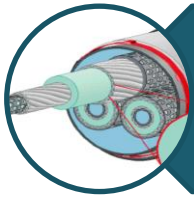


# Hochtemperatur-Supraleiter im Übertragungsnetz

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Pöhler, TenneT TSO GmbH

11.10.2019





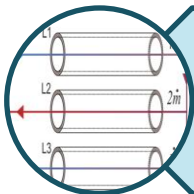
Perspektive von HTSL-Kabeln



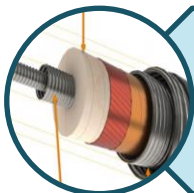
Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

Bestimmung	Symbol	Werte
Nennspannung	$U_n$	420 kV
Nennleistung	$S_n$	380 MW
Nennstrom	$I_n$	3,6 kA
Stromkurzschlussstrom	$I_{sc}^{(3)}$	65 kA
Verknüpfungszeit	$t_{qz}$	300 ms

Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage

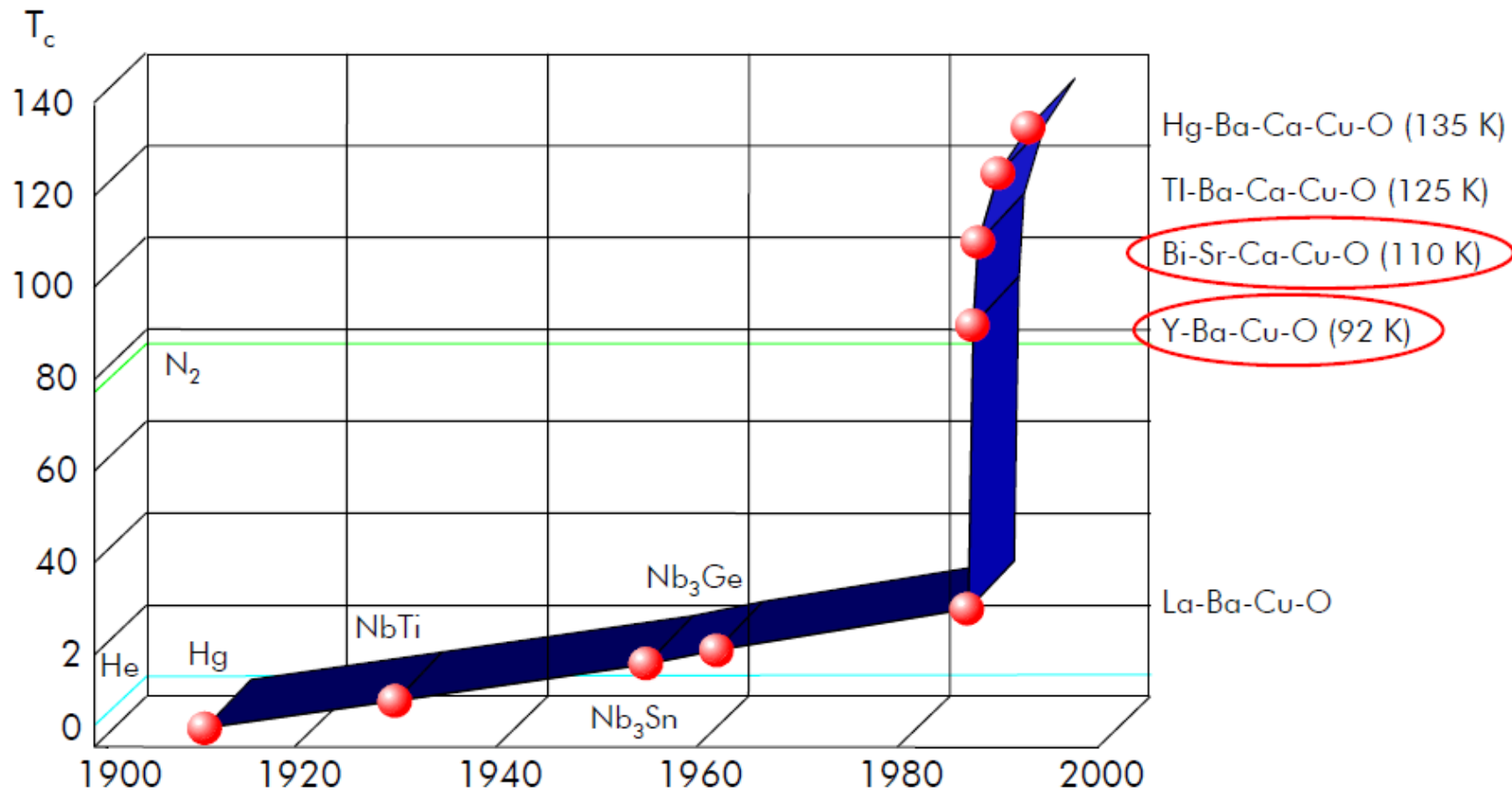


Beteiligung an Machbarkeitsstudien



Fazit

# Entdeckung von metallischen und keramischen Supraleitern



**Hochtemperatur Supraleiter (HTS) können mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden**

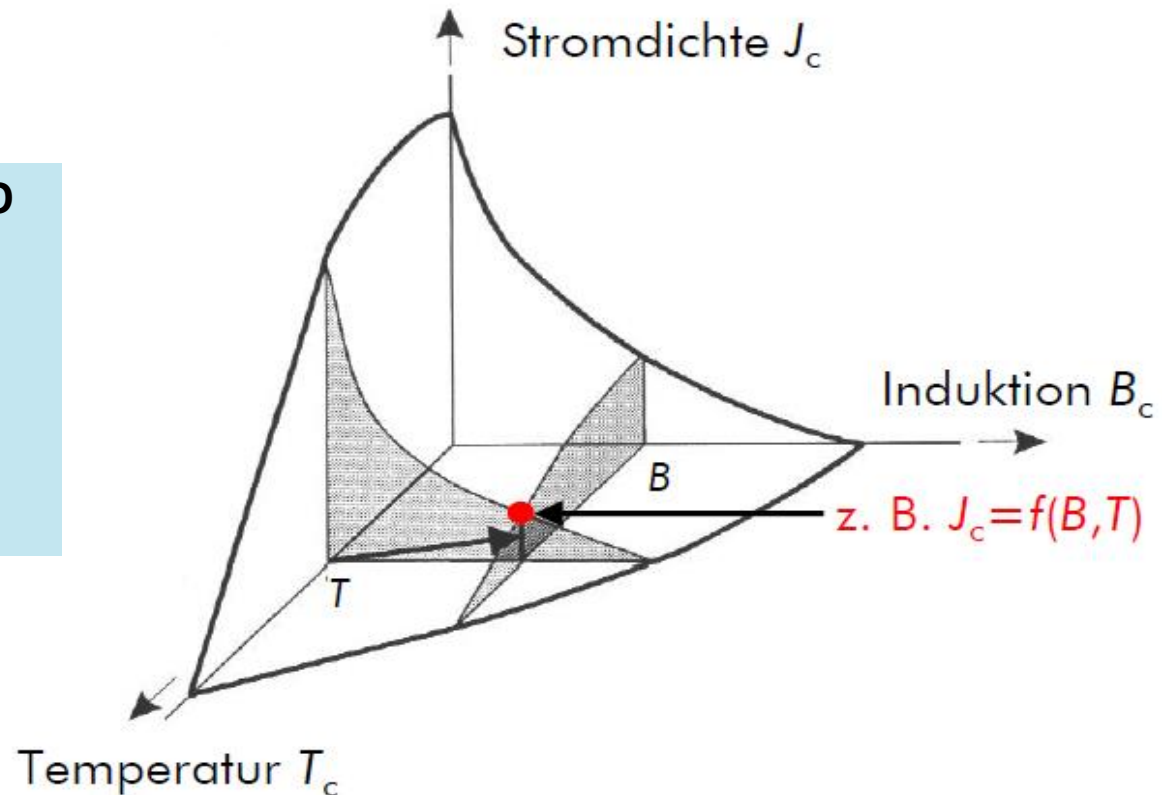
# Einfluss von Stromdichte, Temperatur und Magnetfeld auf die Supraleitung

