



Jahresbericht 22. November 2010

IEA-IMPLEMENTING AGREEMENT “ASSESSING THE IMPACT OF HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN THE ELECTRIC POWER SECTOR” (EXCO MEMBER)

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Université de Genève,
Dépt. Phys. Matière Condensée (DPMC)
24, quai Ernest Ansermet
CH-1211 Genève 4

Autoren:

René Flükiger
Université de Genève
rene.flukiger@unige.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 500193-001/500193

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Abstract

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 (HTSL) zu geben mit Hauptinteresse auf den Entwicklungen im Energiesektor. Das Hauptaugenmerk ist auf den Einsatz von Hoch- T_c -Supraleitern in industriellen Anwendungen gerichtet, vor allem Strombegrenzer, aber auch Energiespeicher, Kabel und Schwungräder unter Berücksichtigung der anfallenden Kühlprobleme. Die industrielle Entwicklung von Supraleitermaterialien (High- T_c und MgB_2) mit hohen Stromdichten und niedrigen Wechselstromverlusten wird besonders aufmerksam verfolgt. IEA hat der Fortführung dieses Implementing Agreements für die nächsten 3 (+2) Jahre zugestimmt.

Das Jahr 2010 hat bedeutende Fortschritte auf dem Gebiet der HTSL-Anwendungen gebracht: "Coated Conductors" oder 2G-Bänder werden nun von verschiedenen Herstellern in Längen über 1'000 Meter hergestellt. Die Stromdichten für kurze Längen sind nun bei 800 A/cm, für industrielle Längen zwischen 250 und 300 A/cm. Diese 2G-Bänder sind nun die Basis der meisten sich im Bau befindlichen Anlagen. Deren Kosten sind noch zu hoch, aber mit den gestiegenen Produktionsmengen sind starke Verminderungen zu erwarten. Die feste Bestellung von 3'000 km 2G-Bändern von LS an American Superconductors wird neue Berechnungsgrundlagen ermöglichen. Aus Kostengründen werden in den nächsten Jahren für bestimmte Anwendungen vermehrt auch MgB_2 -Drähte eingesetzt.

Hochstromkabel sind in Japan, USA, China und Korea im Bau. Grosse Energiespeicher werden in Japan entwickelt. Nach einem 20 MJ-Speichermodeill von 0.7 m Durchmesser wird für 2012 ein 2 GJ-Speicher mit 2.7 m Durchmesser gebaut (beide für den Betrieb bei 11T und 20K). Ein wachsendes Interesse finden supraleitende Generatoren für die Gewichtsreduktion in Windgeneratoren durch Einsatz von HTSL. Dem Einsatz von HTSL zur Reduzierung des CO_2 -Ausstosses wird eine deutlich wachsende Bedeutung beigemessen.

Im Jahre 2010 wurden zwei Informationstreffen des Executive Committees (ExCo) des IEA durchgeführt. Das erste Treffen fand im Mai in Stockholm (Schweden) statt, das zweite im November in Zürich/PSI in der Schweiz. Dabei wurde von P. Bruzzone (PSI) der Stand des neuen 12.5T Dipol für Tests von ITER-Kabeln und von K. Beneduce (Bruker BioSpin) die Pläne für einen 30T-Magneten beschrieben.

IEA-Implementing agreement „Assessing the impact of High Temperature Superconductivity Electric power sector”

A. Projektziele

Die Projektziele beinhalten eine umfassende Information über die neusten Fortschritte und Anwendungen auf dem Gebiet der Hoch- T_c -Supraleitung (HTSL) im Energiebereich. Dazu zählen vor allem supraleitende Strombegrenzer, Kabel, Motoren und Schwungräder, weiter 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, den gegenwärtigen technischen Stand und die zukünftig vorgesehenen Arbeiten. Das Programm ermöglicht den Mitgliedstaaten, gegenseitig technische Berichte auszutauschen und Laboratorien und Testeinrichtungen sowie industrielle Unternehmen zu besuchen.

Das IEA Implementing Agreement „HTSL“ umfasst 12 Mitgliedstaaten. 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 dem Schweizer Markt untersucht.

B. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

1. ExCo Implementing Agreement: Fortführung des Agreements

Das Jahr 2010 ist das fünfte und letzte Jahr des gegenwärtigen IEA-Agreements, das Ende Jahr zu Ende gehen wird.

Ein neues Agreement wurde für die Periode von 2011 - 2013 (bis 2015 verlängerbar) bewilligt.

Bestätigt wurde Prof. Guy Deutscher als Chairman und Dr. Luciano Martini (ERSE, Italien) sowie Prof. René Flükiger (Université de Genève) als Vice-Chairman des Executive Committees (ExCo) des Implementing Agreements. Dr. Luciano Martini als Vertreter der Industrie ist vor allem für technische Anwendungen verantwortlich, während Prof. R. Flükiger als Vertreter der Universität für die Materialprobleme zuständig ist.

Das ExCo besteht aus folgenden 12 Mitgliedern: USA, Japan, Deutschland, England, Norwegen, Schweden, Finnland, Kanada, Korea, Israel, Italien und der Schweiz. Russland hat ein starkes Interesse an einer Teilnahme gezeigt, kämpft aber noch mit administrativen Schwierigkeiten. Kürzlich ist die Firma Bruker HTS (Deutschland) als Sponsor hinzugekommen.

2. Tätigkeiten des ExCo

In diesem Jahr fanden zwei ExCo-Informationstreffen statt: Das Treffen in **Stockholm (18. - 21.5.2010)** wurde von ABB Schweden organisiert, während ich das Treffen in **Zürich (4. - 6.10.2010)** organisiert habe. Die Ergebnisse der zwei ExCo-Treffen sowie der zwei IEA-Treffen wurden am 7. Dezember 2010 am Status-Seminar "HTSL in der Energietechnik" in Bern vorgestellt und diskutiert. Ich habe 2010 an beiden IEA-Meetings aktiv teilgenommen und über die Aktivitäten in den entsprechenden Fachgebieten berichtet. Der Inhalt dieser Treffen wird später in diesem Bericht erwähnt.

