

Jahresbericht 2002, 27. Februar 2003

IEA-Implementing Agreement „Assessing the Impact of High Temp. Superconductivity on the Electric Power Sector“ (EXCO Member)

Autor und Koautoren	René Flükiger
beauftragte Institution	Université de Genève, Dépt. Phys. Mat. Condensée (DPMC)
Adresse	24, quai Ernest Ansermet, 1211 Genève 4
Telefon, E-mail, Internetadresse	Tel. 022 702 6240, rene.flukiger@physics.unige.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	39 929/79 747
Dauer des Projekts (von – bis)	1.1.2001 – 31.12.2003

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des hier beschriebenen Projektes ist eine möglichst umfassende Information über die nationalen und internationalen Aktivitäten auf dem Gebiet der Hoch- T_c -Supraleitung. Von ganz besonderem Interesse sind dabei die Entwicklungen von Leitermaterialien sowie deren Einsatz in industriellen Anlagen und die anfallenden Kühlprobleme.

Im Jahr 2002 wurden zwei Informationstreffen im Rahmen des IEA – Projektes durchgeführt. Das erste Treffen fand in Helsinki statt und war vor allem dem Thema der Kühlung von die Hoch T_c – Leitern wie Bi,Pb(2223) oder Y-123 (zweite Generation, "coated conductors") in Energieanlagen gewidmet. Es wurde eine vollständige Darstellung über heute gebräuchliche Kühltechniken für Operationstemperaturen im Bereich zwischen 55 und 77K gegeben. Der ausgezeichnet dokumentierte Kurs war an Ingenieure gerichtet und gab eine Uebersicht über die Kühlung von künftigen elektrotechnischen oder elektromechanische Anlagen, die keramische Supraleiter enthalten. Technische Details wurden erörtert und die anfallenden Kühlkosten wurden abgeschätzt. Die heute erhältlichen Kryogeneratoren ("cryocoolers") wurden vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile sowie künftige Anforderungen wurden beschrieben. Stirling-Kryogeneratoren mit höheren Leistungen werden erst dann entwickelt werden wenn einen genügende Nachfrage besteht.

Das zweite IEA-Informationstreffen fand in der Schweiz statt, in Chavannes-de-Bogy. Das Hauptthema dieser Veranstaltung war die Messung der Stromqualität im elektrischen Netz, sowie deren statistische Erfassung. Diese Grösse wird immer wichtiger, wegen der immer höheren Ansprüche von Computern und anderen elektronischen Regelwerken, die nur sehr geringe Stromausfallzeiten vertragen, in Extremfällen einige Hertz. Obwohl das Stromnetz in der Schweiz eine wesentlich höhere Stromqualität aufweist als in den USA, kommt diesem Thema eine wachsende Bedeutung zu. Als Lösung dieser Probleme bieten sich supraleitende Schwungräder an. Boeing (USA) hat ein 3kW - Schwungrad erfolgreich getestet, und der mögliche Testeinsatz wird gegenwärtig besprochen.

Die Dokumentation zu diesen Workshops wurden an alle in der Schweiz in der Supraleitung tätigen Forschungsinstitute und Industrien weitergeleitet und im alljährlich stattfindende Status-Seminar im November ausführlich kommentiert.

Projektziele

Die Projektziele beinhalten eine umfassende Information über die neuesten Fortschritten und Anwendungen auf dem Gebiet der **Hoch-T_c-Supraleitung (HTSL) im Energiebereich**. Dazu zählen supraleitende Transformatoren, Kabel, Strombegrenzer, Generatoren, Motoren und Schwungräder, 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 14 Mitgliedstaaten, gegenseitig technische Berichte auszutauschen und Laboratorien und Testeinrichtungen, sowie industrielle Unternehmen zu besuchen. 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.

In diesem Jahr fanden zwei IEA-Informationstreffen statt, in Helsinki (Finnland) und Chavannes-de-Bogy (Schweiz). Die Ergebnisse dieser zwei Treffen wurden am 13. November am Status-Seminar **"HTSL in der Energietechnik"** in Dättwil (ABB Labors) vorgestellt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Im **ersten IEA-Informationstreffen** (23.-26. April in Helsinki), stand die Orientierung die Kühlung von supraleitenden Energieanlagen im Vordergrund. Die laufenden Aktivitäten auf dem Gebiet der Kryogeneratoren oder "cryocooler", wurden diskutiert, im Hinblick auf künftige Anwendungen von Hoch-T_c-Leitern wie Bi,Pb-2223 (Leiter der "ersten" Generation) oder Y-123 ("zweite" Generation, "coated conductors") in Energieanlagen. Es wurde eine vollständige Darstellung der heute gebräuchlichen Kühltechniken für Operationstemperaturen im Bereich zwischen 55 und 77K gegeben. Der gut dokumentierte Kurs war an Ingenieure, aber auch an Industrielle gerichtet und gab eine Uebersicht über die Kühlung von künftigen elektrotechnischen oder elektromechanische Anlagen, die keramische Supraleiter enthalten. Es wurden die technischen Details erörtert, und die anfallenden Kühlkosten wurden abgeschätzt.

