. Juni 2016, Karlsruhe

6th KIT Fusion PhD Student Seminar*

08.–09. Juni 2016, Leinsweiler

Seminar Kryotechnik*

27. Juni – 08. Juli, IIT Kharagpur, Indien

10th International Summer School on Fusion Technologies*

12.–23. September 2016, Karlsruhe

Haus der Technik – Seminar Kryostatbau

28.–30. September 2016, Karlsruhe

48th Month Meeting Eurotapes

04.–06. Oktober 2016, Karlsruhe

Aufbauseminar „Die Kunst sich selbst zu präsentieren“

10.–11. Oktober 2016, Karlsruhe

DKV-Tagung 2016*

16.–18. November 2016, Kassel

Strategiereview und FuE-Planung 2017 ITEP

21.–23. November 2016, Bad Dürkheim

Lehre und Bildung

Doktorarbeiten – Master- und Diplomarbeiten – Bachelor-, Studien- und Praxisarbeiten

Betreute Doktorarbeiten 2016

(* akademischer Betreuer; ** abgeschlossen)

Kai Ackermann

Präparation und Charakterisierung supraleitender Joints REBCO-basierter Bandleiter
Betreuer: Dr. J. Hänisch, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Rodrigo Antunes

Experimental and numerical study on advanced inorganic membranes for tritium processes and qualification for tritium recovery in the breeding blanket
Betreuer: Dr. L. Frances, Prof. Dr. Margarida Cruz (Universität Lissabon)*

Christoph Bayer**

Characterization of high temperature superconductor (HTS) cable for large scale HTS magnet coil application
Prüfer: Prof. Dr. L. Chiesa (Tufts University Medford, USA), Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)

Flavia Bonelli

Consistent Modelling of Particle Flows for Integrated Divertor Design
Betreuer: Dr. C. Day, Prof. Dr. R. Stieglitz (KIT, MACH)*

Ester Diaz-Alvarez

Tritium extraction from liquid breeding blanket based on the vacuum sieve tray technique
Betreuer: Dr. L. Frances, Prof. Dr. R. Stieglitz (KIT, MACH)*

Sylvia Ebenhöch

Aufbau und Inbetriebnahme KATRIN Rear Section und Weiterentwicklungen im Bereich der Tritiumanalytik
Betreuer: Dr. B. Bornschein, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Jean-Hughes Fournier-Lupien

Integration of the "Current Flow Diverter" architecture in long lengths of second generation superconducting tapes
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT), Prof. Dr.-Ing. Frédéric Sirois (Ecole Polytechnique, Montréal, Canada)*

Patthabi Vishnuvardhan Gade

Optimization of High Temperature Superconductor (HTS) cable concepts for high current capacity to be used in HTS coils for future fusion reactors
Betreuer: Dr. R. Heller, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Thomas Giegerich**

Neuartige Vakuumpumpkonzepte für Fusionskraftwerke
Betreuer: Dr. C. Day, Prof. Dr. K. Schaber (KIT, CIW/VT)*

Cristian Gleason-González

Modelling of rarefied neutral gas flow
Betreuer: Dr. S. Varoutis, Prof. Dr. R. Stieglitz (KIT, MACH)*

Aurélien Godfrin

AC loss characterization of superconducting devices for power applications
Betreuer: Dr. F. Grilli, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

David Gomse

Entwicklung eines Wärmeüberträgers für MRC-Cryocooler
Betreuer: Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Roland Gyuráki

Investigation of quench dynamics in high-temperature superconductor tapes and assemblies
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Frédéric Sirois (Ecole Polytechnique, Montréal, Canada), Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Moritz Hackenjos

Aufbau und Inbetriebnahme des äußeren und inneren Tritium-Kreislaufs der WGTS und DPS des KATRIN-Experiments
Betreuer: Dr. M. Sturm, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Caroline Heidt

Experimental Investigation and Modelling of Hazardous Incidents in Liquid Helium Cryostats
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Thomas Wetzel (KIT, CIW/VT), Prof. Dr.-Ing. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Sebastian Hellmann

Technologieentwicklung für supraleitende strombegrenzende Transformatoren
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Yannick Hörstensmeyer

Ein Prozess-Simulator zur Auslegung, Modellierung und Optimierung des inneren Brennstoffkreislaufs eines Fusionskraftwerks
Betreuer: Dr.-Ing. C. Day, Prof. Dr.-Ing. R. Stieglitz (INR)*

Harald Itschner

Entwicklung von Modellen zur speichergestützten Versorgung von Inselnetzen mit erneuerbaren Energien
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. K. Glöser (Hochschule Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Shahab Karrari

Integration von Energiespeichern in Elektroenergiesysteme
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Bennet Krasch

Spektroskopische Untersuchungen zu intermolekularen Effekten in der WGTs

Betreuer: R. Gröble, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Philip Kreideweis

Entwicklung von Niederspannungsschaltanlagen

Betreuer: Dr. J. Geisbüsch, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Marco Langer

Dünne Schichten pniktid-basierter Supraleiter für Detektoranwendungen

Betreuer: Dr. J. Hänisch, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Yinzen Liu

Design and test of a superconducting DC wind generator demonstrator

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. M. Doppelbauer (ETIT), Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Sven Meyer

Elektrische Transporteigenschaften epitaktischer Fe-basierter Supraleiterdünnschichten

Betreuer: Dr. J. Hänisch, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Sebastian Mirz

Untersuchung der Molekularen Effekte in allen sechs flüssigen Wasserstoffisotopologen mithilfe Infrarot- und Ramanspektroskopischer Methoden

Betreuer: Dr. B. Bornschein, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Simon Niemes

The TRIHYDE-Experiment: calibration grade gas samples of all six hydrogen isotopes in thermal equilibrium

Betreuer: Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT), Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Simon Otten

HTS Roebel cables with thermal and mechanical stabilizations

Betreuer: Dr. W. Goldacker, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Benedikt Peters

Entwicklung einer Metallfolienpumpe

Betreuer: Dr. C. Day, Prof. Dr. R. Stieglitz (KIT, Mach)*

Ruslan Popov

Stromtragfähigkeit und Pinnungeigenschaften RE BCO-basierter Dünnschichten und Bandleiter bei tiefen Temperaturen und in hohen Magnetfeldern

Betreuer: Dr. J. Hänisch, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Alan Preuß

Development of high temperature superconductor (HTS) REBCO cables for large current applications

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Simone Rupp**

Development of a highly sensitive hollow waveguide based Raman system for the compositional analysis of the KATRIN tritium source gas

Betreuer: Prof. Dr. Helmut H. Telle (Universidad Complutense, Madrid), Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Kerstin Schöning**

Development of a Rear Wall for the KATRIN Rear Section and investigation of tritium compatibility of Rear Section components

Betreuer: Dr. B. Bornschein, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Oleksiy Troshyn

Ex-situ ReBCO Schichten auf ISD-biaxial texturierten Substraten für supraleitende Bandleiter

der 2. Generation

Betreuer: Dr. V. Große (Theva, GmbH), Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Christina Weber

Experimentelle Untersuchung und Modellentwicklung zum Einfluss der Zweiphasenströmung

auf die Funktionsweise von Sicherheitseinrichtungen von Flüssighelium-Kryostaten

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. J. Schmidt (CIW), Prof. Dr.-Ing. S. Grohmann (CIW)*

Shengnan Zou

Development of numerical models of the electromagnetic and thermal behaviour of

superconductors for power applications

Betreuer: Dr. F. Grilli, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Betreute Masterarbeiten 2016

(* akademischer Betreuer; ** abgeschlossen)

Tim Brunst**

Herstellung und Verwendung von Hochkonzentriertem HD zur Validierung der Kalibrierung von Wasserstoff-analysesystemen am Tritiumlabor Karlsruhe

Betreuer: Dr. B. Bornschein, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Carl Bühler

Chemische Lösungsherstellung von YBa₂VO₆-Nanopartikeln in Y_{0.5}Gd_{0.5}Ba₂Cu₃O_{7-x}-Dünnschichten – Parameteroptimierung zur Verbesserung der supraleitenden Eigenschaften

Betreuer: Dr. M. Erbe, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Ester Diaz-Alvarez**

Commissioning of a Multi-Nozzle Vacuum Sieve Tray (MNVST) Setup for Deuterium Extraction from Liquid Lithium Lead

Betreuer: Dr. D. Demange, Prof. Dr. Dr.h.c. ir. J. Noterdaeme (Universität Gent, B.)*

Lukas Dritschler

Power-Hardware-in-the-Loop: Simulator-Hardware Interface Algorithms

Betreuer: Dr. J. Geisbüsch, Prof. Dr. T. Leize (KIT, ETIT)*

Yannick Hörstensmeyer**

System Analysis of Cryogenic Pellet Injectors in Fusion Reactors

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. T. Wetzel (CIW/VT), Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Sebastian Knott

Optimierung einer Helium-Kälteanlage zur Kühlung hochtemperatursupraleitender Stromschienen
Betreuer: C. Weber, Dr.-Ing. A. Alekseev (Linde AG, München), Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Alexander Kraus

Detailstudie der IR-Absorptionsspektren flüssiger Wasserstoffisotopologe
Betreuer: S. Mirz, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Keerthi Raj Kunniyoor

Design and analysis of MgB₂ sc wire for hydrogen level measurement at various operating conditions
Betreuer: T. Richter, Prof. Dr. P. Ghosch (IIT Kharagpur)*

Alexander Marsteller

Charakterisierung des WGTS Beantube Zweiphasen Kühlsystems
Betreuer: M. Hackenjos, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Johannes Müller

Hochauflösende Spektroskopie von tritiiertem Wasser
Betreuer: Dr. M. Schlösser*

Cyra Neugebauer**

Material performance experiments and concept development of a ZAO[®]-NEG based vacuum pump for a future fusion reactor
Betreuer: Dr. C. Day, Prof. Dr. M. Türk (CIW)*

Manuel Pitz**

Aufbau eines echtzeitfähigen Auswertesystems zur Wirk- und Scheinleistungsbewertung von induktiven supraleitenden Strombegrenzern
Betreuer: S. Strauß, Dr. J. Geisbüsch, Prof. Dr.-Ing. M. Noe (KIT, ETIT)*

Maximilian Schlereth

Hydrogen Permeation Experiments on dense metal foils in the HERMES Setup
Betreuer: B. Peters*

Eugen Shabagin

Modellierung des instationären Wärme- und Stofftransports eines Neutronenmoderators aus festem Deuterium zur Erzeugung ultrakalter Neutronen
Betreuer: D. Gomse, Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Kimo Toema

Modellierung einer dreistufigen Wärmeübertrager-Kaskade zur Verflüssigung von Wasserstoff
Betreuer: D. Gomse, Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Anne-Kathrin Weber**

Project portfolio management in public research institutions: Challenges for an effective project selection
Betreuer: Dr. Athanasios Nikas (University of Liverpool)*

Matthias Wecker

Entwicklung einer möglichen UV-Bestrahlung der Rearwall des Katrin Experiment und Bestimmung der Quanteneffizienz von Gold
Betreuer: Dr. F. Priester, Dr. M. Sturm, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Xiaodong Zhao

Hochauflösende CARS von Wasserstoffisotopologen
Betreuer: Dr. M. Schlösser*

Genrich Zeller

Berechnung des Fehlerbudgets und Erstellen einer Kallibrierungsvorschrift für das KATRIN Laser Raman Systems
Betreuer: Dr. S. Fischer, Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Betreute Diplomarbeiten 2016

(* akademischer Betreuer)

Florian Altenbrand

Messung und Modellierung der Effizienz von ortho/para-Katalysatoren für Wasserstoff und Deuterium
Betreuer: S. Mirz, Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Betreute Bachelorarbeiten 2016

(* akademischer Betreuer; ** abgeschlossen)

Katharina Braun**

Methode zur Kompensation der thermischen Verbiegung von Piezo-Biegewandlern
Betreuer: Dipl.-Ing. K. Bauer, Dr. J. Barth (Siemens AG, KA)*

Matthias Dude**

Potentialanalyse von Klebteilen als Verbindungselemente im Nutzfahrzeugbereich
Betreuer: Dipl.-Ing. K. Bauer, Dieter Kuber (Daimler AG, Wörth)*

Sanyam Gandhi**

Aerosol abgeschiedene MgB₂-Schichten aus gemahlene ex-situ MgB₂ Pulver
Betreuer: Dr. S. Kauffmann-Weiss, Prof. Dr. B. Holzapfel (KIT, ETIT)*

Stefan Germann**

Simulation of a nitrogen cooling system for linear diffusion pumps
Betreuer: T. Giegerich, Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Jonas Heimpel

Untersuchung der thermischen Desorption von Nichtmetallen an Metallfolien
Betreuer: B. Peters, Prof. Dr. S. Grohmann (KIT, CIW/VT)*

Dennis Karkosch**

Erarbeitung einer Produktgruppenstrategie für Leitungsbefestigungen im Nutzfahrzeugbereich
Betreuer: Dipl.-Ing. K. Bauer, Dipl.-Ing. T. Wohner (Daimler AG, Wörth)*

Rafael Klenk**

Strömungsdynamische Simulation des Reaktionsgases für die kontinuierliche YBCO-Bandleiterherstellung
Betreuer: Dr. M. Erbe, Prof. Dr.-Ing. W. Schabel (TVT)*

Michael Korevaar**

Konstruktion einer adiabatischen Kühleinrichtung
Betreuer: S. Bobien, Dr. H. Neumann (DHBW)*

Paul Masuch

Aufbau eines Raman-Systems zur Untersuchung von Flüssigkeiten

Betreuer: Dr. S. Fischer (TLK), Prof. Dr. G. Drexlin (KIT, Physik)*

Nadin Osman**

Investigation of Lithium-6 issues for nuclear fusion applications

Betreuer: Dr. C. Day, Prof. Dr. T. Wetzel (KIT, CIW/VT)*

Daniel Rau**

Investigation of gas compositions on a metal foil pump

Betreuer: B. Peters, Prof. Dr. S. Grohmann*

Pia Schulz**

Auswirkung verschiedener Prozessgasströmungsverhältnisse auf die supraleitenden Eigenschaften von $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ -Dünnschichten (YBCO) auf Einkristallsubstraten: Simulation und Experiment

Betreuer: Dr. M. Erbe, Prof. Dr.-Ing. W. Schabel (TVT)*

Jonas Schwenger

Entwicklung einer Methode für Leckagestrommessungen an einem federbelasteten Sicherheitsventil

Betreuer: C. Weber, Prof. Dr. S. Grohmann*

Betreute Studienarbeiten 2016

(* akademischer Betreuer; ** abgeschlossen)

Peter Ruder**

Kühlkreislaufberechnungen für ein supraleitendes Kabel in einem Flugzeug

Betreuer: Dr. H. Neumann*

Marcel-Patrick Sitter, Kevin Stoitzner**

Wärmeintrag in eine LNG-Leitung unter Berücksichtigung der thermischen Kontraktionen verschiedener Isolationsmaterialien

Betreuer: Dr. H. Neumann*

Betreute Praxisarbeiten und -berichte, Projektarbeiten

(* akademischer Betreuer; ** abgeschlossen)

Rica Jansen

Projektarbeit (T2_2000) – an der DHBW Karlsruhe (FB Wirtschafts-Ingenieurwesen)