Eine besondere Aktivität betrifft die Anmeldung des neuen IEA-Projekts für die nächsten 5 Jahre. Als ExCo Vice-Chairman habe ich die Aufgabe zugeteilt erhalten, das Projekt an der End User Working Party (EUWP)-Sitzung vom **23./24. Oktober 2010 in Washington** vorzustellen und zu verteidigen.

2.1. Präsentation beim EUWP-Meeting in Washington

Hier eine kurze Zusammenfassung meiner Präsentation:

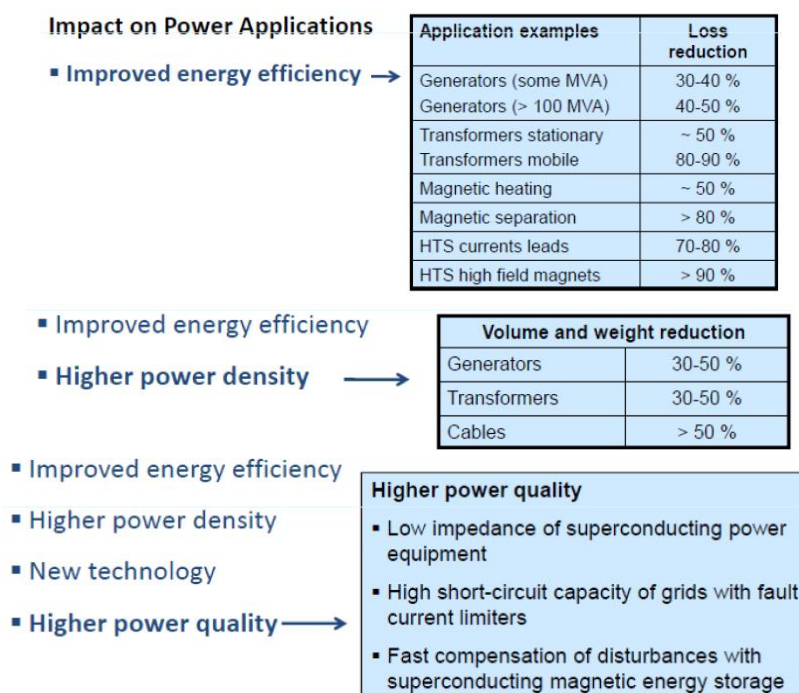
Einführung:

Superconductivity does not produce energy, but contributes to energy saving. One has first to invest energy (for cooling) before to get out the advantages. Continuous technological progress has rendered possible a variety of important advantages.

Aufgaben des Implementing Agreements "HTSL":

- * Evaluating results of work on HTSL-conductors and devices of interest to the power sector
- * Main interest: directed towards energy saving and CO₂ emission reduction of using HTSL
- * Preparing essays on outstanding issues (operating agent)
- * Encouraging discussions among potential users of future devices and among R&D groups
- * Promoting international cooperation
- * Providing access to assessment material

Vorteile der Supraleitung bei Energie-Anwendungen:



* Cable projects:

LIPA, Long Island (USA)

Ultera, Bixby Substation, Columbus, Ohio

LS-Cable, South Korea, 22.9 kV, 50 MW; Future: 154 kV, 1 GW

Tres Amigas (USA): connection of the 3 national networks: Transfer of Gigawatts from region to region

* Transformers

* Rotating machines

* Railway systems: example: windmill generators

* Outlook

Meine Präsentation (1 Std.) wurde vom EUWP positiv aufgenommen, sodass das CERT nun unser Projekt für die nächsten 3 (+2) Jahre akzeptiert hat.

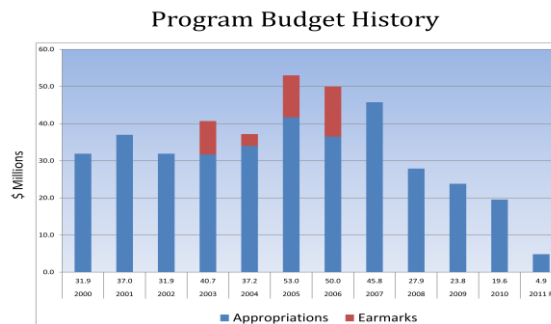
2.2. ExCo-Meeting in Stockholm (Schweden), 18. - 21.5.2010

Im Folgenden werden nur die wichtigsten Informationen kommentiert:

2.2.1. Department of Energy

Die Entwicklung von langen „R.E.-123 coated conductor“-Bändern wird überall forciert, nicht nur in den USA (AMSC und SuperPower), sondern auch in Japan (Sumitomo), Korea und Deutschland (Bruker HTS).

Diese an und für sich erfreulichen Entwicklungen haben auch eine negative Seite: Das amerikanische Department of Energy (DOE) hat seine Förderung für „coated conductors“ gekürzt mit dem Hinweis, dass eine Weiterentwicklung nun Sache der Industrie sei.

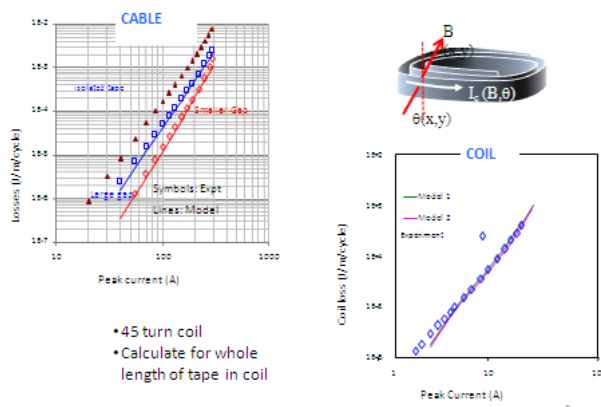


Die Entwicklung der Förderung in den USA für „coated conductors“ (oder 2G)-Bänder zeigt deutlich nach unten. Dies wird aber kompensiert durch ein neues „funding“, das etwa dieselbe Summe aufweist, aber deutlich höhere Innovation und auch Risiko fördert. Trotzdem: Die Suche nach Möglichkeiten, die Kosten der 2G-Bänder zu senken, geht unvermindert weiter, und zwar mittels verschiedener Herstellungsmethoden.

