



IEA-IMPLEMENTING AGREEMENT "ASSESS- ING THE IMPACT OF HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY ON THE ELECTRIC POWER SECTOR (EXCO MEMBER)

Jahresbericht 2008

Autor und Koautoren	René Flükiger
beauftragte Institution	Université de Genève, Dépt. Phys. Matière Condensée (DPMC)
Adresse	24, quai Ernest Ansermet, 1211 Genève 4
Telefon, E-mail, Internetadresse	022 379 6240; rene.flukiger@physics.unige.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	39929 / 79747
BFE-Projektleiter	Roland Brüniger
Dauer des Projekts (von – bis)	01.01.2006 – 31.12.2008
Datum	22.11.2008

ZUSAMMENFASSUNG

Das hier beschriebene Projekt verfolgt das Ziel, eine möglichst umfassende Information über die wichtigsten nationalen und internationalen Aktivitäten auf dem Gebiet der Hoch- T_c - Supraleitung zu geben, wobei das Hauptinteresse auf den Entwicklungen im Energiesektor konzentriert ist. Das Hauptaugenmerk ist auf den Einsatz von Hoch- T_c - Supraleitern in verschiedenen industriellen Anwendungen gerichtet, vor allem Strombegrenzer, aber auch Motoren, Generatoren und Kabel), unter Berücksichtigung der anfallenden Kühlprobleme. Die industriellen Entwicklungen von Supraleitermaterialien (High- T_c und MgB_2) mit hohen Stromdichten und niedrigen Wechselstromverlusten wird besonders aufmerksam verfolgt.

Das Jahr 2008 hat bedeutende Fortschritte auf dem Gebiet der HTS - Anwendungen gebracht: Y-123-Bänder (sog. Coated Conductors der 2. Generation) wurden in Längen über 1'300 Meter hergestellt, mit einer Stromdichte über der ganzen Länge von 150 A/cm (normiert für eine Bandbreite von 10 mm). Die Firmen SuperPower und American Superconductors (AMSC) stellen die Herstellung von $>> 100$ km Leiter pro Jahr in Aussicht, was als erstes Anzeichen für einen weltweiten Durchbruch angesehen werden kann. Diese Bänder sind gegenwärtig die Basis einer ganzen Reihe von sich im Bau befindlichen Prototypen.

Im Jahre 2008 wurden zwei Informationstreffen im Rahmen des IEA - Projektes durchgeführt. Das erste Treffen fand im April in Erlangen (D) statt, das zweite in Genua (I). Dabei waren die Gastgeber die Firmen Siemens (D) und Columbus (I). Das Hauptinteresse war auf die supraleitenden Strombegrenzer (Fault Current Limiters) konzentriert, die mittelfristig als besonders aussichtsreich gelten. Die meisten Anwendungen benutzen Hoch- T_c - Bänder, aber aus Kostengründen (3–5 €/kAm) werden auch MgB_2 -Drähte eingesetzt. Auf dem Gebiet der supraleitenden Kabel wurde 2008 ein Durchbruch erzielt: zum ersten Mal wurde in Long Island (USA) ein supraleitendes Kabel (Länge 600 m) erfolgreich ans Netz angeschlossen. Weitere Kabelprojekte sind nun im Bau, u.a. das 1.7 km - Projekt in New Orleans.

Ein weiteres Gebiet wo die HTS - Supraleitung auf dem Vormarsch ist sind die supraleitenden Motoren, die vor allem für den Schiffsbau als aussichtsreich gelten, da sie $> 30\%$ leichter und 30% kleiner sind als herkömmliche Motoren. Siemens hat in Erlangen ein 4 MW - Motor gebaut und erfolgreich getestet. Allgemein wird intensiv über den Einsatz von supraleitenden Elektro-Motoren als Ersatz von Explosionsmotoren nachgedacht. Sumitomo (Japan) hat dieses Jahr den ersten experimentellen Automobilmotor getestet, der 13% weniger Energie verbraucht als ein entsprechende Elektromotor und der vielleicht in 5 - 10 Jahren zum Einsatz kommen könnte.

Projektziele

Die Projektziele beinhalten eine umfassende Information über die neuesten Fortschritte und Anwendungen auf dem Gebiet der Hoch-Tc-Supraleitung (HTSL) im Energiebereich. Dazu zählen vor allem supraleitende Strombegrenzer, Kabel, Motoren und Schwungräder, weitere Generatoren und Transformatoren, sowie Magnetische Energiespeicher (SMES). Der Zugang zu dieser Dokumentation wird durch die Teilnahme der Schweiz an einem Programm sichergestellt, das unter der Leitung der International Energy Agency (IEA) steht: "Implementing Agreement for a Cooperative Programme for Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector".

Die Projektziele umfassen den Informationsaustausch über die bisher erreichten Fortschritte, über den gegenwärtigen technischen Stand und den zukünftig vorgesehenen Arbeiten. Das Programm ermöglicht den Mitgliedstaaten, gegenseitig technische Berichte auszutauschen und Laboratorien und Testeinrichtungen, sowie industrielle Unternehmen zu besuchen. Nach der Aufnahme Kanadas als neues Mitglied sind es nun 12 Mitgliedstaaten. Russland hat an einer Teilnahme grosses Interesse gezeigt.

Ein besonderer Schwerpunkt dieser umfassenden Orientierung im IEA-Agreement ist das periodische Erscheinen von detaillierten, technisch hochstehenden Berichten, die ausser der Durchführbarkeit von neuen supraleitenden Lösungen auch Aspekte wie Umwelt und Sicherheit, aber auch die Durchdringung des Marktes durch HTSL-Produkte untersucht. Zusätzlich wird die Anwendbarkeit der hier entwickelten Konzepte auf den Schweizer Markt untersucht.

In diesem Jahr fanden zwei IEA-Informationstreffen statt, in Erlangen (Deutschland) und in Genua (Italien). Die Ergebnisse dieser zwei Treffen wurden am 14. November 2007 am Status-Seminar **"HTSL in der Energietechnik"** in Bern vorgestellt.