Ag ummantelte 2223 BSCCO  
Bänder\*:

Stromdichte  $< 10^5 \text{ A/cm}^2$

Magn. Feld  $< 100 \mu\text{H}$

Temperatur  $< 77\text{K}$



*Wird einer der kritischen Werte überschritten, so bricht die Supraleitung zusammen*

\* Wismuth-Strontium-Calcium-Kupfer-Oxid

Quelle: Nexans



9. September 2019, 8:03 Uhr Klimaschutz

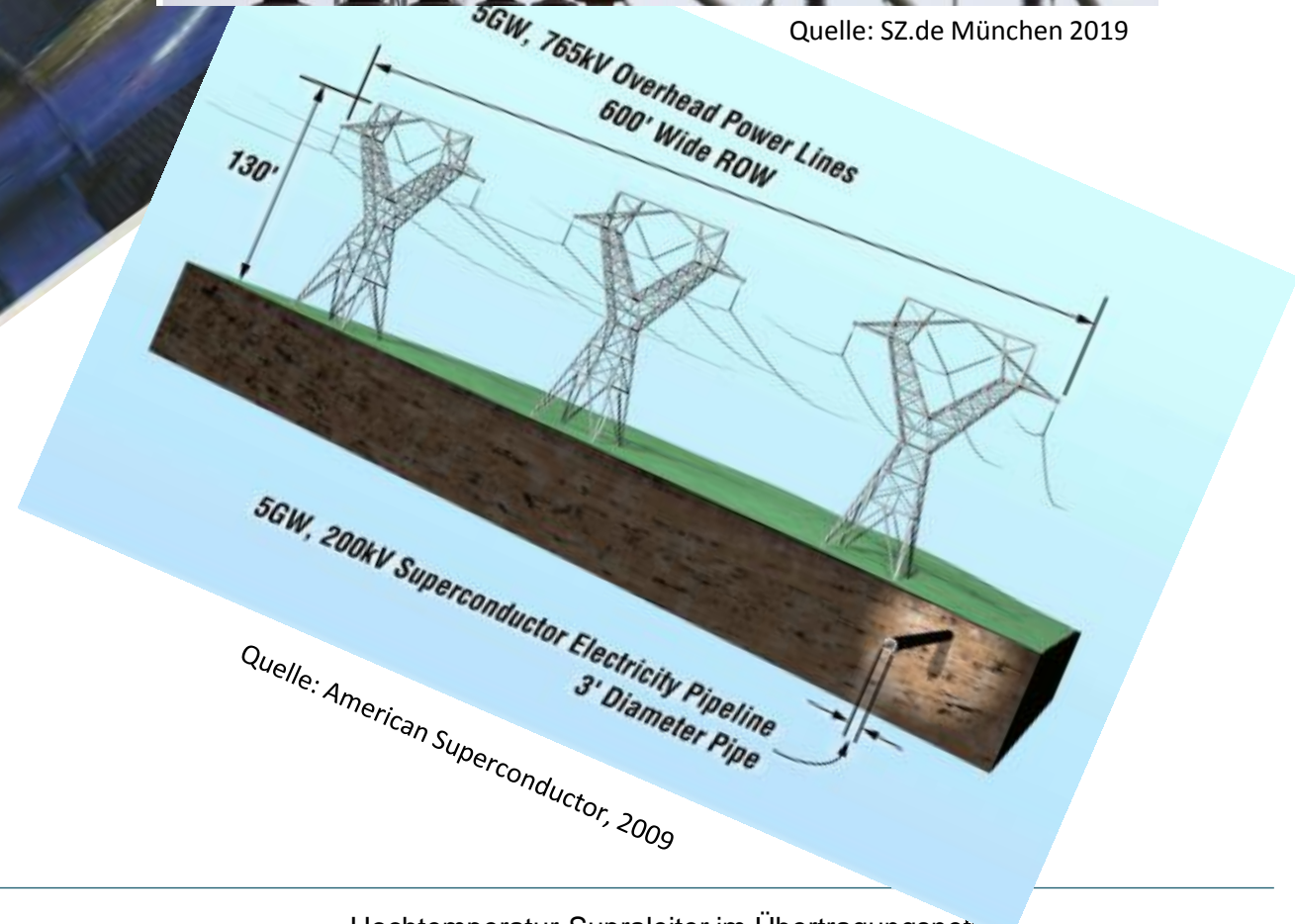
## München will die beste Stromleitung der Welt



