

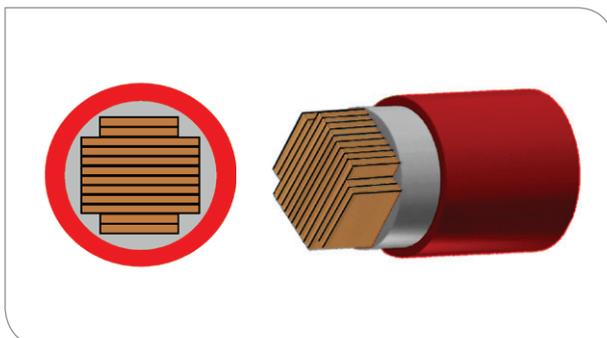
Hoch-Temperatur-Supraleiter - HTS CroCo

Ein energieeffizienter DC Hochstrom-Leiter

Supraleiter können elektrischen Strom bei tiefen Temperaturen verlustfrei übertragen – üblicherweise unterhalb von 25 Kelvin (-248 °C). Um bei deutlich höheren Temperaturen arbeiten zu können, wird für den HTS CroCo ein spezielles Material verwendet. Rare-Earth Barium-Copper-Oxide, kurz REBCO, erlaubt eine verlustfreie Übertragung beispielsweise im flüssigen Stickstoff (LN₂) schon ab 77 K (-196 °C). HTS CroCos ermöglichen energiesparende und umweltfreundliche Lösungen bei der Erzeugung starker Magnetfelder oder dem Transport elektrischer Energie.

Herstellung des HTS CroCo

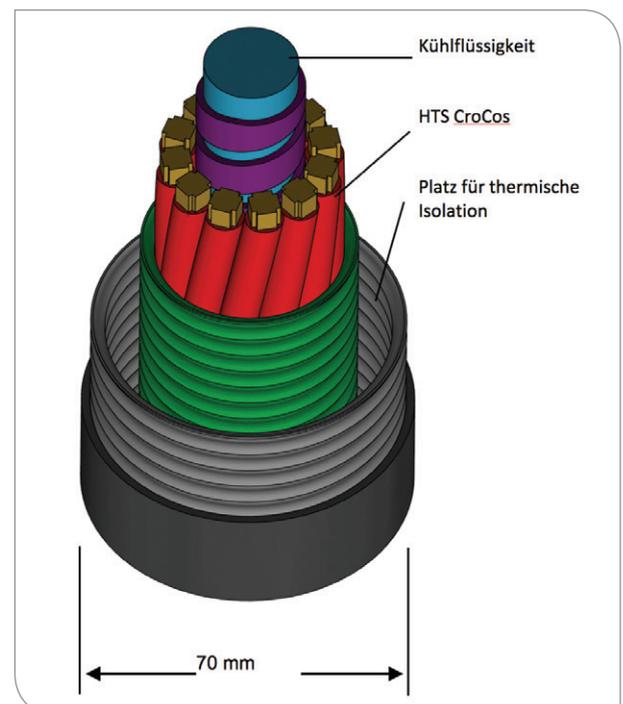
Mittels einer am KIT entwickelten Methode ist es möglich, aus zahlreichen REBCO-Bändern den sogenannten Hoch-Temperatur-Supraleiter (HTS) Kreuzleiter (engl. HTS CrossConductor, abgekürzt HTS CroCo) herzustellen. Der HTS CroCo und das Herstellungs-Verfahren sind auf große Längen sowie eine industrielle Produktion ausgelegt und wurde 2016 von der EU ausgezeichnet. Bei der Fertigung werden bis zu 60 bandförmige HTS zweier verschiedener Breiten gestapelt und auf voller Länge verlötet – im Querschnitt entsteht so die namensgebende Kreuzform. Diese wurde gewählt, um einen hohen Supraleitergehalt in einem runden Querschnitt und damit einen hohen Transportstrom zu erhalten. Der Leiter kann anschließend noch verdreht und in ein Kupferrohr gepackt werden, um die magnetischen Eigenschaften zu verbessern. Das so entstandene Rundkabel erleichtert außerdem die weitere Verarbeitung.



