Supraleiterindustrie International

www.ivsupra.de

Dr. Werner Prusseit

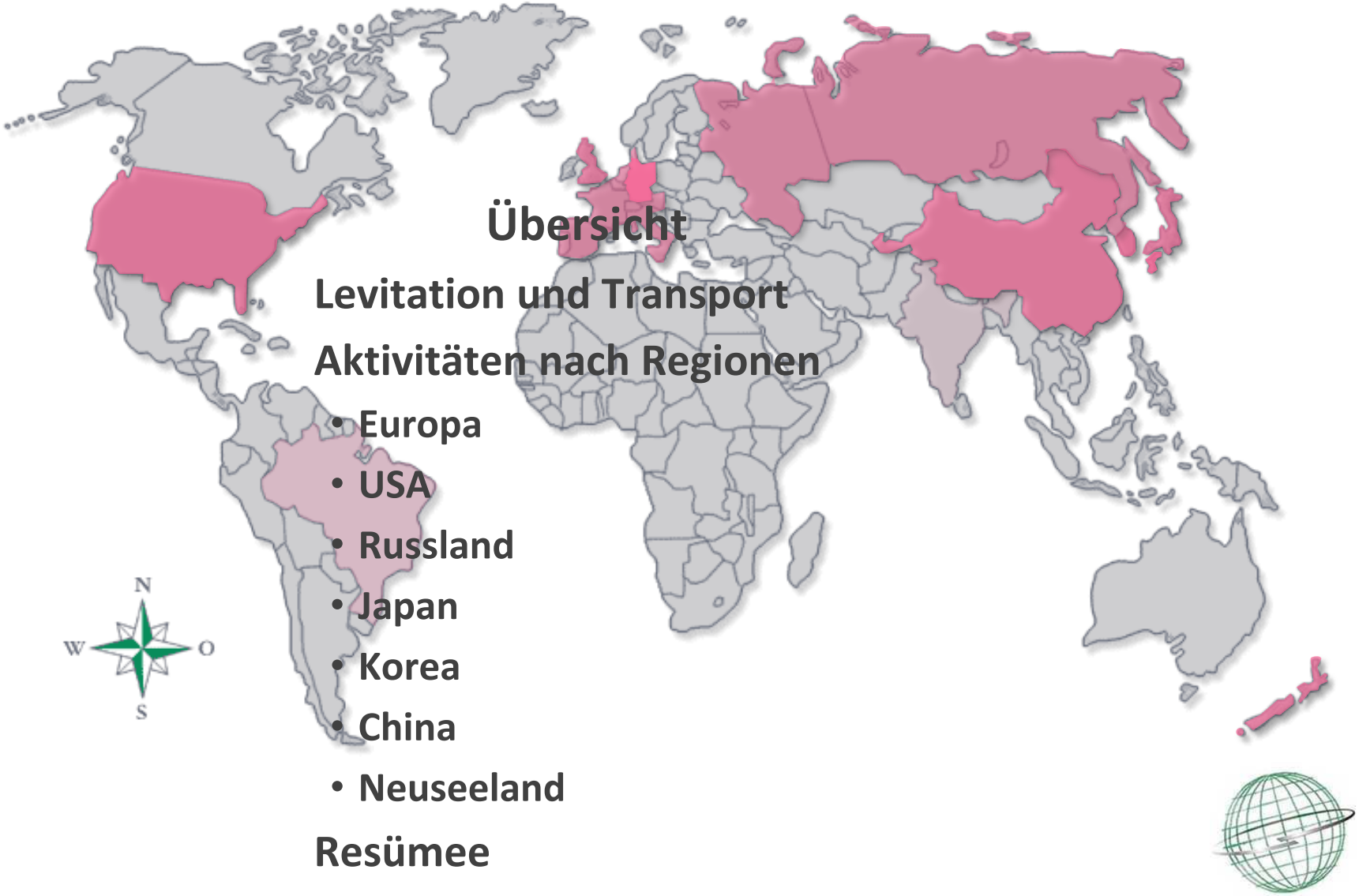
11. März 2014

Bonn, Beethoven-Halle

ZIEHL IV

Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern

Supraleitungstechnologie weltweit



Übersicht

Levitation und Transport

Aktivitäten nach Regionen

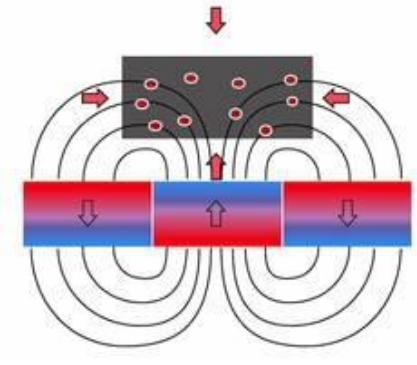
- Europa
- USA
- Russland
- Japan
- Korea
- China
- Neuseeland

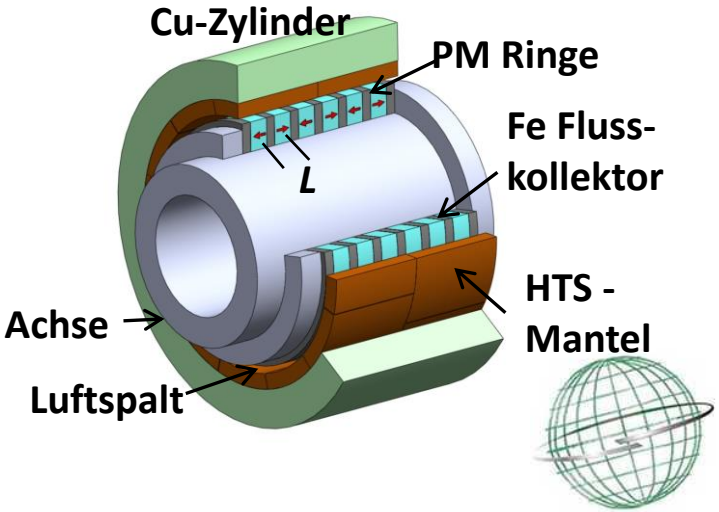
Resümee

Levitation

Wie lässt man die Katze schweben ?

Fragen Sie den Physiker Ihres Vertrauens !





Vielen Dank an:

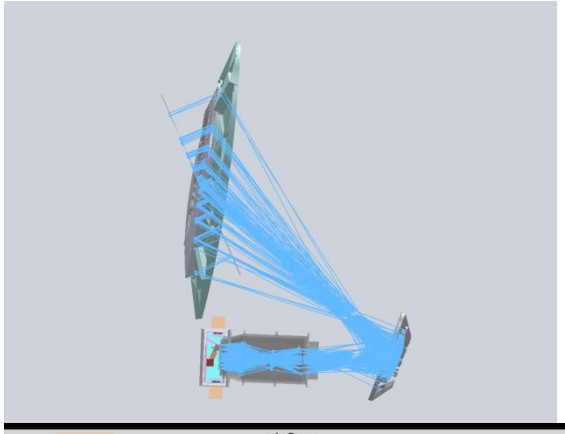
F. Werfel (ATZ)

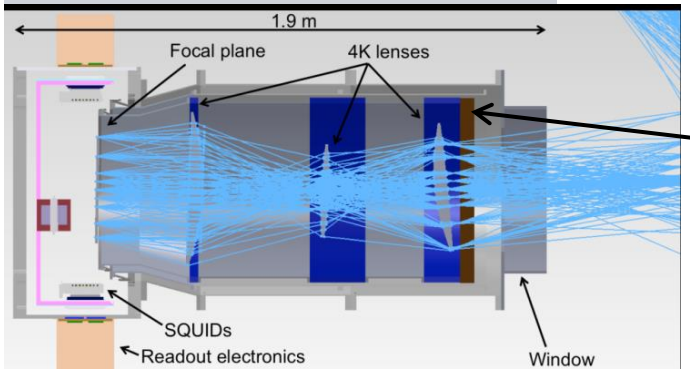
O. de Haas (evico)