Eine besondere Aufgabe wurde mir als EXCo Vice-chairman zugeteilt. Es ging darum, dem Gebiet der Supraleitung in der IEA mehr Gewicht zu geben, was anhand der Fortschritte gerechtfertigt ist. Es wurde beschlossen, dass ich an zwei IEA - Meetings aktiv teilnehmen würde, und in Vorträgen dieses Fachgebiet detailliert vorstellen würde. Der Inhalt dieser Treffen wird später in diesem Bericht erwähnt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

ExCo Implementing Agreement: Fortführung des Agreements

Das Jahr 2007 ist das dritte Jahr des IEA - Agreements, das bis 2008 beschlossen ist, mit einer geplanten Verlängerung bis 2010. Prof. Guy Deutscher ist als Chairman bestätigt, Dr. Luciano Martini (CESI, Italien) und Prof. René Flükiger als Vice-Chairmen des Executive Committees (ExCo) des Implementing Agreements. Dr. Luciano Martini (CESI, Italien) ist vor allem für technische Anwendungen verantwortlich, während Prof. R. Flükiger für die Materialprobleme zuständig ist.

ExCo Implementing Agreement: Mitglieder

Das ExCo besteht aus folgenden 12 Mitgliedern besteht: USA, Japan, Deutschland, England, Norwegen, Schweden, Finnland, Kanada, Korea, Israel, Italien und der Schweiz. Leider hat sich die Anmeldung von Indien nicht konkretisiert. Russland hat grosses Interesse an einer Teilnahme gezeigt. Die Verhandlungen werden in Kürze beginnen.

Tätigkeiten des ExCo

1. ExCo - Meeting in Erlangen (Deutschland), 8./9. April 2008.

Das erste ExCo - Meeting fand in Erlangen statt, der Gastgeber war die Firma Siemens. Die Hauptthemen waren:

Es wurden in Japan 4 Haupt-Achsen für die künftige Entwicklung formuliert:

- **Information and Communication**
 1. semiconductors, 2. storage and non-volatile memory, 3. computers, 4. networks, 5. usability (displays etc.), and 6. Software.
- **Life science**
 7. new drug development / diagnostics, 8. diagnostics / medical devices, and 9. regeneration medicine
- **Environment / energy**
 10. CO₂ fixation / effective utilization, 11. measures for phasing out chlorofluorocarbons, 12. comprehensive management of chemical substances, and 13. 3R)
- **Manufacturing Industry**
 14. robots, 15. aircraft, 16. space, 17. nanotechnology, 18. components, 19. MEMS and 20. green biotechnology

Die Supraleitung figuriert hier nicht als separates Thema, ist aber in allen 4 Entwicklungs-Achsen enthalten. Die supraleitenden Entwicklungsrichtungen 2020 in Japan (die z.B. in den USA, Korea, Russland oder Europa nicht wesentlich verschieden sind) sehen so aus:

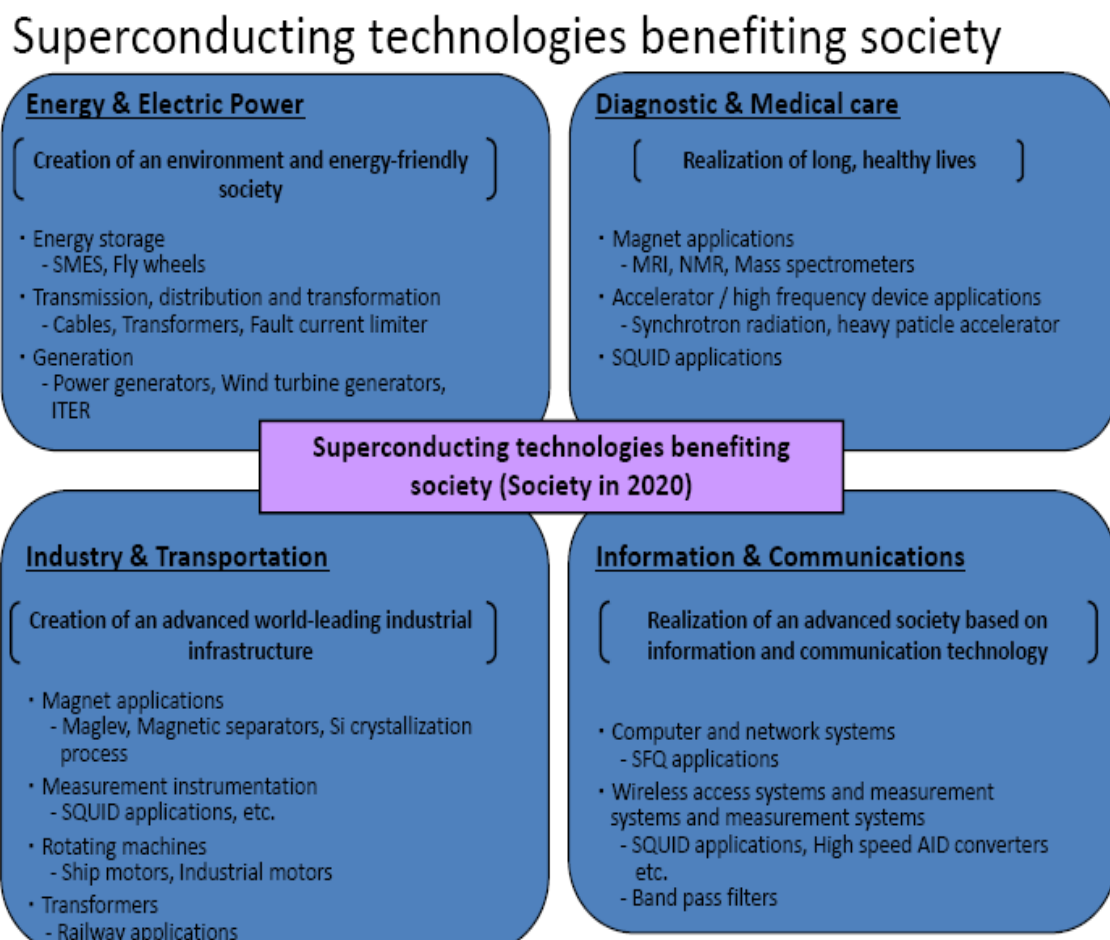


Fig. 1. Einfluss der Supraleitung auf die Gesellschaft in Japan

Konkretere Pläne zeigen, dass die Zukunft bis 2020 in Japan bereits verplant ist, was die Supraleitung angeht:

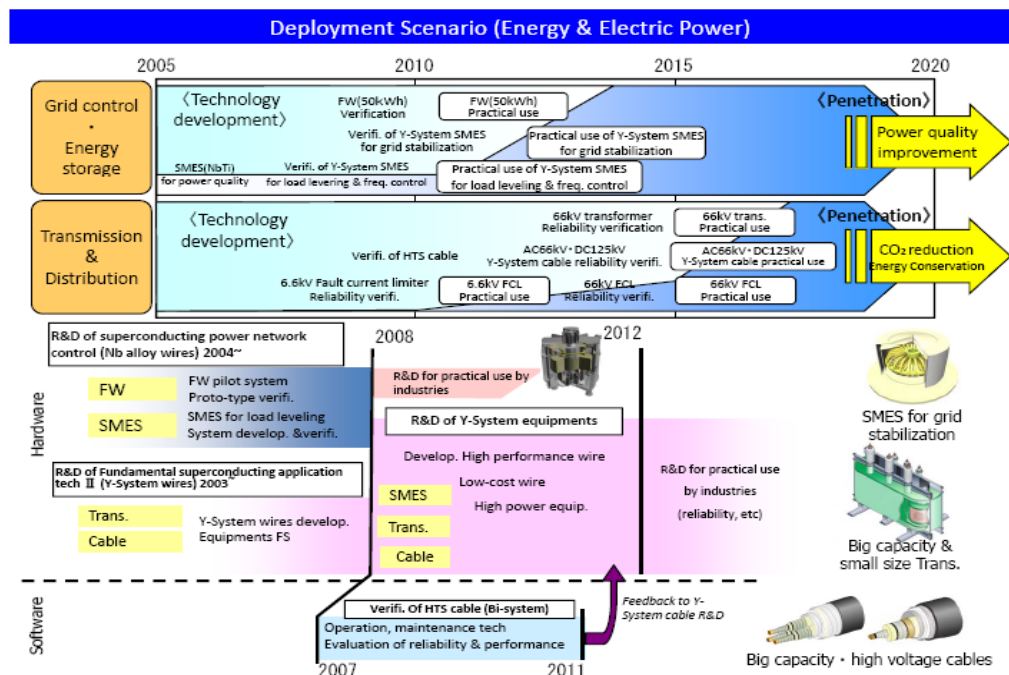


Fig. 2. Szenario der Entwicklung der Supraleitung in Japan bis 2020

Name	High performance Type	Low cost type	Extremely Low Cost Type
Architecture	YBCO (MOD)/ GZO (IBAD)	YBCO (MOD)/ GZO (IBAD)	
		M	>50 m
Ic	> 300 A/cm-w(77K,0T)	> 300 A/cm-w(77K,0T)	200 A/cm-w (77K,0T)
Production rate	> 5m/h	> 5 m/h	not known
Cost	< 125 \$/kAm (77K,0T)	< 85 \$/kAm	< 34 \$/kAm

Wie diese Aufstellung zeigt, wird wohl für eine gewisse Zeit der Preis von Coated Conductors noch über 100 \$/kAm liegen, während Kosten < 20 \$/kAm wünschenswert wären.

Deshalb wird der Supraleiter MgB_2 immer interessanter, obwohl seine Sprungtemperatur mit 39 K deutlich niedriger ist. In der Tat, bei vielen Anwendungen muss sowieso gekühlt werden: da MgB_2 - Leiter 10-20 Mal billiger sind als Coated Conductors, werden diese Mehrkosten teilweise kompensiert.

Strombegrenzer in Japan

Prof. Tsukamoto hat einen Strombegrenzer mit folgender Charakteristik beschrieben:

Spannung	66/77 kV
Kabel-Konfiguration	3 layers ($I_c = 1$ kA)
	1 layer: Abschirmung
Begrenzungsstrom	31.5 kA – 2 sec.

3 phase FCL (resistive type)

keine Degradation von I_c festgestellt.



Fig. 3. 77kV Strombegrenzer in Japan

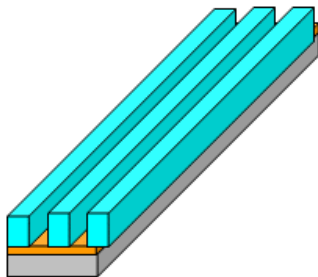
Der Strombegrenzer wurde ans Netz angeschlossen (Tokyo Gas Company). Bisher sind die Tests erfolgreich verlaufen, sind aber noch nicht abgeschlossen.

Verluste in 10 m Kabel

Ein Kabel aus IBAD – Bändern wurde auf seine AC – Verluste hin geprüft:

Bei $I_c = 2'450$ A wurde ein Verlust von 0.0904 W/m bei 1 kA_{rms} gemessen.

Die Methode des „Laser Scribing“ wurde angewendet, um die Verluste in Coated Conductors zu reduzieren. Dabei werden mit Hilfe eines Lasers Rillen in die Supraleitende Schicht eingebrannt, sodass eine „Multifilament“ – Struktur entsteht. Die untere Kurve zeigt die AC-Verlustreduktion.



« Multifilamentäres » YBCO - Band mit
Rillen: niedrigere AC - Verluste

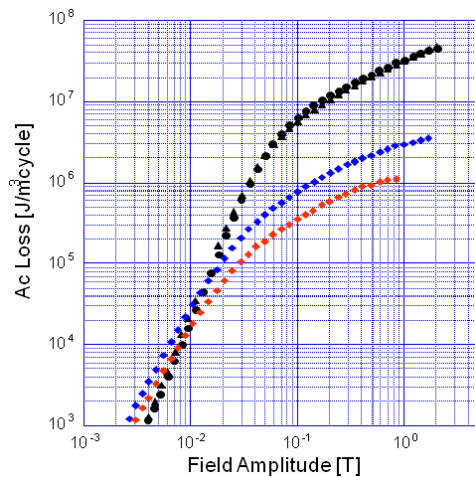


Fig. 4. Erniedrigung der Wechselstromverluste nach Rillenbildung durch FIB

HTSL : Zukunftsprojekte in Japan

SMES (Single SMES coil of a MJ category and small prototype SMES)

Superconducting power cable (275kV/single core/3kA, 66kV/ triple core/5kA - prototype cable)

Superconducting transformer (3-phase 2MVA prototype transformer of 66kV/6kA)

Higher performance and cost reduction of Yttrium-based superconductor

22.9 kV Strombegrenzer in Korea

Dr. Ok-Bae Hyun, Korea

Die Elektrizitätsversorgung in Korea ist sehr dicht vernetzt. Es sind lokale Probleme entstanden, verursacht durch „Fault Currents“, die den Betrieb sehr erschweren. Deshalb wird gegenwärtig ein grosses Projekt erwogen, einen 22.9 kV Strombegrenzer ans Netz zu hängen. KEPCO hat ein Simulationsnetz aufgebaut, um diesen Strombegrenzer zu optimieren. Dabei sollen hohe Ströme begrenzt werden, und zwar sowohl im 154 kV als auch im 345 kV – Netz.