Wie am Anfang dieses Reports vermerkt, werden mittlerweile bereits grössere Mengen (3'000 km) dieser Bänder bestellt, was als eine Trendwende anzusehen ist.

Ein besonderes Problem beim Einsatz von 2G-Bändern im Wechselstrom sind die AC-Verluste, die nun sowohl in Kabeln als auch in Spulen untersucht werden.

LANL: AC Losses Measurement & Understanding

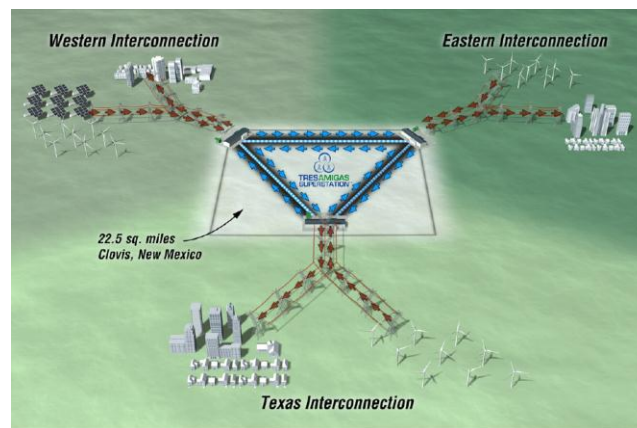


In Oak Ridge werden zur Erhöhung der kritischen Stromdichte Pinning-Zentren durch Nano-Engineering eingeführt.

Das Tres Amigas Projekt: zukunftsweisend

Dieses Projekt (in Clovis, New Mexico) hat zum Ziel, die 3 verschiedenen Netzsysteme in den USA miteinander zu verbinden: North America - Eastern Interconnection, Western - Interconnection und Texas - Interconnection (ERCOT). Das Ziel ist, die verschiedenen Sonnen-, Wind- und Geothermik-Vorkommen in verschiedenen Regionen miteinander zu verbinden, um diese Energie besser auszunutzen („peak energies“). Dies wird die Energiekosten senken und den Fluss der „renewable energies“ optimieren und stabilisieren.

Das Projekt ist in der Planungsphase und wird etwa 2014 fertiggestellt sein. AMSC beteiligt sich mit 10%, da auch HTSL in grossen Mengen vorgesehen sind.

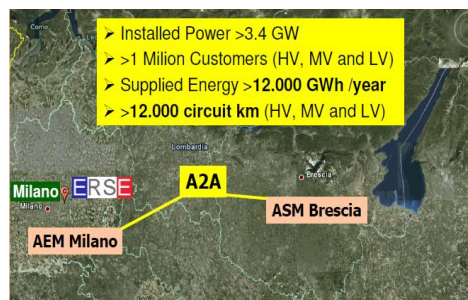


2.2.2. Nexans, D

Die Beiträge dieser Firma an verschiedenen Kabeln wurden vorgestellt, so das LIPA in Long Island. Dieses Projekt, das 2 Jahre lang anstandslos über 600 m mittels 1G-Supraleitern funktioniert hat, wird über 30 m nun auf 2G-Kabeln umgerüstet.

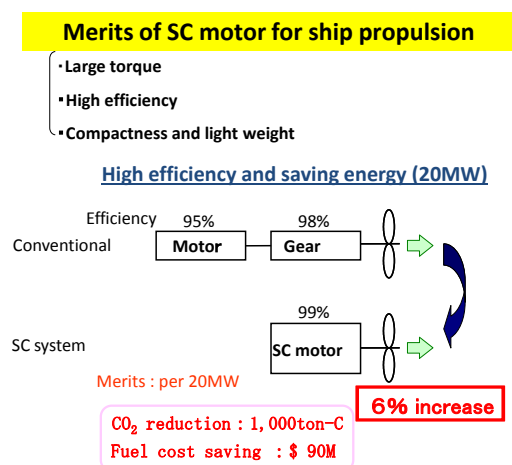
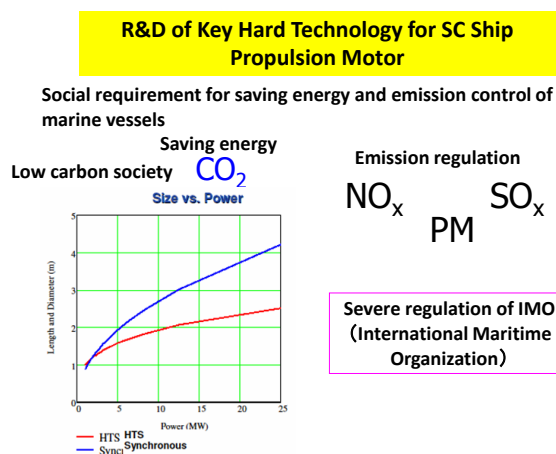
2.2.3. ERSE, Italy

15 V, 15 MW Fault Current Limiter: das Projekt befindet sich im Bau.



2.2.4. Japan

Programs for Low Carbon Society include Superconductivity.



Beispiel: Die erhöhte Effizienz (+ 6%) bei supraleitenden Motoren bringt Einsparungen von 90 Mio. \$/Jahr.

R&D-Ziele: Motoren der 20MW-Klasse, vor allem für Schiffe.



Tokyo Marine (400kW)



Kawasaki Heavy Ind. (1MW class)

2.3. ExCo-Meeting in Zürich, 4. - 6.10.2010

Dieses Mal war die Schweiz an der Reihe mit der Organisation des Meetings. Zürich wurde gewählt wegen der Nähe zum PSI, das uns am zweiten Tag Gastrecht gewährte.