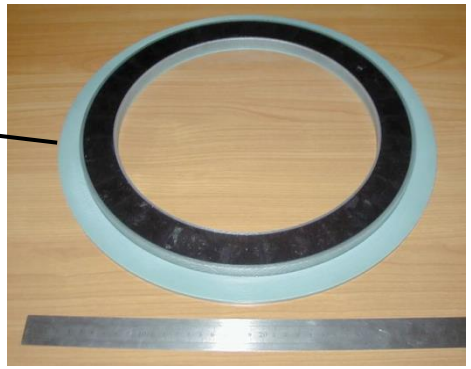
Passive magnetische Lagerung

Astronomie

Magnetlager für Mikrowellen - Polarimeter







Bilder: ATZ

Intl. Südsternwarte Atacama, Chile

Reibungsfrei rotierender Polarisator – Detektor extrem erschütterungsempfindlich

Lagersteifigkeit bis zu 500 N/mm

Levitation & Transport

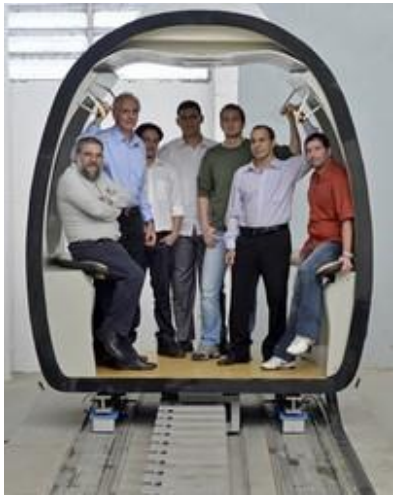
Supratrans

- Evico, IFW Dresden
- 80m Rundkurs, 2 Personen
- 4 Kryostate: >0,5 to Tragkraft
- Kryostat 2500 N @1 cm gap

Maglev @ SW Jiaotong Univ., Chengdu

- 40m Rundkurs, 1 Person
- 6 Kryostate: 1,5 to Tragkraft

Levitation & Transport



Maglev Cobra, Rio de Janeiro (30 Personen)

- COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro 4 M€
- 200m Teststrecke , Wagen für 30 Personen (2014)
- 35 Kryostate: >5 to Tragkraft
- 30 m Kurvenradius, bis 15% Steigung

Planung:

- Erschließung des Uni-Campus: Strecke 4 km, Zug für 254 Personen, 70 km/h
- Verbindung der Flughäfen GIG und SDU (25km)

Europäische HTS - Hersteller

Hersteller	Material	Status
Bruker HTS	2G	Pilotfertigung 50 km p.a. (Eigenbedarf)
D-Nano (BASF-New Business)	2G	Aufbau Pilotfertigung Ziel 250 km p.a. (2015)
THEVA	2G	Aufbau Pilotfertigung Ziel 240 km p.a. (2014)
Columbus (IT)	MgB_2	Produktion >1000 km p.a.
Evico	RABiTS	Substrat Fertigung 50 - 100 km p.a.
ATZ	RBaCuO	Massivteile für Levitation

Aufbau von 2G Fertigungskapazität in Europa (Supratech)

Vielen Dank an:
M. Bäcker (d-nano)
J. Bock (Nexans)
M. Noe (KIT)

Europäische HTS - Projekte

Projekt	Ziel	Koord. / Partner (DE)
ECCOFLOW	SFCL (2G) 24 kV, 1 kA in Mallorca + Kosiçe	Nexans SC
EUROTAPES	Herstellungsverfahren 2G Leiter und runde Drähte	Bruker HTS, Nexans D, KIT, IFW, evico, THEVA
Suprapower	Designstudie 10 MW Windkraftgenerator (MgB_2) 1 MW Demonstrator	Tecnalia (ES) KIT
INNWIND	Entwicklung von 10 MW Offshore Windkrafttechnologie	DTU (DK) Siemens
SR2S	Supraleitende Strahlungsabschirmung (MgB_2) für lange Weltraummissionen	INFN, Columbus (IT)

Fr. Schramm: 12.3. 11:00

Sr. Marino: 12.3. 9:00

Das Herz der europäischen Supraleitungstechnologie schlägt in Deutschland

Deutsche Projekte: Vorträge und Poster !

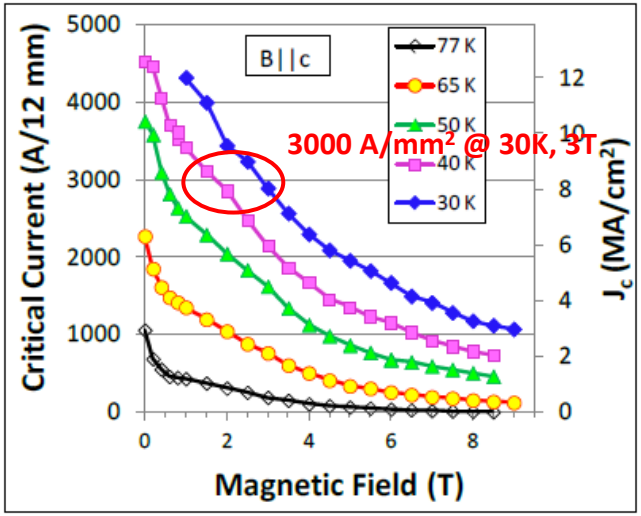
Strombegrenzer (Nexans: 7 + 2 (2014)), Kabel

HTS-Material, Generatoren, Motoren

AMPACITY
Smart grids for the city

USA – HTS Materialentwicklung

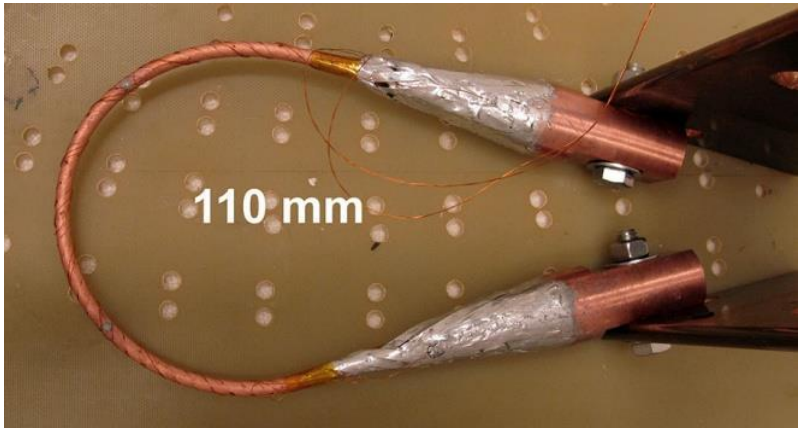
Hersteller	Material	Status
SuperPower (Furukawa)	2G	Produktion: 800 km p.a.
AMSC	2G	Produktion: 800 km p.a.
STI	2G	Beginn Pilotfertigung
Hyper Tech	MgB_2	Produktion: >1000 km p.a.
Metox	2G	Labormaßstab



Univ. Houston TcSUH

- **In den USA sitzen einige der wichtigsten HTS - Hersteller**
- **F&E Anstrengungen: Verbesserung (4x) der Magnetfeldverträglichkeit für Generatorenbau und Hochfeldmagnete**

CORC (conductor on round core) Hochstromkabel



7000 A @ 77K in 10 mm Querschnitt

Advanced Conductor Technologies LLC

D.C. van der Laan et al, SUST , 24 (2011) 042001

HTS – Netztechnik: Hydra - Kabel

Hydra-Projekt: Kabel in New York City, gefördert durch

- **Verbindung zwischen zwei ConEd – Substations in NYC**
- **200m AC 13,8 kV, 4 kA, 95 MVA + FCL-Funktion**
- **25m getestet in 2013**
- **Konstruktion beginnt in 2014**

