

Ultrakompakte und
hochstromfähige
Energieverteilungskabel mit
Hochtemperatur-Supraleitern

HighAmp



Carsten Räch
ZIEHL X, Stand: 17.04.2024

Motivation

■ Netzausbau in urbanen Gebieten



Quelle: [2]

Gasdruck- und Ölkabel

$$S = 120 \text{ MVA}$$

$$U_{\text{rms}} = 110 \text{ kV}$$

$$I_{\text{rms}} = 625 \text{ A}$$

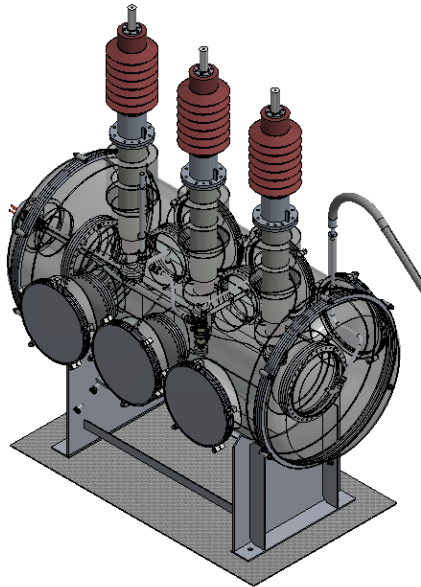
- Tausende Kilometer in europäischen Großstädten verlegt.
- Hochspannungskabel (110-kV-Ebene).
- Übliche Durchmesser des Stahlrohrs: DN125 – DN200.
- **Müssen in absehbarer Zeit ersetzt werden.**

Anforderungen an das Kabel

- Leistungsfähiger gegenüber herkömmlichen Kabeln → Nennstrom bis 3 kA
- Schlankes Design – soll in die vorhandenen GD-Rohre eingezogen werden
- Einfacher Aufbau, robust → Kosten
- Niedrige Verluste
- Aufbau eines 10 m Demonstrators

Aufbau des Demonstrators

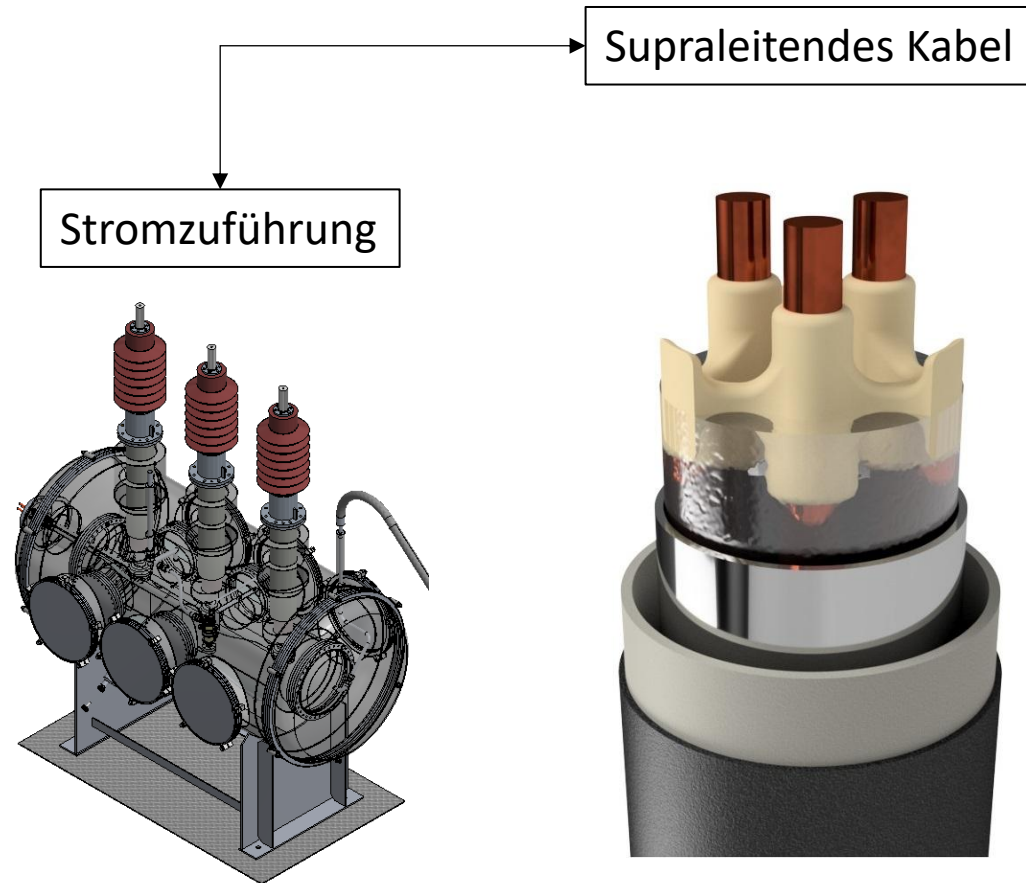
Stromzuführung



Anforderungen:

- Verbindung zwischen konventioneller und supraleitender Technik
- Geringer Wärmeeintrag auf die „kalte“ Seite des Systems
- Erfüllt die Spannungsanforderungen des Kabels
- Druckfest

Aufbau des Demonstrators



Anforderungen:

- Hohe Stromtragfähigkeit
- Erfüllt die Spannungsanforderungen
- Geringer Wärmeeintrag durch Verluste
- Mechanische Stabilität

Aufbau des Demonstrators

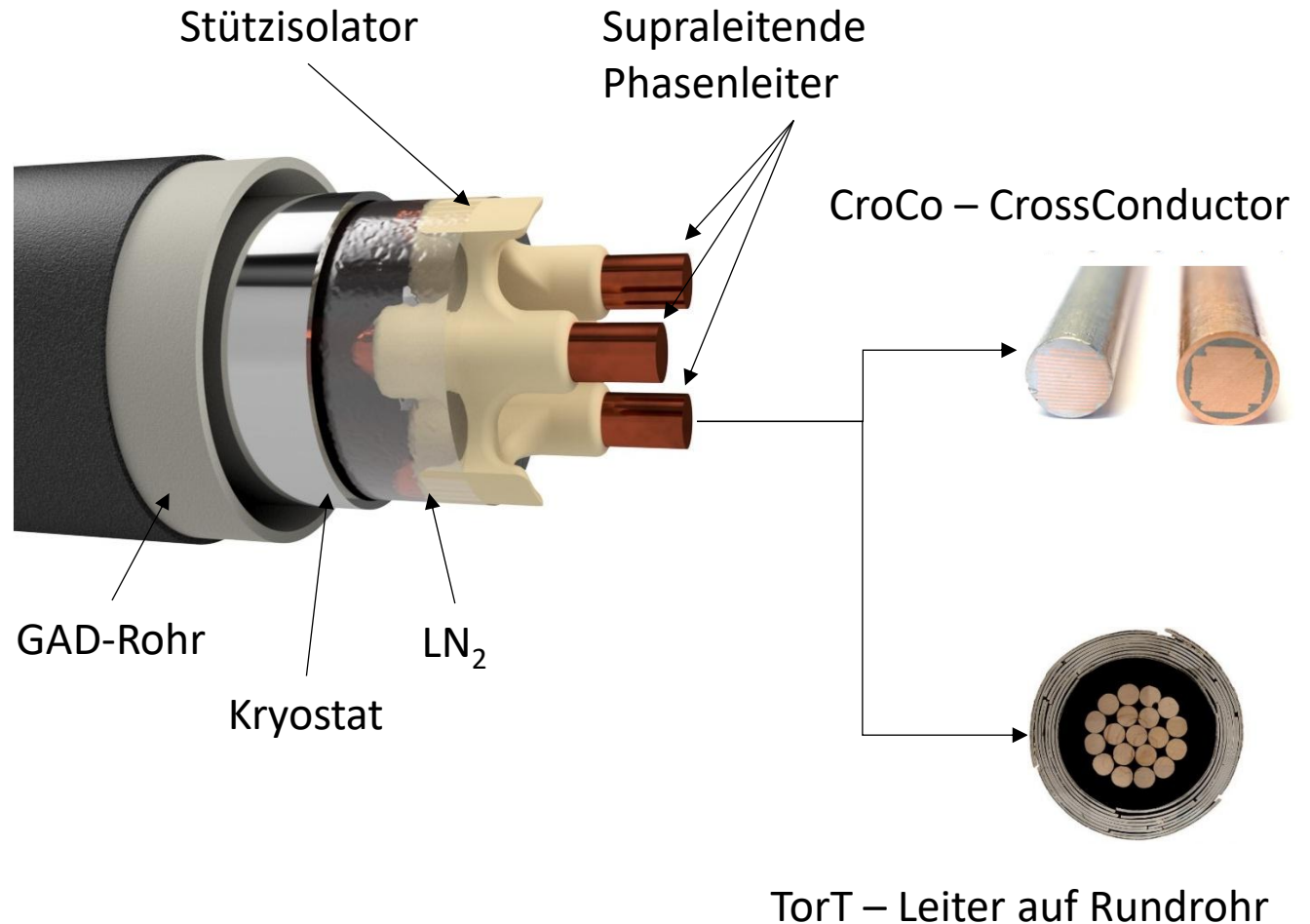


- Anforderungen:
- Unterkühlter Stickstoff
 - Systemdruck

Kabeldesign – Phasenleiter

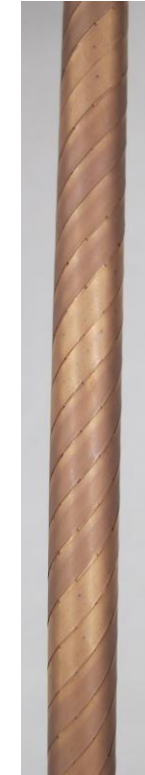
Daten des supraleitenden Kabels:

- Spannung 20 kV
-> Hochskalierung auf 110 kV
- Strom 3 kA
- Leistung 100 MVA
- Frequenz 50 Hz
- Länge Demonstrator 10 m
- Betriebstemperatur 70 K (LN₂)