14 Teilnehmer: Dr. Alan Wolski, USA, Prof. Mathias Noe, Direktor, KTI Karlsruhe, D, Prof. Guy Deutscher, Chairman, Tel Aviv, Mr. Roland Brüniger, BFE, CH, Dr. M. Moser, BFE, CH, Dr. Luciano Martini, Italy, Dr. Reinhard Dietrich, D, Dr. Marjin Oomen, Siemens, Dr. Julian Cave, Canada, Dr. Debbie Haught, USA, Dr. Ok-Bae Hyun, Korea, Prof. Osami Tsukamoto, Japan, Dr. Shigeru Semura, Japan, Dr. Steven Lee, IEA (USA), Prof. René Flükiger, CH (Organisator, Vice-Chairman).

Programm:

Monday, 4 October

19:30 Welcome Dinner, at City Hotel, Zurich

Tuesday, 5 October

09:00 – 12:30 ExCo- Meeting (at Hotel)

12:30 – 14:00 Lunch break

14:00 – 17:30 ExCo-Meeting (at Hotel)

Wednesday, 6 October

08:15 Departure by bus, to Paul Scherrer Institute (PSI)

09:00 – 11:00 ExCo- Meeting (PSI)

11:00 – 11:30 Dr. P.L. Bruzzone, PSI: *"Tests for ITER at PSI"*

11h30 – 12:00 Dr. K. Beneduce, Bruker BioSpin AG: *"Towards a compact 30 T all-superconducting magnet"*

12:00 – 13h30 Lunch break

13h30 – 15:00 Laboratory visits

15:00 – Back to Hotel and/or Zurich airport

Insgesamt wurden 12 Vorträge gehalten zusätzlich zu den 2 Vorträgen von Dr. Bruzzone, PSI und Dr. Ketty Beneduce, Bruker BioSpin. Hier die wichtigsten Beiträge:

2.3.1. Gegenwärtiger Stand der Entwicklung: „Coated Conductors“ oder 2G-Bänder

Alan Wolsky (USA) hat einen kompletten Überblick über den gegenwärtigen Stand der Entwicklung der 2G-Bänder gegeben. Er hat die Techniken der 6 gegenwärtig wichtigsten Hersteller von 2G-Bändern detailliert angegeben. Er hat auch die Preisentwicklung zum ersten Mal verglichen.

Wie viel 2G-Band braucht eine bestimmte Anwendung?

Kabel: 1 km Kabel beinhaltet 100 – 300 km 2G-Band (abhängig von I_c)

Generator: 50 - 100 km

Motor: 50 - 100 km

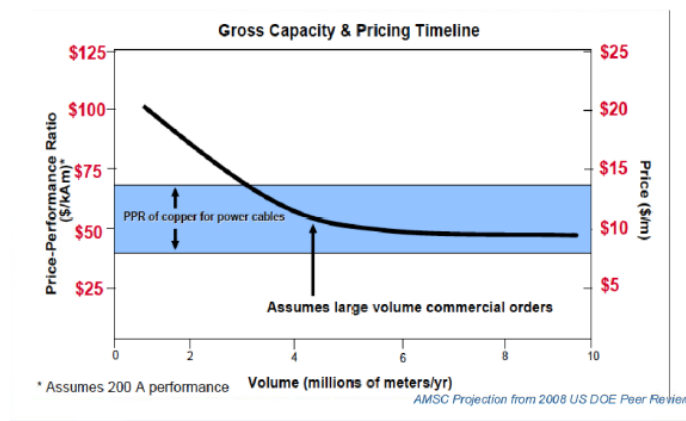
Transformer: 20 - 50 km

Strombegrenzer (FCL): 10 - 100 km

Über die Produktionsmenge sind keine Angaben erhältlich ausser bei SuperPower: 13 km / Monat. Die Kostenentwicklung ist hier skizziert:

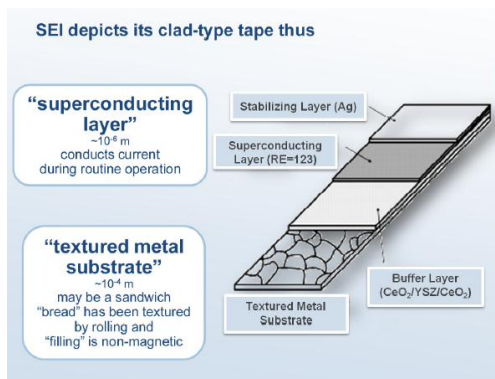
	2005	2011	2016	
High Ic	~200A @77K	~300A @77K	3kA Conductor	20kA Conductor
Length	~1.5km	~2km		~3km
Cost/Performance	\$100/kAm@77K \$20/kAm@4K,5T	\$33/kAm@77K \$6/kAm@4K,5T		\$20/kAm@77K \$4/kAm@4K,5T
AC Loss	4x10 ³ J/cm ³ /cycle → 1W/m/phase @3kA-conductor	2x10 ³ J/cm ³ /cycle → 0.3W/m/phase @3kA-conductor		

Preisentwicklung ist von Hersteller zu Hersteller verschieden. American Superconductors:

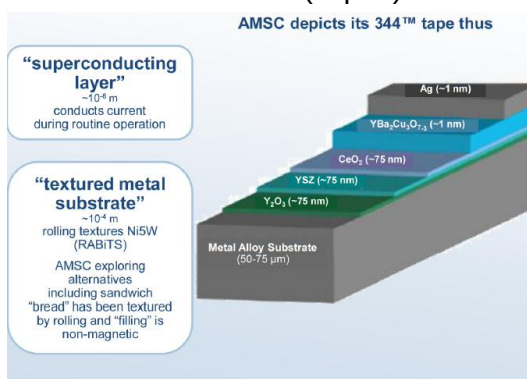


Es folgt, dass akzeptable Marktpreise ab einer Herstellungsmenge von etwa 4'000 km 2G-Band zu erwarten sind. Es sei hier daran erinnert, dass kürzlich SL aus Südkorea bei AMSC eine Gesamtmenge von 3'000 km 2G-Band in Auftrag gegeben hat.