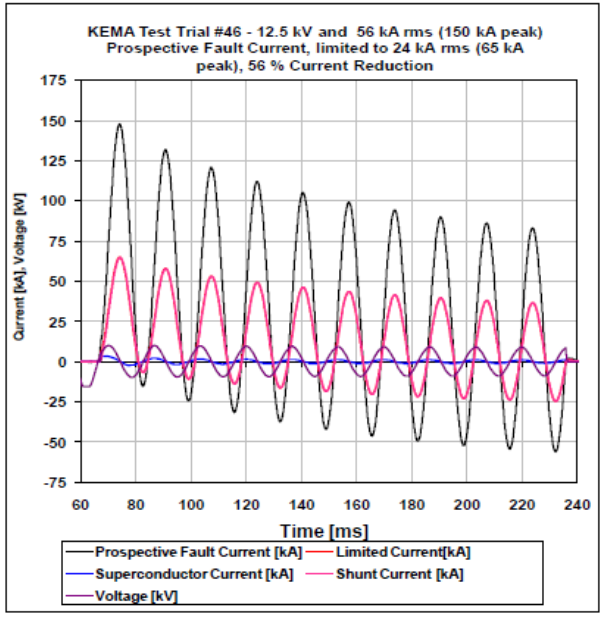
Typtest (Southwire)

HTS – Netztechnik: Strombegrenzer

SFCL: 15kV, 1000A, installiert 2013 in Santa Clara (CA)

- Reaktionszeit < 2ms
- >60% Fehlerstromreduktion
- Recovery under load 1 - 3.5 s

KEMA Test



SFCL im HS-Bereich: 66 – 230 kV

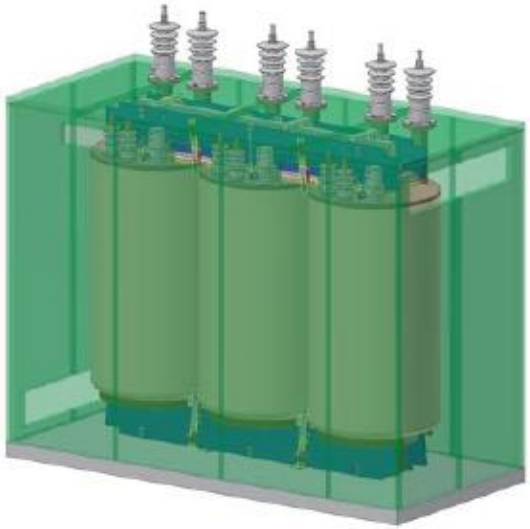
KEMA – Tests abgeschlossen

Committments für 6 SFCL Installationen weltweit

HTS – Netztechnik: Transformator

Netztransformator 69 kV / 12.5 kV gefördert durch DOE

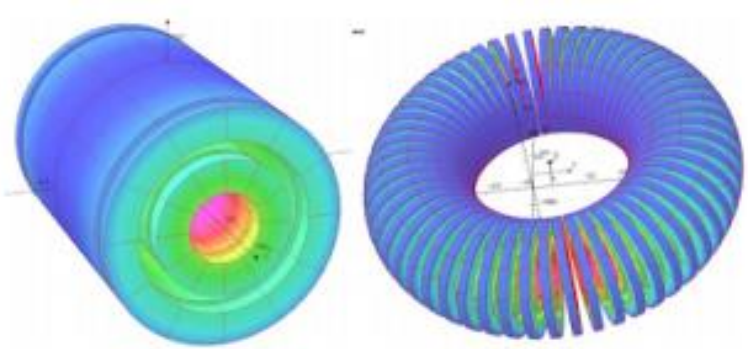
- **28 MVA + FCL-Funktion**
- **Laufzeit: 2010- 2015**
- **Design abgeschlossen, Baubeginn 2014**
- **2 Jahre Netztest in Irvine, CA**
- **Erster großer Trafo mit 2G Leiter**



HTS – Netztechnik: SMES

Magnetischer Energiespeicher (SMES)

- 3.4 MJ, 20 kW modulares, skalierbares System
- flexibel anschließbar ans Verteilungsnetz 15-36 kV
- Hochfeld-SMES bis zu 25 T @ 4.2 K
- Laufzeit: 2011- 2014
- Spulen fertig getestet in 2013
- Aufbau und Test 2014



BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

SuperPower Inc. A Furukawa Company

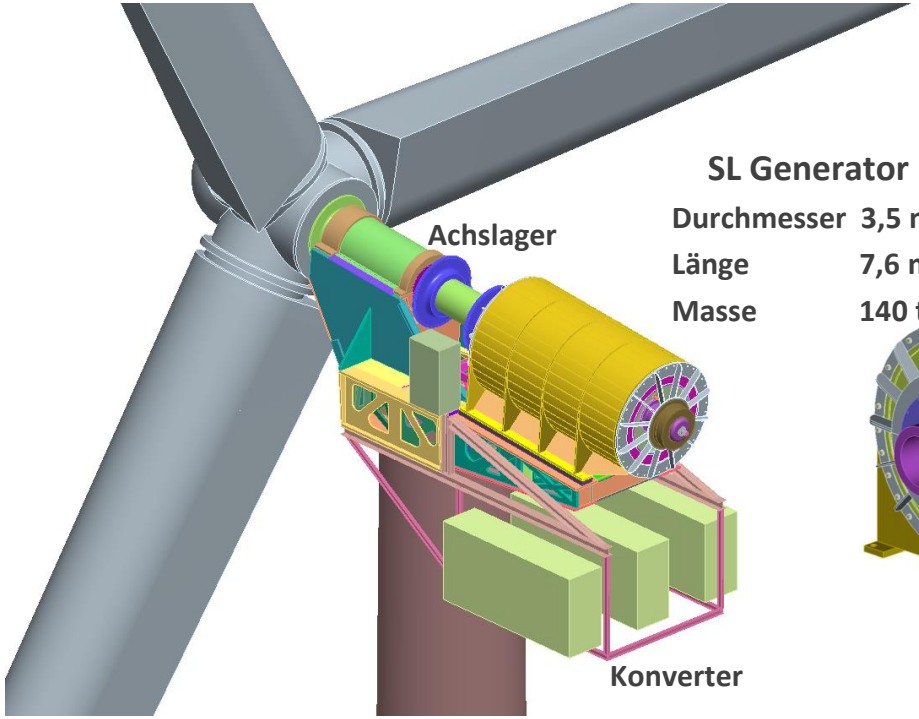
ABB

UNIVERSITY of HOUSTON

10 MW Windkraft-Generator

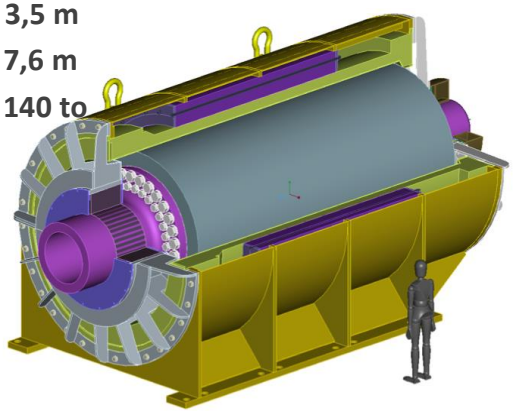
Direkt getrieben, leicht, komplett supraleitend

- Beginn: 2012
- Kozeptdesign abgeschlossen
- MgB_2 - Leiter



SL Generator

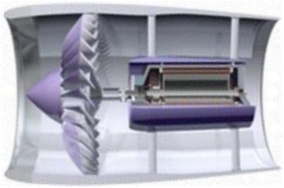
Durchmesser	3,5 m
Länge	7,6 m
Masse	140 to