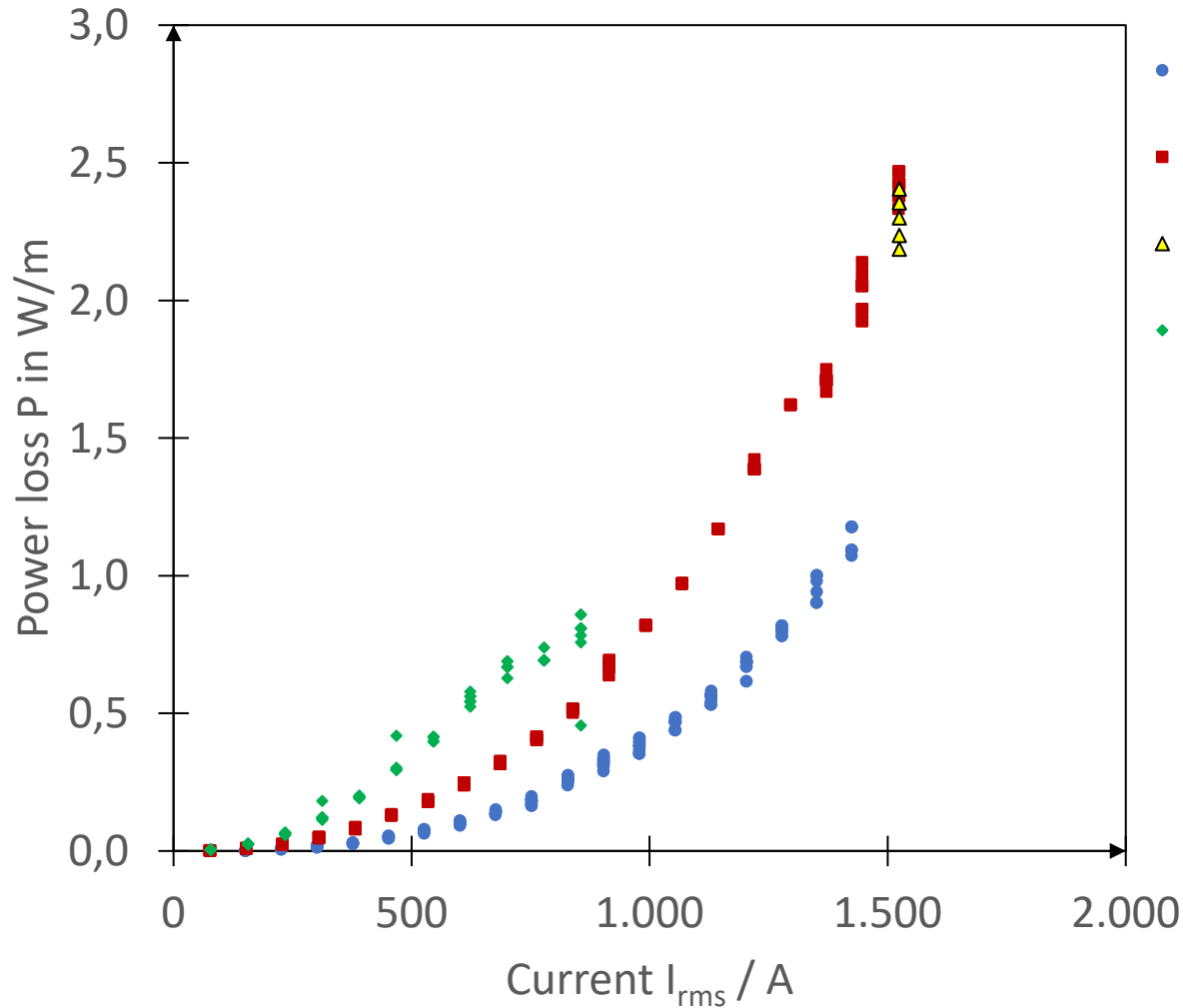


Kabeldesign – Phasenleiter: Layout

	Layout 1	Layout 2
Wickelkörperdurchmesser	10 mm	
Anzahl Wickellagen	2	4
Wickelwinkel α	30° – 35°	
Wickelrichtung	Entgegengesetzte Wickelrichtung benachbarter Wickellagen	
Bandbreite	4 mm	
Anzahl Bänder pro Wickellage	6	
Gesamtanzahl Bänder	12	24
Kritischer Strom bei 77 K	1,4 kA	3,75 kA