Einführung von Prozessmanagement in der Arbeitsgruppe „Betrieb und Sicherheit“

Betreuer: A.-K. Weber, K. Bauer; 2. Studienjahr*

Matthias Kluge

Projektarbeit (T2000_1) – an der DHBW Karlsruhe (FB Mechatronik)

Dokumentation der Vakuumpumpstandssteuerung VAC 60-4

Betreuer: S. Bobien; 2. Studienjahr*

Projektarbeit (T2000_2) – an der DHBW Karlsruhe (FB Mechatronik)

Konstruktion eines Ventilprüfstands

Betreuer: S. Bobien; 2. Studienjahr*

Michael Korevaar

Projektarbeit (T2_3000) – an der DHBW Karlsruhe (FB Maschinenbau)

Vakuumpumpstand zur Evakuierung einer Helium Versorgungsleitung

Betreuer: S. Bobien; 3. Studienjahr*

Julian Sandrock

Projektarbeit – an der DHBW Karlsruhe (FB Elektrotechnik)

Vernetzung von Keithley Picoamperemetern über GPIB und Erstellung einer zentralen Steuerung und Visualisierung mittels LabView Realtime PXI-System

Betreuer: C. Melzer; 2. Studienjahr*

Lehre und Bildung

Kolloquien

- 26.01.2016 „Exotic“ Hydrogen - Its Properties and its Potential Impact on Astrophysics
Helmut H. Telle, Universidad Complutense de Madrid (ESP)
- 02.02.2016 Superconducting Magnets for Big Science Application, the Future Circular Collider and their Detectors
Prof. dr. ir. Herman ten Kate, CERN Physics Department, Geneva (CH)
- 24.05.2016 Industrielle kryogene Anlagen
Klaus Ohlig, Linde Kryotechnik AG (CH)
- 31.05.2016 Status of the ITER Project and near Term Challenges & Outlook towards a Commercial Fusion Reactor
Dr. Günter Janeschitz, ITER (F)
- 25.10.2016 Superpermeability Phenomenon: Physics, State of the Art and Possible Applications in Fusion
Prof. Alexander I. Livshits, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications (RUS)

Lehre und Bildung

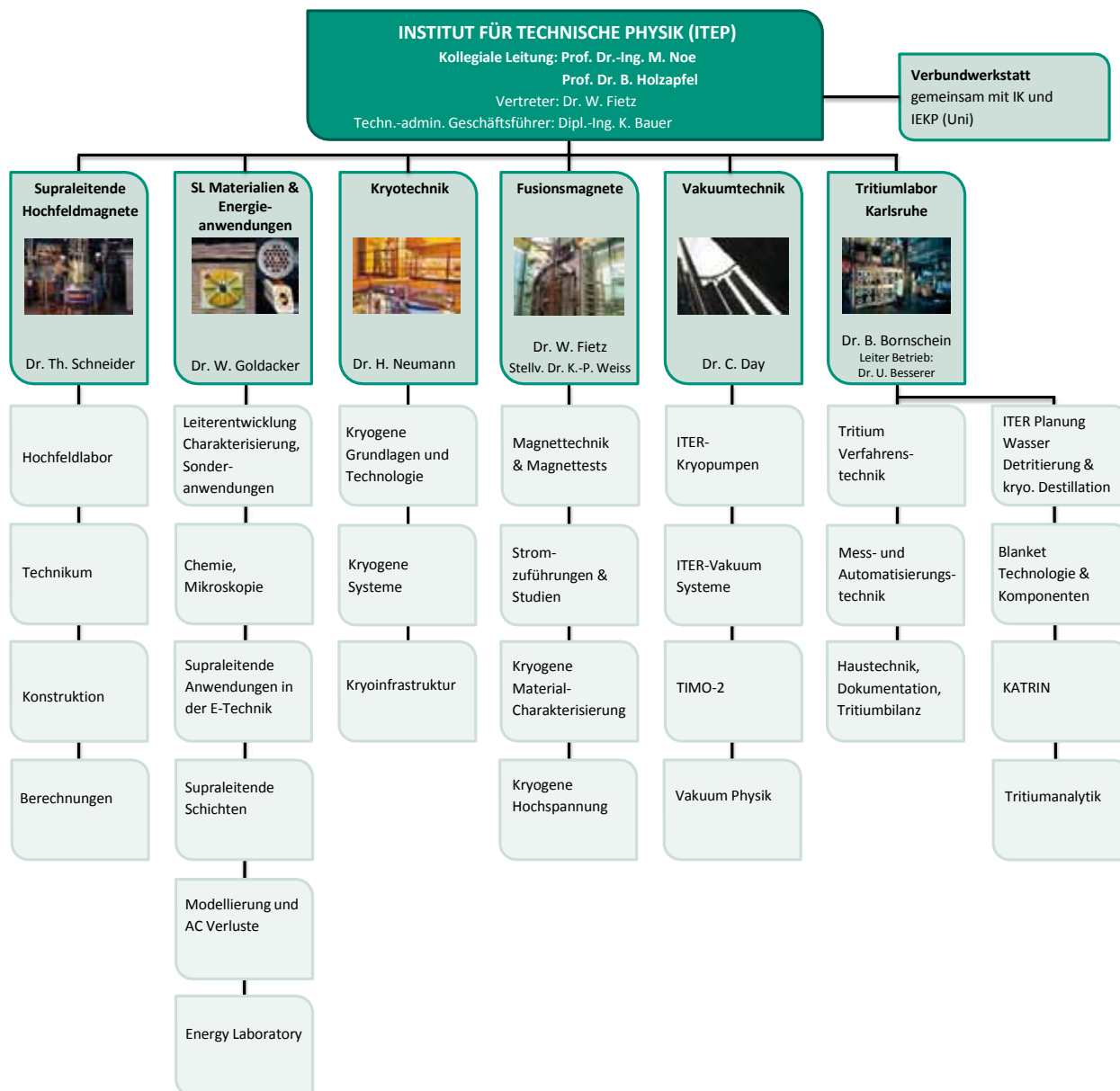
Fach- und Gastvorträge

| | | | |
|--|--|------------|--|
| 10.02.2016 | Abschätzung von Verunreinigung in Kalibriergasmischungen für das Tritium-Hydrogen-Deuterium-Experiment Alexander Rein Masterarbeit, IB TLK | 12.05.2016 | Seeking Cooperation Opportunities with KIT in HTS Applications Dr. Zhenghe Han Innova Superconductor Technology Co., Ltd. [InnoST] (CHN) Gast am ITEP, IB SUPRA |
| 23.02.2016 | Systemanalyse kryogener Pelletinjektoren in Fusionsreaktoren Yannick Hörstensmeyer Masterarbeit, IB VAKUUM | 31.05.2016 | Aufbau eines Auswertesystems zur Wirk- und Scheinleistungsbewertung von induktiven supraleitenden Strombegrenzern Manuel Pitz Masterarbeit, IB SUPRA |
| 25.02.2016, 03.03.2016, 10.03.2016, 17.03.2016, 31.03.2016 | The Basics of Plasma Physics Issues in a Tokamak Reactor – Integrating Physics and Engineering Views I Yuri Igitkhanov Vortragsreihe, IB VAKUUM | 05.07.2016 | Herstellung und Verwendung von hochkonzentriertem HD zur Validierung der Kalibrierung von Wasserstoffanalysesystemen am Tritiumlabor Karlsruhe Tim Brunst Masterarbeit, IB TLK |
| 18.03.2016 | Magnetic Separation and Classification & Superconducting Magnets Prof. Paulo Aloisio Edmond Reis da Silva Augusto Universität Salamanca (ESP) Gast am ITEP, IB SUPRA | 11.07.2016 | Superconducting Magnetic Energy Storage: Concepts and Applications Prof. Antonio Morandi University of Bologna (ITA) Gast am ITEP, IB SUPRA |
| 26.04.2016 | Cryogenic structural materials issues coming from structural assessment of superconducting magnet systems Anatoly Panin Forschungszentrum Jülich (D) Gast am ITEP, IB FUSION | 19.07.2016 | Konzeption des Schülerexperiments „Elektrische Leitfähigkeit von Supraleitern und metallischen Leitern“ im KIT-Schülerlabor Energie Giulia Bartelt Zulassungsarbeit, Staatsexamen IB VERW/ Schülerlabor |
| 29.04.2016 | Investigation of Lithium-6 Issues for Nuclear Fusion Applications Nadine Osman Masterarbeit, IB VAKUUM | 16.08.2016 | Strömungsdynamische Simulation des Reaktionsgases für die kontinuierliche YBCO-Bandleiterherstellung Rafael Klenk Bachelorarbeit, IB SUPRA |
| 11.05.2016 | Spectroscopy of molecular hydrogen in the laboratory and at high red-shift to search for varying constants Prof. Dr. Wim Ubachs Vrije Universiteit Amsterdam (NLD) Gast am ITEP, IB TLK | 16.08.2016 | Konzeption des Schülerexperiments „Magnetismus und magnetische Materialien“ im KIT-Schülerlabor Energie Pia Schulz Bachelorarbeit, IB SUPRA |
| 11.05.2016 | Precision measurements on diatomic hydrogen molecules in search of fifth forces and extra dimensions Dr. Edcel Salumbides Vrije Universiteit Amsterdam (NLD) Gast am ITEP, IB TLK | | |

| | | | |
|------------|---|------------|--|
| 30.08.2016 | Konzeption des Schülerexperiments „Magnetismus und magnetische Materialien“ im KIT-Schülerlabor Energie Christian Göcke Zulassungsarbeit, Staatsexamen IB VERW/ Schülerlabor | 04.10.2016 | Investigation of Gas Compositions on a Metal Foil Pump Daniel Rau Bachelorarbeit, IB VAKUUM |
| 30.08.2016 | HTS Technology Development Challenges for a Compact Spherical Tokamak Robert Slade Tokamak Energy Ltd. (GB) Gast am ITEP, IB SUPRA | 11.11.2016 | Material performance experiments and development of a novel system Cyra Neugebauer Masterarbeit, IB VAKUUM |
| 01.09.2016 | Analysis of MgB ₂ Films Made from Milled Powder with the Use of Aerosol Deposition Sanyam Gandhi Bachelorarbeit, IB SUPRA | 11.11.2016 | Entwicklung einer Methode für Leckagestrommessungen an einem federbelasteten Sicherheitsventil Jonas Schwenzer Bachelorarbeit, IB KRYO |
| 07.09.2016 | Large Superconducting Wind Generator – Features and Challenges Ronghai Qu Huazhong University of Science and Technology (CHN) Gast am ITEP, IB KRYO | 14.11.2016 | The Top Seeded Infiltration and Growth Technique – Is this the way forward for fabricating large, single grain bulk (RE)BCO superconductors with dense microstructures? Dr. Devendra K. Namburi University of Cambridge (GB) Gast am ITEP, IB SUPRA |
| 22.09.2016 | Highlights from ASC (Applied Superconductivity Conference) and CCA (Coated Conductors for Applications) Workshop Teilnehmer der ASC und CCA Workshops | 25.11.16 | NdFeAs(O,F) Thin Films: Processing and Physical Properties Prof. Kazumasa Iida Nagoya University (JPN) Gast am ITEP, IB SUPRA |

Zahlen und Daten

Organigramm



Personalstand (30.11.2016)

| | | | |
|--------------------------|------------|----------------------------------|----|
| Gesamt | 230 | zusätzlich, während 2016: | |
| Akademiker | 72 | Gäste | 18 |
| Ingenieure und Techniker | 61 | Praktikanten | 15 |
| Sonstige | 32 | Studentische Hilfskräfte | 31 |
| Doktoranden | 35 | Studien-, Bachelorarbeiten | 15 |
| Master/Diplom | 16 | | |
| DH-Studenten | 8 | | |
| Auszubildende | 6 | | |

Zahlen und Daten

Personalveränderungen

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

Wescley Batista de Sousa

Nicolai Benz

Pablo Cayado-Llosa

Ester Diaz-Alvarez

Tobias Falke

Jonas Faul

Jean-Hughes Fournier Lupien

Carina Galante

Veronika Gretz

Roland Gyuráki

David Hillesheimer

Yannick Hörstensmeyer

Harald Itschner

Shahab Karrari

Lukas Kneller

Michael Korevaar

Philip Kreideweis

Svenja Krimm

Manuel Pitz

Nico Pitzschel

Vincent Przikling

Ana Radu-Alexandru

Yannick Stalf

Christina Weber

Tobias Weber

Ausgeschieden
(ohne Praktikanten, Gäste und
studentische Hilfskräfte)

Hans-Dieter Adami

Christoph Bayer

Flavio Brighenti

David Demange

Eduard Demencik

Sylvia Ebenhöch

Angelika Edinger

Jean-Hughes Fournier-Lupien

Vishnuvardhan Gade

Manfred Glugla

Carolin Heidt

Christine Molnar

Daniel Moser

Oliver Näckel

Hosea Neubehler

Brigitte Runtsch

Simone Rupp

Kerstin Schönung

Thorben Wahl

Carsten Zins

Zahlen und Daten

Studentische Hilfskräfte

Evelyn Bens

Stefanie Blust

Tim Brunst

Carl Bühler

Martin Chetan

Felix Diel

Tobias Feifel

Marius Frank

Christian Göcke

Michael Groß

Elisabeth Günther

Maiken Günther

Lu Guo

Felix Hahl

Florian Hörmann

Fabian Immel

Thomas Karcher

Johannes Kern

Rafael Klenk

Alexander Kraus

Paul Masuch

Martin Meinzer

Roy Nygaard

Manuel Pitz

Max Reimer

Alexander Schlenga

Pia Schulz

Eugen Shabagin

Maren Stöcklöv

Matthias Wecker

Jochen Werling

Mark Weyrauch

Nicolas Ziegler

Zahlen und Daten

Gastwissenschaftler

Mingxing Zhang

01.09.15–31.08.16 Beihang University, Beijing, China

Prof. Dr.-Ing. Frédéric Sirois

01.09.15–31.08.16 École Polytechnique, Montréal, Canada

Takafumi Hatano

07.01.–16.03.16 Nagoya University, Nagoya, Japan

Dr. Yoshinori Ono

21.02.–16.03.16 National Institute of Material Science, Tsukuba, Japan

Kentaro Okumura

29.02.–04.03.16 Kawasaki Heavy Industry, Akashi City, Japan

Alica Fedoriková

07.03.–07.06.16 Technical University TUKE, Košice, Slovakia

Andrea Zappatore

14.03.–18.03.16 Politecnico di Torino, Torino, Italien

Dr. Mauro Dalla Palma

14.03.–17.03.16 Conorzio RFX, Padova, Italien

Gregory Courville

01.04.–30.06.16 University of California, Santa Barbara, USA

Andrea Kovacova

30.05.–03.06.16 Technical University TUKE, Košice, Slovakia

Dipl.-Ing. Uwe Naumann

01.08.16–30.06.18 Bergische Universität, Wuppertal, Deutschland

Dipl.-Physiker Norman Haußmann

01.08.16–30.06.18 Bergische Universität, Wuppertal, Deutschland

Prof. Dr. Klaus Helbing

01.08.16–30.06.18 Bergische Universität, Wuppertal, Deutschland

Dr. Phil. Stephanie Virginia Hickford

01.08.16–30.06.18 Bergische Universität, Wuppertal, Deutschland

Dipl.-Physiker Enrico Ellinger

01.08.16–31.08.18 Bergische Universität, Wuppertal, Deutschland

Dr. Philipp Chung-On Ranitzsch

24.10.16–31.12.19 Westfälische Wilhelms Universität, Münster, Deutschland

Prof. Dr. Iida Kazumasa

24.11.–01.12.16 Nagoya University, Nagoya, Japan

Dr. Devendra Kumar Namburi

12.11.–17.11.16 University of Cambridge, UK

Zahlen und Daten

Mitgliedschaften in technisch und wissenschaftlich relevanten Gremien

Kai Bauer

- Mitglied der gemeinsamen Kommission „Max-Planck-Gesellschaft und Helmholtz-Gemeinschaft HSE“
- Mitglied im Helmholtz-Arbeitskreis HSE „Health, Safety and Environment“
- Mitglied der Kommission für Lehrkultur an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe im Fachbereich „Technik“
- Mitglied der Prüfungsausschüsse der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe in den Fachbereichen „Maschinenbau“ und „Wirtschaftsingenieurwesen“