Supraleitender elektrischer Flugantrieb

Studie eines voll supraleitenden elektrischen Flugantriebs

- **2011 - 2014**



NASA

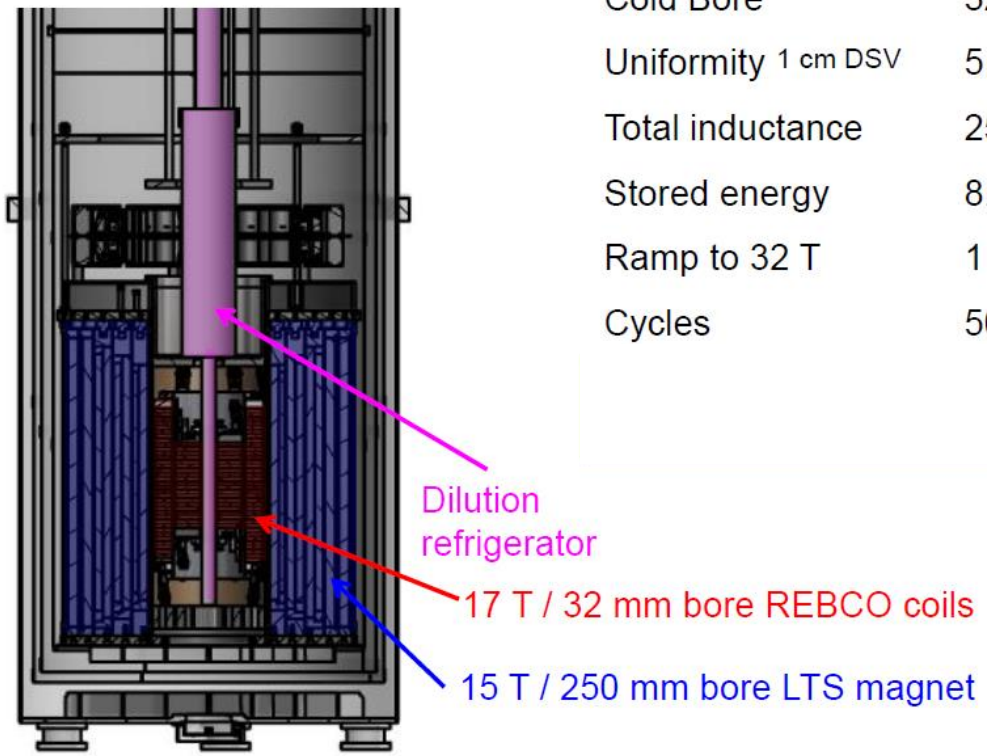
BOEING

Empirical Systems Aerospace

UNIVERSITY of HOUSTON

32 T Hochfeldmagnet mit HTS - Einsatzspulen

National High Magnetic Field Lab (FL) – bis Ende 2015 fertig



Cold Bore	32 mm
Uniformity 1 cm DSV	$5 \cdot 10^{-4}$
Total inductance	254 H
Stored energy	8.6 MJ
Ramp to 32 T	1 hour
Cycles	50,000

H.W. Weijers, W.D. Markiewicz, et al.

Coils at 4.2 K

USA - Zusammenfassung

Etablierte Materialhersteller

In der Energietechnik spielen die USA aber nur eine untergeordnete Rolle

- **Netzsicherheit vorrangig (deshalb SFCL)**
- **Energieeffizienz und Klimaschutz spielen keine Rollen**

Trotz verringerter Förderung, laufen eine ganze Reihe Projekte

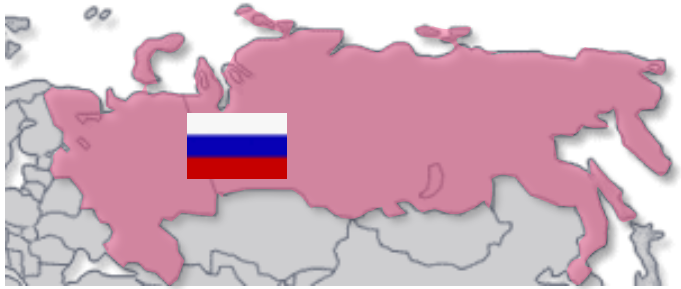
Militärische Anwendungen (Navy, Air Force)

- **Degaussing, Waffensysteme, Antriebe**

Wissenschaftliche Anwendungen (hohe Felder)

Vielen Dank an:
M. Rupich (AMSC)
S. Pamidi (FSU)
A. Shelton (STI)

HTS - Entwicklung in Russland



Hersteller	Material	Status
Russian Superconductors + Kurchatov Inst.	2G	Aufbau Pilotfertigung (IBAD, PLD) und Lizenz durch Bruker EAS (2014) Finanziert durch ROSATOM
SuperOx	2G	Pilotfertigung Moskau: RABiTS + chem. Verfahren (MOD) Tokyo: MgO- IBAD / PLD 2013: 200 m Stücke mit 300 - 350 A/cm Privater Investor

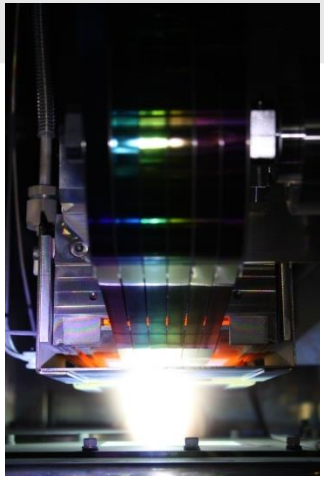


Bild: SuperOx

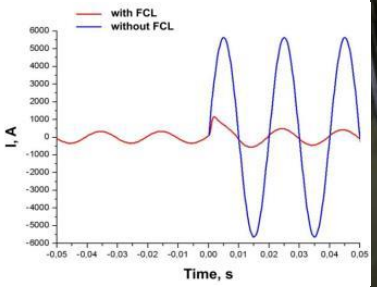
Energietechnische Komponenten

HTS - Entwicklung: „Superconducting Industry“ – Projekt innerhalb „Innovative Energy“

Gefördert durch: Präsidialrat , ROSATOM, Energieministerium,
Ministerium für Wirtschaftsentwicklung

Phase I: 2011-2015 Entwicklung

Phase II: 2016-2020 Netzbetrieb



Resistiver Strombegrenzer

All-russian Electrotechnical Inst. (VEI) Moskau

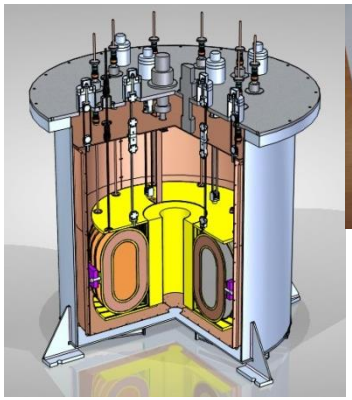
AC: 35 kV, 1 kA; DC: 3,5 kV, 1 kA (2012-2013)

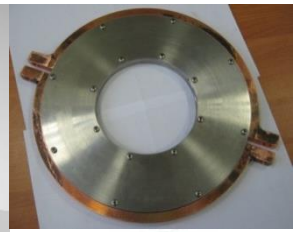
Transformator

Energietechnisches Inst. Moskau (2012-2014)

10 kVA 1Ph 50Hz (Modell)

1 MVA 3Ph 50 Hz, 10/0.4 kV - 33.3/1443 A





SMES

NIIEFA: 1 MJ, erste Spulen getestet in 2013

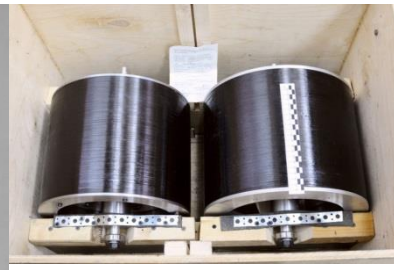
Schwungmassenspeicher Elektromaschinen

Entwicklung rotierender Maschinen

- 50 kW Motor (mit Oswald und IPHT Jena)
- 200 kW Motor im Bau, 2013: Spulen getestet
- 1 MW Generator im Bau, 2013: Spulentest