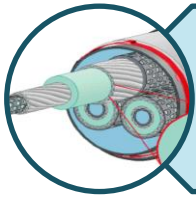
Quelle: SZ.de München 2019



Quelle: VDI Nachrichten, 23. August 2019, Nr. 34



Quelle: American Superconductor, 2009



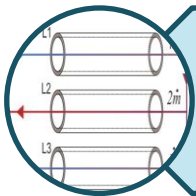
## Perspektive von HTSL-Kabeln



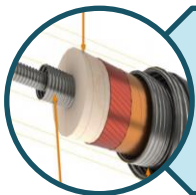
## Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

Bestimmung	Symbol	Werte
Nennspannung	$U_n$	420 kV
Nennleistung	$S_n$	380 MW
Nennstrom	$I_n$	3,6 kA
Stromkurzschlussstrom	$I_{sc}^{(3)}$	65 kA
Verzögerungszeiten	$t_{qz}$	300 ms

## Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage



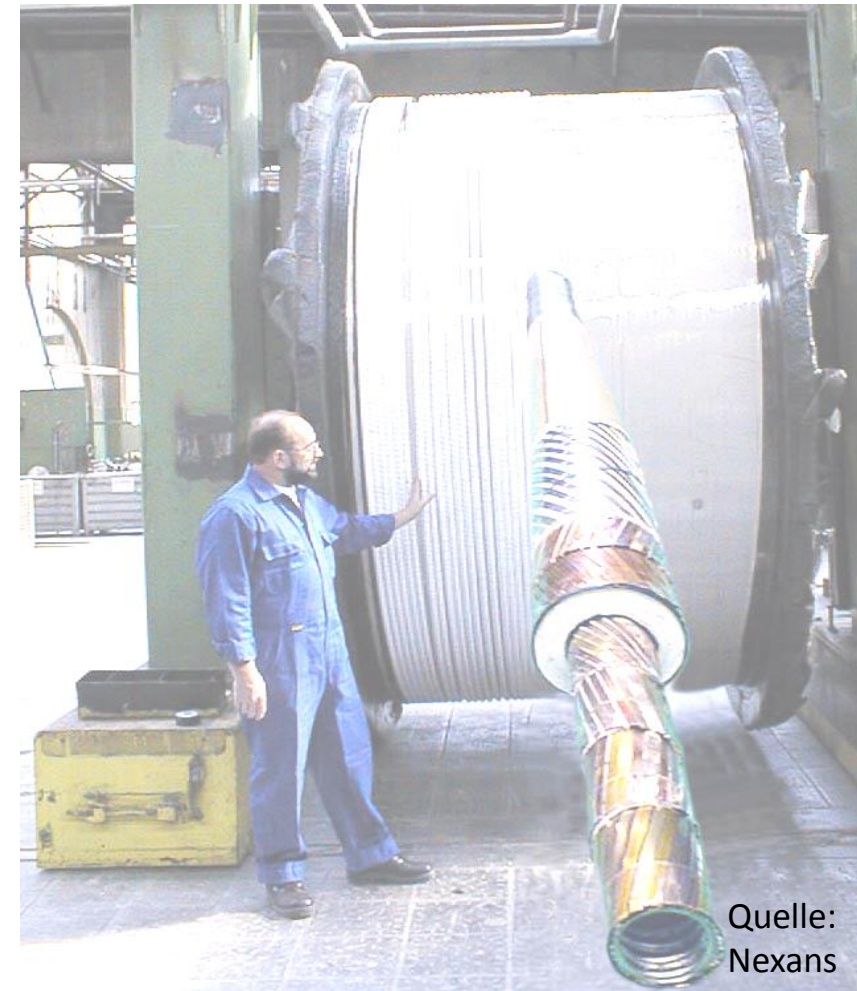
## Beteiligung an Machbarkeitsstudien



## Fazit

# Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

- Steigerung der Übertragungsleistung von bestehenden konventionellen Punkt-zu-Punkt-Kabeltrassen (Retrofit)
- Verlagerung von Hochspannungsfreileitungen in den Untergrund (wie bei konventionellen Kabelanlagen)
- Generatorzuführungen
- Verlagerung von Industriekundenanschlüssen in HÖS-Umspannanlagen
- Hochleistungs-HVDC-Energieübertragung auf langen Strecken (zukünftig)