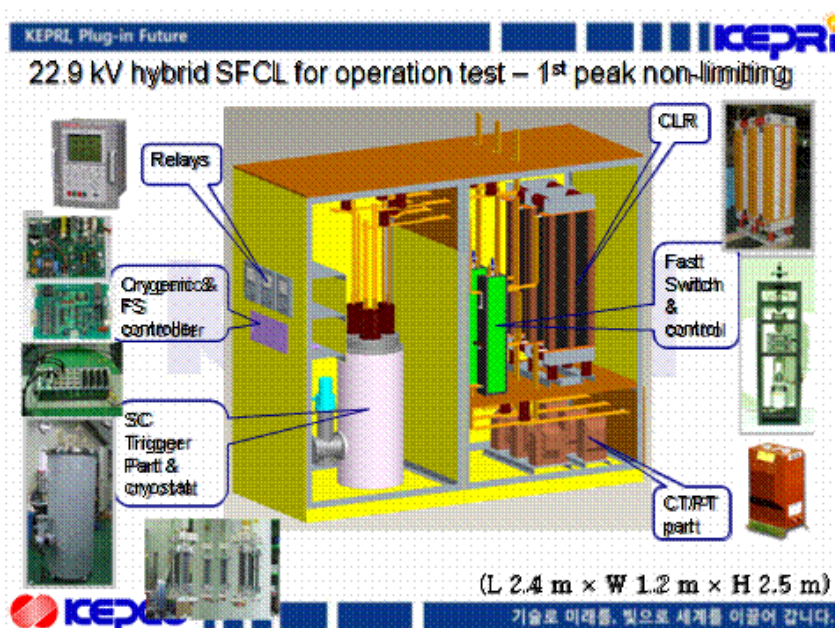


Fig. 5. Schematischer Aufbau des 22.9 kV Strombegrenzers in Korea

Der Bau dieses Strombegrenzers ist sehr weit fortgeschritten, und einzelne Bauteile sind bereits geprüft. Getestet wird vor allem das Verhalten über eine längere Zeit (Langzeitstudie). Dann ist die Koordination zwischen verschiedenen Netzteilen von grosser Wichtigkeit. Der Beschluss, diesen und weitere Strombegrenzer einzusetzen, steht noch aus.

Von Interesse sind die Bedingungen, die an einen solchen Strombegrenzer für industriellen Einsatz gemacht werden:

Neues Patent für Strombegrenzer, von Zenergy Power (USA)

15 kV, 22 kA, 3 Phasen

Recovery time 1 – 2 s

Hold time: 1 s

Entwicklungen bei Siemens

Dr. H.W. Neumüller, Siemens

Einleitende Bemerkung: der aktuelle Preis von YBCO – Bändern ist ~ 700 \$/kAm. Trotzdem: das Langzeit-Ziel sollte um 20 \$/kAm liegen (nach Inbetriebnahme neuerer, grösserer Produktionsstätten und weltweit grosser Verbreitung dieser Bänder).

Der Bau von Strombegrenzern ist prioritär. Dazu werden bei Siemens für den Schiffsbau grosse supraleitende Motoren entwickelt. Das Zertifikat von German Lloyds wurde schon eingeholt, was eine wichtige Grundbedingung ist für einen späteren Einsatz auf See.

Ein erster **4 MW Motor** wurde gebaut und erfolgreich getestet. 315 kNm, 38 t, 38 m³.

Dafür wurden 50 km Bi-2223 Bänder von EHTS verwendet. Kühl-Leistung: 400 W.

Kurze Zusammenfassung des HTS - Workshops in Bonn

Dr. Ziehl, Karlsruhe

Ein kurzer Abriss des Workshops vom 20.2.2008 in Bonn hatte den Titel: „Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit HTS“. Es beschreibt sehr gut die gegenwärtige Entwicklung in Deutschland (und in Europa). Die Details können im Internet abgerufen werden, unter www.ivsupra.de.

Hier die wichtigsten Meldungen:

Strombegrenzer auf der Basis von Bi-2212 (*Nexans*)

800A, 12 kV,

Begrenzungsstrom 27 kA, 120 ms (*Trithor*)

Induktions Heizer für Extrusion (sehr schnelle Aufheizung)

Der Bolzen wird dabei gedreht, nicht der Magnet!

Triaxiales Kabel von *NKT*

1.7 km, New Orleans

300 m, New York (LIPA)

6 km, Amsterdam

Supraleitung in der Schweiz

Prof. René Flükiger, Uni Genf

Turnusgemäss haben alle Partner die Aktivitäten in Ihrem Lande zu beschreiben. Der gegenwärtige Zustand auf dem Gebiet der industriellen Supraleitermaterialien wurde beschrieben, wobei einige Punkte besonders hervorgehoben wurden.

Mechanische Eigenschaften von HTS – Supraleiter – Bändern (D. Uglietti et al.)

Der Einfluss einer uniaxialen Zugkraft auf J_c eines Y-123 - Bandes von American Superconductors wurde mittels einer WASP – Einrichtung bei 4.2 und 77K bis zu Feldern von 19 T gemessen.