Schwungmassenspeicher (FESS)

- 7MJ, 150 kW, 130 kg Masse, 16.000 Upm
- HTS Magnetlager



Moscow Aviation Institute (MAI)

Nat. Inst. Electromechanics (NIIEM)

Kabelentwicklung

Testkabel Moskau

200m AC: 20 kV, 1.5/2 kA

Kurchatov Inst. & FGC-UES

Hydricity - Wasserstoffpipeline & SL-Kabel (MgB_2)

2011: 12m/10m Kryostat/Kabel 2.6 kA @20K

2013: 30m Kryostat/Kabel 25 kV, 3.5 kA Test

Russian Cable Inst. (VNIIKP)

St. Petersburg - Kabel

Kurchatov Inst. & Federal Grid Company of Unified Energy System (FGC-UES)

2500m DC: 20 kV, 2,5 kA,

Verbindung zweier Stationen im Zentrum von St. Petersburg

6 Teilstücke, 5 Muffen

Kabelfertigung bei Irkutsk Kabel (800 m fertig)

2013: Typtest 2 x 30 m Stücke

Netzinstallation geplant 2015

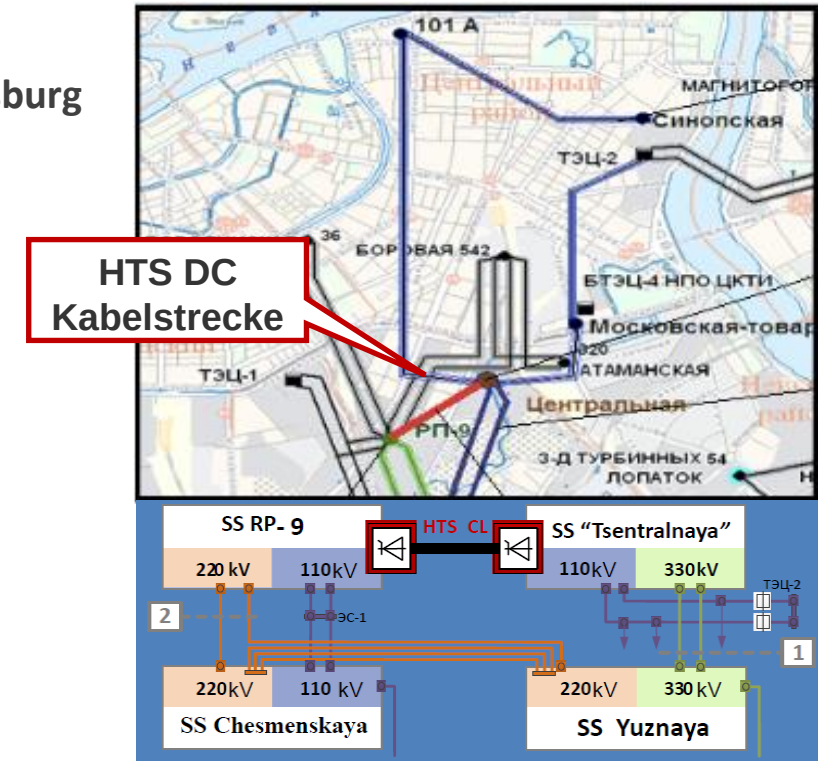


Bild: Irkutsk Kabel

30 m Testkabel

Medizintechnik (MRT)

RTI – Cryomagnetic Systems

MRT für die Orthopädie (seit 2010)

- **1.5T, Öffnung 20 cm**

Ganzkörperscanner im Bau

- **Planung: HTS-Leiter statt klassische Supraleiter**

Bild: RTI

Bild: RTI

Russland

Supraleitung – Hightech auch in Russland

Starkes Interesse der Regierung an supraleitender Energietechnik

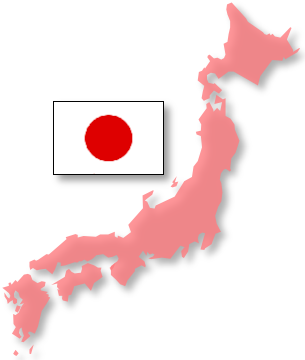
Russisches Stromnetz muss modernisiert und ausgebaut werden

Weltweit längstes Kabel in St. Petersburg im Bau

Russland holt auf

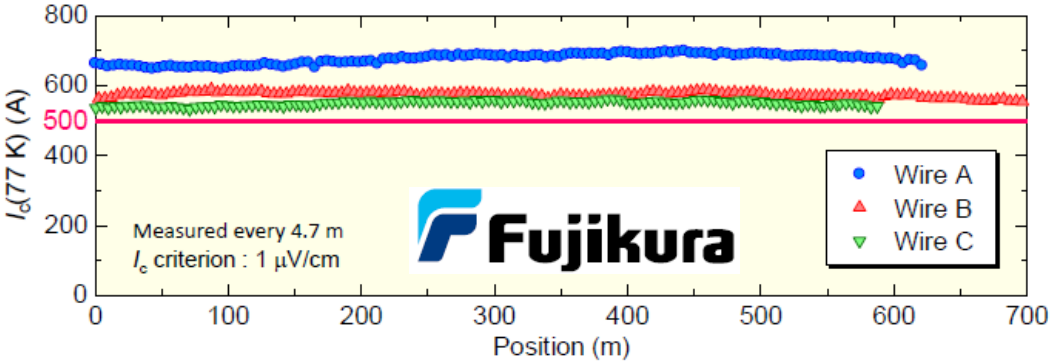
Vielen Dank an:
- **Y. Demikhov (RTI)**
- **V. Sytnikov (Kurchatov Inst.)**
- **S. Samoilenkov (SuperOx)**
- **V. Pantsyrny (Russian SC)**

Japanische HTS-Hersteller



Hersteller	Material	Status
SEI	1G 2G	Produktion: 1000 km p.a. Entwicklung, Labormaßstab
Fujikura	2G	Produktion: 200 – 500 km p.a. Ziel: 1000 km p.a.
Furukawa	2G	SuperPower: 800 km p.a.
SWCC	2G	Unklar, Laborfertigung

In den Japan sitzen die wichtigsten und besten HTS Hersteller



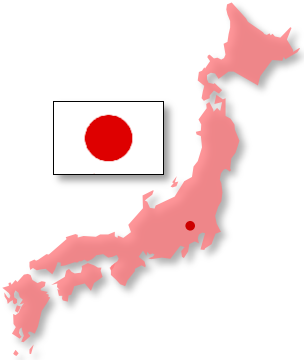
2G F&E: Magnettechnik

5T @ 25K, Innendurchmesser 20cm

200 A/cm @ 65K, 3T

300 A/cm @ 50K, 5T

25T für Hochfeldlabor Tohoku Univ.



