

# Update for IEA TCP HTS

20220609-1300 - Prof. Dr. Tabea Arndt

Institute for Technical Physics (ITEP), Department of Electrical Engineering and Information Technology (ETIT)

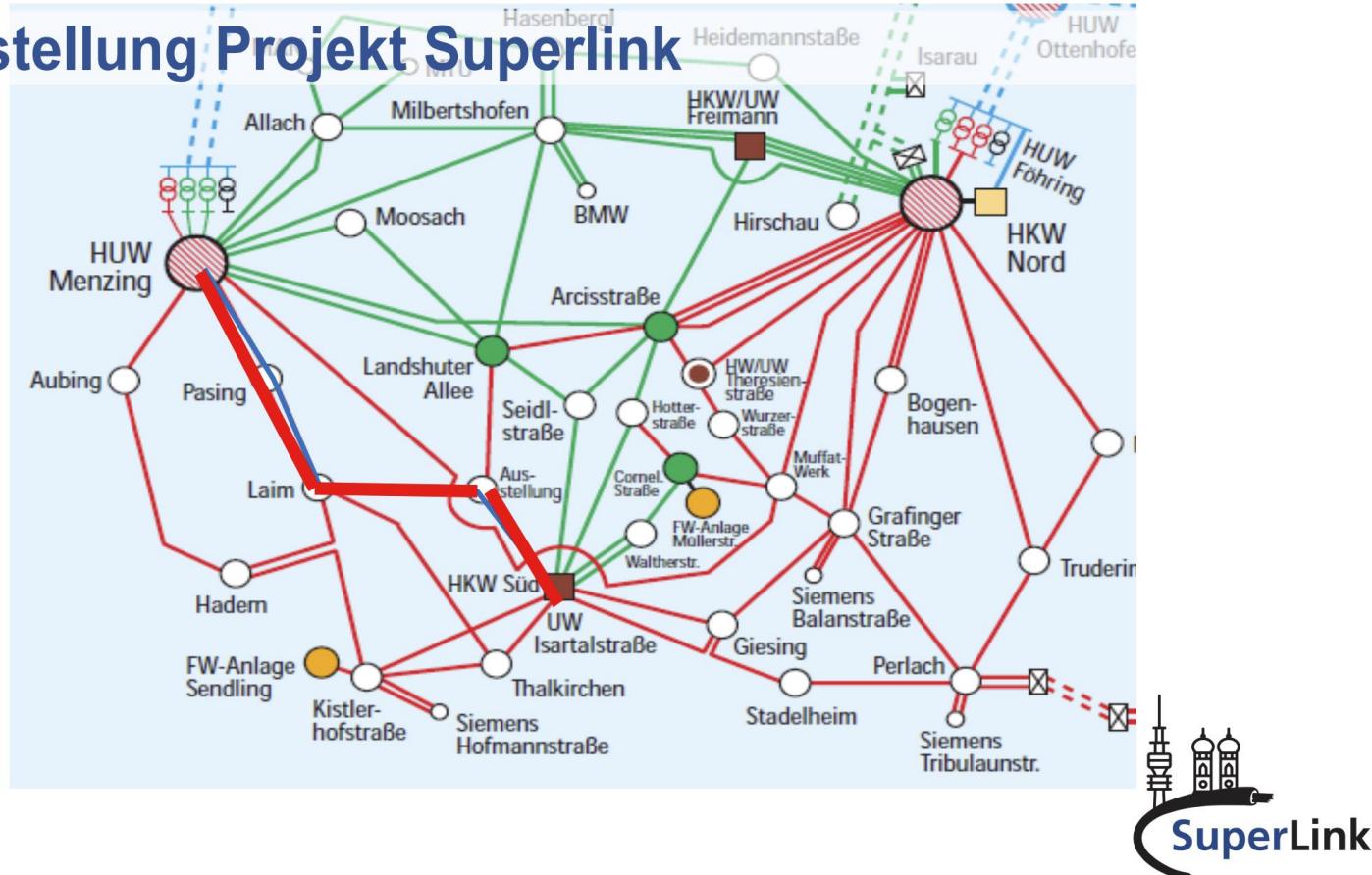
# Content

- Collection based on ZIEHL-workshop, <https://ivsupra.de/viii-ziehl-vortraege/>
  - SuperLink: cable project in Munich
  - Study: SFCL in grids
  - Study: S-MVDC vs. HVDC
  - Industry: Levitation at Festo
  - H2 and HTS: Lead project TransHyDE and CRC AppLHy!
  - Demo200: HTS bus bar
  - RoWaMag: magnetic billet heater

SuperLink...

# Superlink (1/6) – HTS cable in Munich

## Vorstellung Projekt Superlink



<https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/05/6-1-ZIEHL-VIII-Bach.pdf>



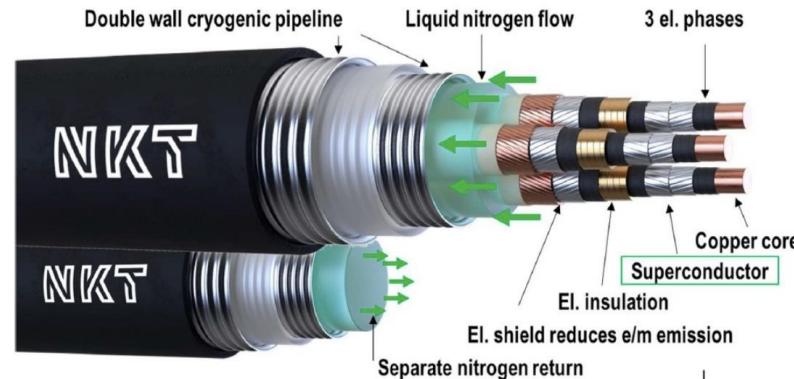
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Location in the south of Munich.  
Cable design...