Quelle:  
Nexans

# Auslegung von HTSL-Kabel für 380kV

## Bsp. Teilverkabelung für HÖS-Freileitungen

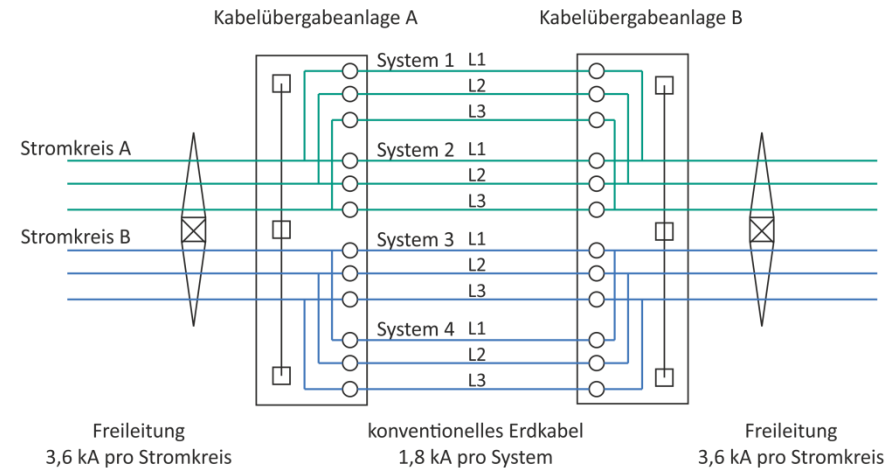
### ■ VPE-Kabel

- je Stromkreis pro Phase zwei parallele Kabel erforderlich
- insgesamt 12 Kabel
- Wärmeeintrag in die Umgebung, ausreichende Kabelabstände erforderlich

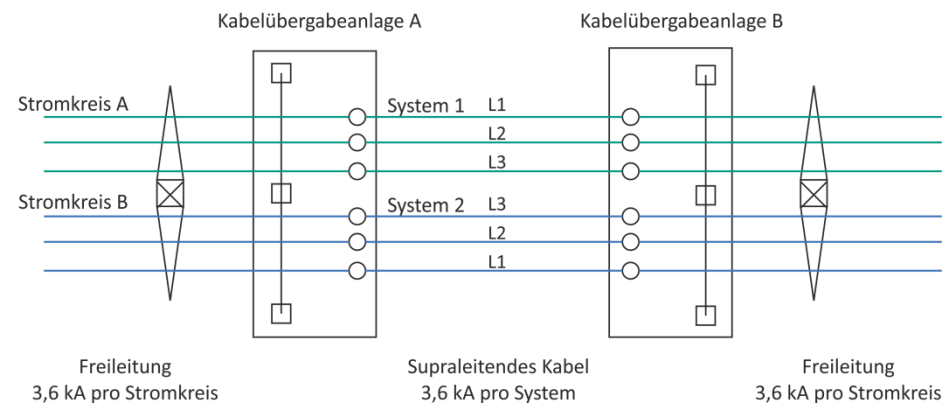
### ■ HTSL-Kabel

- je Stromkreis pro Phase ein Kabel erforderlich
- insgesamt 6 Kabel
- keine Wärmeabgabe in die Umgebung, sehr enge Kabellegung möglich

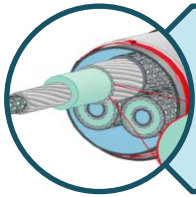
## Option 1 - Teilerdverkabelung durch konventionelle Erdkabel mit 4 Systemen je 1,8 kA