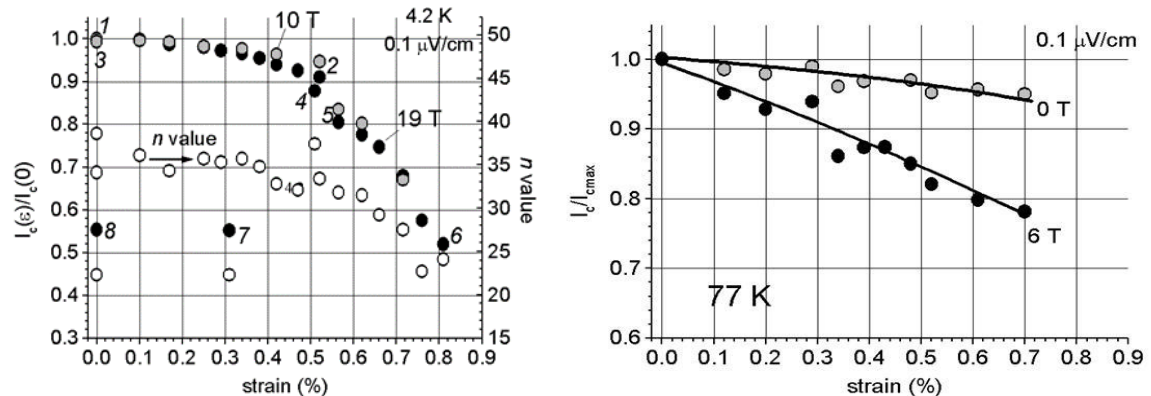
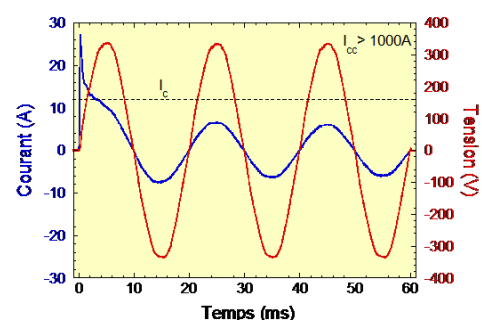
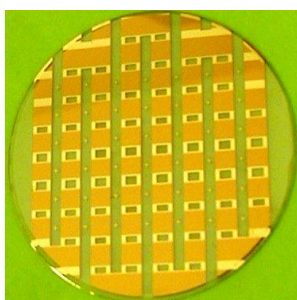


Fig. 6. Einfluss der Zugspannung auf die Stromdichte von Y-123 -Bändern bei 4.2 und 77K.

Die Resultate zeigen eine feldunabhängige Irreversibilitätsgrenze bei 0.53%, die vom Substrat beeinflusst wird. Bei 4.2 K ist das Verhalten von J_c vs. ϵ kaum vom angelegten Magnetfeld abhängig. Bei 77K hingegen sind die mechanischen Eigenschaften stark feldabhängig.

Strombegrenzer (Louis Antognazza)

An der Universität Genf wurde in Zusammenarbeit mit der Firma ABB ein Strombegrenzer entwickelt, der eine Leistung von 5 kW hat. Er besteht aus einem Mäander, das in einen 3000Å dicken Film $YBa_2Cu_3O_7$ erzeugt wurde. Das Wafer hat einen Durchmesser von 2", J_c ist $\sim 3 \cdot 10^6$ A/cm².



Superconducting Single Photon Detector (SSPD)

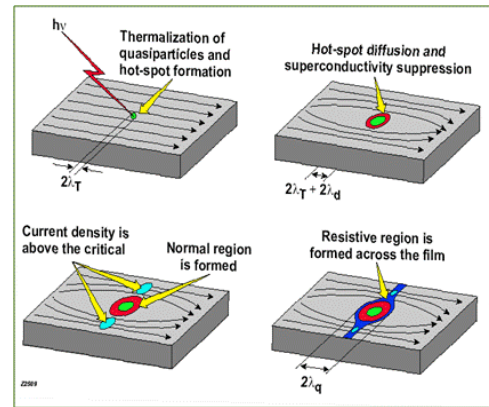
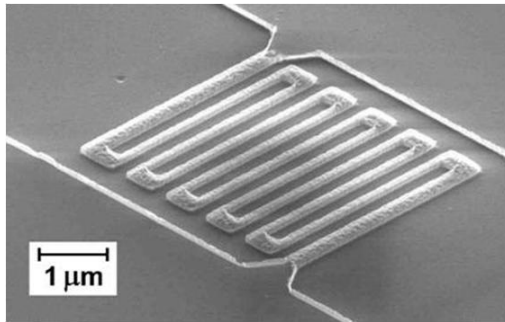


Fig. 7. Details des an der Uni Genf entwickelten Strombegrenzers

Wenn ein Photon auf eine Linie des Mäanders trifft, wird eine negative Region gebildet und eine Spannung wird gemessen. Diese Linie (in Y-123) ist 100 – 200 nm lang und 5 nm dick. Der Mäander wird mittels Focused Ion Beam (FIB) erzeugt.

Haupt-Hindernis: Hohe Kosten des Saphir-Substrates. Es besteht die Möglichkeit, breite Coated Conductor-Bänder als Alternative einzusetzen (sofern die Qualität gut genug ist).

Neue Generation von Kabeln für ITER TF (Fusion) in SULTAN

(P. Bruzzone et al. CRPP, Villigen)

Als einzige Anlage auf der Welt ist das CRPP in Villigen imstande, die Kabel und Kabelprototypen für das Projekt ITER bis zu Feldern von 12 T zu messen. Die Evaluation hat sich als sehr schwierig erwiesen, da die mechanischen Eigenschaften von Nb₃Sn – Leitern innerhalb eines „Cable-in-Conduit“ – Verbundes nicht genau berechnet werden können. Im letzten Bericht sind folgende Schlussfolgerungen enthalten:

A standard procedure for short sample preparation and test is established as a first step toward systematic **quality control** of ITER conductors

In 6 out of 12 conductors, large **early voltage**, dominated by unusually high transverse potential, are observed, preventing a direct assessment of T_{cs} from raw data. A **data processing procedure** is proposed to extract the longitudinal electric field from the readout of the voltage tap

The range of T_{cs} results is broad, from **5.45 K to 7.35 K** and does not reflect the I_c ranking of the individual strands. An **update** of the TF conductor layout is being issued by ITER

Interner Stress als Ursache für Eniedrigung der Stromdichte in MgB₂-Drähten

(C. Senatore, DPMC, Genf)

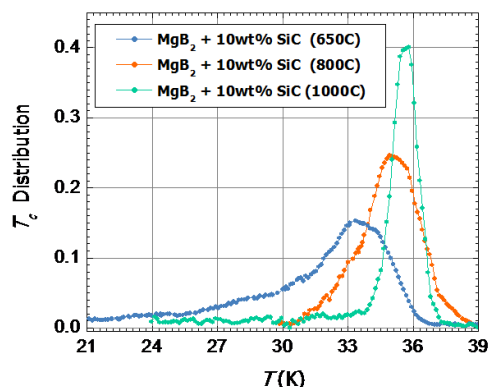


Fig. 8. Tc – Verteilung im Filament eines MgB₂ - Drahtes

Anhand von Messungen der spezifischen Wärme wurde die T_c – Verteilung im Filament eines MgB_2 – Drahtes ermittelt. Dabei zeigt es sich, dass bei Reaktionstemperaturen um 650°C der T_c – Bereich bis zu etwa 20 K erstreckt. Dies kann nicht auf eine Inhomogenität des C – Gehaltes zurückgeführt werden und muss als eine Folge der Inneren Spannungen angesehen werden. Der T_c – Bereich zwischen 20 und 30 K in der Probe hat niedrigere Werte von B_{c2} und liefert naturgemäss niedrigere Werte von J_c .