Beate Bornschein

- Mitglied im KIT-Lenkungskreis KATRIN
- Mitglied im Financial Technical Review Board von KATRIN
- Mitglied im KATRIN Executive Committee
- Mitglied im KATRIN Collaboration Board
- Mitglied im KATRIN Publication Committee
- Koordinatorin Quelle und Transportsystem von KATRIN
- Mitglied im KCETA-Lenkungsgremium
- Mitglied im Executiv Board von KSETA
- Mitglied im Admission Board von KSETA
- Mitglied im CRY (Council for Research and Promotion of Young Scientists) des KIT
- Mitglied im KHYS-Lenkungsgremium
- Mitglied im International Steering Committee der International Conference on Tritium Science and Technology

Christian Day

- Mitglied des Vorstandsrates der Dt. Vakuumgesellschaft (DVG).
- Stellv. Vorsitzender des Fachverbandes Vakuumphysik und -technik der Dt. Physikalischen Gesellschaft (DPG).
- Projektleitung des Bereichs Tritium-Materiezufuhr-Vakuum im Europäischen Fusionsprogramm EURO-FUSION
- Mitglied im Fusion For Energy – Technical Advisory Panel
- Sprecher Topic 'Vakuum und Tritium' der deutschen DEMO-Initiative
- Mitglied im International Advisory Committee der RGD (Rarefied Gas Dynamics Conference)
- Mitglied des Programmkomitees der EVC (European Vacuum Conference), IVC (International Vacuum Conference) und ISFNT (international Symposium of Fusion Nuclear Technology).
- Associated Expert of the Indian Vacuum Society (IVS).
- Chartered Engineer of American Vacuum Society (AVS).
- Koordination der Task Force Tritium-Vakuum im KIT Programm FUSION

David Demange

- Mitglied im Technical Program Committee der International Conference on Tritium Science and Technology

Walter H. Fietz

- Mitglied des "Eurofusion Scientific Technical Advisory Committee (STAC)"
- Mitglied des "International Organizing Committee of Symposium of Fusion Technology (SOFT) conference"
- Leiter der "Task Force Magnets" im KIT Programm Fusion
- IEEE Senior Member
- Mitglied des "IEEE Council of Superconductivity"
- Mitglied des KIT Senats

Jörn Geisbüsch

- Mitglied im Editor Board: Appl. Superc. Conference, 2016, Denver USA
- Mitglied des EERA "Integrated Energy System – A Pathway for Europe" Programms
- KIT Mitgliedschaft, Repräsentant und Teilnehmer des "DERlab General Assembly and Workshop in Brno", Czechische Republik
- Sprecher des "Storage and Cross-Linked Infrastructures Program Cluster 2 Working Group"

Thomas Giegerich

- Vorsitzender des Fachverbandes Vakuumphysik und -technik der Dt. Physikalischen Gesellschaft (DPG).

Wilfried Goldacker

- Mitglied des "Board of Directors of ICMC" (International Cryogenics Materials Commission)
- Mitglied der Kommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik im DIN und VDE, DKE, Referat K184 „Supraleiter“
- Mitglied des Advisory Board: CESUR (Centre of Excellence for Superconductivity Research) Universität Ankara
- Mitglied des Board: ICEC25-ICMC Conference, ICMC Chair, New Dheli 2016
- Program Komitee Mitglied: ICSM-Conference Antalya 2015
- Mitglied: Executive Board of Eucard-II (EU-Projekt)
- Mitglied und KIT-Repräsentant: Windenergie-Netzwerk e. V. Rostock
- Mitglied: VAMAS Gremium für Normierung TWA 16
- Mitglied: IEC International Electrotechnical Commission/Technical Committee 90 „Superconductivity“
- Mitglied des Advisory Board: ICMC-CSSJ50-Conference, Kanazawa 2016 Japan
- Mitglied des Program Komitee: CCA Conference, 2016 Aspen, USA

Francesco Grilli

- Mitglied im Board: International HTS Modelling working group <http://www.htsmodelling.com>
- Mitglied des "International advisory board of the 5th International Workshop on Numerical Modelling of High Temperature Superconductors", 2016 Bologna

Steffen Grohmann

- Mitglied im DIN Normenausschuss Druckgeräte (NDG)
- Mitglied im Verein zur Förderung der Luft- und Kältetechnik e.V.
- Mitglied im International Institute of Refrigeration, Commission A1: Cryophysics, cryoengineering

Moritz Hackenjohs

- Doktorandenvertreter des Graduiertenkollegs, KSETA

Jens Hänisch

- Mitglied des "EMFL User Proposal Selection Committee" (<http://www.emfl.eu/user/selection-committee.html>)
- Repräsentativer Organisator (Übersee) des Symposiums "Superconducting Materials and Applications" bei der Konferenz IUMRS-ICAM 2017, Kyoto Japan

Reinhard Heller

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

Bernhard Holzapfel

- Präsident der European Society for Applied Superconductivity (ESAS)
- Mitglied des Boards der Applied Superconductivity-Conference
- Mitglied des International Program Committee der Applied Superconductivity Conference
- Mitglied des Editorial Boards der Applied Superconductivity Conference 2016
- Mitglied des International Program Committee der European Conference on Applied Superconductivity
- Mitglied des Steering Board des Siemens Campus "Future Energy Systems"
- Mitglied des Organisationskommittees der CCA2016

Frank Hornung

- Mitglied des Konvent des Karlsruher Institut für Technologie

Anna Kario

- Mitglied im Programm Komitee: Appl. Superc. Conference, 2016, Denver USA
- Mitglied im Editor Board: Appl. Superc. Conference, 2016, Denver USA
- Mitglied im Programm Komitee: Magnet Technology Conference 2017 Amsterdam

Bennet Krasch

- Young Scientist Vertreter

Holger Neumann

- Vorstandsmitglied im „Deutscher Kälte und Klimatechnischer Verein e. V. – DKV“ als stellvertretender Vorsitzender

Mathias Noe

- Kurator des Forschungsnetzwerkes Hochtemperatur-Supraleitung des BMWi
- Internationaler Experte der CIGRE D1 Arbeitsgruppe "Assessing emerging test guidelines for HTS applications in power systems"
- Internationaler Experte der CIGRE Arbeitsgruppe D1.64 "Cryogenic dielectric insulation"
- Mitglied der VDE ETG Task Force „Perspektiven der Übertragungstechnik“
- Sprecher des Helmholtz Programmes Speicher und vernetzte Infrastrukturen
- Mitglied des Managementboards des Forschungsbereiches Energie der Helmholtz Gemeinschaft
- Mitglied des Boards der European Society for Applied Superconductivity (ESAS)
- Koordinator des Joint Programs Energy Storage der European Energy Research Alliance (EERA)
- Deutscher Abgesandter der International Energy Agency, Implementing Agreement for a co-operative programme for assessing the impacts of high-temperature superconductivity on the electric power sector
- Mitglied des International Organizing and Scientific Program Committee of the International Conference on Magnet Technology
- Mitglied des Boards der Applied Superconductivity Conference
- Mitglied des International Program Committee der European Conference on Applied Superconductivity
- Programmdirektor des Studiengangs Energy Engineering and Management der Hector School
- Mitglied des Advisory Panel der Zeitschrift Physica C
- Editor des Journals IEEE Transactions on Applied Superconductivity for Large Scale Applications
- Gastmitglied des Industrieverband Supraleitung (ivsupra)

Rajanikumar, Ramalingam

- Mitglied im technischen Komitee, an der International conference on Electrical, Instrumentation and communication Engineering- Recent Trends & Research Issues (ICE2)
- Mitglied im Beratungskomitee an der – International conference on Aerospace and Mechanical Engineering (ICAME)

Sonja Schlachter

- Mitglied im „Executive Board of Superconductor Science and Technology“ (SUST) des "Institute of Physics" (IOP) UK
- Mitglied im Editor Board, Appl. Superc. Conference, 2016, Denver USA

Stylios Varoutis

- Mitglied im wissenschaftlichen Komitee der NEGF (European Conference on Non-equilibrium Gas Flows)
- Mitglied im Auswahlkomitee des High Performance Computers MARCONI

Anne-Kathrin Weber

- Mitglied des Prüfungsausschusses der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe im Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen

Klaus-Peter Weiss

- DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE Referat K 184 „Supraleiter“, Stellvertretender Obmann
- IEC International Electrotechnical Commission/Technical Committee 90 „Superconductivity“, Mitglied WG 2 „Critical current measurement of Nb-Ti composite superconductors“, WG 5 „Tensile test and electro-mechanical properties of composite superconductors“, WG 7 „Critical current measurement method of Nb₃Sn composite superconductors“, WG 11 „Critical temperature measurement – Critical temperature of composite superconductors“, WG 13 „General characteristics for practical superconducting wires“
- Sprecher der Arbeitsgruppe „Magnet Design“ innerhalb der deutschen Koordination der Fusionsforschung für DEMO

Jürgen Wendel

- Vorstandsmitglied und Schatzmeister der Deutschen Gesellschaft für Flüssigszintillationschromatographie e. V. (DGfS).

Veröffentlichungen

Fusion

(* Thomson Reuters und/oder Scopus referiert)

Antunes, R.; Borisevich, O.; Demange, D.

Experimental and numerical investigation of zeolite membranes for tritium processes in the future fusion reactors

Membranes and Membrane Processes Design: European Membrane Society Summer School, Bertinoro, I, June 26 – July 1, 2016

Antunes, R.; Borisevich, O.; Demange, D.; Gramlich, N.; Le, T.-L.; Ovalle, A.

Zeolite membranes for tritium processing: preliminary inactive results and CAPER upgrade for separation experiments with tritium

11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

* Bagrets, N.; Celentano, G.; Augieri, A.; Nast, R.; Weiss, K.-P.
Investigation of Soldered REBCO Tape-Copper Joints for Superconducting Applications
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

Bagrets, N.; Nast, R.; Weiss, K.-P.

Current transfer length and interface resistance in REBCO wires for superconducting applications
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016

Bagrets, N.; Weiss, K.-P.; Osamura, K.; Shin, H.-S.

Preparation of RRT for tensile test on REBCO and BSCCO tapes at cryogenic temperature
8th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (MEM 2016), Tallahassee, FL, March 21–23, 2016

* Batistoni, P.; Campling, D.; Conroy, S.; Croft, D.; Giegerich, T.; Huddleston, T.; Lefebvre, X.; Lengar, I.; Lilley, S.; Peacock, A.; Pillon, M.; Popovichev, S.; Reynolds, S.; Vila, R.; Villari, R.; Bekris, N.

Technological exploitation of Deuterium-Tritium operations at JET in support of ITER design, operation and safety
Fusion engineering and design

Battes, K.; Day, C.; Hauer, V.

Outgassing behaviour of different high-temperature resistant polymers
20th International Vacuum Congress (IVC), Busan, Korea, August 21–26, 2016

Bayer, C. M.

Characterization of High Temperature Superconductor Cables for Magnet Toroidal Field Coils of the DEMO Fusion Power Plant

Bayer, C. M.; Gade, P. V.; Barth, C.; Preuß, A.; Jung, A.; Weiß, K.-P.

Mechanical reinforcement for RACC cables in high magnetic background fields
Superconductor science and technology

Bonelli, F.

Modeling of divertor neutral gas flows using the direct simulation Monte Carlo method
13th Kudowa Summer School, "Towards Fusion Energy", Kudowa-Zdrój, PL, June 13–17, 2016

Bonelli, F.; Varoutis, S.; Coster, D.; Day, Chr.; Zanino, R.
Self-consistent coupling of DSMC method and SOLPS code for modeling tokamak particle exhaust
IAEA Fusion Energy Conference (FEC), Kyoto, J, October 17–22, 2016

* Brighenti, A.; Bonifetto, R.; Drotziger, S.; Heller, R.; Savoldi, L.; Zanino, R.
Numerical analysis of propagation of thermal disturbances in brass-stabilized REBCO tapes
Cryogenics

Brunst, T. B.

Herstellung und Verwendung von hochkonzentriertem HD zur Validierung der Kalibrierung von Wasserstoff-analysesystemen am Tritiumlabor Karlsruhe

* Buekki-Deme, A.; Demange, D.; Le, T.-L.; Fanghaenel, E.; Simon, K.-H.

PERMCAT experiments with tritium at high helium flow rates relevant for the tritium extraction systems using the CAPER facility at TLK
Fusion engineering and design

Bükki-Deme, A.; Calderoni, P.; Demange, D.; Fanghänel, E.; Le, T.-L.; Sirch, M.; Ricapito, I.

Experimental investigation of ZrCo getter beds as candidate process for the tritium extraction system of the European test blanket modules
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Butler, B.; Lawless, R.; Hollingsworth, A.; Whittaker, D.; Parracho, A.; Lefevre, X.; Day, C.; Giegerich, T.; Lang, P.
Tritium plant requirements and architecture for a DEMO power plant

11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Carella, E.; Ugorri, F.R.; Demange, D.; Castellanos, J.; Moreno, C.

Tritium behavior in HCPB breeder blanket unit: modeling and experiments
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

* Cristescu, I.

Enhanced configuration of a water detritiation system; impact on ITER Isotope Separation System based cryogenic distillation
Fusion engineering and design

Cristescu, I.; Bükki-Deme, A.; Dittrich, H.; Gramlich, N. Grösle, R.; Krammer, F.; Lohr, N.; Melzer, C.; Rehlinghaus, F.; Schäfer, P.; Welte, S.

Review of the TLK activities related to water detritiation, isotope separation based on cryogenic distillation and development of barriers against tritium permeation
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

* Day, C.; Butler, B.; Giegerich, T.; Lang, P. T.; Lawless, R.; Meszaros, B.

Consequences of the technology survey and gap analysis on the EU DEMO R&D programme in tritium, matter injection and vacuum
Fusion engineering and design

Day, C.; Butler, B.; Cismondi, F.; Demange, D.; Giegerich, Th.; Ploeckl, B.