Kabeldesign – Phasenleiter: AC-Verluste



- 27Hz
- 55Hz
- ▲ 55 Hz calorimetric
- ◆ 110Hz



TORT – Layout 1
 2 Wicklungslagen
 / 12 Bandleiter
 $I_c = 1.4 \text{ kA}$

Erkenntnisse:

Bei **55 Hz** und **1 kA I_{rms}** betragen die **AC-Verluste** weniger als **1 W/m**.

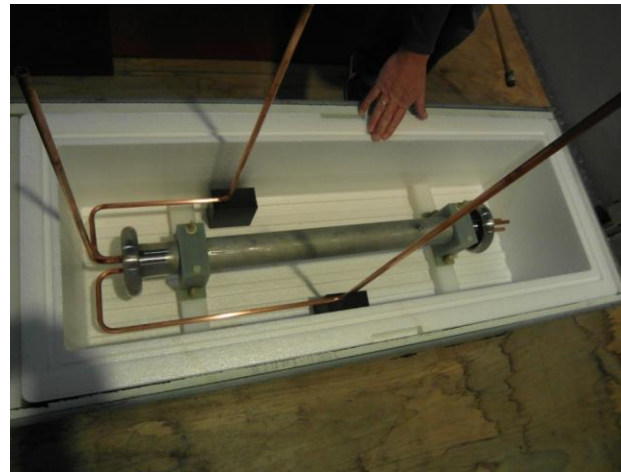
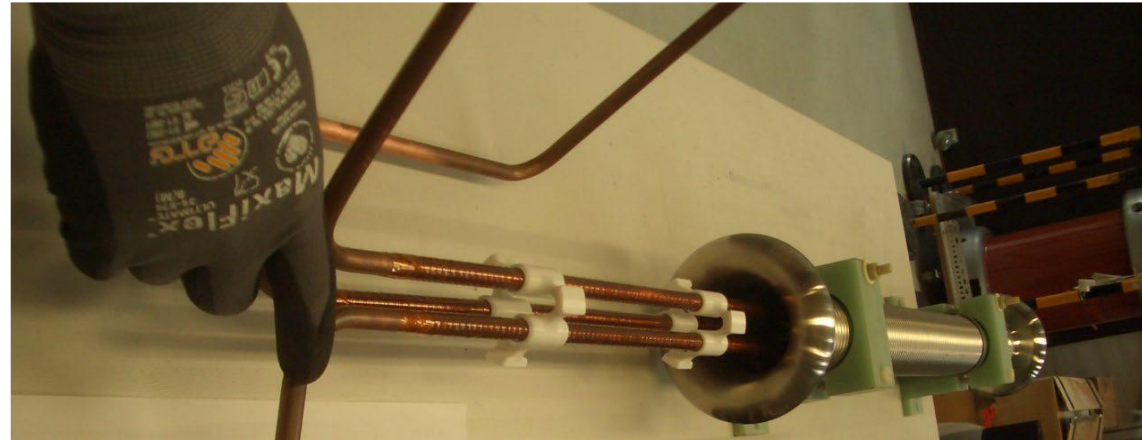
➤ entspricht einer Auslastung von **76 %** des Kabels.