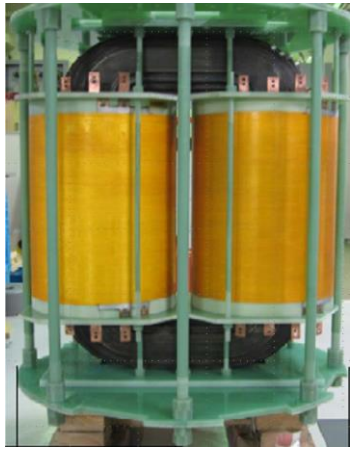
Japan – Regierungsprogramme

METI – Programm zum Aufbau einer HTS Industrie

- ISTEC: 2003 – 2008
- Herstellungstechnologien HTS - Leiter

M-PACC Program 2008 – 2012

- Demonstratoren modellhafter Anwendungen
  - Trafo 2 MVA (Kyushu Electric, Fujikura, SWCC)
  - SMES 2 MJ (Chubu Electric, Furukawa)
  - Kabel Teststücke (SEI, SWCC, Fujikura, Furukawa)



S- Innovation (MEXT / JST)

- Medizintechnik (ALCA): SQUID, Beschleuniger
- 20 MW Schiffsantrieb (Kawasaki HI)
- Bahnkabel (JR-RTRI)

  2013: 30m Testkabel AC 1.5 kV, 6 kA
- Ishikari Rechenzentrum (Hokkaido)

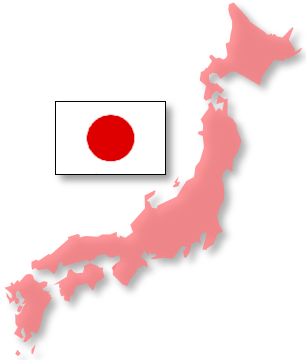
  500m, 2000m DC 10 kV, 5 kA, 50 MVA im Bau – Anbindung und Dauerbetrieb

HTS Spulen für Medizintechnik

- 2013-2017
- 3T MRI

SUMITOMO ELECTRIC

Kabelprojekte und -installationen



Yokohama (Asahi- Teststation)

SUMITOMO ELECTRIC

- 240m AC 66 kV, 2 kA, 200 MVA
- seit 2012 im Dauertestbetrieb bis 2014

Albany Cable US: 350m, 34,5 kV, 0,8 kA

KEPCO Korea: 100m, 22,9 kV, 1,25 kA

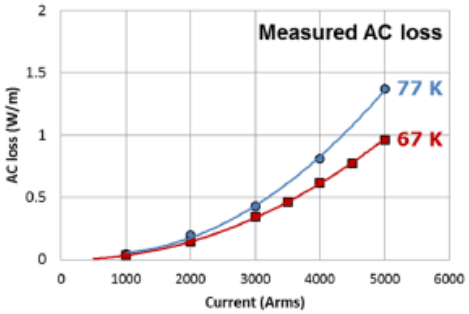
M-PACC Testkabel

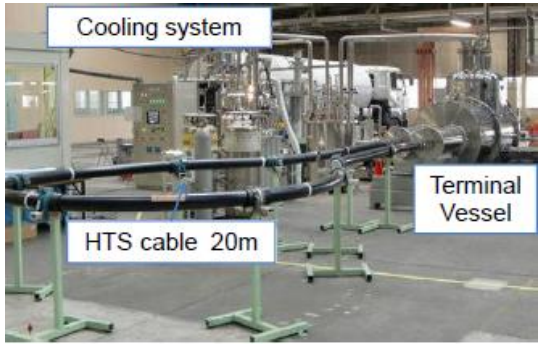
Fujikura

- 20m AC 66 kV, 5 kA einphasig
- Verlustarm @ 5 kA

  1.37 W/m @ 77 K

  0.97 W/m @ 67 K

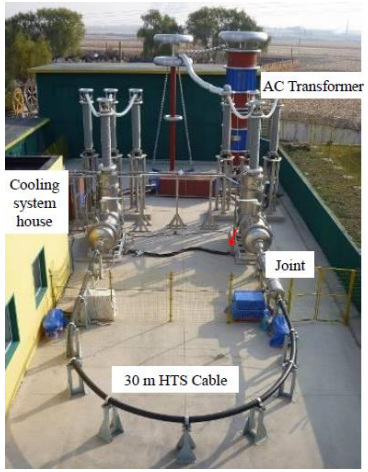




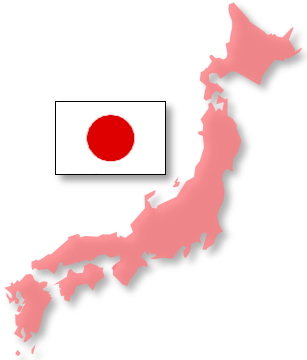
M-PACC Testkabel (Shenyang)

- 30m AC 275 kV, 3 kA einphasig
- Verluste @ 3 kA: 0.63 W/m @ 72K

FURUKAWA ELECTRIC



Zusammenfassung Japan



- **Massive staatliche Förderung**

  Von 2003 – 2008 flossen allein $150 M in die Materialentwicklung

  Umsetzung in Energietechnik ist über Demonstratoren nicht hinausgekommen

  Es fehlt die Industrieunterstützung

- **Ausnahme: SEI vermarktet 1G Material und HTS-Kabel**

- **Japanischer HTS-Hersteller setzen auf Hochleistungsmaterial**

- **Neue Förderung konzentriert sich hauptsächlich auf Magnet- und Medizintechnik**

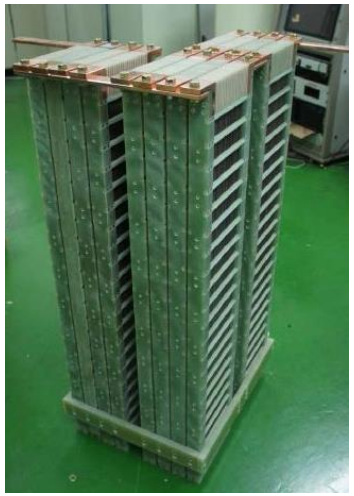
Hauptakteure in Korea

Hersteller	Material	Status
SuNam (finanziert durch POSCO)	2G	Pilotfertigung 50-100 km p.a.
Entwicklung von 2G Hochstrom-Bandleitern > 1000 A/mm² (mit KERI, RIST) **Laufzeit: 2013-2016**		
KERI (Korean Energy Research Inst.)	Motor Schiffsmotor SMES	50 kW 5 MW 20 MJ
KEPRI (Korean Electric Power Research Inst.)	SFCL	Resistive/ hybrid 22.9 kV, 3 kA 154 kV, 2 kA
LS Cable	Kabel	GENI (Incheon) Jeju – Kabel
Doosan Engine	Windgenerator	Studie
Doosan Heavy Industry	Antriebe	Prototyp / Studie

Massive Förderung von HTS Energietechnik

DAPAS – Programm: 2001-2011, 100 M$

- 2G HTS Leiterentwicklung
- SFCL 22,9 kV, 154 kV (geplant bis 2015)
- AC Kabel (22,9 kV, 154 kV)
- 5 MVA Schiffsmotor
- SMES 2.5 MJ, 6.24 T @ 20K, 22 km 2G-tape



KEPRI- 154 kV SFCL Modul

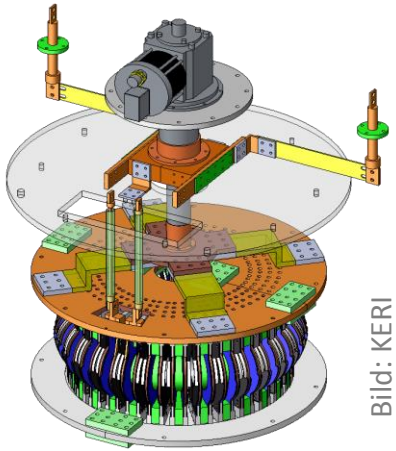


Bild: KERI

Fahrplan Netztechnologien

2010- 2012	2013 – 2016	2017- 2021
Einsatz 22,9 kV	Einsatz 154 kV	Einsatz >80 kV DC, 345 kV AC

GENI Mittelspannungs - Projekt

GENI – Projekt: 2009-2013

- 500m 22,9 kV, 50 MW
- 100m 22,9 kV 150 MW
- SFCL 22.9 kV 630 A
- SFCL 22.9 kV 3 kA
- alle Installationen im Netzbetrieb (Incheon)
- von KEPCO mit finanziert