## Option 2 - Teilerdverkabelung durch supraleitende Kabel mit 2 Systemen je 3,6 kA







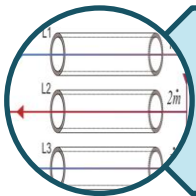
## Perspektive von HTSL-Kabeln



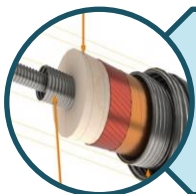
## Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

Bestimmung	Symbol	Werte
Nennspannung	$U_n$	420 kV
Nennleistung	$S_n$	380 MW
Nennstrom	$I_n$	3,6 kA
Stromkurzschlussstrom	$I_{sc}^{(3)}$	63 kA
Verzögerungszeiten	$t_{qz}$	300 ms

## Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage



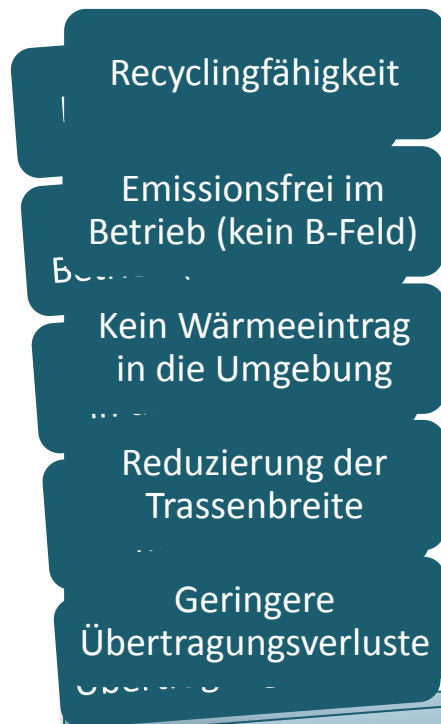
## Beteiligung an Machbarkeitsstudien



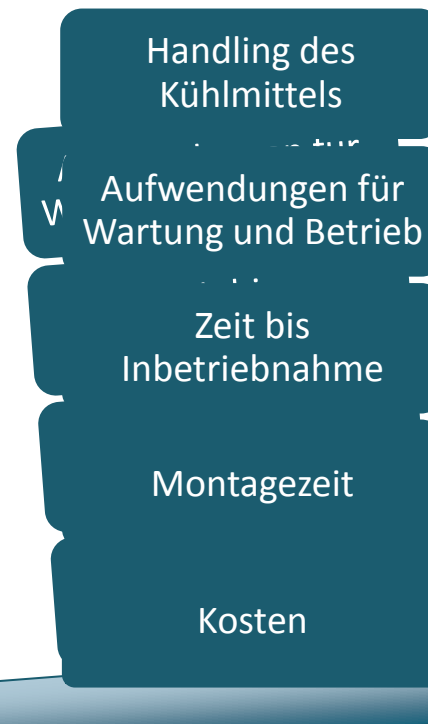
## Fazit

# Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage

## Vorteile



## Nachteile



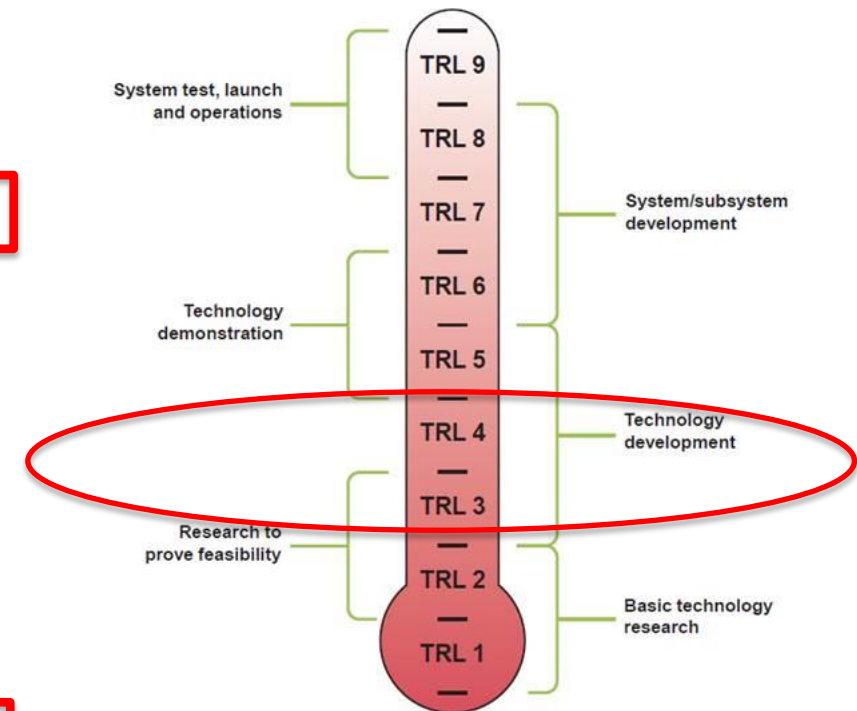
# Herausforderungen für die Systemintegration