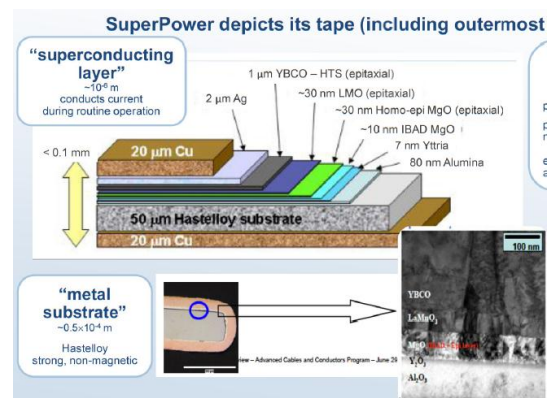
Hier die Details der Herstellungsmethoden der einzelnen Firmen:



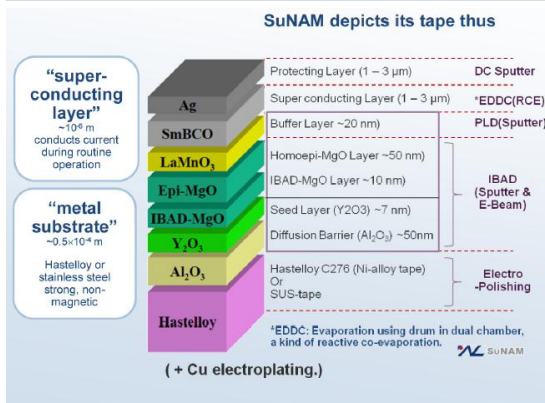
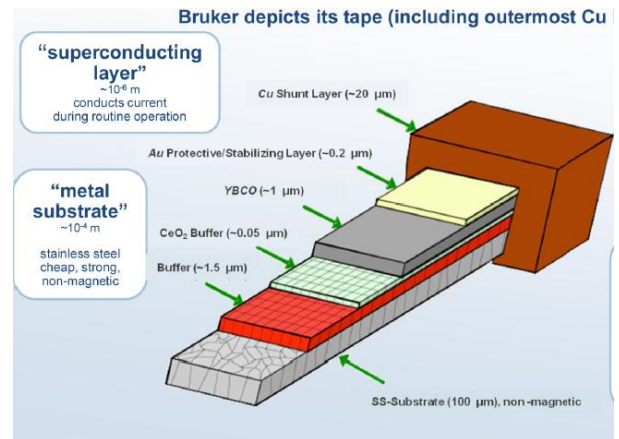
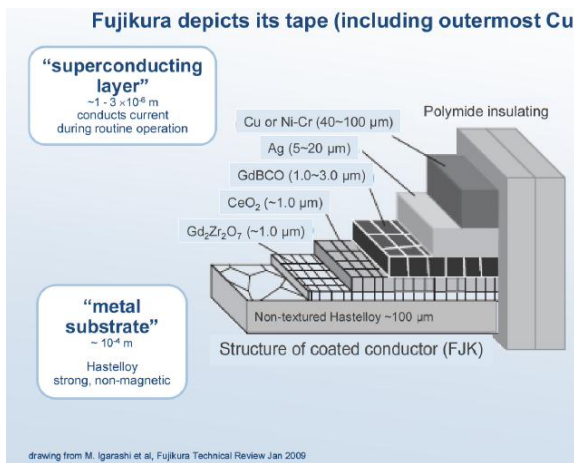
Sumitomo (Japan)



American Superconductors (USA)



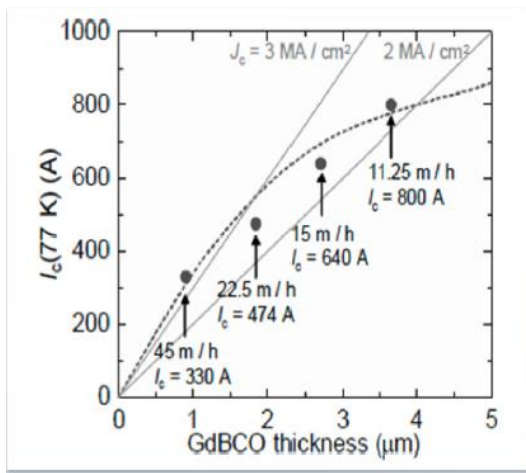
SuperPower (USA)



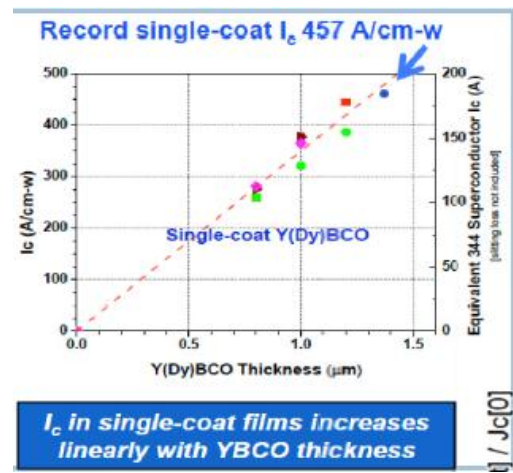
SUNAM
Fujikura (Japan)

Bruker (BEST), Germany

Wo stehen wir heute mit den Stromdichten? Die Stromdichte ist hier die Anzahl Ampère für eine Bandbreite von 1 cm, deshalb die Dimension A/cm. Hier sind die höchsten bekannten Werte für kurze Längen angegeben.