Die Dokumentation umfasst alle wichtigen Laboratorien und Industrien, die Entwicklung auf dem Gebiet der Kryogeneratoren betreiben, mit genauen Adressen und technischem Stand. Es sind dies weltweit 40 Industrien und 12 Forschungsinstitute (in Europa: 10 Industrien und 6 Institute). Die Anwendungen, die Kühlaggregate benötigen, sind systematisch beschrieben: Separatoren, Imaging, Kristallzüchtungsmagnete, Stator-Spulen, Induktive Strombegrenzer, Schwungräder, Energiespeicher, Kabel, Transformer, resistive Strombegrenzer.

Quantitative Vergleiche zwischen **konventionellen und gekühlten supraleitenden Energiesystemen** wurden angestellt. Die Grenzen der Wirtschaftlichkeit von supraleitenden Systemen beim heutigen Stand der Technik wurden anhand von quantitativen Abschätzungen aufgezeigt. Die heute kommerziell verfügbaren Kryogeneratoren, wie Stirling- und Gifford-MacMahon-Maschinen wurden diskutiert: dabei bestätigte sich, dass heute noch kein kommerzielles Kühlsystem existiert, das eine wirtschaftliche Nutzung von HTS-Systemen bei 77 K erlaubt. Stirling-Kryogeneratoren mit höheren Leistungen werden erst dann entwickelt werden wenn eine genügende Nachfrage besteht. Die Entwicklung von neuen Kühlsystemen, wie **"Pulse Tube Cryocoolers"** zeigt positive Aspekte, ist aber noch nicht abgeschlossen.

Der **zweite IEA-Informationstreffen** (23.-27. September), fand in der Schweiz statt, in Chavannes-de-Bogny. Das Hauptthema dieser Veranstaltung war die Messung und Erhaltung der Stromqualität im elektrischen Netz sowie deren statistische Erfassung. Diese Grösse wird immer wichtiger, wegen der immer höheren Ansprüche einer wachsenden Anzahl von Computern und anderen elektronischen Regelwerken, die nur sehr geringe Stromausfallzeiten gestatten, in Extremfällen sogar nur Sekundenbruchteile. Obwohl das Stromnetz in der Schweiz eine höhere Stromqualität aufweist als in den USA, kommt diesem Thema auch hier eine wachsende Bedeutung zu. Als Lösung dieser Probleme bieten sich supraleitende Schwungräder an: bei besonders hohen lokalen Anforderungen könnte diese Qualität künftig durch den Einsatz von supraleitenden Schwungrädern erheblich verbessert werden.

Boeing (USA) hat ein 3kW - Schwungrad erfolgreich getestet (siehe Bild), und der mögliche Testeinsatz im Rahmen des IEA – Abkommens in einem Mitgliedstaat (z.B. Israel) wird gegenwärtig besprochen.



Supraleitendes Prototyp-Schwungrad von Boeing im Test (10 kWh/3kW, August 2002)

Dieser Bericht wurde an alle an der Supraleitung interessierten Vertreter von Hochschulen und Industrie in der Schweiz verteilt.

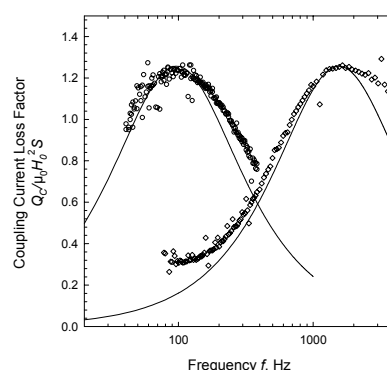
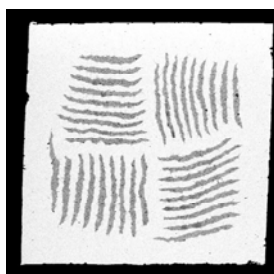
Nationale Zusammenarbeit