Structured development of the inner fuel cycle systems of an EU DEMO
1st IAEA Technical Meeting on the Safety Design and Technology of Fusion Power Plants, Wien, A, May 3–5, 2016

Day, C.; Gleason-Gonzalez, C.; Shimizu, K.; Varoutis, S.; Nakano, T.; Hoshino, K.; Kawashima, H.; Scannapiego, M.; Sakurai, S.; Luo, X.; Hauer, V.; Asakura, N.; Bonelli, F. Assessment of the operational window for JT-60SA divertor pumping under consideration of the effects from neutral-neutral collisions
IAEA Fusion Energy Conference (FEC), Kyoto, J, October 17–22, 2016

Day, C.; Hauer, V.; Luo, X.; Varoutis, S.

The KIT vacuum flow toolbox
14th European Vacuum Conference (EVC-14), Portoroz, SLO, June 6–10, 2016

Day, C.

Cryotechnology and cryopumps
Handbook of Vacuum Technology. Ed.: K. Jousten

Day, C.

Tritium extraction from liquid breeding blankets based on the vacuum sieve tray technology
4th IAEA DEMO Programme Workshop (DPW-4), Karlsruhe, November 15–18, 2016

* Day, C.; Varoutis, S.; Igitkhanov, Y.

Effect of the Dome on the Collisional Neutral Gas Flow in the Demo Divertor
IEEE transactions on plasma science

Demange, D.; Antunes, R.; Arbeiter, F.; Frances, L.; Moreno, C.; Morono, A.; Rapisarda, D.; Santucci, A.; Smith, R.; Utili, M.

Overview of the European R&D on tritium technology for DEMO breeding blanket
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

* Demange, D.; Antunes, R.; Borisevich, O.; Frances, L.; Rapisarda, D.; Santucci, A.; Utili, M.

Tritium extraction technologies and DEMO requirements
Fusion engineering and design

* Drotziger, S.; Fietz, W.; Heller, R.; Jung, A.

Investigation of stabilizer material properties used with REBCO coated conductor tapes for the application in a 20-kA high-temperature superconductor current lead
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Ebenhoeh, S.; Niemes, S.; Priester, F.; Roellig, M.

Investigations of the applicability of a new accountancy tool in a closed tritium loop
Fusion engineering and design

* Federici, G.; Bachmann, C.; Biel, W.; Boccaccini, L.; Cismondi, F.; Ciattaglia, S.; Coleman, M.; Day, C.; Diegele, E.; Franke, T.; Grattarola, M.; Hurzlmeier, H.; Ibarra, A.; Loving, A.; Maviglia, F.; Meszaros, B.; Morlock, C.; Rieth, M.; Shannon, M.; Taylor, N.; Tran, M. Q.; You, J. H.; Wenginger, R.; Zani, L.

Overview of the design approach and prioritization of R&D activities towards an EU DEMO
Fusion engineering and design

Fietz, W. H.; Bagrets, N.; Bayer, C. M.; Gröner, F.; Heller, R.; Lange, C.; Weiss, K.-P.; Wolf, M. J.

HTS CroCo for future fusion magnets
SOFT Konferenz, Prag, Tschechische Republik, 2016

* Fietz, W. H.; Wolf, M. J.; Preuss, A.; Heller, R.; Weiss, K.-P. High-current HTS cables: Status and actual development
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

Fink, S.; Zwecker, V.

Flashover voltage of PE300 insulators embedded in liquid nitrogen with and without gas bubbles
1st IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), 3–7 July 2016 - Montpellier, France

Frances, L.; Demange, D.; Konishi, S.; Mertens, M.; Munoz, A.; Okino, F.

Development and modelling of a multi-nozzle Vacuum Sieve Tray extraction facility
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Frances, L.; Demange, D.; Diaz, E.; Mertens, M.; Munoz, A. Multi-nozzle vacuum Sieve Tray to perform hydrogen isotope extraction from liquid metal

EMN Meeting on Droplets, San Sebastian, May 9–13, 2016

Frances, L.; Demange, D.; Diaz, E.; Mertens, M.; Munoz, A.
Status and perspectives of the vacuum Sieve Tray method to extract tritium from Pb-16Li at TLK
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016

Fratolillo, A.; Bombarda, F.; Day, C.; Lang, P. T.; Migliori, S.; Pegourie, B.

An innovative approach for DEMO core fuelling by in-board injection of high-speed pellets
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016

* Giegerich, T.; Bekris, N.; Camp, P.; Day, C.; Gethins, M.; Lesnoy, S.; Luo, X.; Müller, R.; Ochoa, S.; Pfeil, P.; Smith, R.; Strobel, H.; Stump, H.

Advanced design of the Mechanical Tritium Pumping System for JET DTE2
Fusion engineering and design

Giegerich, T.; Day, C.; Knitter, R.; Osman, N.

Lithium enrichment issues in the sustainable supply chain of future fusion reactors

1st IAEA Technical Meeting on the Safety Design and Technology of Fusion Power Plants, Wien, A, May 3–5, 2016

Giegerich, T.

Novel vacuum pumping concepts for fusion power plants
Dissertation. 2016. Karlsruhe

Giegerich, T.; Day, C.; Luo, X.; Müller, R.; Ochoa, S.; Strobel, H.

Thermo-mechanical design study of a linear mercury diffusion pump for tritium processing

11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Giegerich, T.; Day, C.; Jäger, M.

Mercury ring pump proof-of-principle testing
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016

Giruzzi, G.; Joffrin, E.; Garcia, J.; Douai, D.; Artaud, J. F.; Pegourie, B.; Maget, P.; Kamada, Y.; Yoshida, M.; Ide, S.; Hayashi, N.; Matsunaga, G.; Nakano, T.; Shinohara, K.; Sakurai, S.; Suzuki, T.; Urano, H.; Enoeda, M.; Kubo, H.; Kamiya, K.; Takechi, M.; Miyata, Y.; Isayama, A.; Kobayashi, T.; Moriyama, S.; Shimizu, K.; Hoshino, K.; Kawashima, H.; Bierwage, A.; McDonald, D. C.; Sozzi, C.; Figini, L.; Nowak, S.; Moro, A.; Platania, P.; Ricci, D.; Granucci, G.; Bolzonella, T.; Bettini, P.; Innocente, P.; Terranova, D.; Pigatto, L.; Villone, F.; Pironti, A.; Mastrostefano, S.; De Tommasi, G.; Mattei, M.; Mele, A.; Orsitto, F. P.; Dunai, D.; Szepesi, T.; Barbato, E.; Vitale, V.; Romanelli, M.; Garzotti, L.; Boboc, A.; Saarelma, S.; Wischmeier, M.; Lauber, Ph.; Lang, P.; Neu, R.; Day, C.; Gleason-Gonzalez, C.; Scannapiego, M.; Zagorski, R.; Galazka, K.; Stepniewski, W.; Cruz, N.; de la Luna, E.; Garcia-Munoz, M.; Vega, J.; Clement-Lorenzo, S.; Sartori, F.; Coda, S.; Goodman, T.; Soare, S.

Physics and operation oriented activities in preparation of the JT-60SA tokamak exploitation
IAEA Fusion Energy Conference (FEC), Kyoto, J, October 17–22, 2016

* Gleason-González, C.; Varoutis, S.; Luo, X.; Shimizu, K.; Nakano, T.; Hoshino, K.; Kawashima, H.; Asakura, N.; Day, C.; Sakurai, S.

Simulation of collisional effects on divertor pumping in JT-60SA

Fusion engineering and design

Godot, A.; Galliez, K.; Jossens, G.; Mathonat, C.; Demange, D.

Tritium measurement of waste in large volume drums
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Größe, R.; Kraus, A.; Mirz, S.; Wozniowski, S.

First calibration of an IR absorption spectroscopy system for the measurement of H₂, D₂ and HD concentration in the liquid phase

11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Hanke, S.; Hauer, V.; Day, C.; Sartori, E.; Dal Bello, S.; Zaccaria, P.; Zhang, M.; Dalla Palma, M.

Experimental characterization of the MITICA neutralizer gas injection nozzles

29th SOFT. Symposium on Fusion Technology, Prag, Tschechische Republik, 5.–9.9.2016

Heller, R.; Bagrets, N.; Drotziger, S.; Fietz, W. H.; Kienzler, A.; Wolf, M. J.

Design considerations for a 20 kA high temperature superconductor current lead using REBCO material

Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016

* Heller, R.; Gade, P. V.; Fietz, W. H.; Vogel, T.; Weiss, K.-P.
Conceptual design improvement of a toroidal field coil for EU DEMO using high-temperature superconductors
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Heller, R.; Bauer, Pierre C.; Savoldi, L.; Zanino, R.; Zappatore, A.

Predictive 1-D thermal-hydraulic analysis of the prototype HTS current leads for the ITER correction coils
Cryogenics

Igitkhanov, J.; Day, C.

Fuel balance of the plasma chamber in a DEMO reactor
13th International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials, Milano, I, June 6–8, 2016

Igitkhanov, Y.; Day, C.; Lang, P. T.; Ploekl, B.

Assessment of pumping requirements in DEMO reactor
22nd Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE 2016), Philadelphia, PA, August 22–25, 2016

Igitkhanov, Y.; Fetzer, R.; Bazylev, B.

Effect of ELMs on PFC of DEMO reactor
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016

Igitkhanov, Y.; Varoutis, S.; Day, C.; Wenninger, R.

Effect of divertor performance on the pumping efficiency in DEMO

IAEA Fusion Energy Conference (FEC), Kyoto, J, October 17–22, 2016

- Kauffmann-Weiss, S.; Kauffmann, A.; Sas, J.; Kvackaj, T.; Freudenberger, J.; Holzapfel, B.; Weiss, K.-P.
Deformation behaviour and mechanical properties of severely deformed copper at cryogenic temperatures
Materials Science and Engineering (MSE) 2016, Darmstadt, September 27–29, 2016
- Luo, X.; Day, C.
Transmission probability and active pumping ability of the channel with moving partition plane
Proceedings of the 30th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Victoria, CDN, July 10–15, 2016.
Ed.: A. Ketsdever
- Luo, X.; Day, C.
Transmission probability and active pumping ability of the channel with moving partition plane
30th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Victoria, CDN, July 10–15, 2016
- Luo, X.; Hanke, S.; Day, C.; Bongiorno, G.; Siviero, F.; Sartori, E.
Monte Carlo simulation to determine the sticking probability of SAES ZAO® sintered non evaporable getter disk
20th International Vacuum Congress (IVC), Busan, Korea, August 21–26, 2016
- * Mertens, M. A. J.; Demange, D.; Frances, L.
Model and simulation of a vacuum sieve tray for T extraction from liquid PbLi breeding blankets
Fusion engineering and design
- Mirz, S.; Besserer, U.; Bornschein, B.; Gröble, R.; Krasch, B.; Welte, S.
Design of a spectroscopy experiment for all hydrogen isotopologues in the liquid phase
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016
- * Ochoa G., S.; Hanke, S.; Sartori, E.; Palma, M. D.
Analysis of twisted tape solutions for cooling of the residual ion dump of the ITER HNB
Fusion engineering and design
- Okino, F.; Frances, L.; Demange, D.; Kasada, R.; Konishi, S.
Tritium recovery efficiency under array of PbLi droplets in vacuum
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016
- Pegourie, B.; Day, C.; Frattolillo, A.; Koechl, F.; Lang, P. T.
Physical constraints on the design of the DEMO pellet fueling system
Proceedings of the 43rd Conference on Plasma Physics, Leuven, B, July 4–8, 2016
- Pegourie, B.; Day, C.; Frattolillo, A.; Koechl, F.; Lang, P. T.
Physical constraints on the design of the DEMO pellet fueling system
43rd Conference on Plasma Physics, Leuven, B, July 4–8, 2016
- Peters, B. J.
Analysis of low pressure hydrogen separation from fusion exhaust gases by the means of superpermeability
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016
- Peters, B. J.; Day, C.
Analysis of plasma driven permeation through vanadium with nonmetal surface layers
International Hydrogen Conference, Moran, WY, September 11–14, 2016
- Ploeckl, B.; Day, C.; Frattolillo, A.; Igitkhanov, Y.; Lang, P. T.; Pegourie, B.; Zohm, H.
Fuelling technology for DEMO, state of the art
29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016
- Priester, F.
A new device for tritium activity measurement of tritiated water
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016
- Sas, J.; Kvackaj, T.; Milkovic, O.; Zemko, M.
Influence of the hot plastic deformation in γ and ($\alpha + \gamma$) area on the structure and mechanical properties of high strength low alloyed (HSLA) steel
MONTREAL'2016 AES-ATEMA International Conference, Montreal, CDN, June 20–24, 2016
- * Sas, J.; Kvačkaj, T.; Milkovič, O.; Zemko, M.
Influence of Hot Plastic Deformation in γ and ($\gamma + \alpha$) Area on the Structure and Mechanical Properties of High-Strength Low-Alloy (HSLA) Steel
Materials
- Sas, J.; Weiss, K.-P.; Kauffmann-Weiss, S.; Kauffmann, A.; Kvackaj, T.
Evolution of microstructure and mechanical properties in ultrafine-grained copper tested at low temperatures
1st Asian ICMC and CSSJ 50th Anniversary Conference, Kanazawa, J, November 7–10, 2016
- Scannapiego, M.; Day, C.; Luo, X.
Experimental and numerical investigation on charcoal adsorption surface sticking coefficients for cryogenic pump application
77th IUCSTA Workshop on Surface processes, gas dynamic and vacuum technology of cryogenic vacuum systems, Fuefuki, J, August 17–21, 2016
- Otten, S.; Kario, A.; Kling, A.; van der Laan, D.; Weiss, J.; Goldacker, W.
Effects of bending on REBCO tapes, RACC cables and CORC® wires at 77 K
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Stan-Sion, C.; Bekris, N.; Kizane, G.; Enachescu, M.; Likonen, J.; Halitovs, M.; Petre, A.
Tritium retention measurements by accelerator mass spectrometry and full combustion of W-coated and uncoated CFC tiles from the JET divertor
Nuclear fusion

Varouotis, S.; Bonelli, F.; Day, Ch.; Igitkhanov, Yu.
Optimization of pumping efficiency and divertor operation
in DEMO

22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI), Roma, I, May 30 – June 3, 2016

Varoutis, S.; Day, C.

Simulation of gas mixture flow impingement on a flat adsorbing cryogenic disc

30th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Victoria, CDN, July 10–15, 2016

* Weiss, K.-P.; Bagrets, N.; Sas, J.; Jung, A.; Schlachter, S. I.; della Corte, A.; Celentano, G.; Kvackaj, T.

Mechanical and thermal properties of central former material for high-current superconducting cables
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Yoshida, K.; Kizu, K.; Tsuchiya, K.; Murakami, H.; Natsume, K.; Koide, Y.; Davis, S.; Tomarchio, V.; Wanner, M.; Decool, P.; Cucchiaro, A.; Heller, R.; Michel, F.; Disset, G.; Genini, L.; Mayri, C.