Kabeldesign – Spannungstest

Voraussetzungen

- 1) 1-phasige and 3-phasige Spannung bis $72 \text{ kV}_{\text{rms}}$ ($\sqrt{3} 50 \text{ kV}_{\text{rms}}$)
- 2) Blitzstoßspannung bis 125 kV
- 3) Biegetest (Biegeradius max. 1.7 m)
- 4) Auftretende Lorentzkräfte bis 15 kN

Material: PE



Alle Testspannungen
wurden, unter kryogene
Bedingungen und mit dem
finalen Design des
Abstandshalters,
eingehalten!

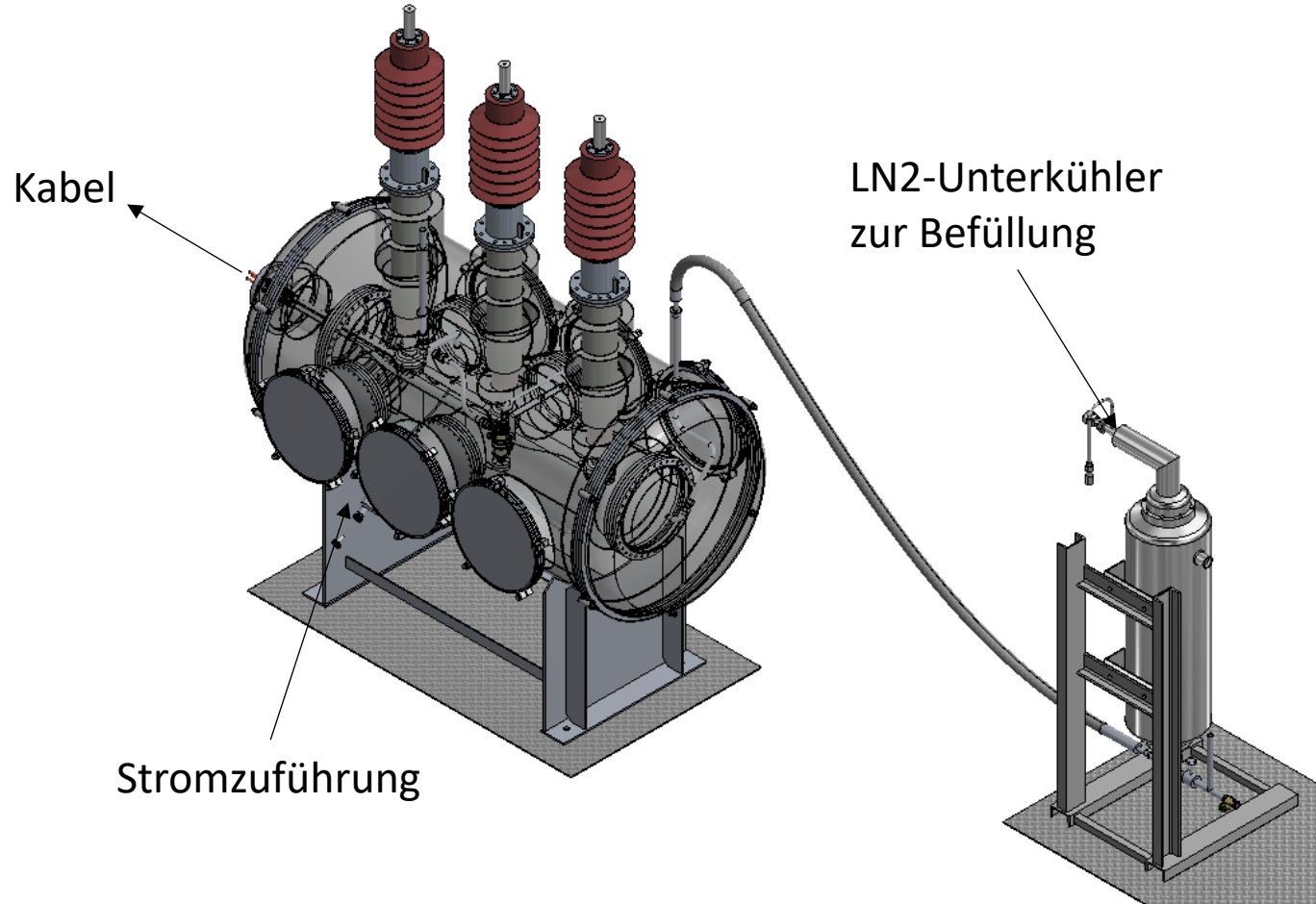
Kabeldesign – Kabelkryostat

Flexibler Wellrohrkryostat



Anforderungen	Wellrohrkryostat
Außendurchmesser < 125 mm	115 mm ✓
Innendurchmesser > 60 mm	64 mm ✓
Druckfest bis 5 bar	10 bar ✓
Flexibel	✓
Geringer Wärmeeintrag	✓
Mechanische Stabilität	✓
Längen bis 800 m	✓