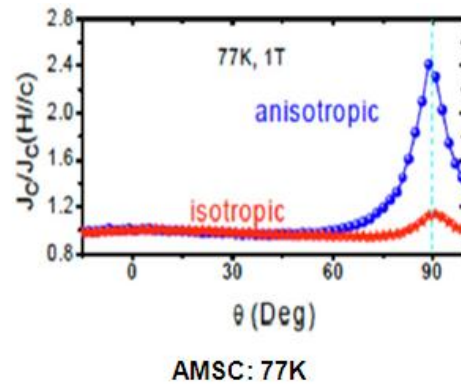
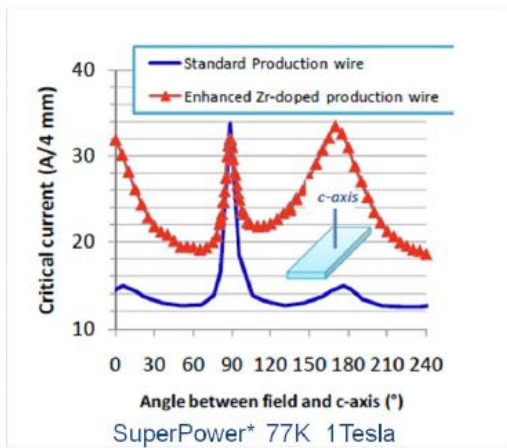
Fujikura (Japan)



American Superconductors (USA)

Industrielle Längen erreichen diese Werte noch nicht, die Norm liegt bei 200 – 250 A/cm mit einer stark steigenden Tendenz. Grosse Fortschritte wurden erzielt bei der Dicke der Supraleiterschicht: Diese variiert heute zwischen 1.5 und > 3 μm : Eine weitere Steigerung der Stromdichten wird durch eine weitere Steigerung der Schichtdicke mit genügender Textur erzielt.

Ein weiterer Fortschritt wurde durch Nano-doping mit Zr erzielt, wie in den nächsten Bildern anhand von 2G-Bändern von SuperPower und American Superconductors gezeigt wird:



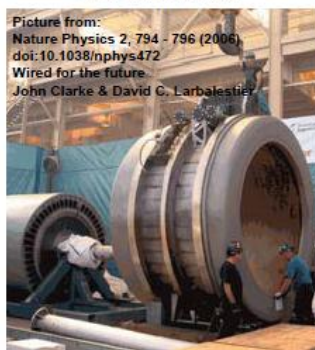
Man sieht, dass die Anisotropie fast ganz verschwindet. Der Vollständigkeit halber muss man sagen, dass dies erst in kleinen Längen möglich war. Man sieht aber, dass noch mehrere aussichtsreiche Parameter verändert werden können, um die Stromdichte noch weiter zu verbessern oder anders gesagt, die Kosten zu senken.

2.3.2. Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Prof. Mathias Noe hat einen Überblick gegeben über die weltweite Entwicklung von HTSL-Einrichtungen.

Motoren: Die Kriterien für HTSL-Motoren wurden diskutiert. Die Leistungen reichen von 0.1 MW (Electric cars) zu Werten zwischen 1 und 10 MW (Industry motors, Ship propulsion motors, Wind generators) bis hin zu den Höchstwerten zwischen 100 und 1'000 MW für Generatoren. Dabei ändern sich Drehmoment und Geschwindigkeit stark von Fall zu Fall.

Ship Propulsion



AMSC
36.5 MVA, 6 kV
120 rpm
8 poles, 75 tons
Efficiency > 97 %
Dimensions: 3,4 m x 4,6 m x 4,1 m

Hydrogenerator



Converteam
1.790 MW, 5.25 kV
214 rpm, 77.3 kNm
28 poles, 32.7 tons
4.7 m x 5.2 m x 3.5 m
Installation in 2010

Ship Propulsion

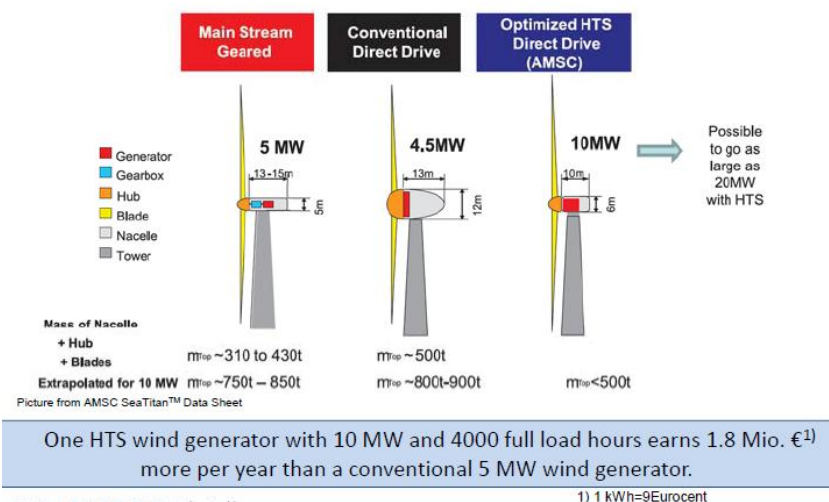


Siemens
4 MW, 3.1 kV
120 rpm, 320 kNm
37 tons
50 km HTS
Test in 2010

Windgeneratoren sind ein sehr aktuelles Thema. Deren Leistung hat heute Werte von 1 MW deutlich überschritten. Besonders bei höheren Leistungen wird der inhärente Vorteil der supraleitenden Motoren stark ins Gewicht fallen: **Kleinere Motoren mit deutlich geringerem Gewicht bei derselben Leistung.**