2. IEA Workshop: Ad-Hoc Group on Science & Energy Meeting;

Scientific Breakthroughs for a Clean Energy Future

6-7 May, 2008, IEA Secretariat, Paris, France

Ich wurde vom Implementing Agreement zu diesem Treffen delegiert, mit dem Ziel, eine grössere Präsenz der Supraleitung innerhalb der IEA anzustreben. Das Treffen selbst verfolgte das Ziel, die wichtigsten Arbeitsgebiete zu definieren, welche als solche vom IEA als besonders förderungswürdig hervorgehoben würden.

Anhand eines Vortrages hatte ich die Gelegenheit, den gegenwärtigen Stand der Entwicklungen auf dem Supraleiter-Gebiet zu erläutern. Hier einige Punkte, die besonders auf die Erniedrigung des CO_2 – Gehaltes hinzielen:

Motoren, Leistung > 1 MW

Die Energie-Einsparung eines Motors der 4 MW – Klasse beträgt 4%, und die Effizienz steigt um 1.7%. Dies entspricht einer Einsparung von **0.4 Tonnen CO_2** pro Tag.

Energieübertragung und –verteilung

Transformer für Lokomotiven: Energie – Einsparung 7%. Steigerung der Effizienz: 8%.

Energie-Einsparung: 340 MWh @ 1.1 MW, entspricht einer CO_2 – Einsparung von 178 Tonnen pro 1.1 MW und Jahr pro Zugkomposition.

Einsatz in der Autoindustrie

In Japan wurde zum ersten Mal ein Auto durch einen supraleitenden Motor betrieben, als Ersatz für einen Elektromotor (Sumitomo Industries).



Fig. 9. Premiere: weltweit erstes durch einen supraleitenden Motor betriebenes Auto in Japan.

Kühlmittel : Flüssiger Stickstoff (77 K). Mit der gleichen Energie fährt das Auto 13% weiter !

Der supraleitende Motor erlaubt höhere Ströme mit einer niedrigeren Wicklungszahl und niedrigerer Spannung. Motor in 50 kW und 345 kW Version.

Motoren für Schiffe und Autobusse vorgesehen, innerhalb der nächsten 10 Jahre.

Einsatz von Supraleitern bis 2050 :

Die globale CO₂ Emission bei der Energie-Erzeugung könnte **bis zu 5%** erniedrigt werden nach einem graduellen Übergang zu supraleitender Technologie.

Das Ziel, die Supraleitung als einen der 17 ausgewählten wichtigsten Bereiche in der Energietechnik anzuerkennen, wurde nicht erreicht. Die Begründung dazu:

„Supraleitung kann nicht als eigenständiges Gebiet betrachtet werden, da es in verschiedenen Gebieten schon inbegriffen ist: 1) Fusion, 2) Motoren, 3) Generatoren, 4) Energieübertragung.“

Es bleibt zu hoffen, dass dies genügt, um bei der EU-Kommission in Brüssel die Supraleitung als Fachgebiet stärker zu fördern als bisher. Die neueste Erklärung der IEA ist im Anhang A enthalten.

3. IEA-FASI NEET Workshop: Cooperation in the field of energy technologies

30.9. – 1.10.2008, Moscow, All-Russian Exhibition Center

Das Ziel dieses Workshops war es, alle 42 Implementing Agreements der IEA vorzustellen. Jedes Implementing Agreement bekam Gelegenheit, seine Argumente vorzutragen. Ein Nebenziel dabei war es, die russische Seite mehr einzubinden. Für die Supraleitung ist dies bestimmt sinnvoll, da in Russland die Supraleitung sehr stark gefördert wird. Dies kommt auch im Programm zum Ausdruck, wo ausser meinem Vortrag noch 2 Vorträge aus russischen Labors gehalten wurden. Dies ist in einem Ausschnitt des Programms ersichtlich:

30 September 2008

	Chair: Lidia I. Chubraeva , Director of Research Institute of Innovative Technologies in Electromechanics and Power Engineering, State University of Aerospace Instrumentation (SUAI). Co-chair: Mr. Peter Cunz, Chairman of the EUWP
	IEA High Temperature Superconductivity (HTS) Implementing Agreement (IA)
15.00-15.20 15.20-15.40	“Presentation on the HTS IA Implementing Agreement: Impact of HTS Superconductivity “ by Dr. René Flükiger, University of Geneva, Switzerland “State of the art and new developments in high temperature superconductivity in Russia “ by Lidia I. Chubraeva, Res. Institute of Innovative Technologies in Electromechanics and Power Engineering, State University of Aerospace Instrumentation (SUAI).
	IEA Energy Conservation through Energy Storage (ECES) Implementing Agreement (IA)
16.00-16.20 16.20-16.35 16.35-16.50	Presentation on the ECES IA by Dr. Andreas Hauer, Secretary Functional Nanomaterials for Power Industry by A. Putilov , All-Russian Research Institute of Non-organic Materials named after Academician A.Bochvara “Inductive and kinetic storage superconductive systems” by Dr. Sergei Egorov, D.V. Efremov Scientific Research Institute of Electrophysical Apparatus (St. Petersburg).

[1]

Die russische Seite hat sich sehr interessiert gezeigt, und Frau Prof. Lidia I. Chubraeva aus dem Aerospace Instrumentation Center in St. Petersburg wird uns im Januar besuchen, um mehr über unser Implementing Agreement zu erfahren.