Construction status of the superconducting magnet system for JT-60SA

IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Zani, L.; Bayer, C. M.; Biancolini, M. E.; Bonifetto, R.; Bruzzone, P.; Brutti, C.; Ciazynski, D.; Coleman, M.; Duran, I.; Eisterer, M.; Fietz, W. H.; Gade, P. V.; Gaio, E.; Giorgetti, F.; Goldacker, W.; Gömöry, F.; Granados, X.; Heller, R.; Hertout, P.; Hoa, C.; Kario, A.; Lacroix, B.; Lewandowska, M.; Maistrello, A.; Muzzi, L.; Nijhuis, A.; Nunio, F.; Panin, A.; Petrisor, T.; Poncet, J.-M.; Prokopec, R.; Sanmarti Cardona, M.; Savoldi, L.; Schlachter, S. I.; Sedlak, K.; Stepanov, B.; Tiseanu, I.; Torre, A.; Turtù, S.; Vallcorba, R.; Vojenciak, M.; Weiss, K.-P.; Wesche, R.; Yagotintsev, K.; Zanino, R.

Overview of Progress on the EU DEMO Reactor Magnet System Design

IEEE Transactions on Applied Superconductivity

Zappatore, A.; Heller, R.; Savoldi, L.; Zanino, R.

Modeling pulsed operation of HTS current leads for Tokamak operation

5th International Workshop on Numerical Modelling of High Temperature Superconductors, Bologna, I, June 15–17, 2016

Veröffentlichungen

Speicher und vernetzte Infrastrukturen

(* Thomson Reuters und/oder Scopus referiert)

- Ackermann, K.; Hänisch, J.; Holzapfel, B.
Overgrowth of cracks in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ -thin films grown on SrTiO_3 - and Al_2O_3 -substrates
80. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Fachverband Tiefe Temperaturen, Regensburg, 6.–11. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51 (2016), TT 19.12
- Ackermann, T.; Geisbüsch, J.; Hellmann, S.; Kottonau, D.; Noe, M.
Superconducting transformers enabling alternative topologies for offshore wind farms
15th Wind Integration Workshop, Vienna, A, November 15–17, 2016
- * Ainslie, M. D.; Hu, D.; Zermeno, V. M. R.; Grilli, F.
Numerical Simulation of the Performance of High-Temperature Superconducting Coils [in press]
Journal of superconductivity and novel magnetism
- * Badel, A.; Ballarino, A.; Barth, C.; Bottura, L.; Dhalle, M. M. J.; Fleiter, J.; Goldacker, W.; Himbele, J.; Kario, A.; Rossi, L.; Rutt, A.; Scheuerlein, C.; Senatore, C.; Tixador, P.; Usoskin, A.; Yang, Y.
Advances in the Development of a 10-kA Class REBCO Cable for the EuCARD2 Demonstrator Magnet
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Ballarino, A.; Bruzek, C.E.; Dittmar, N.; Giannelli, S.; Goldacker, W.; Grasso, G.; Grilli, F.; Haberstroh, C.; Hole, S.; Lesur, F.; Marian, A.; Martinez-Val, J. M.; Martini, L.; Rubbia, C.; Salmieri, D.; Schmidt, F.; Tropeano, M.
The BEST PATHS Project on MgB_2 Superconducting Cables for Very High Power Transmission
IEEE transactions on applied superconductivity
- Ballarino, A.; Bruzek, C.-E.; Dittmar, N.; Escamez, G.; Giannelli, S.; Goldacker, W.; Grasso, G.; Grilli, F.; Haberstroh, C.; Hole, S.; Lesur, F.; Marian, A.; Martinez-Val, J.; Poumarede, C.; Tropeano, M.
Midterm update on the high-power MgB_2 DC superconducting cable project within BEST PATHS.
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * De Sousa, W. T. B.; Polasek, A.; Dicler, F. N. F.; De Andrade, R.
Application of the FDM-ADI Method for Simulating SFCL under Inrush Conditions
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Demenčík, E.; Godfrin, A.; Zermeno, V. M. R.; Grilli, F.
Determination of I-V Curves of HTS Tapes from the Frequency-Dependent AC Transport Loss
IEEE transactions on applied superconductivity
- Dhalle, M.; Gao, P.; Wessel, W. A. J.; Hartmann, M.; ten Kate, H. H. J.; Otten, S.; Kario, A.; Goldacker, W.; Usoskin, A.; Nugteren, J. van; Kirby, G.; Bottura, L.
REBCO Roebel cables under high transverse stress
8th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (MEM 2016), Tallahassee, FL, March 21–23, 2016
- Erbe, M.; Jung, A.; Hänisch, J.; Holzapfel, B.
 BaHfO_3 -formation in REBCO thin films deposited by TFA-MOD on CeO_2 -buffered Ni-5at%W tapes
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Fetisov, S. S.; Zubko, V. V.; Zanegin, S. Y.; Nosov, A. A.; Vysotsky, V. S.; Kario, A.; Kling, A.; Goldacker, W.; Molydyk, A.; Mankevich, A.; Kalitka, V.; Adamenkov, A.; Samoilenkov, S.; Melyukov, D.
Development and characterization of a 2G HTS roebel cable for aircraft power systems
IEEE transactions on applied superconductivity
- Fietz, W.
Hochstrom-Supraleiterkabel „HTS CroCo“ für Magnete und Energieübertragung
5. Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie, Blick nach Vorne – Energiesystem 2050, Karlsruhe, 15. Juni 2016
- Fink, S.; Zwecker, V.
Flashover voltage of PE300 insulators embedded in liquid nitrogen with and without gas bubbles
1st International Conference on Dielectrics (ICD 2016), Montpellier, F, July 3–7, 2016
- Fournier-Lupien, J.-H.; Lacroix, C.; Sirois, F.
Current flow diverter architecture using the Buffer layers for accelerating the normal zone propagation velocity in 2G HTS coated conductors
608 WEH – Heraeus Seminar, Bad Honnef, 18.–20.02.2016
- Gao, P.; Wessel, S.; Dhalle, M. M. J.; Otten, S.; Kario, A.; Goldacker, W.; van Nugteren, J.; Kirby, G.; Bottura, L.; Usoskin, A.; ten Kate, H.
Effect of tape layout and impregnation method on the transverse pressure dependence of the critical current in REBCO Roebel cables
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Geisbüsch, J.; Kottonau, D.; Shabagin, E.; Noe, M.
Comparison of superconducting cables with conventional high-voltage power transmission lines
608. Heraeus Seminar, Bad Honnef, 18.02.–20.02.2016

- Geisbüsch, J.
Energy Lab 2.0 at KIT
International OPAL-RT User Conference: München, June 7–8, 2016
- Geisbüsch, J.
Energy Lab 2.0 at KIT and its PHIL facilities
CoNDYNet Workshop, Bremen, 22.–26. Juni 2016
- Geisbüsch, J.
Power hardware in the loop
SCI Workshop, Karlsruhe, 9. Mai 2016
- Glosse, P.; Denneler, S.; Stöcker, T.; Kauffmann-Weiss, S.; Berthold, T.; Metzger, W.; Oomen, M.; Häbler, W.; Weiss, M.; Weis, F.; Holzapfel, B.; Moos, R.
Influence of processing parameters on MgB₂ superconducting films prepared by aerosol deposition method
6th International Congress on Ceramics (ICC6), Dresden, August 21–25, 2016
- Godfrin, A.; Gyuraki, R.; Demencik, E.; Jung, A.; Kario, A.; Nast, R.; Scheiter, J.; Molodyk, A.; Mankevich, A.; Grilli, F.; Goldacker, W.
AC magnetization loss and transverse resistance measurement of striated coated conductors with electroplated Cu-stabilization
Superconducting Materials on their Way from Physics to Applications: 608. WE-Heraeus-Seminar, Bad Honnef, February 18–20, 2016
- Godfrin, A.; Gyuraki, R.; Kario, A.; Nast, R.; Molodyk, A.; Mankevich, A.; Grilli, F.; Goldacker, W.
AC loss analysis of striated REBCO superOx coated conductors with Cu-stabilization
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Goldacker, W.; Kario, A.; Nast, R.; Grilli, F.
New double-core Roebel Assembled Coated Conductor (DOCO-RACC) cable for enhanced transport currents in large-scale applications
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Goldacker, W.; Kario, A.; Otten, S.; Kling, A.
Technical performance of HTS-Roebel-cables for dipole magnets
Coated Conductors for Applications (CCA2016), Aspen, CO, September 11–14, 2016
- Goldacker, W.; Kario, A.; Schlachter, S.
HTS magnet activities at KIT, a 5T system for space research and the Roebel HTS cable R&D for a dipole insert magnet at CERN
Florida State University, Tallahassee, FL, 29. Januar 2016
- Gomse, D.; Kochenburger, T.; Brandner, J.; Grohmann, S.
Entwicklung eines Wärmeübertragers für kryogene Gemischkältekreisläufe
Deutsche Kälte- und Klimatagung, Kassel, 16.–18. November 2016
- * Grilli, F.; Kario, A.
How filaments can reduce AC losses in HTS coated conductors: A review
Superconductor science and technology
- * Grilli, F.
Numerical modeling of HTS applications
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Grilli, F.; Vojenčiak, M.; Kario, A. U.; Zermeño, V. M. R.
HTS Roebel Cables: Self-Field Critical Current and AC Losses Under Simultaneous Application of Transport Current and Magnetic Field
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Grilli, F.; Xu, Z.
Modeling AC ripple currents in HTS coated conductors by integral equations
Cryogenics
- Grilli, F.; Zermeno, V.
Practical considerations on the use of $J_c(B, \Theta)$ in numerical models of the electromagnetic behavior of HTS 5th
International Workshop on Numerical Modelling of High Temperature Superconductors, Bologna, I, June 15–17, 2016
- * Grilli, F.; Zermeño, V. M. R.; Kario, A.
Designing HTS Roebel cables for low-field applications with open-source code
Physica / C
- Gyuráki, R.; Godfrin, A.; Jung, A.; Kario, A.; Nast, R.; Demencik, E.; Grilli, F.; Goldacker, W.
Measurement of inter-filament resistance in striated HTS coated conductors
608 WEH – Heraeus Seminar, Bad Honnef, 18.–20.02.2016
- Gyuráki, R.; Godfrin, A.; Jung, A.; Kario, A.; Nast, R.; Demencik, E.; Grilli, F.; Goldacker, W.
Measurement of inter-filament resistance in striated HTS coated conductors
ICEC26 – ICMC2016, New Delhi, India, 07.–11.03.2016
- * Gyuraki, R.; Godfrin, A.; Jung, A.; Kario, A.; Nast, R.; Demencik, E.; Goldacker, W.; Grilli, F.
Interfilament Resistance at 77 K in Striated HTS Coated Conductors
IEEE transactions on applied superconductivity
- Hänisch, J.
Supraleitende Materialien
Helmholtz programmübergreifender Workshop EMR, RE, SCI, TIS: Gemeinsame Forschung für die Energiewende, Berlin, 8.–9. November 2016
- Hänisch, J.; Opherden, L.; Sieger, M.; Meledin, A.; Bianchetti, M.; Pahlke, P.; Nast, R.; Schultz, L.; Tendeloo, G. V.; Holzapfel, B.; MacManus-Driscoll, J.; Hühne, R.
Matching effects and pinning properties of Ba₂Y(Nb/TaO₆) nanocolumns in YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films
ASC 2016, Denver, CO 2016

- Heidt, C.; Grohmann, S.
Dynamic modeling of the pressure increase in LHe cryostats in case of incidents
CERN Cryogenic Safety Seminar, Geneva, CH, September 21–23, 2016
- Heidt, C.; Henriques, A.; Stamm, M.; Weber, Ch.; Grohmann, S.
The PICARD test facility – KIT/CERN collaboration on cryogenic pressure relief experiments
CERN Cryogenic Safety Seminar, Geneva, CH, September 21–23, 2016
- Heidt, C.; Henriques, A.; Stamm, M.; Grohmann, S.
First experimental data of the cryogenic safety test facility PICARD
ICEC26 – ICMC2016, New Delhi, India, 07.–11.03.2016
- Hellmann, S.; Abplanalp, M.; Hofstetter, L.; Noe, M.
Conceptual design and manufacturing of a IMVA class superconducting fault current limiting transformer with recovery-under-load capabilities
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Holubek, T.; Casalbuoni, S.; Gerstl, S.; Glamann, N.; Grau, A.; Meuter, C.; Saez de Jauregui, D.; Voutta, R.; Nast, R.; Goldacker, W.
Transverse field measurement of undulator coils wound with a single laser structured HTS tape
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Holzapfel, B.
Epitaxial Ba122 and 11 thin film heterostructures: Basic properties and application aspects
Physikalisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie, 13. Juni 2016
- Holzapfel, B.
Superconducting materials for power and magnet applications
Institut für Festkörperphysik, Karlsruher Institut für Technologie, 15. Juni 2016
- * Hornung, F.; Klaeser, M.; Leys, P.; Schneider, T.
Construction and Test of MgB₂ Mock-Up Coils for LIQHYSMES
IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- Hornung, F.; Eisele, M.; Klaeser, M.; Leys, P.; Ruf, C.; Schneider, T.
Design of a 5 T layer wound REBCO-HTS high field insert coil
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Iida, K.; Grinenko, V.; Kurth, F.; Ichinose, A.; Tsukada, I.; Ahrens, E.; Pukenas, A.; Chekhonin, P.; Skrotzki, W.; Teresiak, A.; Hühne, R.; Aswartham, S.; Wurmehl, S.; Mönch, I.; Erbe, M.; Hänisch, J.; Holzapfel, B.; Drechsler, S.L.; Efremov, D. V.
Hall-plot of the phase diagram for Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂
Scientific Reports
- Janzen, A.; Börsch, M.; Burger, B.; Ebersoldt, A.; Erni, P.; Feldbusch, F.; Lietzow, R.; Oertig, D.; Schön, H.; Stamm, M.; Grohmann, S.
Eigenkalibrierung eines neuen kryogenen Durchflusssensors im Anlagenbetrieb
Deutsche Kälte- und Klimatagung, Kassel, 16.–18. November 2016
- Janzen, A.; Burger, B.; Ebersoldt, A.; Heidt, C.; Langhans, O.; Reiner, A.; Grohmann, S.
Signal-to-noise ratio of temperature measurement with Cernox sensors at various supply currents
ICEC26 – ICMC2016, New Delhi, India, March 7–11, 2016
- Kario, A.; Kling, A.; Nast, R.; Vojenciak, M.; Godfrin, A.; Runtsch, B.; Grilli, F.; Ringsdorf, B.; Jung, A.; Goldacker, W.
Strand striation for reducing AC losses in Roebel Cables: is it a viable solution?
26th International Cryogenic Engineering Conference, International Cryogenic Materials Conference (ICEC-ICMC 2016), New Delhi, IND, March 7–11, 2016
- Kario, A.; Otten, S.; Kling, A.; Goldacker, W.
Progress and plan for Roebel
EuCARD2 Meeting, Geneva, CH, Mai 3, 2016
- Kario, A.; Vojenciak, M.; Kling, A.; Nast, R.; Godfrin, A.; Grilli, F.; van der Laan, D.; Goldacker, W.
Comparison of AC losses in Roebel assembled coated conductor (RACC) and CORC® cables assembled using filamentarised conductors at 77 K
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Kauffmann-Weiss, S.; Häbeler, W.; Günther, E.; Scheiter, J.; Denneler, S.; Glosse, P.; Berthold, T.; Oomen, M.; Arndt, T.; Stöcker, T.; Moos, R.; Weiss, M.; Weis, F.; Holzapfel, B.
Thick MgB₂ superconducting films prepared by aerosol deposition method
5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2016), Fethiye, TR, April 24–30, 2016
- Kirby, G.; Bajas, H.; Ballarino, A.; Bajko, M.; Bottura, L.; canale, M.; Fleiter, J.; Gentini, L.; Mazet, J.; Murtomaki, J.; Nugteren, J.van; Perez, J.C.; Pincot, F.O.; de Rijk, G.; Rijllart, A.; Rossi, L.; Durante, M.; Fazilleau, P.; Lorin, C.; Marchevsky, M.; Goldacker, W.; Kario, A.; Usoskin, A.
Challenges in mechanical and electrical design of EuCARD2 HTS insert magnet's
8th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (MEM 2016), Tallahassee, FL, March 21–23, 2016
- * Kirby, G. A.; Rossi, L.; Badel, A.; Bajko, M.; Ballarino, A.; Bottura, L.; Dhallé, M. M. J.; Durante, M. J.; Fazilleau, P.; Fleiter, J.; Goldacker, W.; Härö, E.; Himbele, J. J.; Kario, A. U.; Langeslag, S. A. E.; Lorin, C.; Murtzomaki, J.; Van Nugteren, J.; De Rijk, G.; Salmi, T.; Senatore, C.; Stenvall, A.; Tixador, P.; Usoskin, A. I.; Volpini, G.; Yang, Y.; Zangenberg, N.
Status of the Demonstrator Magnets for the EuCARD-2 Future Magnets Project
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