In der Schweiz ist eine aktive Beteiligung an HTSL-Projekten im Hinblick auf Energieanwendungen ist vor allem bei *ABB* und den *Kabelwerken Brugg* im Gange. Zwei weitere Firmen arbeiten auf dem Gebiet der Supraleitung, aber nur für den Einsatz bei tiefen Temperaturen (4.2K: *Bruker BioSpin* (Hochfeldmagnete für NMR) und *Swissmetal Dornach* (supraleitenden Nb₃Sn-Drähte). 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, vor allem mit dem Paul Scherrer Institut, der ETH Zürich, der EPF Lausanne und der Universität Genf.

Wir sind nun im zweiten Jahr des "*National Center of Competence in Research*" - Programms des schweizerischen Nationalfonds. Unser Projekt "**Materials with Novel Electronic Properties**" (**MANEP**), umfasst insgesamt 17 Institute und Industrien und befasst sich mit dem Studium und der Entwicklung von 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 Energiesektor beschäftigt: *Prof. Ø. Fischer* arbeitet an Strombegrenzern (mit *ABB*), während *Prof. R. Flükiger* (*Universität Genf*) zusammen mit *Prof. M. Hasler* (*EPFL Lausanne*) an der Limitierung von AC-Verlusten in Bi,Pb(2223)-Bändern arbeiten, im Hinblick auf deren Anwendung in Hochstrom-Kabeln.

Internationale Zusammenarbeit

Ausser dem hier zusammengefassten IEA-Programm bestehen weitere internationale Zusammenarbeiten. Im Rahmen des **5. EU-Rahmenprogramms** nehmen zwei Gruppen, *Prof. R. Flückiger (Universität Genf)* und *Dr. B. Dutoit (EPFL Lausanne)* am **Growth** - Projekt BIG POWA (GRD1-1999-10461, OFES No. 99.0209-1) teil. Beide bearbeiten das Problem der AC-Verluste: die erste Gruppe entwickelt runde Bi,Pb(2223)-Supraleiter mit besonders niedrigen AC-Verlusten, während die zweite Gruppe 2D und 3D Modellberechnungen für Leiter und Drähte durchführt. Ziel dieses Projekts ist es, einen kleinen Transformator und eine Modellspule bei 77K mit *runden* Bi,Pb(2223) – Drähten (und sehr kleinen AC-Verlusten) zu bauen, anstatt wie bisher mit flachen Bändern. Im Rahmen dieses Projekts wurde am DPMC für runde, isotrope Bi,Pb(2223) – Drähte eine neue Betsmarke aufgestellt, mit einer Stromdichte von $17'000 \text{ A/cm}^2$ bei 77 K im Eigenfeld [1]. Insgesamt 200 m dieser Drähte wurden hergestellt, als Grundlage einer Transformator-Testspule, die von Skoda (Tschechien) fertiggestellt wird.



Bi,Pb(2223)–Draht mit orthogonalen Filamenten und isotropischen Transporteigenschaften: $j_c(77\text{K}, 0\text{T}) = 17 \text{ kA/cm}^2$
Die Drahtgeometrie führt auch *ohne Barrieren* zu einer starken Erhöhung des a.c Verlustfaktors [1].

Das neue Programm des **Superconducting European Network, SCENET II** (GTC1-2001-43047) hat im Juli 2002 begonnen und wird 4 Jahre dauern, mit insgesamt 3 Mio CHF. SCENET umfasst nun dank der neu zugekommenen osteuropäischen Staaten mehr als 80 verschiedene europäische Gruppen (Nodes) aus den Hochschulen und der Industrie, die sich alle mit Supraleitung befassen. SCENET hat sich zur Aufgabe gemacht, den Informationsfluss innerhalb Europa zu optimieren, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Forschung zu verbessern. Pro Jahr wird eine Sommerschule durchgeführt, um Studenten in das Gebiet der Supraleitung einzuführen. Ausserdem sind insgesamt 24 Mannmonate für kurze Besuchsaufenthalte von jungen Wissenschaftlern vorgesehen. Die Schweiz ist mit 2 Nodes vertreten (*Uni Genf und ETHZ*), und *Prof. R. Flückiger (Uni Genf)* ist Mitglied des SCENET Steering Committee.