# Superlink (2/6) – HTS cable in Munich

## Kurzschlusstolerantes Kabeldesign (NKT)

- ▶ Kurzschlussfeste HTS-Kabel derzeit noch nicht marktreif
- ▶ Kurzschlussfestigkeit heute nur mit Kurzschlussstrombegrenzer (HTS-SCL)
- ▶ Projekt SuperLink:
  - ▶ Entwicklung eines **kurzschlusstoleranten Kabeldesigns**
  - ▶ Netzanforderung: **40 kA, 1 Sekunde**
  - ▶ Realisierung über Kupfer-Former und zusätzlichen Kupfer-Schirm
  - ▶ HTS-Schirm: Magnetfeldkompensation
  - ▶ Minimierung HTS-Bandleiterbedarf



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

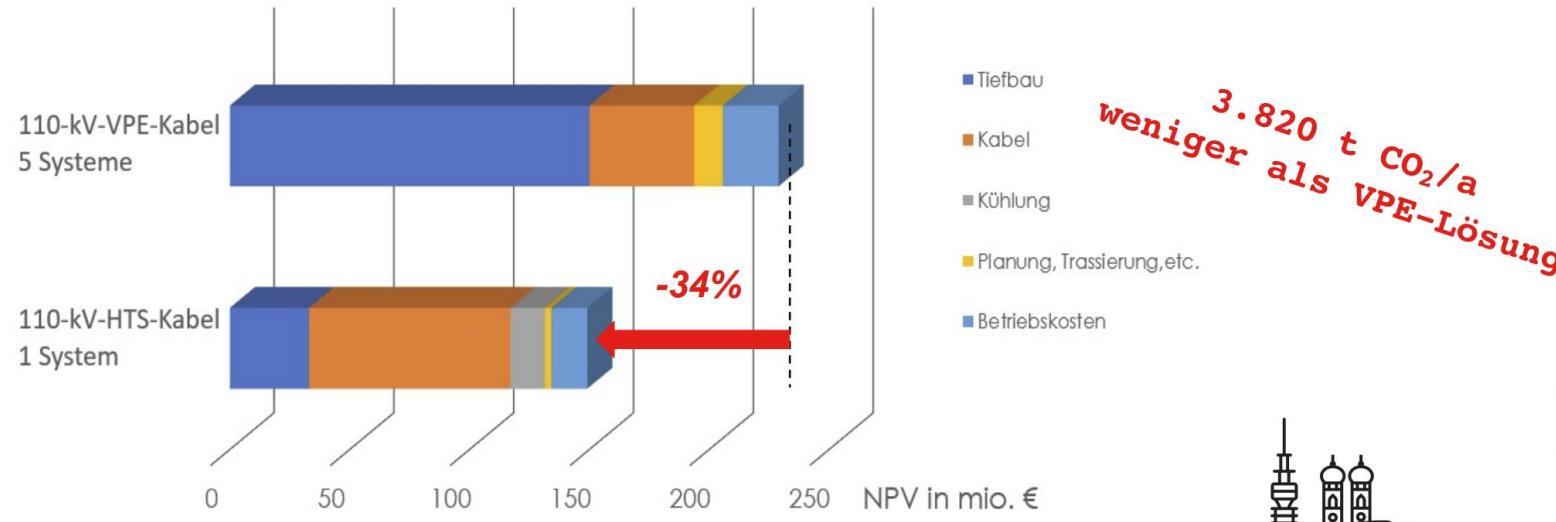


Short circuit tolerant cable design.  
Economic evaluation...

# Superlink (3/6) – HTS cable in Munich

## Wirtschaftlichkeit

- Umfangreiches Excel-Modell für Vergleichsrechnungen erstellt
- Verschiedenste Energiekabel-Verbindungen können verglichen werden (Mittel- und Hochspannung)
- Parameter / Kosten einstellbar (nachvollziehbar)
- Derzeitige Berechnungen zeigen: **SuperLink ist um ca. 34% günstiger als Standardlösung**



16

Economic evaluation.  
Compactness in big cities...



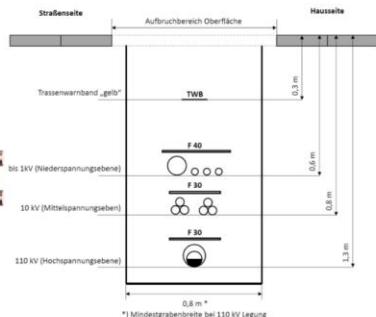
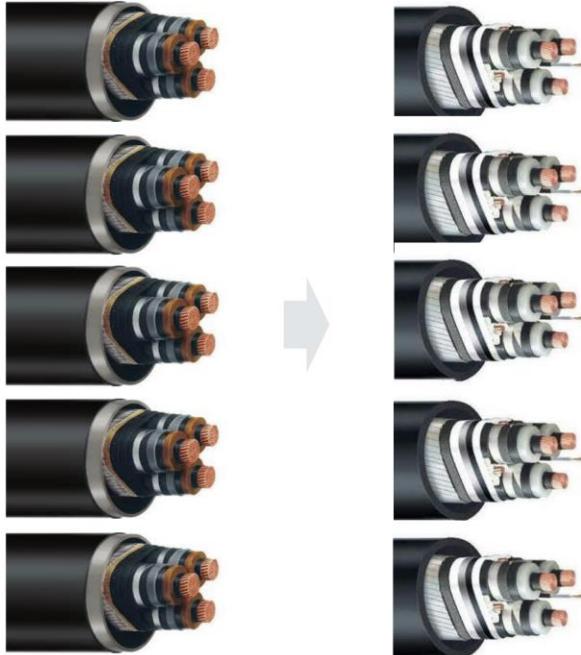
Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Superlink (4/6) – HTS cable in Munich