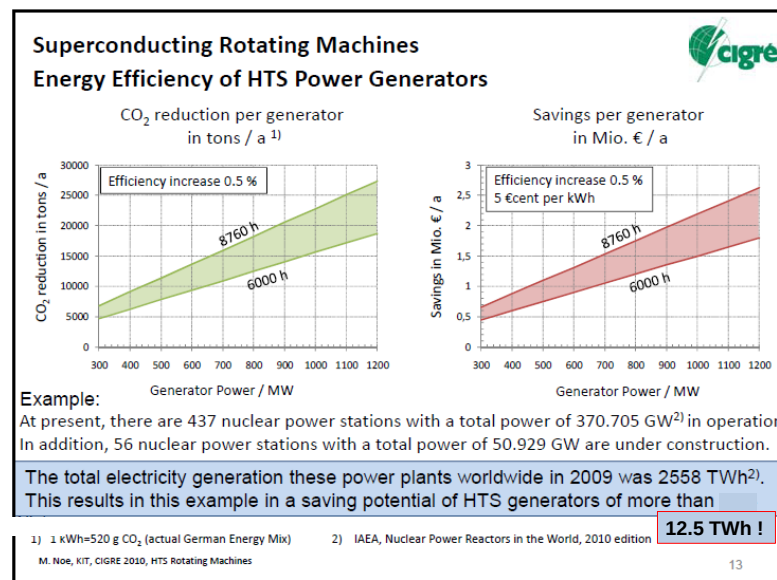
Dies wird schematisch durch die nächste Figur dargestellt.

Superconducting Rotating Machines HTS Wind Generators



Es ist klar, dass die Anwendung von HTSL die Gesamtmasse um einen Faktor ~ 2 verringern würde, was den Bau von noch grösseren Windgeneratoren ermöglichen würde. Man kann abschätzen, dass optimierte Versionen 10MW erreichen könnten mit einer maximal möglichen Leistung von 20 MW. Damit würden die Kosten stark herabgesetzt.

Mathias Noe hat auch eine interessante Berechnung angestellt bezüglich der Kosten-Einsparung bei HTSL-Generatoren in „Power plants“: Diese würde weltweit im Jahr 0.5% betragen, also 12.5 TWh (siehe nachfolgende Figur).



Für jeden installierten HTSL-Generator mit einer Leistung von ca. 1'000 MW würde die Ersparnis pro Jahr etwa 2 Mio. \$ betragen oder anders ausgedrückt: 20'000 tons CO₂/a.

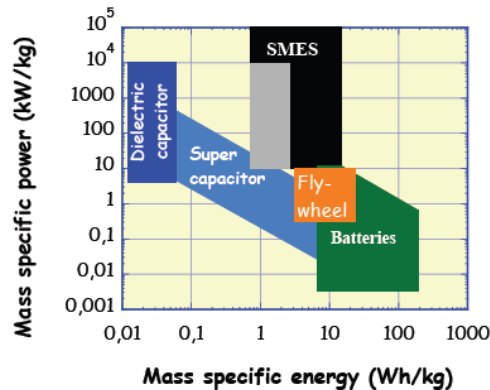
Die Bedingungen an die HTSL-Bänder für wettbewerbsfähige Motoren sind heute zum grossen Teil bereits erfüllt:

- hohe kritische Ströme und schwache Feldabhängigkeit ($B \geq 2T$, 20 – 30K)
- Stücklängen über 1 km
- mechanisch widerstandsfähige Bänder und entsprechende Konzepte für die Wicklung von Magneten
- thermische Stabilisierung
- dünnwandige elektrische Isolierung

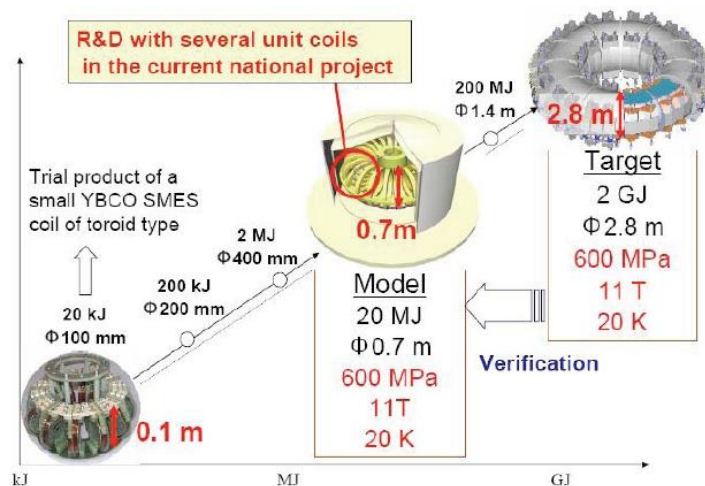
Es wird erwartet, dass in den nächsten 5 bis 10 Jahren Anwendungen in grossem Massstab auf den Markt kommen werden.

2.3.3. SMES development : Chubu Electric Power, Japan

Die Nachfrage nach Elektrizitätsspeichern ist weltweit sehr gross. Die Speicherung mittels HTSL-Magnetspulen erscheint als eine vielversprechende Möglichkeit: Es gibt keine theoretische Obergrenze für die Energie-Speicherung.



Die grösste HTSL-Speicheranlage (SMES) wird gerade in Japan gebaut von Chubu Electric Power; sie wird 2012 ans Netz gehen.



Der Entwicklungssprung ist beeindruckend: Vom jetzigen 20 MJ-Modell von 0.7 m Durchmesser wird die neue Anlage mit einem Durchmesser von 2.8 Metern 2 GJ speichern.

C. Nationale Zusammenarbeit

Auf dem Gebiet der Strombegrenzer besteht eine aktive Zusammenarbeit zwischen der Firma ABB und der Universität Genf.

Die Firma Bruker BioSpin (Fällanden) arbeitet auf dem Gebiet der angewandten Supraleiter. Sie baut supraleitende Hochfeldmagnete für NMR-Anwendungen. Immer höhere Magnetfelder werden angestrebt. Beim Vortrag am PSI hat Dr. K. Beneduce von Bruker BioSpin den Bau eines 30 T-Magneten mittels 2G-Bändern in Fällanden (CH) erwähnt. Die Arbeiten dazu werden auf etwa 2 - 3 Jahre geschätzt. Dies wird weltweit einer der ersten industriellen HTSL-Magnete sein.