Auslegung der Stromzuführung mit Unterkühler

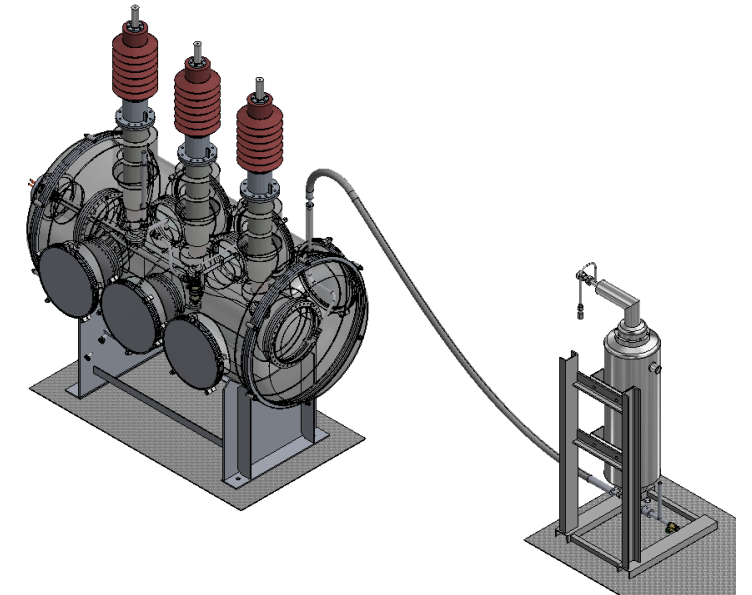
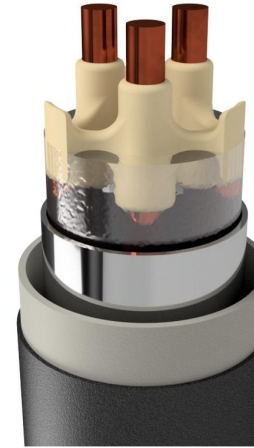


Nenntemperatur	$T_n = 70 K$
Nenndruck	$P_n = 4 bar (g)$
Nennspannung	$U_n = 20 kV$
Nennstrom	$I_n = 3 kA$

Kabel und Stromzuführung bilden ein zusammenhängendes System (gleicher Druck und gleiche Temperatur)

Zusammenfassung

- ✓ Entwicklung eines 20 kV HTS MVAC-Kabels inkl. Stromzuführung.
- ✓ Elektrische und mechanische Prüfungen im kleinen Maßstab bestanden.
- Zusammenbau des 10 m Demonstrators innerhalb der nächsten 2 Monate.
- Anschließende Belastungs- und Spannungsprüfung in Kaiserslautern und Köln.



Idee HighAmp +

Weiterentwicklung des Vorgängerprojekts:

- Identifizierung und Entwicklung von innerstädtischen Einsatzszenarien für HTS MVAC-Kabel
- Zusammenfassung und Vereinheitlichung von Anforderungen und Prüfverfahren für HTS-MVAC Kabel
- Identifizierung potentieller Teststrecken
- Einsatz eines effizienteren Kunststoffkryostaten
- Kurzschlussstest des Kabelsystems als Voraussetzung für die technische Qualifizierung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen

- [1] Nexans – *Nexans installiert und nimmt supraleitendes Kabel für das Projekt „Chicago Resilient Electric Grid“ – 2021 –*
<https://www.nexans.fr/en/newsroom/news/details/2021/09/2021-09-02-pr-nexans-installs-and-commissions-superconducting-cable-for-chicago-resilient-electric-grid-project.html> (Zugriff: 08.04.2024).
- [2] nkt cables – *Hoch- und Höchstspannungs-Kabelanlagen. Kabel und Garnituren bis 550 kV – 2020.*
- [3] KIT – *Hochtemperatur-Supraleiter –HTS CroCo: Ein energieeffizienter DC- Hoch-strom Leiter – 2019.*
- [4] Advanced Conductor Technologies LLC – Website – o. J. –
<https://www.advancedconductor.com> (Zugriff: 08.04.2024).