- * Kirchner, A.; Winkler, A.; Menzel, S. M.; Holzapfel, B.; Huhne, R.
Surface Acoustic Waves-A New Thin-Film Deposition Approach for Coated Conductors
IEEE transactions on applied superconductivity
- Klenk, R.; Neumann, H.
Fehleranalyse bei einer 2 kW-Heliumanlage
Deutsche Kälte- und Klimatagung 2016, Kassel, 16.–18. November 2016
- Kochenburger, T.; Tratschitt, I.; Gomse, D.; Grohmann, S.
Messung von Tieftemperatur-Phasengleichgewichten in binären Gemischen mit R1234yf
Deutsche Kälte- und Klimatagung, Kassel, 16.–18. November 2016
- Kochenburger, T.; Tratschitt, I.; Grohmann, S.
Messung und Berechnung von Tieftemperatur-Phasengleichgewichten für kryogene Gemischkältekreisläufe
DECHEMA Thermodynamik-Kolloquium, Kaiserslautern, 6. Oktober 2016
- Kottonau, D.; Grohmann, S.; Noe, M.; Shabagin, E.
Opportunities for high voltage AC superconducting cables part of new long-distance transmission lines
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Leys, P. M.; Klaeser, M.; Ruf, C.; Schneider, T.
Characterization of Commercial MgB₂ Conductors for Magnet Application in SMES
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Liu, Y.; Noe, M.; Doppelbauer, M.
Feasibility study of a superconducting DC direct-drive wind generator
IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- Meyer, S.; Hänisch, J.; Holzapfel, B.
Epitaxial growth of Fe-based superconductor thin films
80. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Fachverband Tiefe Temperaturen, Regensburg, 6.–11. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), TT 19.21
- Molodyk, A.; Markelov, A.; Blednov, A.; Mankevich, A.; Samoilenkov, S.; Kario, A.; Goldacker, W.; Fetisov, S.; Vysotsky, V.
Punch-and-Coat: a novel approach to mechanically strong 2G HTS Roebel cables
8th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (MEM 2016), Tallahassee, FL, March 21–23, 2016
- Molodyk, A.; Markelov, A.; Blednov, A.; Mankevich, A.; Samoilenkov, S.; Kario, A.; Goldacker, W.; Fetisov, S.; Vysotsky, V.
'Punch-and-coat': a novel approach to 2G HTS Roebel cables
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Morandi, A.; Fabbri, M.; Gholizad, B.; Grilli, F.; Sirois, F.; Zermeno, V. M. R.
Design and Comparison of a 1-MW/5-s HTS SMES with Toroidal and Solenoidal Geometry
IEEE transactions on applied superconductivity
- Näckel, O.
Development of an Air Coil Superconducting Fault Current Limiter
Dissertation. 2016. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe
- Noe, M.
Visionen/Voraussetzungen für eine erfolgreiche Energiewende
Kommission für Energie und nachhaltiges Wirtschaften, Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Berlin, 17. November 2016
- Noe, M.; Ackermann, T.
Lightweight and compact HTS transformers for offshore wind power plants
Carbon Trust, London, GB, November 1, 2016
- Noe, M.; Kudymow, A.; Zermeno, V.; Strauss, S.; Goldacker, W.; Elschner, S.; Huwer, S.; Hanebeck, C.; Reiser, W.; Schreiner, F.
Design aspects of high current DC bars with coated conductors
Coated Conductors for Applications (CCA 2016), Aspen, CO, September 11–14, 2016
- * Oka, T.; Hara, K.; Ogawa, J.; Fukui, S.; Sato, T.; Yokoyama, K.; Murakami, A.; Langer, M.
Selective Magnetic Field Invasion into HTS Bulk Magnets in Pulse Field Magnetizing Processes
IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- * Opherden, L.; Sieger, M.; Pahlke, P.; Huhne, R.; Schultz, L.; Meledin, A.; Van Tendeloo, G.; Nast, R.; Holzapfel, B.; Bianchetti, M.; MacManus-Driscoll, J. L.; Hänisch, J.
Large pinning forces and matching effects in YBa₂Cu₃O_{7-δ} thin films with Ba₂Y(Nb/Ta)O₆ nano-precipitates
Scientific Reports
- Otten, S.; Kario, A.; Kling, A.; van der Laan, D.; Weiss, J.; Goldacker, W.
Effects of bending on REBCO tapes, RACC cables and CORC® wires at 77 K
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Pahlke, P.; Lao, M.; Eisterer, M.; Meledin, A.; Van Tendeloo, G.; Hänisch, J.; Sieger, M.; Usoskin, A.; Stromer, J.; Holzapfel, B.; Schultz, L.; Huhne, R.
Reduced J_c Anisotropy and Enhanced In-Field Performance of Thick BaHfO₃-Doped YBa₂Cu₃O_{7-δ} Films on ABAD-YSZ Templates
IEEE transactions on applied superconductivity
- * Pahlke, P.; Sieger, M.; Chekhonin, P.; Skrotzki, W.; Hänisch, J.; Usoskin, A.; Stromer, J.; Schultz, L.; Huhne, R.
Local Orientation Variations in YBCO Films on Technical Substrates-A Combined SEM and EBSD Study
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

- Pahlke, P.; Sieger, M.; Ottolinger, R.; Hänisch, J.; Holzappel, B.; Usoskin, A.; Lao, M.; Eisterer, M.; Meledin, A.; Tendeloo, G. van; Kursumovic, A.; MacManus-Driscoll, J.L.; Nielsch, K.; Schultz, L.; Hühne, R.; Thick YBCO films with artificial BaHfO₃ and Ba₂Y(Nb/Ta) O₆ pinning centers grown on technical templates; Coated Conductors for Applications (CCA2016), Aspen CO, USA, September 11–14, 2016
- * Pardo, E.; Kapolka, M.; Kovac, J.; Souc, J.; Grilli, F.; Pique, A.
Three-Dimensional Modeling and Measurement of Coupling AC Loss in Soldered Tapes and Striated Coated Conductors
IEEE transactions on applied superconductivity
- Preuß, A.; Wolf, M. J.; Fietz, W. H.
Critical current degradation of commercially available coated conductors due to short thermal loads
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Prikhna, T.; Sokolovsky, V.; Meerovich, V.; Eisterer, M.; Mamalis, A.; Kozyrev, A.; Gawalek, W.; Moshchil, V.; Sverdun, V.; Weber, H.W.; Kovylaev, V.; Goldacker, W.; Karpets, M.; Basyuk, T.; Wu, M.; Sergienko, N.
Processing of bulk MgB₂ superconductors for application in fault current limiters
Applied Electromagnetic Engineering for Advanced Materials from Macro- to Nanoscale. Ed.: A.G. Mamalis
- * Prikhna, T.; Shapovalov, A.; Eisterer, M.; Shaternik, V.; Goldacker, W.; Weber, H. W.; Moshchil, V.; Kozyrev, A.; Sverdun, V.; Boutko, V.; Grechnev, G.; Gusev, A.; Kovylaev, V.; Shaternik, A.
Pinning in high performance MgB₂ thin films and bulks: Role of Mg-B-O nano-scale inhomogeneities
Physica / C
- Prikhna, T.; Eisterer, M.; Goldacker, W.; Grechnev, G.; Kozyrev, A.; Shapovalov, A.; Weber, H. W.; Shaternik, V.; Sverdun, V.; Boutko, V.; Gusev, A.; Moshchil, V.; Karpets, M.; Basyuk, T.; Shaternik, A.
Structure and properties of MgB₂ bulk, wires and thin films
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Prikhna, T.; Shapovalov, A.; Eisterer, M.; Grechnev, G.; Boutko, V.; Weber, H. W.; Goldacker, W.; Gusev, A.; Moshchil, V.
Electronic structure and stability of oxygen- or carbon-doped MgB₂
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Quéval, L.; Zermeño, V. M. R.; Grilli, F.
Numerical models for ac loss calculation in large-scale applications of HTS coated conductors
Superconductor science and technology
- * Quéval, L.; Sotelo, G. G.; Kharmiz, Y.; Dias, D. H. N.; Sass, F.; Zermeño, V. M.R.; Gottkehasch, R.
Optimization of the Superconducting Linear Magnetic Bearing of a Maglev Vehicle
IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- Raasch, J.; Schmid, A.; Kuzmin, A.; Ilin, K.; Arndt, M.; Wünsch, S.; Siegel, M.; Steinmann, J.; Müller, A. S.; Cinque, G.; Haenisch, J.; Holzappel, B.
Single-shot THz spectroscopy for the characterization of bursting CSR
International Beam Instrumentation Conference (IBIC 2016), Barcelona, E, September 11–15, 2016
- * Ramalingam, R.; Nast, R.; Neumann, H.
Strain Characterization of High Temperature Superconductor Tapes Using Embedded Fibre Bragg Grating Sensor in Mid-rip and Parallel Configuration [in press]
Journal of superconductivity and novel magnetism
- Richter, T.; Ramalingam, R.; Reiner, A.; Neumann, H.
Design and development of fully automated cryogenic temperature calibration facility for optical and electro-mechanical sensors
Deutsche Kälte- und Klimatagung 2016, Kassel, 16.–18. November 2016
- * Roellig, M.; Bornschein, B.; Ebenhoech, S.; Priester, F.
Geant4 Monte Carlo simulations for sensitivity investigations of an experimental facility for the measurement of tritium surface contaminations by BIXS
Fusion engineering and design
- Ruebeling, J.; de Abreu Galvão, I.; Eggebrecht, J.; Grohmann, S.
Messsystem für die Erfassung von Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilungen an luftbeaufschlagten Wärmeübertragern
Deutsche Kälte- und Klimatagung, Kassel, 16.–18. November 2016
- Schacherer, C.; Elschner, S.; Goldacker, W.; Kudymow, A.; Strauss, S.; Zermeno, V.; Kuhnert, A.; Kraemer, H.-P.
SmartCoil – Concept of a full scale demonstrator of a shielded core type superconducting fault current limiting reactor
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- * Scherf, A.; Kauffmann, A.; Kauffmann-Weiss, S.; Scherer, T.; Li, X.; Stein, F.; Heilmaier, M.
Orientation relationship of eutectoid FeAl and FeAl₂
Journal of Applied Crystallography
- Schlachter, S. I.; Goldacker, W.
Superconductors for aerospace applications: from ground tests to flight experiments
Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Schlachter, S. I.; Goldacker, W.
Applications for very fine MgB₂ wires
MgB₂ superconducting wires: basics and applications. Ed.: R. Flükiger
- Schlachter, S. I.; Goldacker, W.; Holzappel, B.; Kudymow, A.; Wu, H.
DC-HTS cables for power distribution in hybrid-electric aircrafts
Coated Conductors for Applications (CCA2016), Aspen, CO, September 11–14, 2016