- Längsimpedanz kleiner als bei konventionellen Freileitungen und Kabeln (ggf. Lastflusssteuerung)
- Leerlaufverluste wegen Kühlbedarf
- Eingeschränkte Schwarzstartfähigkeit (Kühlmittelverfügbarkeit, autarke Energieversorgung)
- Begrenzte Fähigkeit zum Tragen von Kurzschlussströmen
- Anpassung der Schutztechnik
- Erfordernis von Kühlstationen in regelmäßigen Abständen (Bereitstellung von Eigenbedarfsversorgung)
- Im Fehlerfall lange Reparaturdauern (vglw. geringe Verfügbarkeit)
- Eignung für Automatische Wiedereinschaltun-  
gfähigkeit (AWE-Fähigkeit)
- Einsatz derzeit nur in Pilotprojekten wg. Erfordernis zur  
Einhaltung § 49 Abs. 1 EnWG, „Anerkannte Regeln der  
Technik“ für Planfeststellung



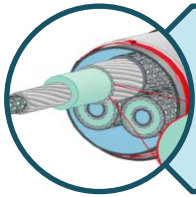
# Technology Readiness Level acc. to ENTSO-E \*

Technologies	Technology Availability		
	2020	2025	2030
<b>HV AC cables</b>			
Underground cable technology	7	9	9
Submarine cable technology	9	9	9
<b>Superconducting cable (HV)</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
Gas insulated lines	4	6	8
<b>HVDC Power Transmission</b>			
Mass Impregnated HV DC Cables, +/-600kV	9	9	9
Extruded HV DC Cables, ±320 kV	7	9	9
Extruded HV DC Cables, ±252 kV	5	7	9
Extruded HV DC Cables, ±600 kV	3	5	7
HV DC Gas insulated lines, 525kV	3	5	7
<b>HV DC Superconducting cables</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>



\* Evaluation considers experiences with combined HV-systems





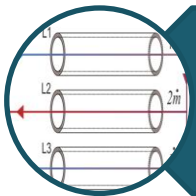
Perspektive von HTSL-Kabeln



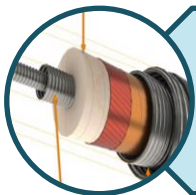
Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

Bestimmung	Symbol	Werte
Nennspannung	$U_n$	420 kV
Nennleistung	$S_n$	380 MW
Nennstrom	$I_n$	3,6 kA
Stromkurzschlussstrom	$I_{sc}^{(3)}$	63 kA
Verknüpfungszeit	$t_{qz}$	300 ms

Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage



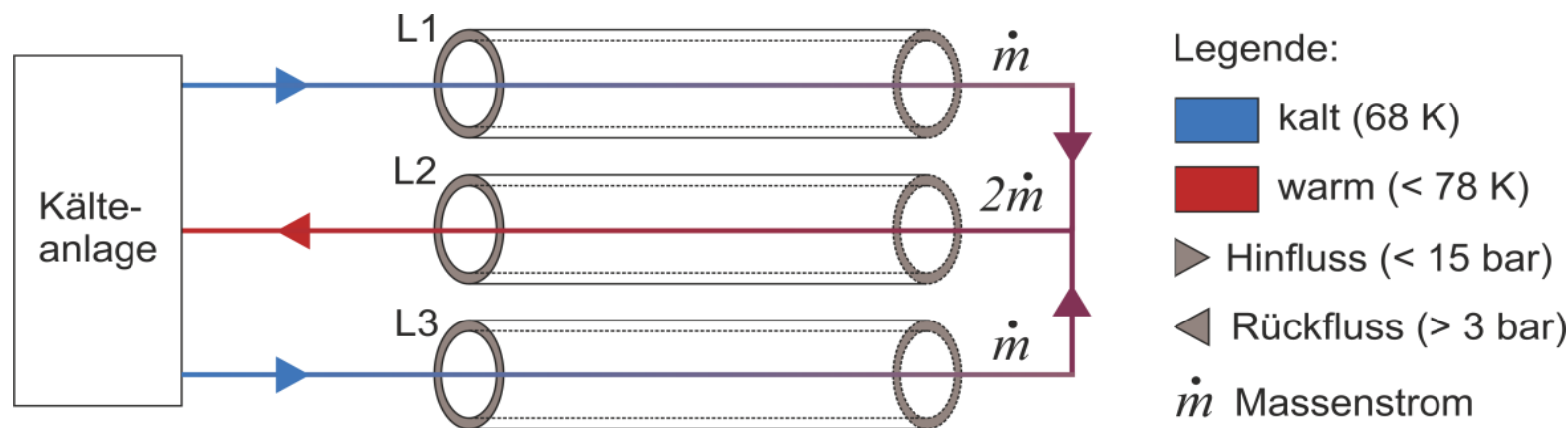
Beteiligung an Machbarkeitsstudien



Fazit

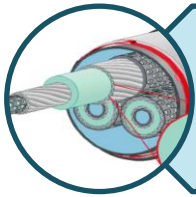
# Beispiel Forschungsprojekt ENSURE\*

- TenneT liefert die Netzaspekte und –parameter
- KIT legt die Kabel und Nebenanlagen aus
- Auf Basis dieser Auslegung wird ein Vergleich mit anderen Leitungstechnologien (Freileitung, VPE-Kabel, Gasisolierte Leitung) durchgeführt
  - Der Vergleich wird sowohl technisch als auch nach sozio-ökonomischen Kriterien durchgeführt und soll zeigen, in wie weit sich supraleitende Kabel für das Übertragungsnetz eignen könnten



Quelle: KIT

\*Anwendungsmöglichkeit für TenneT TSO GmbH



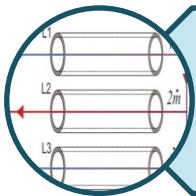
## Perspektive von HTSL-Kabeln



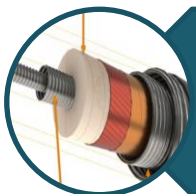
## Einsatzmöglichkeiten für HTSL-Kabelanlagen im Übertragungsnetz

Leistung	Symbol	Werte
Nennspannung	$U_n$	420 kV
Nennleistung	$S_n$	380 MW
Nennstrom	$I_n$	3,6 kA
Stromkurzschlussstrom	$I_{sc}$	65 kA
Verknüpfungszeit	$t_{qz}$	300 ms

## Eigenschaften einer HTSL-Kabelanlage



## Beteiligung an Machbarkeitsstudien



## Fazit

- Die ÜNB beteiligen sich aktiv an bi- und multilateralen Studien, um die Machbarkeit der HTSL-Technologie im HÖS-Netz zu untersuchen
- Derzeit wird beispielsweise in Zusammenarbeit mit der KIT im Forschungsprojekt ENSURE Know-how über das Potential von HTSL-Kabeln im Höchstspannungsnetz aufgebaut
- Der „Technology Readiness Level“ gem. ENTSO-E-Erhebung befindet sich derzeit noch auf einem niedrigen Niveau
- Die HTSL-Technologie bietet neue Anwendungsmöglichkeiten, wird aber mit Stand heute nicht in die aktive Leitungsplanung einbezogen