Umweltschutz und Nachhaltigkeit im Kabelbau durch Supraleitung

Material- und Flächenverbrauch reduzieren



- ▶ Reduktion von Material, Bauarbeiten, Raum (incl. Herstellungsenergie)
- ▶ Reduktion von Emissionen bei Herstellung und Bautätigkeit
- ▶ Einsatz von umweltneutralem N<sub>2</sub>

10 04./ 05. April 2022/ Supraleitung im urbanen Bereich – ein Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung und Umweltschutz



■ <https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/2-3-ZIEHL-VIII-Michalek.pdf>

Reduced footprint.  
OPEX...

# Superlink (5/6) – HTS cable in Munich

Umweltschutz und Nachhaltigkeit im Kabelbau durch Supraleitung



## OPEX Realbetrachtung SuperLink vs. VPE-Standard

### ► 110-kV-HTS-Kabel

758.000 €/a

- Stromwärmeverluste: 346 t.€/a
  - 6.919 MWh/a
- CO2-Zertifikatskosten: 197 t.€/a
  - **3.280 t** CO2 Ausstoß
- Cooling surveillance, personal costs, maintenance and ensurance: 215 t.€/a
  - 1,5 % of Capex

### ► 110-kV-VPE-Kabel

1.175.000 €/a

- Stromwärmeverluste: 749 t.€/a
  - 14.975 MWh/a
- CO2-Zertifikatskosten: 426 t.€/a
  - **7.098 t** CO2 Ausstoß

**CO<sub>2</sub>-Einsparung von jährlich 3.818 t; entspricht ca. 230.000 €/a (bei 60 €/t)**

mit optimierter Kühlung sogar bis zu 4.318 t/a

Quelle: Hochschule Südwestfalen 2022

12. 04./ 05. April 2022/

Supraleitung im urbanen Bereich – ein Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung und Umweltschutz



Savings in CO<sub>2</sub>.

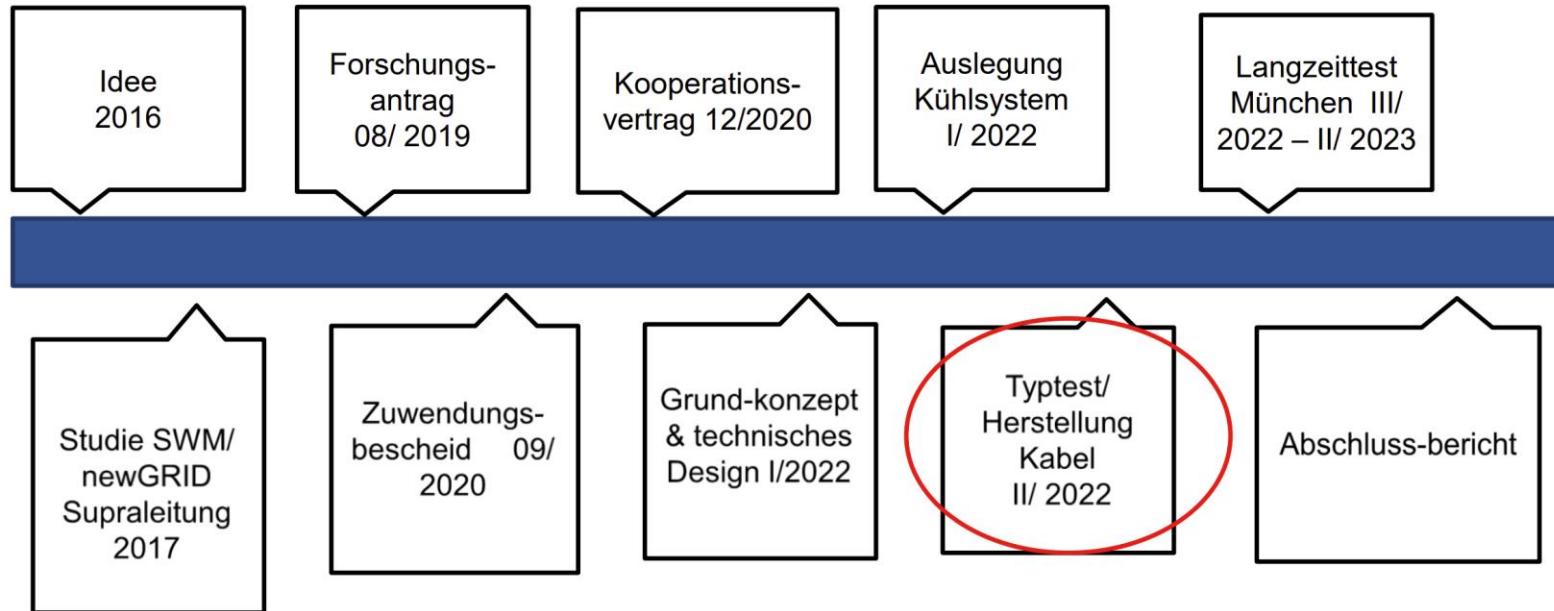
Timeline...