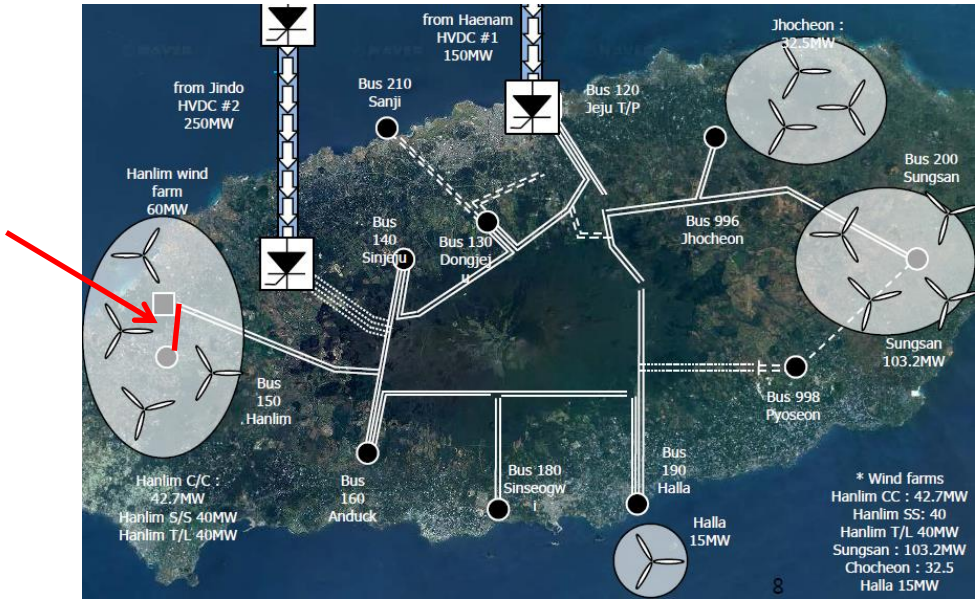
Bild: LS Cable

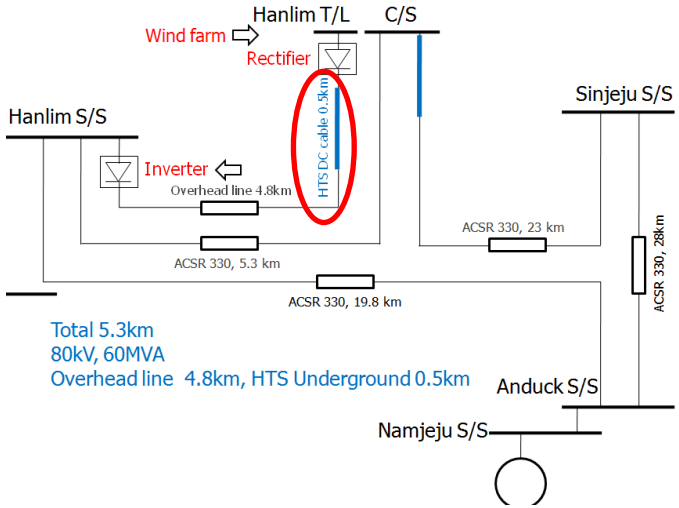
Bild: KEPRI

HVDC : Jeju Kabel

JEJU Project: 2011-2016

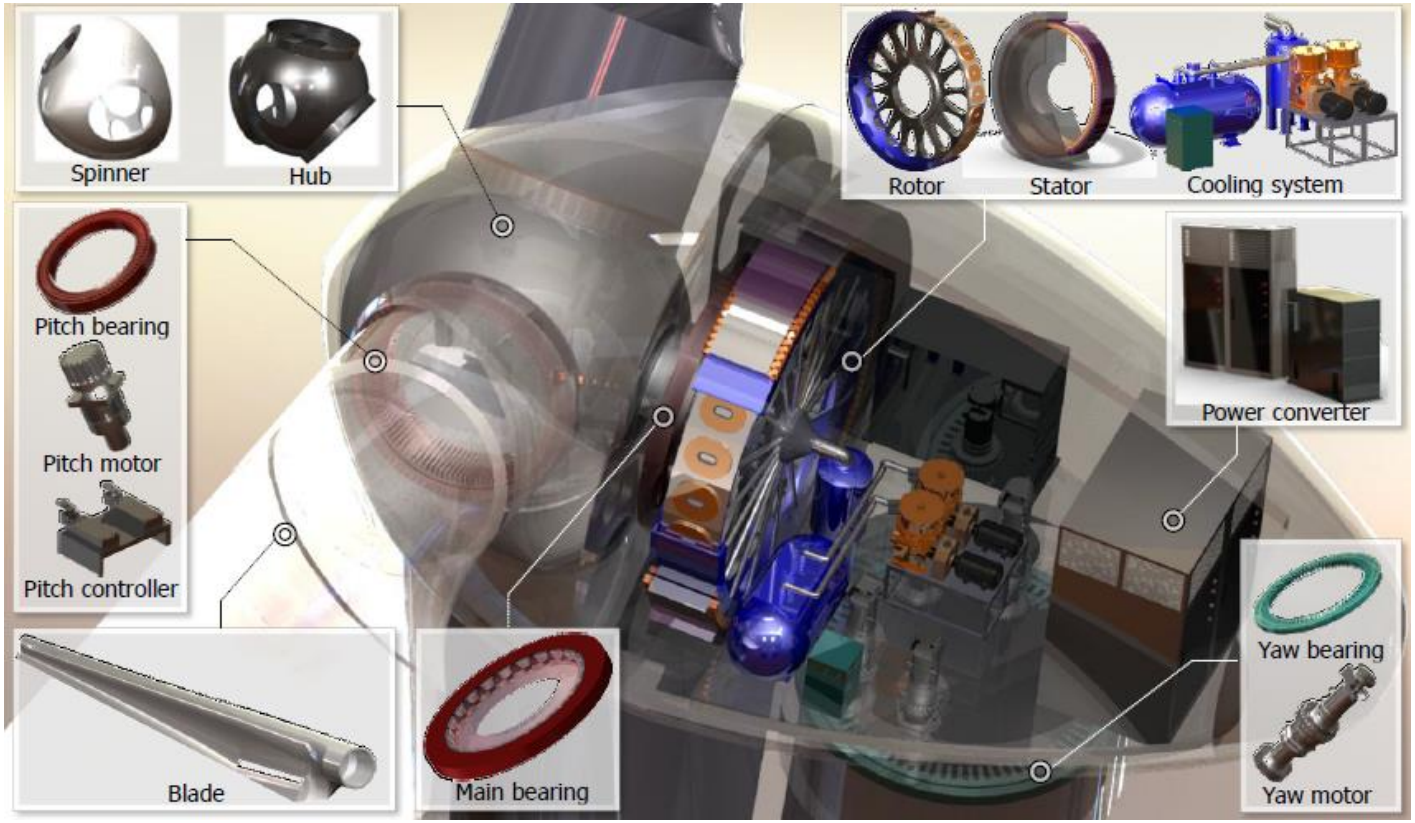
- 500 m DC Kabel: 80 kV, 60 MVA
- 500 m AC Kabel: 154 kV
- Anbindung eines Windparks auf Jeju - Island
- SFCL wird ebenfalls in Erwägung gezogen
- KEPCO: Netzbetreiber und Finanzierung





10 MW Windkraft - Generator

Grundlegende Designstudie: KERI & Doosan Engine, 2013



Korea Zusammenfassung

- **Fokus auf Netztechnik: Kabel und SFCL**

  Starkes Wachstum und Engpässe im KEPCO-Stromnetz treiben Entwicklung

- **Parallelen zu Deutschland – Maschinenbau, Schwerindustrie, Schiffbau**

- **Generatoren für Wind- und Gezeitenkraftwerke**

  Wachsendes Interesse an HTS-Generatoren für Windenergieanlagen

- **Massive staatliche Förderung**

  In Korea fließen seit 2001 beständig 10+ M$ p.a in die Entwicklung der SL-Technik

Vielen Dank an:

Prof. H.M. Kim (Jeju NU)

Prof. M. Park (Changwon NU)

Y. S. Jo (KERI)

China – Materialforschung & - herstellung

Hersteller	Material	Status
Innost	1G	Etabliert 200 km p.a.
Shanghai Superconductors	2G	Aufbau Pilotfertigung (300 km p.a.) MgO-IBAD/PLD 2013: 100m Stücke mit 500 A/cm
Shanghai Creative Superconductor Technol.	2G	F&E, Labormaßstab RABiTS / MOD, PVD
Suzhou Advanced Materials Research Inst.	2G	Aufbau Pilotfertigung
NW Inst. of non-ferrous metal research	RABiTS	Substrat: 50 km p.a.