Die Vorarbeiten zum **6. EU-Rahmenprogramms** haben im Sommer 2002 begonnen. Schweizer können immer noch nicht die Koordinatorfunktion übernehmen. Insgesamt haben sich schweizerische Institute sich an 10 sog. "Declarations of Interest (DOI)" angeschlossen, die im Sommer 2002 eingeschickt wurden. Die insgesamt etwa 25 DOI, die Supraleitung als Thema hatten, sind eine kleine Zahl, verglichen mit insgesamt 18'000 DOI in Europa (für alle Forschungs- und Entwicklungsrichtungen). Somit ist es absehbar, dass wahrscheinlich nur ein *Integrated Project* sich mit Supraleitung befassen wird. Dieses Projekte könnte etwa 20 bis 30 Partner umfassen und würde mit etwa 10 Mio € dotiert sein. März 03 ist Einsendetermin.

Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Im Jahr 2002 ist die Forschungs-Aktivität auf dem Gebiet der Supraleitung in der Schweiz mit Energie weitergeführt worden. Mit dem MANEP - Programm sind sowohl experimentell wie auch theoretisch neue, positive Akzente gesetzt worden. Die internationale Untersuchungskommission hat das Programm äusserst positiv beurteilt, und bescheinigte ein sehr gutes Niveau auf internationaler Ebene.

Was die Anwendungen auf dem Energiesektor betrifft, so verfolgt gegenwärtig ABB ein HTSL-Projekt (Strombegrenzer). Dass dies gegenwärtig die einzige Aktivität im Anwendungsbereich ist, liegt daran, dass die Supraleitung zwar technisch auf den verschiedensten Gebieten überzeugt hat, aber aus ökonomischen Gründen den Durchbruch auf dem Markt noch nicht geschafft.

Die Fortschritte in der Angewandten HTSL-Supraleitung sind stetig, und mit der weiteren Entwicklung der Leiter der 2. Generation (Yttrium based Coated Conductors) ist zu erwarten, dass die Produktionskosten in absehbarer Zeit deutlich sinken werden. Dies wird auch in der Schweiz zu einer deutlichen Zunahme von Pilot-Projekten führen.

Im Bereich der Bi,Pb(2223) – Bänder wurde am DPMC durch Anlegen eines Gasdruckes von 200 bar zum ersten Mal gezeigt, dass sich diese Phase nach dem Schmelzen reproduzierbar wieder bildet. Dabei wurde die Kontrolle des Pb – Gehalts als wesentlicher Faktor erkannt. Aufgrund dieses Resultats wird nun eine Verbesserung der kritischen Stromdichte von Bi,Pb(2223) – Bändern angestrebt, indem die Reaktionsglühung unter Gasdrücken bis zu 200 bar durchgeführt wird. Dies ist industriell auch für grosse Drahtmengen möglich und scheint vielversprechend.

Es ist sehr wichtig, dass der Kontakt zur Weltspitze auch weiterhin behalten wird. Dies wird am Beispiel des im Januar 2001 entdeckten Supraleiters MgB_2 deutlich. Dessen T_c -Wert ist mit 39 K leider noch zu niedrig, die Produktionskosten sind aber viel niedriger als für vergleichbare SL-Drähte. Die Stromdichten der in der Schweiz hergestellten Fe/MgB₂ – Drähte erreichen international Spitzenwerte. Diese Arbeiten wurden an der in den USA stattfindenden ICMC (Intl. Cryogenic Materials Conference) in madison (USA) mit dem 1. Preis ausgezeichnet. Das Ziel für 2003 wird es sein, die Stromdichten weiter zu steigern, aber vor allem, die thermische Stabilität dieser Drähte zu verbessern [3].

Referenzen

- [1] Y. Yang, E.A. Young, C. Beduz, X.D. Su, R. Flükiger **Significant reduction of AC losses in Ag sheathed Square Bi,Pb(2223) Wires with Twisted Filaments**, presented at Appl. Supercond. Conference, Houston (2002), to be publ. In Proceedings
- [2] E. Giannini, I. Savvysyuk, V. Garier, R. Passerini, P. Toulemonde, R. Flükiger **Reversible melting and equilibrium phase formation in Bi,Pb(2223) tapes**, Superconduct. Sci. Technol., **15** (2002) 1577-1586
- [3] R. Flükiger, P. Lezza, C. Beneduce, N. Musolino, H.L. Suo **Improved transport critical current and irreversibility fields in mono- and multifilamentary Fe / MgB₂ tapes and wires using fine powders** Supercond. Sci. Technol., **15** (2002) 1 - 7