Aufbau eines HTS CroCos

Basiseinheit für Hochstromkabel

Ein aus 4 und 6 Millimeter breiten REBCO-Bändern gefertigter HTS CroCo hat einen Durchmesser von lediglich 9,7 mm. Dieser kann bei einer Temperatur von 70 K, die durch Kühlung mit LN₂ erreicht werden kann, einen Gleichstrom von über 4 000 Ampere verlustfrei transportieren. Kühlt man mit flüssigem Wasserstoff (LH₂), können gar 10 000 A erreicht werden. HTS CroCos können als Basiseinheit für Hochstromkabel dienen, indem man mehrere von ihnen miteinander kombiniert. Am KIT wurde im Jahr 2018 ein Demonstrator mit HTS CroCos gebaut und betrieben, der einen Strom von 35 000 A bei 77 Kelvin getragen hat. Vergleicht man dies mit den haushaltsüblichen Sicherungen, die 16 A tragen können, entspricht dies dem Strom durch 2 100 solcher Sicherungen. Ein aus 12 HTS CroCos gefertigtes querschnittsoptimiertes Kabel kann einen Durchmesser von gerade einmal 70 mm inklusive thermischer und elektrischer Isolation aufweisen, wie in untenstehender Abbildung zu sehen ist.



Kabel mit maximalem Strom I_c von 35 kA bei 70 K

Variationen von HTS CroCos

Neben den beispielhaft genannten Größen von 6 und 4 mm können HTS CroCos auch in anderen Größen gefertigt werden. Die untenstehende Tabelle zeigt exemplarisch Details über verwendete Bandbreiten, -anzahl, Länge der Kreuzdiagonalen und den maximalen Transportstrom I_c dreier HTS CroCos. Mit abnehmender Temperatur werden höhere Transportströme möglich, die selbst bei starken Magnetfeldern übertragen werden können. Die Vielfalt der möglichen Konfigurationen erlaubt eine Anpassung der HTS CroCos an die jeweilige Anwendung.

	6/4 CroCo	4/3 CroCo	3/2 CroCo
			
Typ. Anzahl der REBCO Bänder	22 x 6 mm 10 x 4 mm	28 x 4 mm 10 x 3 mm	18 x 3 mm 10 x 2 mm
Kreuz-Diagonale	7,2 mm	5,0 mm	3,6 mm
I_c T = 77 K, Eigenfeld	3100 A	2090 A	1460 A
I_c T = 30 K, B = 2 T	20 kA	14 kA	9 kA
I_c T = 4 K, B = 12 T	> 10 kA	~ 9.5 kA	6.0 kA

HTS CroCos verschiedener Größe mit und ohne Kupferhülle

Anwendungsbeispiele

HTS CroCos ermöglichen die Übertragung sehr hoher Gleichströme bei gleichzeitiger Einsparung von Platz und Gewicht im Vergleich zu herkömmlichen Kupfer- oder Aluminium-Kabeln bzw. Stromschienen. Der größte Vorteil ist aber der verlustfreie Energietransport durch den Supraleiter und die damit verbundenen umweltfreundlichen und energiesparenden Lösungen etwa bei der Erzeugung starker Magnetfelder oder beim Transport elektrischer Energie. Wird zur Kühlung LH_2 genutzt, können chemische und elektrische Energie gemeinsam transportiert werden. Daneben sind die Anbindung von Windparks, die Gleichstromversorgung auf Schiffen, leichte und kompakte Hochstromleitungen in künftigen elektrischen Flugzeugen sowie die Bereitstellung von Strom für die Elektrolyse (bis 300 kA) denkbare Anwendungsfelder für HTS CroCos.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Technische Physik (ITEP)
 Dr. Michael Wolf
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
 E-Mail: michael.wolf@kit.edu
 Telefon: +49 721 608-24118

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Technische Physik (ITEP)
 Dr. Walter Fietz
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
 E-Mail: walter.fietz@kit.edu
 Telefon: +49 721 608-24197

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe · www.kit.edu