# Superlink (6/6) – HTS cable in Munich

Stand im Forschungsprojekt SuperLink

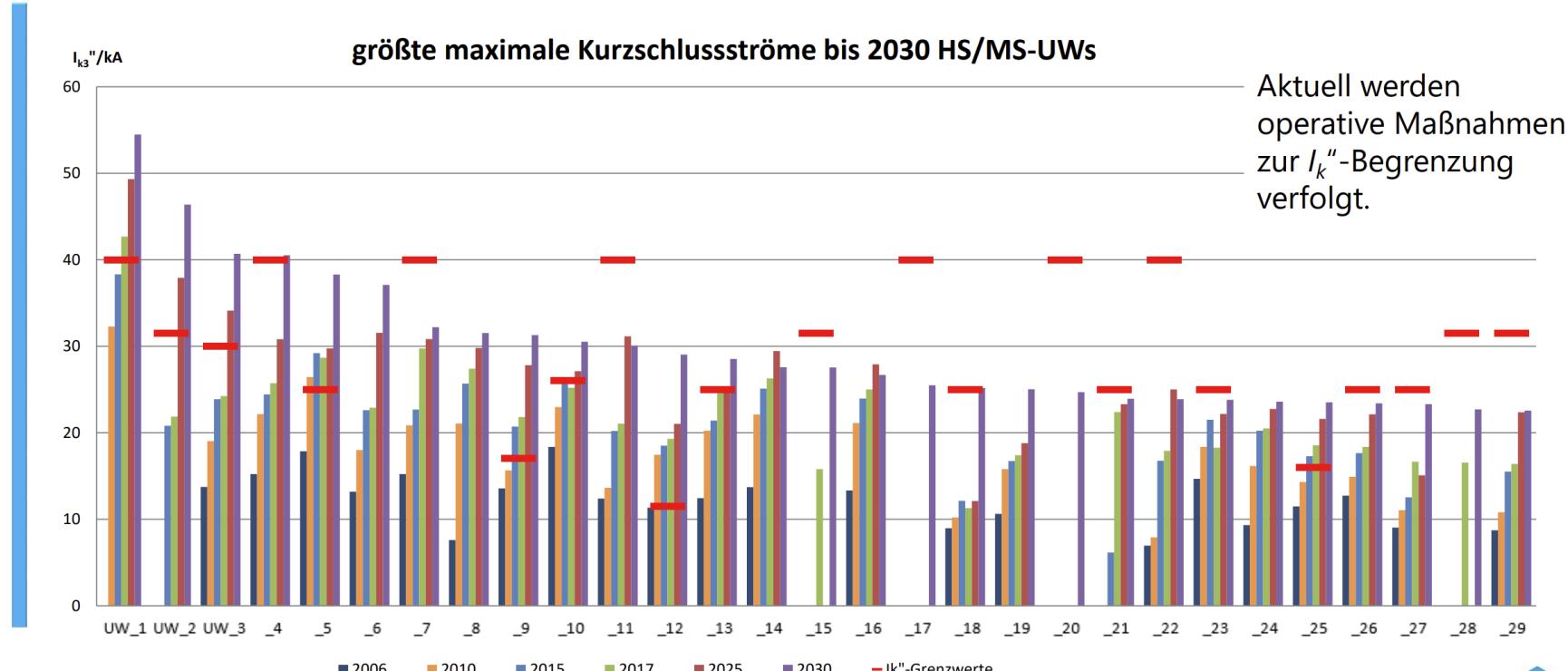


## SuperLink für München - Status



Timeline of endeavor.  
SFCL...

## Entwicklung des $I_{k3}''_{max}$ im TEN-HS-Netz



Thüringer  
Energienetze

<https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/3-2-ZIEHL-VIII-Steinhorst.pdf>

11

Short circuits increase in grids of TSO and DSO by increased transformer powers & interconnections.  
Example substation...

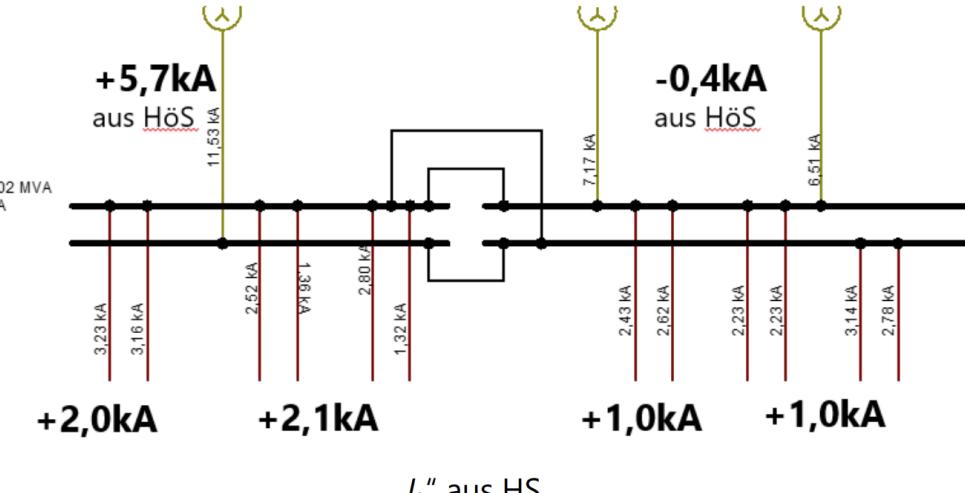
## Fallbetrachtung eines ausgewählten Umspannwerkes