Die Firma IBM in Rüschlikon arbeitet vor allem an Entwicklungen von elektronischen "devices". Auch diese Firma hat Zusammenarbeitsprogramme auf dem Gebiet der Supraleitung mit den schweizerischen Hochschulen, mit dem Paul Scherrer Institut, der ETH Zürich, der EPF Lausanne (CRPP) und der Universität Genf.

Der dritte 4-Jahreszyklus des Projekts "Materials with Novel Electronic Properties" (Kurzname: MANEP), finanziert vom schweizerischen Nationalfonds innerhalb des "National Center of Competence in Research"-Programms hat im Juli 2009 begonnen und wird im 2013 enden. Es umfasst jetzt insgesamt 19 Institute und 6 Industrien und befasst sich mit dem Studium der Grundlagen sowie der Entwicklung von neuen elektronischen und magnetischen Materialien. Davon befassen sich 8 theoretisch oder experimentell mit HTSL. Innerhalb von MANEP sind zwei Gruppen an der Universität Genf mit Entwicklungen auf dem Magnet- und Energiesektor tätig.

- Prof. Ø. Fischer arbeitet an Strombegrenzern (mit ABB) in Zusammenarbeit mit Prof. M. Hasler und Dr. Dutoit (EPFL Lausanne).
- Dr. Carmine Senatore (Universität Genf) arbeitet an der Charakterisierung von HTSL und LTS-Supraleitern bei Feldern bis 21 T mit der Firma Bruker BioSpin. Nb₃Sn-Leiter werden entwickelt, um NMR-Magnete bei Feldern von > 23 T zu bauen.

Dr. Senatore ist Nachfolger von Prof. René Flükiger, der weiterhin als Mitglied von MANEP bei der Supraleiterentwicklung aktiv tätig ist, aber jetzt als CERN-Associate die Einwirkung der Strahlung auf die Supraleiter in den Quadrupolen im LHC Upgrade Collider untersucht (diese Anlage ist für 2020 geplant).

- Ein Vertrag zwischen CERN und der Universität Genf wurde abgeschlossen im Hinblick auf 15 T-Dipole, die nach LHC in Einsatz kommen werden im Projekt „LHC Upgrade“.
- Dr. P.L. Bruzzone (PSI Villigen): Im Rahmen der ITER-Programmes ist eine sehr intensive Aktivität am PSI 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 hat ein 12.5 Tesla Dipol entwickelt, um die Fusionsleiter-Kabel für ITER zu charakterisieren. Diese Test-Anlage ist weltweit die Einzige. Dazu werden in dieser Gruppe sehr ausgedehnte Berechnungen und Simulationen im Hinblick auf den Betrieb von ITER durchgeführt.
- 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 < 5 €/kAm über eine Grössenordnung niedriger als diejenigen von Y-123 Coated Conductors. Dies eröffnet neue Möglichkeiten.
- Die nationale Zusammenarbeit wurde dank MANEP und einer ganzen Anzahl von KTI-Projekten gestärkt, die alle zum Ziele haben, die Zusammenarbeit zwischen Universität und Industrie zu verstärken.

D. Internationale Zusammenarbeit

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

- 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), Bruker HTS (D)
Nb₃Sn: Bruker BioSpin (CH), Oxford Instruments (USA), High Field Magnet Laboratory, Tallahassee (USA)
- Eine sehr wichtige internationale Zusammenarbeit ist im Rahmen des ITER-Programmes in Villigen im Gange, wo die Gruppe von Dr. P. Bruzzone mit der Charakterisierung von Fusions-Leitern in der 12T 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) ist ein Projekt im Gange, das mit dem CERN als Leading House den Bau von Hochfeldmagneten für Beschleuniger zum Ziel hat. Die Universität Genf nimmt als Partner daran teil.
- Die Universität Genf beteiligt sich an einem Programm, das Hochfeldmessungen an den Nb₃Sn-Drähten für ITER vorsieht.
- Das IEA Implementing Agreement „HTS Superconductors“ steht für einen fundierten Informationsaustausch im Rahmen der 12 Teilnehmerländer. In geringerem Masse geschieht dies auch über die ESAS (European Society for Applied Superconductivity).

E. Bewertung 2010 und Ausblick 2011

Im Jahr 2009 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 wichtigste Schweizer Aktivität im Energiebereich. Die Supraleitung hat technisch auf den verschiedensten Gebieten überzeugt: Mit der Verfügbarkeit von Y-123-Bändern von > 1 km Länge ist HTSL 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 (1. Generation) zu den Leitern der 2. Generation (Y-123 oder RE-123 Coated Conductors). SuperPower hat eine Produktion von 13 km im Monat angekündigt und es werden 1'000 km/Jahr erwartet.
- Eine erste grosse Bestellung von 2G-Bändern (3'000 km) durch LS Korea bei AMSC zeigt den Anfang einer weiteren Verbreitung von HTSL-Anwendungen.
- Ein guter Kontakt zur Weltspitze konnte auch dank dem Hochfeldlabor in Genf mit Feldern bis 21 T gewahrt werden. Da einige der mechanischen Hochfeld-Eigenschaften bis zu 21 T nur hier gemessen werden können, werden die weltbesten Drähte zur Charakterisierung eingeschickt, was einen sehr guten Überblick und einen Qualitätsvergleich erlauben.
- Die Hauptziele in 2011 werden ausser der weiteren Charakterisierung von HTSL-Bändern weiterhin die Verbesserung der Stromdichte MgB₂-Drähten sein. Es gilt, die internationalen Beziehungen zu intensivieren, um aktive Zusammenarbeiten zu ermöglichen, die im Endeffekt der schweizerischen Industrie zu Gute kommen werden.
- Die aktive Zusammenarbeit mit CERN bei der Entwicklung von supraleitenden Nb₃Sn-Drähten für Dipol-Magnete für das Nachfolgeprojekt „LHC Upgrade“ mit Feldern im Bereich zwischen 12 und 18 T wurde durch eine Partnerschaft im Rahmen des 7. Europäischen Rahmenprogramms festgelegt.