- Sieger, M.; Ottolinger, R.; Pahlke, P.; Stafford, B.; Meledin, A.; Lao, M.; Hänisch, J.; Bauer, M.; Tendeloo, G.; Eisterer, M.; Holzappel, B.; Schultz, L.; Nielsch, K.; Hühne, R. Pulsed laser deposition of thick BaHfO₃ doped YBa₂Cu₃O_{7- σ} films on ISD-MgO templates Coated Conductors for Applications (CCA2016), Aspen CO, USA, September 11–14, 2016
- * Sieger, M.; Pahlke, P.; Hänisch, J.; Sparing, M.; Bianchetti, M.; MacManus-Driscoll, J.; Lao, M.; Eisterer, M.; Meledin, A.; Van Tendeloo, G.; Nast, R.; Schultz, L.; Holzappel, B.; Hühne, R. Ba₂Y(Nb/Ta)O₆-Doped YBCO Films on Biaxially Textured Ni-5at.% W Substrates IEEE transactions on applied superconductivity
- Sieger, M.; Pahlke, P.; Ottolinger, R.; Stafford, B.; Lao, M.; Meledin, A.; Hänisch, J.; Bauer, M.; Eisterer, M.; Van Tendeloo, G.; Holzappel, B.; Schultz, L.; Nielsch, K.; Hühne, R. Influence of substrate inclination on growth and properties of BaHfO₃-doped YBa₂Cu₃O_{7- δ} films ASC 2016, Denver, CO, 2016
- * Stafford, B. H.; Sieger, M.; Troshyn, O.; Hühne, R.; Hänisch, J.; Bauer, M.; Holzappel, B.; Schultz, L. Pinning centers in ISD-MgO coated conductors via EB-PVD IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- * Tarantini, C.; Iida, K.; Hänisch, J.; Kurth, F.; Jaroszynski, J.; Sumiya, N.; Chihara, M.; Hatano, T.; Ikuta, H.; Schmidt, S.; Seidel, P.; Holzappel, B.; Larbalestier, D. C. Intrinsic and extrinsic pinning in NdFeAs(O,F): Vortex trapping and lock-in by the layered structure Scientific reports
- Thekkethil, S. R.; Reby Roy, K. E.; Neumann, H.; Ramalingam, R. Experimental investigation on mass flow rate measurements using fibre Bragg grating sensors ICEC26-ICMC 2016, New Delhi, India, 07.–11.03.2016
- Thekkethil, S. R.; Reby Roy, K.E.; Thomas, R. J.; Neumann, H.; Ramalingam, R. Mathematical model for a novel cryogenic flow sensor using fibre Bragg gratings Procedia Technology
- * Van Nugteren, J.; Van Nugteren, B.; Gao, P.; Bottura, L.; Dhalle, M.; Goldacker, W.; Kario, A.; Ten Kate, H.; Kirby, G.; Krooshoop, E.; De Rijk, G.; Rossi, L.; Senatore, C.; Wessel, S.; Yagotintsev, K.; Yang, Y. Measurement and Numerical Evaluation of AC Losses in a REBCO Roebel Cable at 4.5 K IEEE transactions on applied superconductivity
- * Vargas-Llanos, C. R.; Zermeno, V. M. R.; Sanz, S.; Trilaud, F.; Grilli, F. Estimation of hysteretic losses for MgB₂ tapes under the operating conditions of a generator Superconductor science and technology
- * Vojenčiak, M.; Dutoit, B.; Souc, J.; Gomory, F. Can resistive-type fault current limiter operate in cryogenic free environment? IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- Weber, C.; Heidt, C.; Grohmann, S. Betriebsverhalten federbelasteter Sicherheitsventile bei kryogenen Bedingungen Deutsche Kälte- und Klimatagung, Kassel, 16.–18. November 2016
- Weber, C.; Heidt, C.; Henriques, A.; Grohmann, S. Investigation of Two-Phase Flow in Cryogenic Pressure Relief Devices Cryogenic Safety HSE Seminar, CERN, Geneva, September 21–23, 2016
- Wolf, M. J.; Fietz, W. H.; Preuss, A. Investigation of HTS crossconductor joints, connectors and terminations Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016
- Wolf, M. J.; Bagrets, N.; Bayer, C. M.; Fietz, W. H.; Preuß, A. The HTS CrossConductor – a versatile strand for large magnets and high-current bus bars Coated Conductors for Applications (CCA2016), Aspen, CO, September 11–14, 2016
- Wolf, M. J.; Bayer, C. M.; Fietz, W. H. Progress in HTS crossconductor fabrication and characterization 8th Workshop on Mechanical and Electromagnetic Properties of Composite Superconductors (MEM 2016), Tallahassee, FL, March 21–23, 2016
- * Wolf, M. J.; Bayer, C. M.; Fietz, W. H.; Heller, R.; Schlachter, S. I.; Weiss, K.-P. Toward a high-current conductor made of HTS crossconductor strands IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- * Wolf, M. J.; Fietz, W. H.; Bayer, C. M.; Schlachter, S. I.; Heller, R.; Weiss, K.-P. HTS CroCo: A stacked HTS conductor optimized for high currents and long-length production IEEE Transactions on Applied Superconductivity
- Yagotintsev, K. A.; Gao, P.; Dhalle, M.; van Nugteren, B.; Haughan, T. J.; van der Laan, D. C.; Wesche, R.; Uglietti, D.; Goldacker, W.; Kario, A.; Fietz, W.; Muzzi, L.; della Corte, A.; Nijhuis, A. AC loss and inter-tape resistance in REBCO stacked tape, CORC, CroCo and Roebel cables 26th International Cryogenic Engineering Conference, International Cryogenic Materials Conference (ICEC-ICMC 2016), New Delhi, IND, March 7–11, 2016
- * Yang, Y.; Pelegrin, J.; Falorio, I.; Young, E.A.; Kario, A.; Goldacker, W.; Dhalle, M. M. J.; Van Nugteren, J.; Kirby, G.; Bottura, L.; Ballarino, A. Magnetization Losses of Roebel Cable Samples with 2G YBCO Coated Conductor Strands IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Zermeño, V. M. R.; Quaiyum, S.; Grilli, F.
Open-Source Codes for Computing the Critical Current of Superconducting Devices
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

* Zou, S.; Zermeno, V. M. R.; Grilli, F.
Simulation of Stacks of High-Temperature Superconducting Coated Conductors Magnetized by Pulsed Field Magnetization Using Controlled Magnetic Density Distribution Coils
IEEE transactions on applied superconductivity

* Zou, S.; Zermeño, V. M. R.; Grilli, F.
Influence of parameters on the simulation of HTS bulks magnetized by pulsed field magnetization
IEEE Transactions on Applied Superconductivity

Veröffentlichungen

Karlsruhe Nano Micro Facility

(* Thomson Reuters und/oder Scopus referiert)

* Ossmer, H.; Chluba, C.; Kauffmann-Weiss, S.; Quandt, E.; Kohl, M.
TiNi-based films for elastocaloric microcooling. Fatigue life and device performance
APL Materials

Veröffentlichungen

Materie und Universum

(* Thomson Reuters und/oder Scopus referiert)

- * Arenz, M.; Babutzka, M.; Bahr, M.; Barrett, J. P.; Bauer, S.; Beck, M.; Beglarian, A.; Behrens, J.; Bergmann, T.; Besserer, U.; Bluemer, J.; Bodine, L. I.; Bokeloh, K.; Bonn, J.; Bornschein, B.; Bornschein, L.; Buesch, S.; Burritt, T. H.; Chilingaryan, S.; Corona, T. J.; De Viveiros, L.; Doe, P. J.; Dragoun, O.; Drexlin, G.; Dyba, S.; Ebenhoech, S.; Eitel, K.; Ellinger, E.; Enomoto, S.; Erhard, M.; Eversheim, D.; Fedkevych, M.; Felden, A.; Fischer, S.; Formaggio, J. A.; Fraenkle, F.; Furse, D.; Ghilea, M.; Gil, W.; Glueck, F.; Gonzalez Urena, A.; Goerhardt, S.; Groh, S.; Grohmann, S.; Groessle, R.; Gumbsheimer, R.; Hackenjös, M.; Hannen, V.; Harms, F.; Haussmann, N.; Heizmann, F.; Helbing, K.; Herz, W.; Hickford, S.; Hilke, D.; Hillen, B.; Hoehn, T.; Holzapfel, B.; Hoetzel, M.; Howe, M. A.; Huber, A.; Jansen, A.; Kernert, N.; Kippenbrock, L.; Kleesiek, M.; Klein, M.; Kopmann, A.; Kosmider, A.; Kovalik, A.; Krasch, B.; Kraus, M.; Krause, H.; Krause, M.; Kuckert, L.; Kuffner, B.; La Cascio, L.; Lebeda, O.; Leiber, B.; Letnev, J.; Lobashev, V. M.; Lokhov, A.; Malcherek, E.; Mark, M.; Martin, E. L.; Mertens, S.; Mirz, S.; Monreal, B.; Mueller, K.; Neuberger, M.; Neumann, H.; Niemes, S.; Noe, M.; Oblath, N. S.; Off, A.; Ortjohann, H.-W.; Osipowicz, A.; Otten, E.; Parno, D. S.; Plischke, P.; Poon, A. W. P.; Prall, M.; Priester, F.; Ranitzsch, P. C. -O.; Reich, J.; Rest, O.; Robertson, R. G. H.; Roellig, M.; Rosendahl, S.; Rupp, S.; Rysavy, M.; Schlosser, K.; Schloesser, M.; Schoenung, K.; Schrank, M.; Schwarz, J.; Seiler, W.; Seitz-Moskaliuk, H.; Sentkerestiova, J.; Skasyrskaya, A.; Slezak, M.; Spalek, A.; Steidl, M.; Steinbrink, N.; Sturm, M.; Suesser, M.; Telle, H. H.; Thummler, T.; Titov, N.; Tkachev, I.; Trost, N.; Unru, A.; Valerius, K.; Venos, D.; Vianden, R.; Voelting, S.; Wall, B. L.; Wandkowsky, N.; Weber, M.; Weinheimer, C.; Weiss, C.; Welte, S.; Wendel, J.; Wierman, K. L.; Wilkerson, J. F.; Winzen, D.; Wolf, J.; Wuestling, S.; Zacher, M.; Zadorogny, S.; Zboril, M.
Commissioning of the vacuum system of the KATRIN Main Spectrometer
Journal of Instrumentation
- Bornschein, B.; Besserer, U.; Priester, F.; Steidl, M.; Sturm, M.; Valerius, K.; Wendel, J.
The five phases – the way to standard tritium operations of KATRIN
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016
- Bornschein, L.; Bornschein, B.; Ebenhöch, S.; Hackenjös, M.; Priester, F.; Röllig, M.; Sturm, M.
Status of the tritium neutrino mass experiment KATRIN
11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016
- Brunst, T.; Mirz, S.; Grössle, R.; Krasch, B.
Overview of recent and current spectroscopic investigations with hydrogen isotopologues for KATRIN
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 23.2
- Ebenhöch, S.
Stability measurements of the electron gun for the KATRIN Rear Section
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 69.5
- Fraenkle, F.
Status of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 92.1
- Fränkle, F.
Status of the KATRIN project
Lake Louise Winter Institute 2016, Lake Louise, CDN, February 7–13, 2016
- Grohmann, S.
The particle tracking package KASSIOPEIA
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016
- Grössle, R.; Mirz, S.
Voruntersuchung zu molekularen Clustern in der KATRIN WGTS
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 23.1
- Hackenjös, M.
Thermal and gas-dynamic properties of the KATRIN source and transport section
14th European Vacuum Conference (EVC-14), Portoroz, SLO, June 6–10, 2016
- Hackenjös, M.
Thermal properties of the KATRIN source section
27th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2016), London, GB, July 4–9, 2016

Hackenjos, M.

The thermal properties of the windowless gaseous tritium source of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 69.2

Harms, F.

Radon-induced backgrounds in the KATRIN Main Spectrometer
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 6.4

Heizmann, F.

Near-time modeling of the gas dynamics in the KATRIN tritium source using extensive sensor data
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016

Hilk, D.

Removal of stored particle background via the electric dipole method in the KATRIN main spectrometer
DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Darmstadt, 14. – 18. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016). HK 49.3

Kleesiek, M.

Die Suche nach sterilen Neutrinos auf der eV-Massenskala mit dem KATRIN-Experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 50.7

Klein, M.; Glück, F.

Tritium ions in the Source and Transport Section (STS) of KATRIN
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 50.5

Krasch, B.; Mirz, S.; Grössle, R.

Raman spectroscopic determination of the molecular constants of the hydrogen isotopologues with high accuracy
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 23.13

Kuckert, L.

Influence of gas dynamics in the tritium source on the neutrino mass measurement of KATRIN
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 50.4

Machatschek, M.

Krypton mode of the Windowless Gaseous Tritium Source of the KATRIN Experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 69.6

* Mertens, S.

Direct Neutrino Mass Experiments
Journal of physics / Conference Series

Mirz, S.; Brunst, T.; Grössle, R.; Krasch, B.

Design of a tritium compatible spectroscopy experiment for hydrogen isotopologues for temperatures between 15-293 K
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 98.6

Momin, A.

Determination of the tritium flux in the pre-spectrometer of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 50.6

Müller, A.

Investigation of background processes in the KATRIN main spectrometer
DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Darmstadt, 14. – 18. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016). HK 35.5

Niemes, S.

In-situ Kalibrierung der Tritiumanalytik mithilfe tritierter Kalibriergase
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 23.6

Röllig, M.

Status of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 6.1

Schlösser, K.

Monitoring the Energy Scale of KATRIN with Conversion Electrons of a Solid ^{83}mKr Source as Nuclear Standard
DPG-Frühjahrstagung, Fachverband Physik der Hadronen und Kerne, Darmstadt, 14. – 18. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016). HK 35.4

Schönung, K.

Work function studies of gold surfaces with a Kelvin Probe for the Rear Section of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 69.7

Seher, A.

Status of the KATRIN Focal-Plane Detector
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 92.5

Seitz-Moskaliuk, H.

Tritium source-related systematic uncertainties of the KATRIN experiment
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 69.4

Thümmler, T.

Direct neutrino mass measurement based on tritium beta decay in the KATRIN experiment and the novel spectroscopic method of projet B
PRISMA Colloquium and Seminar of the Graduate School, Mainz University, January 27, 2016

Thümmler, T.

Performance of the KATRIN spectrometer and detector section
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 92.2

Trost, N.

Status of the KATRIN Focal-Plane Detector
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 92.8

Welte, S.; Fischer, S.; Sturm, M.; Tuchscherer, N.; Le, L. T.
Experimental performance test of key components of the KATRIN outer tritium loop

11th International Conference on Tritium Science and Technology (ICTST 2016), Charleston, SC, April 17–22, 2016

Wolf, J.

Calculation and TPMC simulation of the reduction of radioactive decays of a noble gas by cryo-panels
14th European Vacuum Conference (EVC-14), Portoroz, SLO, June 6 – 10, 2016

Wolf, J.

The KATRIN neutrino mass experiment
11th International Conference Identification of Dark Matter (IDM 2016), Sheffield, GB, July 18 – 22, 2016

Wolf, J.

Vacuum simulation of the KATRIN radon background
DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 6.6

Veröffentlichungen

Eingeladene Vorträge

Kai Bauer

- Bauer, K.; Nutzen eines Arbeitsschutzmanagementsystems aus Sicht eines wissenschaftlichen Instituts; DGUV Fachgespräch 'Arbeitsschutzmanagement – Mit System sicher zum Erfolg', Köln, 28. September 2016
- Bauer, K.; Von der Strategieentwicklung in die Praxis; Workshop: Praxis des Wissenschaftsmanagement, Geesthacht, 02.03.2016

Walter Fietz

- Fietz, W. H.; Hochstrom-Supraleiterkabel „HTS CroCo“ für Magnete und Energieübertragung, 5. Jahrestagung des KIT-Zentrums Energie, Blick nach Vorne – Energiesystem 2050, Karlsruhe, 15. Juni 2016
- Fietz, W. H.; Bagrets, N.; Bayer, C. M.; Gröner, F.; Heller, R.; Lange, C.; Weiss, K.-P.; Wolf, M. J.; High-temperature superconductor cross conductor (HTS CroCo) for magnets and power transmission; 29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016

Christian Day

- Day, C.; Butler, B.; Giegerich, T.; Ploeckl, B.; Cimoni, F.; Frattolillo, A.; Gethins, M.; Hanke, S.; Hollingsworth, A.; Hörstenmeyer, Y.; Igitkhanov, Y.; Lang, P.T.; Lawless, R.; Luo, X.; Medley, S.; Moreno, C.; Naris, S.; Ochoa, S.; Pegourie, B.; Peters, B.; Röllig, M.; Santucci, A.; Sartori, E.; Scannapiego, M.; Shaw, R.; Sonato, P.; Strobel, H.; Tosti, S.; Varoutis, S.; Walker, R.J.; Whittaker, D.; Current status of the EU DEMO project on the inner fuel cycle systems; 29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016), Praha, CZ, September 5–9, 2016
- Day, C.; Cryogenic pumping. Technology development and gas dynamics modeling; 77th IUVESTA Workshop on Surface Processes, Gas Dynamics, and Vacuum Technology of Cryogenic Vacuum Systems, Fufuki, J, August 17–21, 2016
- Day, Christian; DEMO – Funktionsstrom aus der Steckdose; Berliner Industriegespräch, Berlin, 2. November 2016
- Day, C.; Tritium extraction and processing technologies for DEMO; 4th IAEA DEMO Programme Workshop (DPW-4), Karlsruhe, November 15–18, 2016
- Day, C.; Giegerich, T.; Luo, X.; Peters, B.; Strobel, H.; 100 years of high vacuum with the vapour diffusion pump. From mercury to oil and back; 20th International Vacuum Congress (IVC), Busan, Korea, August 21–26, 2016