Nationale Zusammenarbeit

In der Schweiz ist seit einigen Jahren eine aktive Beteiligung an HTS-Projekten im Hinblick auf Energieanwendungen bei ABB im Gange, und zwar auf dem Gebiet des Strombegrenzers. Die Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit der Universität Genf durchgeführt, im Rahmen des MANEP Projekts. Eine weitere Firma arbeitet auf dem Gebiet der Supraleitung, aber nur für den Einsatz bei tiefen Temperaturen (4.2K: Bruker BioSpin (Hochfeldmagnete für NMR). Hinzu kommt noch die Firma IBM in Rüschlikon, die vor allem Entwicklungen von elektronischen "devices" verfolgt. Alle diese Firmen haben Zusammenarbeitsprogramme auf dem Gebiete der Supraleitung mit den schweizerischen Hochschulen, mit dem Paul Scherrer Institut, der ETH Zürich, der EPF Lausanne (CRPP) und der Universität Genf.

In Genf hat wird der zweite 4-Jahreszyklus des "National Center of Competence in Research"-Programms des schweizerischen Nationalfonds im Juni 2009 enden und wird durch den dritten 4-Jahreszyklus abgelöst werden. Das Projekt "Materials with Novel Electronic Properties" (MANEP), umfasst jetzt insgesamt 19 Institute und 6 Industrien und befasst sich mit dem Studium der Grundlagen sowie der Entwicklung von neuen Materialien. Davon befassen sich 8 theoretisch oder experimentell mit HTSL-Supraleitern. Innerhalb von MANEP sind zwei Gruppen an der Universität Genf mit Entwicklungen auf dem Magnet- und dem Energiesektor tätig.

- * Prof. Fischer arbeitet an Strombegrenzern (mit ABB) in Zusammenarbeit mit Prof. M. Hasler und Dr. Dutoit (EPFL Lausanne).
- * Prof. R. Flükiger (Universität Genf) arbeitet an der Charakterisierung von HTS- und LTS- Supraleitern bei Feldern bis 21 T. Es läuft ein Vertrag mit CERN im Hinblick auf 15 T- Dipole, die nach LHC in Einsatz kommen werden (Next European Dipole, oder NED). Ein grösseres Projekt verfolgt das Ziel, Nb₃Sn-Leiter für NMR-Magnete bei Feldern von > 22 T zu entwickeln.

Parallel dazu ist ein CTI- Projekt mit 2 ½ -jähriger Laufzeit im Gange.

Zusätzlich werden in Genf neuartige MgB₂-Drähte und -Bänder entwickelt, mit dem Ziel, 200 MHz-Spulen für NMR - Anwendungen bei 20 K zu entwickeln. Das Hauptziel ist es, bei 20K Stromdichten $J_c = 1 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ bis zu Magnetfeldern um 3 T zu erhalten. Dieselben Drähte können auch für Strombegrenzer bei 20K eingesetzt werden. Der Sprungpunkt von MgB₂ liegt zwar nur bei 39 K, dafür aber sind die Kosten mit 3 - 5 €/kAm über eine Grössenordnung niedriger als diejenigen von Y-123 Coated Conductors. Vor allem bei sog. Cryogenfree - Anwendungen eröffnet sich hier ein neuer Markt, wobei vor allem Strombegrenzer (Fault Current Limiters) als besonders aussichtsreich erscheinen.

Im DPMC/GAP wurde eine Mess-Einrichtung gebaut, um den Einfluss der mechanischen Belastung auf die kritische Stromdichte von industriellen Drähten und Bändern bis zu 21 T zu messen. Die mechanische Belastung kann dabei auf zwei Arten aufgebracht werden:

- * Einfluss der uniaxialen, longitudinalen Dehnung auf die kritische Stromdichte (Simulation der Lorentzkräfte): die Leiter(sowohl LTS auch HTS - Leiter) werden auf eine sog. Walters Spirale aufgelötet, und die Dehnung wird durch Torsion der Spirale angebracht. Diese Apparatur kann ungleich präziser als alle andern messen (0.01 $\mu\text{V/cm}$ anstatt 1 $\mu\text{V/cm}$).
- * Einfluss des transversalen Druckes auf die kritische Stromdichte (Simulation des Drucks, der von Nachbardrähten ausgeübt wird). Diese Apparatur wurde im 2006 entwickelt und hat gleich neue, interessante Resultate in Hinblick auf die Drähte für ITER geliefert: in Nb₃Sn-Drähten wurde ein wesentlich grösserer Effekt für die sog. "Internal Sn"-Drähte gefunden, im Vergleich zu den "Bronze" - Drähten. Dieses Resultat war unerwartet und hat zur Folge, dass neue Entwicklungen notwendig sind.
- * Die nationale Zusammenarbeit wurde dank des MANEP-Projekts gestärkt. Weiter wurde die nationale Zusammenarbeit durch 2 KTI - Projekte gefördert (Universität Genf/EPFL/HES Genève), die soeben beendet wurden. Neue Projekte werden demnächst eingereicht.
- * Dr. P.L. Bruzzone (PSI Villigen):

Im Rahmen der ITER - Programmes ist eine sehr intensive Aktivität in Villigen im Gange: die Gruppe von Dr. P. Bruzzone ist vor allem mit der Charakterisierung von Fusionsleitern in der 12 T - SULTAN - Spule beschäftigt. Diese Gruppe entwickelt gegenwärtig einen 12.5 Tesla Dipol, um die Fusionsleiter-Kabel für ITER zu charakterisieren. Diese Test - Anlage wird weltweit die Einzige sein.

Internationale Zusammenarbeit

Ausser dem hier zusammengefassten IEA-Programm bestehen weitere internationale Zusammenarbeiten:

- * Eine internationale Zusammenarbeit ist im Rahmen des 6. EU-Rahmenprogrammes im Gange (Projekt STRP-505724-1 HIPERMAG) ist im Laufe des Jahres 2008 abgeschlossen worden. Es wurden MgB_2 -Bänder und -Drähte entwickelt, mit dem Ziel, Anwendungen bei 20 K zu entwickeln, allen voran für MRI-Spulen. Diesem Programm gehörten nicht weniger als 13 Gruppen an, wobei erstmals auch osteuropäische Länder zum Einsatz kamen, wie Polen und der Slowakei.
- * Als internationale Zusammenarbeit kann das Messprogramm an der Universität Genf gezählt werden, mit Messungen an Drähten und Bändern aus den USA.
Y-123: American Superconductors (USA), EHTS (D), Theva (D).
 Nb_3Sn : Oxford Instruments (USA), High Field Magnet Laboratory, Tallahassee (USA)
- * Eine sehr wichtige internationale Zusammenarbeit ist im Rahmen der ITER - Programmes in Villigen im Gange, wo die Gruppe von Dr. P. Bruzzone mit der Charakterisierung von Fusions-Leitern in der 12 T - SULTAN - Spule beschäftigt ist. Wie schon erwähnt, entwickelt diese Gruppe gegenwärtig ein 12.5 Tesla Dipol, um die Fusionsleiter-Kabel für ITER zu charakterisieren. Es ist zu bemerken, dass dies weltweit die einzige Anlage sein wird, wo diese Tests durchgeführt werden können.
- * Im Rahmen des 7. Europäischen Rahmenprogramms (7.FP) wurde ein Projekt bewilligt, das mit dem CERN als Leading House den Bau von Hochfeldmagneten für Beschleuniger zum Ziele hat. Die Universität Genf nimmt als Partner daran teil mit 2 Gruppen (Prof. A. Blondel und Prof. R. Flükiger).
- * Informationsaustausch: Nach dem Abschluss von SCENET wird diese Funktion teilweise von der ESAS übernommen (European Society for Applied Superconductivity). Im geringeren Masse, aber gezielt auf 12 Teilnehmerländer, wirkt das "IEA Implementing Agreement for HTS Conductors" als Medium für einen fundierten Informationsaustausch.

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Im Jahr 2008 ist die Forschungs-Aktivität auf dem Gebiet der Supraleitung in der Schweiz weitergeführt worden, nicht nur auf dem Materialsektor, sondern auch in der Messtechnik (Beispiel: CRPP).

- * Mit dem MANEP - Programm (Leading House: Universität Genf) sind sowohl experimentell wie auch theoretisch neue, positive Akzente gesetzt worden. Die internationale Untersuchungs-Kommission hat das Programm sehr positiv beurteilt, und bescheinigte ein sehr gutes Niveau auf internationaler Ebene. Nach MANEP II, das am 30.6.2009 zu Ende geht, wird dieses Programm noch in einer dritten Phase weitergeführt (MANEP III: 2009 – 2013). Die entsprechenden Verhandlungen verlaufen positiv.
- * ABB verfolgt gegenwärtig ein HTSL-Projekt (Strombegrenzer), als einzige nennenswerte Schweizer Aktivität im Energiebereich. Die Supraleitung hat technisch auf den verschiedensten Gebieten überzeugt, und ist dabei, den Durchbruch auf dem Markt zu schaffen. Die jüngsten Fortschritte auf dem Gebiet der Coated Conductor - Bänder, vor allem was die Länge aber auch die Stromdichte betrifft, stimmen sehr optimistisch in Bezug auf die zukünftige Entwicklung.
- * Aufgrund des besseren Verhaltens in Gegenwart von Magnetfeldern ist gegenwärtig eine Trendwende im Gange, von den Bi-2223 - Bändern zu den Leitern der 2. Generation (Y-123 oder RE-123 Coated Conductors). Diesen Sommer wurde von SuperPower in den USA eine Länge von 1'300 Metern mit einer Stromdichte von 145 A pro 10mm Bandbreite veröffentlicht, wobei die Geschwindigkeit etwa 100 m pro Stunde betrug. SuperPower hat eine Produktion von >100 km/Jahr in Aussicht gestellt.
- * Ein guter Kontakt zur Weltspitze konnte dank dem Hochfeldlabor in Genf mit Feldern bis 21 T gewahrt werden. Da die mechanischen Eigenschaften bis zu 21 T nur hier gemessen werden

können, erhalten wir die weltbesten Drähte zur Charakterisierung, was uns einen sehr guten Ueberblick und Qualitätsvergleich erlaubt.

- * Die Hauptziele in 2009 werden ausser der weiteren Charakterisierung von HTS - Bändern weiterhin die Verbesserung der Stromdichte MgB₂- Drähten sein. Es gilt, die internationalen Beziehungen zu vertiefen, um aktive Zusammenarbeiten zu ermöglichen, die im Endeffekt der schweizerischen Industrie zugute kommen werden.
- * Die aktive Zusammenarbeit mit CERN bei der Entwicklung von supraleitenden Nb₃Sn - Drähten für Dipol-Magnete für das Nachfolgeprojekt von LHC mit Feldern im Bereich zwischen 12 und 18 T wurde durch eine Partnerschaft im Rahmen des 7. Europäischen Rahmenprogramms festgelegt.

Referenzen

Microstructure, composition and critical current density of superconducting Nb₃Sn wires

R. Flükiger, D. Uglietti, C. Senatore and F. Buta

Cryogenics, Special Issue: Low- T_c Superconducting Materials **48**(2008)293-307

Upper critical fields well above 100 T for the superconductor SmFeAsO_{0.85}F_{0.15} with $T_c=46$ K

Senatore, C.; Flükiger, R.; Cantoni, M.; Wu, G.; Liu, R. H.; Chen, X. H.

Physical Review B, **78**(2008)054514

Optimization of Nb₃Sn and MgB₂ wires

R Flükiger, C Senatore, M Cesaretti, F Buta, D Uglietti and B Seeber

Supercond. Sci. Technol. **21** (2008) 054015

Results of a New Generation of ITER TF Conductor Samples in SULTAN

Bruzzzone, P. Stepanov, B. Wesche, R. Salpietro, E. Vostner, A. Okuno, K. Isono, T. Takahashi, Y. Hyoungh Chan Kim Keeman Kim Shikov, A.K. Sytnikov, V.E.

IEEE Appl. Supercond., **18**(2008)459

Test Results of Two European ITER TF Conductor Samples in SULTAN

Bruzzzone, P. Bagnasco, M. Calvi, M. Cau, F. Ciazynski, D. della Corte, A. Di Zenobio, A. Muzzi, L. Nijhuis, A. Salpietro, E. Savoldi Richard, L. Turtu, S. Vostner, A. Wesche, R. Zanino

IEEE Appl. Supercond., **18**(2008)1088

Field and Temperature Dependence of Critical Currents in Industrially Manufactured High- T_c Wires and Tapes

Robert Herzog, Rainer Wesche and Pierluigi Bruzzzone

IOP Publishing ; Journal of Physics: Conference Series **97** (2008) 012208

Electrical characteristics of DyBCO coated conductors at high current densities for fault current limiter application

M. Therasse, M. Decroux, L. Antognazza, M. Abplanalp and Ø. Fischer

Physica C: Superconductivity, (2008)2191