Es gibt eine Reihe regionaler und auch privater Investoren, die die HTS Herstellung finanzieren und vorantreiben

Dank an:

Prof. Y. Li (Shanghai Jiaotong Univ.)

Prof. C. Cai (Shanghai Univ.)

China – Energietechnik als Staatsaufgabe

„863-plan on superconducting technology“

Ministry of Science & Technol. (MOST) und

Inst. for Electrical Engineering der Chinese Academy of Sciences

fördern die Entwicklung von HTS – Komponenten für die Energietechnik

Hersteller	Komponente	Status
Innopower	SFCL Kabel	220 kV, 800 A AC 75 m 10 kV, 1,5 kA DC 360 m, 10 kA
Wuhan Inst. of Marine Electric Propulsion	Motor	1MW, 500 rpm
Ship Research Inst. (Luoyang)	Material, Antriebe	?
Futong Group (Tianjin)	Kabel	Aufbau Kabelfertigung Anbindung Windpark
Envision (F&E in DK)	Windkraftwerk	Konzept (2MW)
Dongfang Electric Corp. (Chengdu, Sichuan)	Motor, Generator	?

Supraleitende Netzinstallationen

10 kV HTS Power Station (seit 2008)

- Baiyin Industrial Park, Gansu Province
- 75m Kabel 10kV, 1,5kA
- Trafo 630 kVA, 10/0,4 kV
- SMES 1MJ, 500kW

HTS - Kabel

Versorgung Alu-Elektrolyse der Henan Zhongfu Group (seit 2012/13)

- 360 m DC Kabel 10kA, 65% Energieersparnis
- Höchster Strom und erstes DC Kabel im Netz weltweit

SFCL Shigezhuang Substation Tianjin (seit 2012)

- 220 kV, 800 A, gesättigter Eisenkern

SFCL - Tianjin

China – Nachrichtenlage schwierig

China hat ein schnell wachsendes Netz und massive Umweltprobleme

Im 5-Jahres Plan spielt SL noch keine Rolle, aber man bringt sich in Stellung

Es gibt viel Geld in China

- Regionale Regierungen
- Industrieparks etc. (Shanghai, Suzhou, Tianjin)
- Private Investoren
- Militärische F&E

Große Hebelwirkung durch staatliche Großkonzerne

- Interesse der Netzbetreiber State Power Grid und South Power Grid
- Viele Konzerne mit guten Kontakten in die Regierung

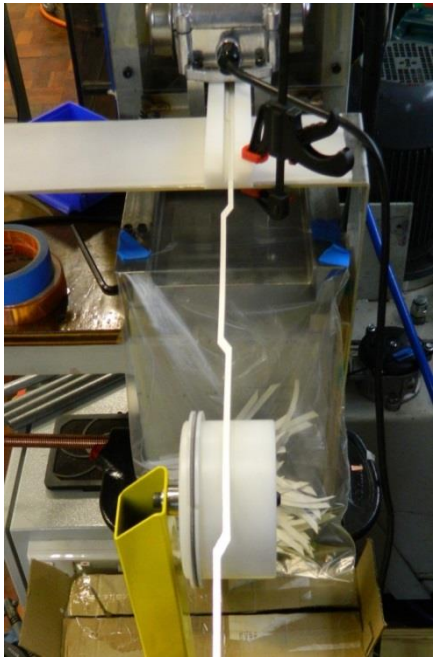
China holt auf und wird wichtig

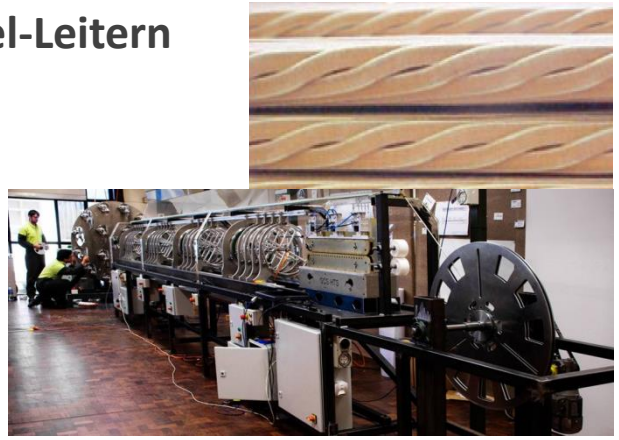
Fertigung von HTS - Roebel-Leitern

Roebel-Leiter notwendig zur Verringerung der AC-Verluste

- Weltweit einzige automatische Fertigung von Roebel-Leitern
- >2000 A @77K

Stanzen





Verseilen

TE WHARE WĀNANGA O TE ŪPOKO O TE IKA A MĀUI VICTORIA UNIVERSITY OF WELLINGTON

Callaghan Innovation

General Cable SUPERCONDUCTORS Limited

Transformator mit geringen AC-Verlusten

Ortsnetztrafo: 1 MVA 11.000/415 V (Demo)

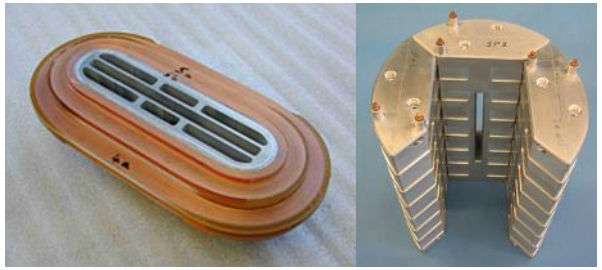
- NS: 20 Windungen Roebel-Leiter p. Phase
- HS: 918 Windungen 2G (4mm) p. Phase
- T_{OP} = 70 K
- Verluste <200W/Phase
- Netzinstallation 2014
- Skalierung auf 40 MW

HTS - Magnetspulen

HTS Magnetsysteme für NMR, MRI und F&E ohne Kühlmittel (He)

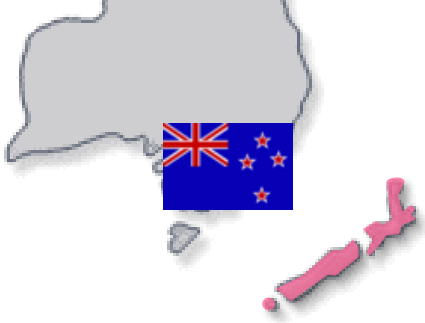
- 1.5 T HTS - MRI System (Orthopädie)
- 3 T MRI System mit hohem Durchsatz, vorklinische Untersuchung
- 0.5 T offenes Niederfeld MRI System

HTS Magnetsspulen für rotierende Maschinen



Callaghan Innovation

HTS-110



Strategische Ausrichtung in Neuseeland

Konzentration auf Fertigung zentraler HTS - Komponenten

- Fertigung von Roebel-Leitern mit niedrigen AC-Verlusten
- Auslegung, Konstruktion und Fertigung von Magnetspulen
- Fertigung von Kryostaten und Kühltechnik

Partnerschaft mit Systemherstellern

Entwicklung HTS - basierter Produkte

Dank an:

B. Buckley (CI)

Resümee

- **USA und Japan haben in Sachen Energietechnik deutlich an Boden verloren**
  Es fehlt Engagement der verarbeitenden Industrie
- **Deutsche Industrie ist in HTS Energietechnik führend in Europa**
  und für den Export gut aufgestellt
- **China und Russland holen auf**
- **HTS Verfügbarkeit noch unbefriedigend**

Kapazität	MgB_2	1G	2G
km p.a.	>2.000	1.200	3.700
real	2.000	1.200	850

- **Konkurrenz belebt das Geschäft: 2G - Preis beginnt zu fallen**