Wilfried Goldacker

- Goldacker, W.; Kario, A.; Kling, A.; Grilli, F.; Godfrin, A.; Comparison of different HTS AC cables for application in magnets, transformers and rotating machinery; 5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2016), Fethiye, TR, April 24–30, 2016
- Goldacker, W.; Kario, A.; Kling, A.; Otten, S.; Nast, R.; Vojenciak, M.; The HTS coated conductor Roebel cable on route to first applications; Electronic Materials and Applications 2016 (EMA 2016), Orlando, FL, January 20–22, 2016
- Goldacker, W.; Kling, A.; Kario, A.; Grilli, F.; Vojenciak, M.; Godfrin, A.; Ringsdorf, B.; Nast, R.; High current low AC loss HTS cable systems, an overlook and comparison of the concepts; 26th International Cryogenic Engineering Conference, International Cryogenic Materials Conference (ICEC-ICMC 2016), New Delhi, IND, March 7–11, 2016
- Goldacker, W.; Application driven superconducting wire and cable development and application activities and prospects in Europe; 1st Asian ICMC and CSSJ International Cryogenic Materials Conference and Cryogenic and Superconductivity Society of Japan, Kanazawa, Japan, November 7–10, 2016

Steffen Grohmann

- Grohmann, S.; Cooling technology for HTS power applications; ESAS Summer School, Bologna, I, June 8–14, 2016
- Grohmann, S.; European standardization activities on safety of liquid helium cryostats; Cryogenic Safety HSE Seminar, CERN, Geneva, CH, September 21–23, 2016
- Grohmann, S.; Heidt, C.; Henriques, A.
- Weber, C.; Research activities on cryogenic safety; European Cryogenics Days, 9.-10.06.2016, CERN, Genf

Jens Hänisch

- Hänisch, J.; Iida, K.; Kurth, F.; Grinenko, V.; Reich, E.; Hühne, R.; Tarantini, C.; Jaroszynski, J.; Förster, T.; Ikuta, H.; Schultz, L.; Holzapfel, B.; Jc anisotropy and scaling of Co- and P-doped Ba122 thin films; 5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2016), Fethiye, TR, April 24–30, 2016

Bernhard Holzapfel

- Holzapfel, B.; Fe-based superconducting thin films: Basic properties and potential applications; Superconducting Materials on their Way from Physics to Applications : 608. WE-Heraeus-Seminar, Bad Honnef, February 18–20, 2016
- Holzapfel, B.; Fortschritte bei der Entwicklung und Produktion von HTS Bandleitern; Workshop: Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der LT/HAT-Supraleiter, Hanau, 10.03.2016

Anna Kario

- Kario, A.; Kling, B.; Runtsch, B.; Goldacker, W.; Monel reinforced round Rutherford cable made with Roebel assembled coated conductor strands; 5th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM 2016), Fethiye, TR, April 24–30, 2016
- Kario, A.; Otten, S.; Kling, A.; Goldacker, W.; Senatore, C.; Barth, C.; Bonura, M.; Bottura, L.; Kirby, G.; Nugteren, J. van; Yang, Y.; Dhalle, M.; Nugteren, B. van; Rutt, A.; Usoskin, A.; Lorin, C.; Durante, M.; HTS Roebel cables for the EuCARD² "Future Magnets"; 3rd EuCARD-2 Annual Meeting, Valetta, Malta, April 26–28, 2016
- Kario, A.; Otten, S.; Kling, A.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Jung, A.; Goldacker, W.; Usoskin, A.; Rutt, A.; Roebel assembled coated conductor (RACC) cables as candidate for future accelerator magnet HTS inserts – expectations and requirements; Materials Research Society Spring Meeting 2016, Phoenix, AZ, March 28 – April 1, 2016
- Kario, A.; Kudymow A.; Kling, A.; Jung, A.; Grilli, F.; Otten, S.; Ringsdorf, B.; Runtsch, B.; Nast, R.; Strauss, S.; Walschburger, U.; Willms, J.; Godfrin, A.; Gyuraki, R.; Wu, H.; Schlachter, S. I.; Goldacker, W.; Wojenciak, M. (SAV Institute of Electrical Engineering); van der Laan, D. (Advanced Conductor Technologies); EU-CARD² partners: Rutt, A.; Usoskin, A. (Bruker); Senatore, C.; Barth, C.; Bonura, M. (Geneva University); Yang, Y. (Southampton University); Stenvall, A. (Tampere University of Technology); Dhallé, M.; van Nugteren, B.; Gao, P.; Wessel, S. (Twente University); Kirby, G. A.; van Nugteren, J.; Bajas, H.; Benda, V.; Ballarino, A.; Bajko, M.; Bottura, L.; Broekens, K.; Canale, M.; Chiuchiolo, A.; Fleiter, J.; Gentini, L.; Peray, N.; Perez, J.C.; de Rijk, G.; Rijllart, A.; Rossi, L.; Murtomaeki, J.; Mazet, J.; Pincot, F.-O. (CERN); Lorin, C.; Durante, M.; Fazilleau, P. (CEA Saclay); High temperature superconductors towards applications at SUPRA group, Institute for Technical Physics, Karlsruhe Institute of Technology; University of Huddersfield, GB, 26. Oktober 2016

Glyn Kirby

- Kirby, G.; Bajas, H.; van Nugteren, J.; Ballarino, A.; Bajko, M.; Bottura, L.; de Rijk, G.; Rossi, L.; Durante, M.; Fazilleau, P.; Lorin, C.; Stenvall, A.; Marchevsky, M.; Goldacker, W.; Kario, A.; Usoskin, A.; Volpin, G.; Fleiter, J.; Murtomäki, J. S.; First cold powering test of REBCO Rebel wound coil for the EuCARD² future magnet development project; Applied Superconductivity Conference (ASC 2016), Denver, CO, September 4–9, 2016

Marco Kleesiek

- Kleesiek, M.; KATRIN Collaboration; Neutrino mass analysis strategy for the KATRIN experiment; 27th International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2016), London, GB, July 4–9, 2016

Mathias Noe

- Noe, M.; Marzahn, E.; „Hochtemperatur-Supraleiter Kabel“, 87. Kableseminar, 23.–24. Februar 2016, Leibniz Universität Hannover
- Noe, M.; „Stand und Entwicklungsperspektiven der Supraleitung“, Festvortrag beim VDE Regio Aachen e.V., 19. Februar 2016
- Noe, M.; „High Temperature Superconducting Power Applications“, 608. WE-Hereaus-Seminar „Superconducting Materials on Their Way from Physics to Applications“, 17–20 February 2016, Bad Honnef
- Noe, M.; „Zukünftige Entwicklungen der HTS Anwendungen in der Energietechnik“ Workshop Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der LT/HT – Supraleiter, Materials Valley, 10. März 2016, Hanau
- Noe, M.; „Suprapower and other Superconducting Devices for the Optimization of Renewable Electric Power Systems“, Workshop Superconducting Generators: A Fresh Breeze in Renewables, DBU, 20. April 2016, Osnabrück
- Noe, M.; „Superconducting Transformers“, ESAS Summer School on High Temperature Superconductor Technology for Sustainable Energy and Transport Systems, June 8th-14th 2016, Bologna
- Noe, M.; „The Energy Transition in Germany – Objectives, Status and Prospects for Superconductivity“, Colloquium at the Engineering Department at Cambridge University, 13. Juli 2016, Cambridge
- Noe, M.; Holzapfel, B.; Goldacker, W.; „Supraleitung und Netzausbau“, Expertenworkshop Naturverträgliche Energieversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien 2050, 1. September 2016, Hannover
- Noe, M.; „Electric Power Applications of Coated Conductors – an update on recent activities and future directions“, Coated Conductor for Application Workshop, 11.–13. September 2016, Aspen Colorado
- Noe, M.; „Energiespeicherung und Vernetzung dieser als Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende“, Jahrestagung Energiekommission BVMW – Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Unternehmerverband Deutschlands e. V., 17. November 2016, Berlin

Patrick Pahlke

- Pahlke, P.; Sieger, M.; Ottolinger, R.; Implementing artificial BaHfO_3 and $\text{Ba}_2\text{Y}(\text{Nb}/\text{Ta})\text{O}_6$ pinning centers in thick YBCO films on technical templates – a comparative study, ASC 2016, Denver, CO, 2016

Astrid Rimikis

- Rimikis, A.; Von Fliegenden Teppichen und kalten Giganten; Heidelberger Life-Science Lab, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg, 03.06.2016

Hendrik Seitz-Moskaliuk

- Seitz-Moskaliuk, H.; KATRIN Collaboration; The windowless gaseous tritium source for KATRIN; Determination of the Absolute Electron (Anti-)neutrino Mass, Trento, I, April 4–8, 2016

Holger Strobel

- Strobel, H.; Day, C.; Giegerich, T.; Müller, R.; Design development of a Linear Diffusion Pump; 80. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Fachverband Vakuumphysik und Vakuumtechnik, Regensburg, 6. – 11. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), VA 3.2

Kathrin Valerius

- Valerius, K.; KATRIN Collaboration; Preparing the start of neutrino mass measurements with KATRIN; DPG-Frühjahrstagung der Sektion Materie und Kosmos (SMuK), Fachverband Teilchenphysik, Hamburg, 29. Februar – 4. März 2016. Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.51(2016), T 45.4

Stylios Varoutis

- Varoutis, S.; Vacuum applications in macro- and micro-world: Focus on vacuum pumps; 1st MIGRATE Summer School and Workshop, Strasbourg, F, June 6 – July 1, 2016

Stefan Zimmermann

- Zimmermann, S.; Aufwand und Nutzen einer Re-Zertifizierung des AMS; 66. Sitzung des Arbeitskreises für Gesundheit, Arbeitssicherheit und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Berlin, 26.–27. April 2016

Veröffentlichungen

Schutzrechtsbestände

(* Neue Schutzrechtsanmeldungen in 2016

** Schutzrechtserteilungen mit Wirkung für Deutschland in 2016

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

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory
DE 1149452
US 6654222

Strombegrenzer zur Strombegrenzung im Fehlerfall

Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Noe, Mathias
DE 102004058633

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

Kläser, Marion
DE 102006012508
US 8255023

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

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

Anlage zur supraleitenden magnetischen Energiespeicherung, elektrolytischen Wasserzerlegung und wassersynthetisierenden Strombegrenzer

Gehring, Rainer; Sander, Michael (verstorben)
DE 102007042711

Stromversorgung und Verfahren für eine gepulst betriebene induktive Last

Gehring, Rainer; Jüngst, Klaus-Peter; Kuperman, Grigory; Noe, Mathias
DE 102008053679
EP PCT/EP2009/005909

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

Drechsler, Antje; Goldacker, Wilfried; Oomen, Marijn; Rabbers, Jakob Johan; Schlachter, Sonja
DE 102009043580.8-34

Vorrichtung zur Strombegrenzung mit einer veränderbaren Spulenimpedanz

Noe, Mathias; Schacherer, Christian
DE 2532016
FR 2532016
GB 2532016
JB 5907894
US 13/577,272

Massenstromsensor und Verfahren zur Bestimmung des Massenstroms in einem Rohr

Neumann, Holger; Ramalingam, Rajini K; Süßer, Manfred
DE 102010012924
EP 11714215.8-2209
US 8746079

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

Neumann, Holger; Sander, Michael (verstorben)
DE 2684198
FR 2684198
GB 2684198
US 14/004,370

Isolierter Hochtemperatur-Bandsupraleiter und Verfahren zu seiner Herstellung

Brand, Jörg; Elschner, Steffen; Fink, Stefan; Goldacker, Wilfried; Kudymow, Andrej
AT 2729969
CH 2729969
DE 2729969
DE 102011107313.6 **
EP 2729969
FR 2729969
GB 2729969
IT 2729969
KR 1020147002881
US 939840

Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung des Massenstroms eines Fluids

Grohmann, Steffen
CA PCT/EP2012/005051
DE 102011120899
EP 12808676.6-1554
JP 2014-546347
KR PCT/EP2012/005051
US 14/364,681
AU 2016200479

Supraleitende Magnetanordnung

Krüger, Philipp

DE 102012106211.0

Verfahren und Vorrichtung zur kontinuierlichen Wiederaufbereitung von Abgas eines Fusionsreaktors

Day, Christian; Giegerich, Thomas

CN 201480060651.8

DE 102013109778.2

EP 14757846.2-1551

KR PCT/EP2014/002342

Design of Superconducting Devices By Optimization Of The Superconductor's Local Critical Current

Holzapfel, Bernhard; Rodriguez Zermeno, Victor

EP 14002754.1

US 14/819,850

Supraleitende Transformatoren für Windenergieeinspeisung

Hellman, Sebastian; Noe, Mathias

DE 102014016691.0

WO PCT/EP2015/076349

Advanced method for the treatment and the tritium recovery from tritiated water

Cristescu, Ion

EP 15154339.4

Schienengebundene Magnetschwebbahn

Holzapfel, Bernhard; Noe, Mathias

DE 102015001746.2

WO PCT/EP2016/000215 *

Transformator, Wickelkörper dafür und Verfahren zur Herstellung eines Wickelkörpers

Hellmann, Sebastian

DE 102015114208.2

WO PCT/EP2016/001412

Supraleitfähiger Leiter und Verwendung des supraleitfähigen Leiters

Fietz, Walter; Heller, Reinhard; Weiss, Klaus-Peter; Wolf, Michael J.

DE 102015010636.8

WO PCT/EP2016/001368

Verbinder für supraleitfähige Leiter und Verwendung des Verbinders

Fietz, Walter; Heller, Reinhard; Weiss, Klaus-Peter; Wolf, Michael J.

DE 102015010634.1

WO PCT/EP2016/001370 *

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines supraleitfähigen Leiters

Fietz, Walter; Heller, Reinhard; Weiss, Klaus-Peter; Wolf, Michael J.

DE 102015010676.7

WO PCT/EP2016/001369 *

Drehmomentabsicherung und Flanschverbindung mit einer solchen

Popov, Valery; Sturm, Michael

DE 102016114709.5 *

Design of contacts for superconducting busbars and cables

Rodriguez Zermeno, Victor

EP 17000099.6

Axialer, kryotechnisch geeigneter Potentialtrenner

Fink, Stefan; Friesinger, Günter

DE 1196711

Kontakt

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

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

www.itep.kit.edu

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe (-23500)
Prof. Dr. Bernhard Holzapfel (-26000)

Geschäftsführer

Kai Bauer (-23705)

Stellvertretende Leitung

Dr. Walter Fietz (-24197)

Sekretariat

Melanie Bacher (-23501)
Marion Gilliar (-23501)

Hochfeldmagnete

Dr. Theo Schneider (-22344)

Kryotechnik

Dr. Holger Neumann (-22625)

Supraleitermaterialentwicklung und energietechnische Anwendungen

Dr. Wilfried Goldacker (-24179)

Abteilung Tritiumlabor Karlsruhe Leitung

Dr. Beate Bornschein (-23239)

Fusionsmagnete

Dr. Walter Fietz (-24197)
Dr. Klaus-Peter Weiss (-23919)

Vakuumtechnik

Dr. Christian Day (-22609)

Koordination KATRIN im ITEP

Dr. Beate Bornschein (-23239)

Kontakt

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

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

www.itep.kit.edu

Herausgeber

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

Stand März 2017

www.kit.edu