### Prognose ins Jahr 2030 (und Vergleich zu 2020)

- maximaler Kurzschlussstrom:  $I_{k3}^{''}$  2030 = 54,6 kA
- Zusammensetzung der  $I_k^{''}$ -Beiträge:

HKW:	4,0 kA (+0,1)
Wind:	5,2 kA (+0,7)
PV:	2,4 kA (+1,1)

**Fazit:** Der Treiber der zunehmenden Fehlerströme ist der Netzausbau, insbesondere die zunehmende Transformatorenleistung zwischen HöS und HS. Der Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen spielt hierbei eine nachgelagerte Rolle.



Thüringer  
Energienetze

Cause of high short currents is extension of grids (transformer power between highes and high voltage).

Catalogue of measures...

## Konglomerat an potentiellen Abhilfemaßnahmen

Maßnahme	Bemerkungen
galvanische Netztrennung	schnelle Lösung, Einschränkungen in Netzführung, langfristig: Netzverstärkung mglw. nötig
Verstärkung Primäranlage	begrenzte Möglichkeiten
UW – Neubau	Preisintensiv, abschreibungsbedingt kaum zu realisieren
Kurzschlussstrombegrenzungsdrosseln	auch kompensierbar
Installation anderer Großtransformatoren	kleinere Sn, größere uk → geringe Wirkung
Gleichstromkurzkupplung	$I_{k3} \approx I_n$ , Leistungsaustausch gesteuert möglich (P & Q voneinander unabhängig)
Supraleitende Kurzschlussstrombegrenzer	<b>nicht nur MS geeignet!</b>
Is-Begrenzer	nur MS geeignet
PROLIM	nur MS geeignet
Hybrider Leistungselektronischer Strombegrenzer	nur MS geeignet
Flüssigmetallstrombegrenzer	nur NS geeignet

14



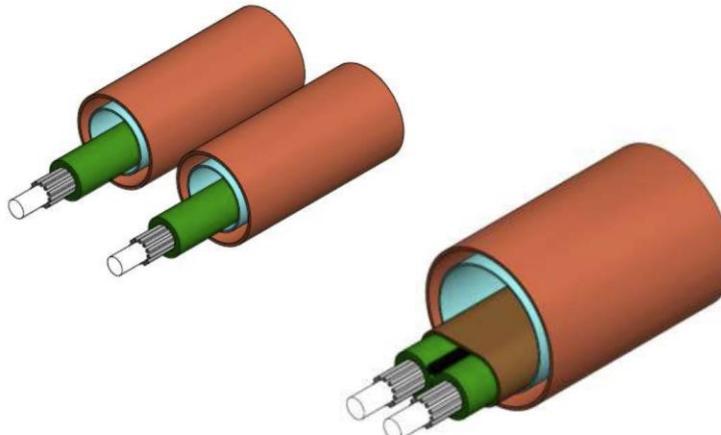
SFCL is suitable for all voltage levels.

S-MVDC...

## Studie über den Einsatz von Supraleitung



- S-MVDC: Studie über den Einsatz von DC Gigawatt Leitungen mit Supraleitung
- Machbarkeitsstudie im Auftrag von Amprion
- Mitwirkung: KIT, Messer, Siemens, Vorwort von Dr. Bednorz
- Inhalt
  - Motivation und Systemanforderungen
  - Konverterstationen
  - Supraleitendes Kabel
  - Aufbau
  - Eigenschaften
  - Kältekonzepte
  - Verlegung
  - Kosten



■ <https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/3-3-ZIEHL-VIII-Reiser.pdf>

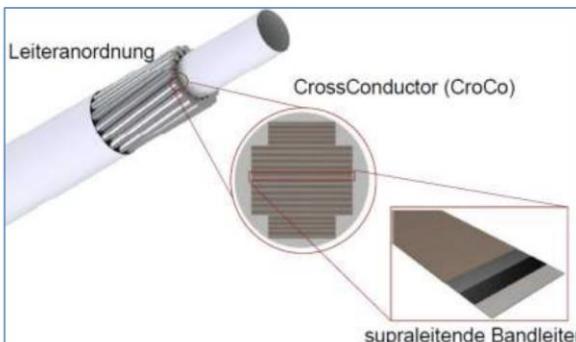
S-MVDC vs. HVDC.  
Architecture...

# S-MVDC (2/3)

## Supraleitendes Kabel - Aufbau

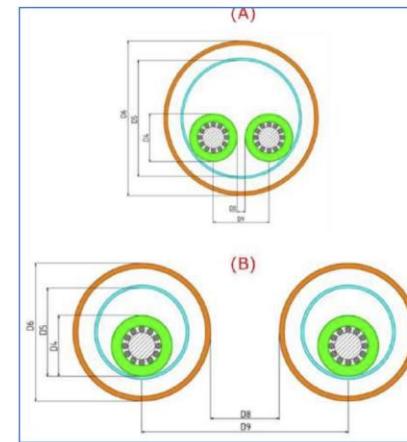


- Viele HTS- und Cu-Bänder → CroCo: 3 Größen mit je 5 Varianten
- Mehrere CroCo (6, 9, 12, 16) → Phasenleiter
- Elektr. Mischisolation aus PPLP & LN2



Beide Möglichkeiten in einer Trasse:  
Wellrohr- und Glattrohr-Kryostate

Ein oder beide Phasenleiter in einem Kryostat



4.4.2022

ZIEHL VIII

7

Architecture of a S-MVDC.  
Pro's & Con's...

# S-MVDC (3/3)

## Zusammenfassung



### Vorteile von S-MVDC

- Reduktion des umbauten Volumens der Konverterstationen → **Mögliche höhere Akzeptanz**
- Komplett feldfreie Trasse durch supraleitende Schirmung → **Mögliche höhere Akzeptanz**
- Kein Wärmeeintrag (ins Erdreich) → **Mögliche höhere Akzeptanz**
- Niedrigere Spannungen denkbar → **Mögliche höhere Verfügbarkeit und kürzere Genehmigungsfristen**
- Zur Verfüllung ist kein Flüssigboden notwendig → **Beschleunigung der Erdarbeiten beim Trassenbau**
- Skalierbarkeit des Stroms und damit der Leistung bei gleicher Kabelgröße → **Gleiche Breite für 4 GW und 2 GW-Trasse möglich**
- Geringere Verluste → **Hohe Effizienz**
- Wirtschaftlichkeit bei hohen Leistungen / lange Strecken → **Kostenreduktion möglich**

### Nachteile von S-MVDC

- Fehlende Prototypen und Betriebserfahrung (TRL 3 von 9) und fehlende Standardisierung → **Weitere Entwicklungsschritte und –kosten notwendig**
- Zwischenkühlstation mit Kühl tanks (Höhe 6 bis 18m) → **eventuell zusätzliche Genehmigungen für Nebenanlagen**
- Vergleichsweise hohe Investitionskosten bei geringen Leistungen / kurzen Strecken
- Im offenen Kältekreis geringe Wartung, dafür hoher LN2-Verbrauch
- Im geschlossenen Kältekreis wartungs- und erneuerungsintensive Kältemaschinen
- Lange Inbetriebnahmezeiten nach längerem Ausfall der Kühlung und Systemerwärmung

# Levitation in industry (1/1)-

FESTO

## Konduktionsfreie Lagerung zur thermischen Isolation

Festo hat damit begonnen dieses Prinzip anhand von [Kryostatenkonzepten](#) zu untersuchen. Hierbei [schwebt](#) der [Supraleiter](#) selbst [kontaktlos](#) in einem Magnetfeld im Inneren des Kryostaten und kann zudem eine Magnet-Supraleiter-Kopplung zu einem äußerem Werkstückträger herstellen. Zur Kühlung ist der Supraleiter [konduktiv allein](#) mit einem [Stirling-Kühler](#) verbunden. Die optimierte Isolation ermöglicht bei [geringeren Kosten](#) eine deutlich [reduzierte Kühlleistung](#) bei gleichzeitig [niedriger Bauhöhe](#) des Kryostaten.



Michael Schöttner / Stephan Schauz

Supraleiter in der Automatisierung

Erstellt: 23.3.2022

Geändert: 23.3.2022

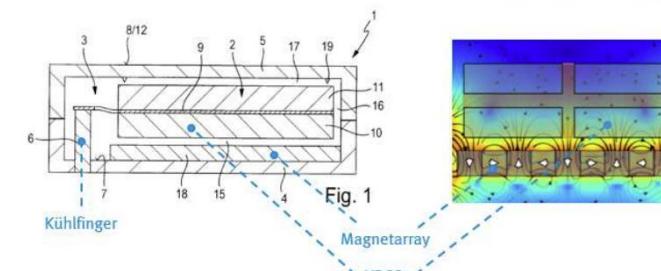
Entwurf

Vertraulich

17



Schwebehöhdifferenz  
zum Lastfall mit 5 kg



<https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/5-2-ZIEHL-VIII-Schoettner-Schauz.pdf>

Non-contact bearings and actuators in industry.  
H2 and HTS...

# H2 and HTS (1/2) – TransHyDE/ AppLHy!



Leitprojekt  
TransHyDE



GEFÖRDERT VOM  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Karlsruhe Institute of Technology

## TransHyDE-Projekt AppLHy! –

Transport und Anwendung von flüssigem Wasserstoff ( $LH_2$ )

- Projektlaufzeit: 04/2021 – 03/2025
- Projektvolumen: ca. 17 Mio. €, Förderung: ca. 15 Mio. €
- 8 Partner, 1 assoziierter Partner



■ <https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/05/5-3-ZIEHL-VIII-Wolf.pdf>

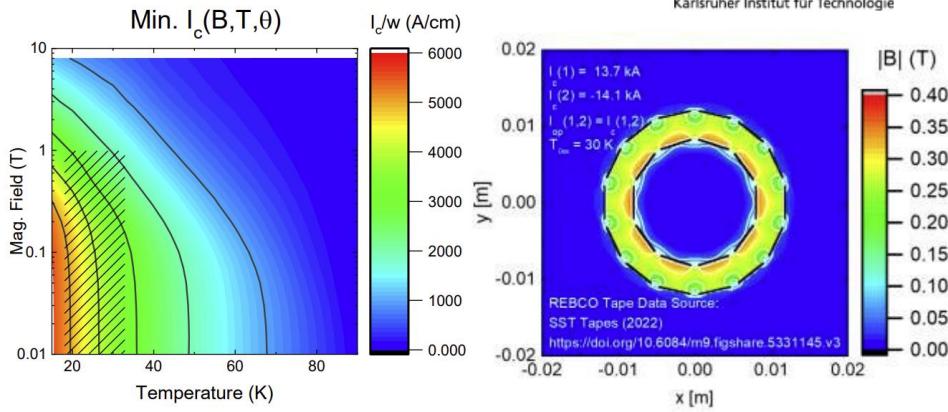
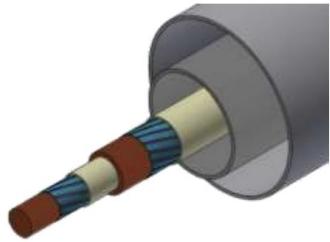
Lead (1/3) and CRC projects (on LH2 & HTS) in Germany.

# H2 and HTS (2/2) – TransHyDE/ AppLHy!

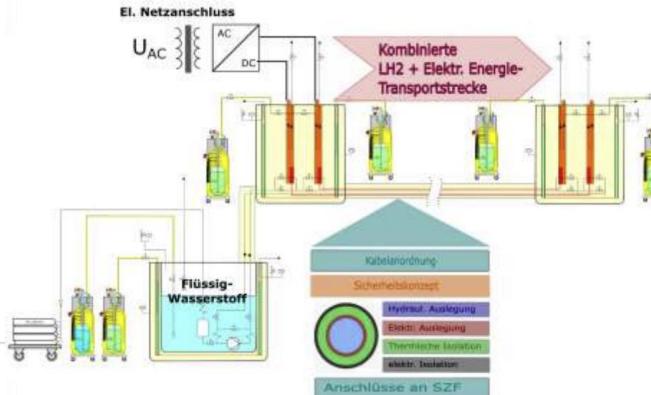
## First conceptual REBCO based cable designs

### Hybrid Energy Pipeline:

- HTS-DC-Cable
- Two electric phases
- concentric arrangement
- $U = +/- 10\text{ kV}$ ,  $I_{op} = 10 \text{ kA}$
- $I_c > 12.5 \text{ kA}$  at  $T = 30 \text{ K}$
- 10-13 4-mm-wide REBCO tapes
- $P_{chem} = 200 \text{ MW}$
- $\Delta p = 0.1 \text{ MPa}$  over  $L = 10 \text{ km}$
- $D(\text{LH}_2\text{-pipe}) \sim 150 \text{ mm}$



Data source: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5331145.v3>



KIT - ITEP

- WP01:  
Efficient liquefaction & container technologies
- WP02:  
Materials & Safety
- WP03:  
LH<sub>2</sub> and Energy Technology Applications
- WP04:  
Hybrid Energy Pipeline

# Demo200 (1/2) – HTS current busbar

Gefördert durch:  
  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

**DEMO200**

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Versuchsaufbau**

**Innovationskern**

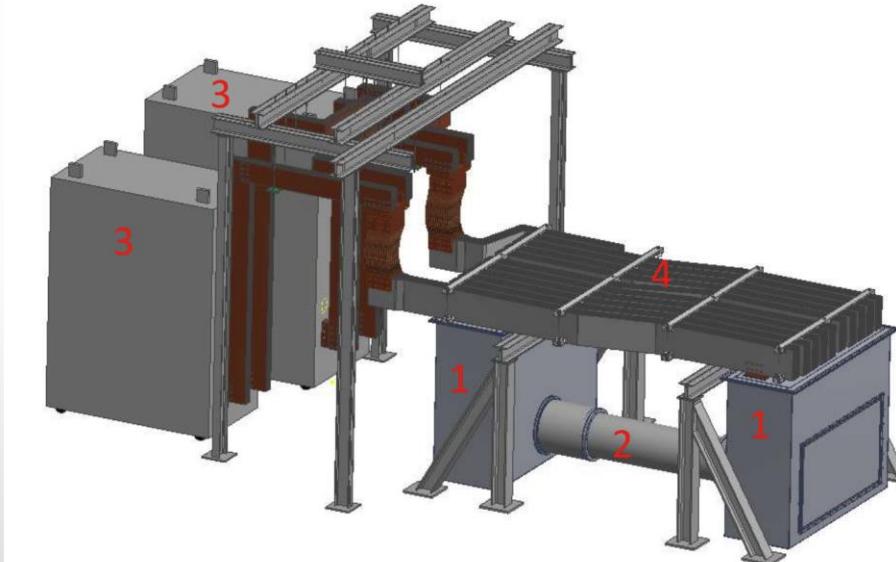
- 1: Stromzuführungen 200 kA
- 2: Supraleitende Stromschiene

**Prüfstand**

- 3: Stromquelle 25 kA DC
- 4: Rückföhrschielen aus Alu

**DEMO200 Projekt**

- 200 kA DC
- Länge: 2,5 m
- Durchmesser: 30 cm
- Full scale Stromzuführungen
- Betrieb bei 70 K (LN<sub>2</sub> unterkühlt)



3

1

2

3

4

■ <https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/6-2-ZIEHL-VIII-Hanebeck.pdf>

200 kA DC by HTS.  
Testing...

# Demo200 (2/2)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

DEMO200

ptj  
Projekt für  
Technologien & Inno-

trimet

THEVA

KIT  
Karlsruher Institut für Technologie

MESSER  
Gases for Life

VISION' ELECTRIC  
Super Conductors  
PIONEERS IN ELECTRIC POWER



## Subscale Test - Ergebnisse

- Kritischer Strom beider Module liegt bei 19 kA (bei 77 K)
- Thermische Kontraktion wurde von Wellenform kompensiert
- Kritischer Strom nach thermischem Zyklus unverändert



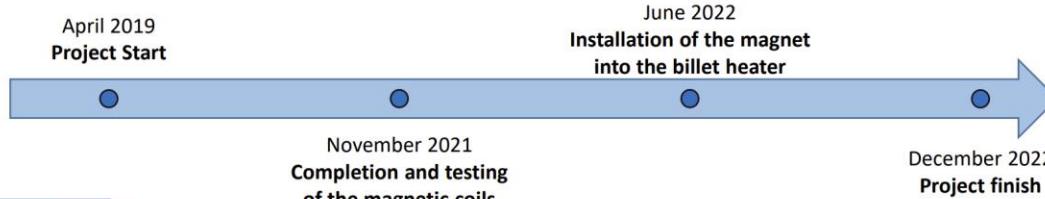
13

Subscale test at KIT ITEP.  
RoWaMag...

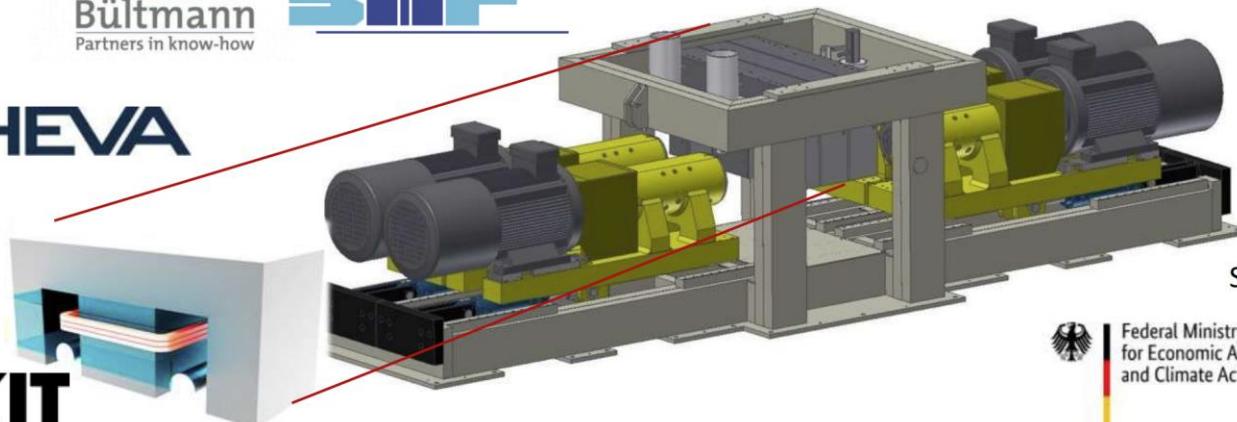
# RoWaMag (1/2) – magnetic billet heater



## Project team



**THEVA**



Supported by:



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action



Robuster und wartungsarmer Magnetheizer mit  
Hochtemperatursupraleiter-Spulen für Warmumformprozesse



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

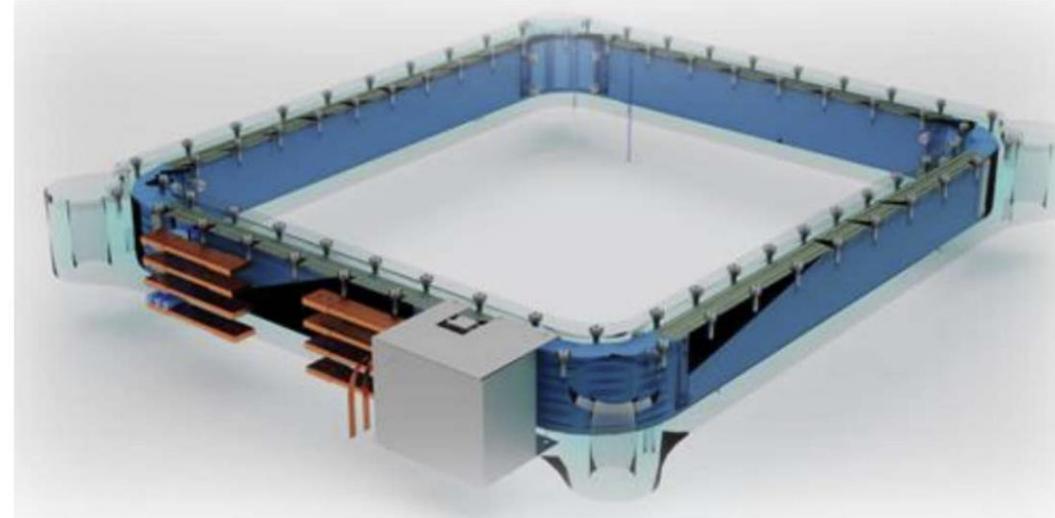


<https://ivsupra.de/wp-content/uploads/2022/04/6-3-ZIEHL-VIII-Hintze.pdf>

Magnetic billet heater by HTS.  
HTS-coils...

## Magnetic coil - design

- 3 double pancakes
- 127 turns per coil
- Operating current: 505 A
- HTS tape length: 3110 m
- Working field: 700 mT



Robuster und wartungssarmer Magnetheizer mit  
Hochtemperatursupraleiter-Spulen für Warmumformprozesse



Thanks...

# Thank you for your attention.

