



**SuperLink**

**ZIEHL X**

**Standortvorteil:  
Supraleiter**

**Supraleiterkabel für München  
Idee, Planung und Umsetzung**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Robert Bach, Fachhochschule Südwestfalen, Soest

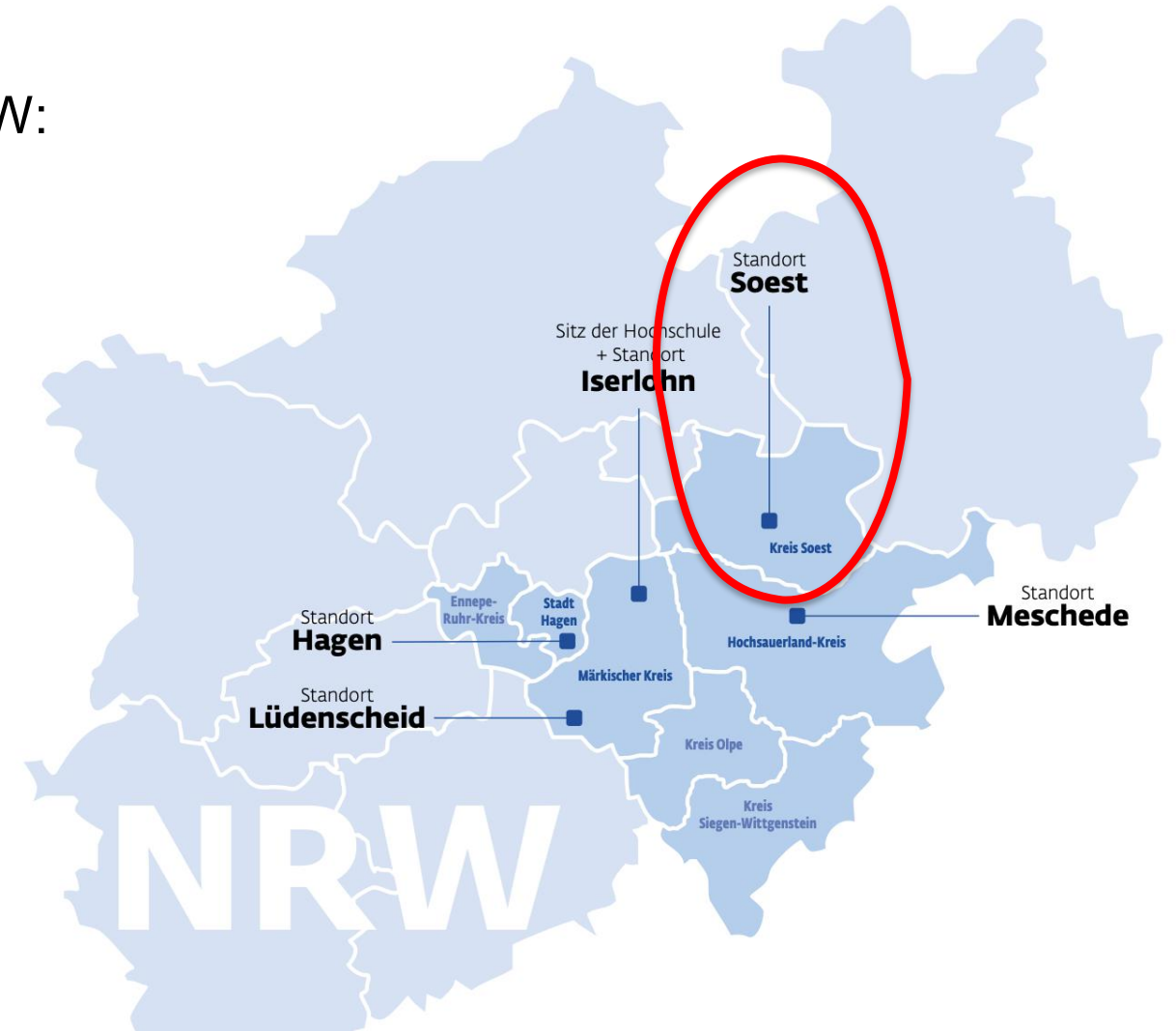
# Fachhochschule Südwestfalen

- Flächenhochschule an fünf Standorten in NRW:

- Soest
- Meschede
- Hagen
- Iserlohn
- Lüdenscheid

- In Summe ca. 12.000 Studierende

- Bachelor- und Masterstudiengänge



# Herausforderungen in Großstädten

- Elektrifizierung der Sektoren **Mobilität und Wärme** in Großstädten bewirkt einen starken Anstieg der erforderlichen elektrischen Leistung im **Innenstadtbereich**
- Gleichzeitig sind die vorhandenen Energiekabel i.d.R. **mehrere Jahrzehnte in Betrieb** und für andere Lasten und Lastflüsse konzipiert
- Im Erdreich unter den Straßen/Gehwegen **liegen bereits sehr viele Leitungen** für die verschiedensten Medien (Gas, Fernwärme, Wasser, Abwasser, andere Energiekabel...)
- Einige davon **beeinflussen ihre Umgebung** durch thermische Emissionen oder Magnetfelder
- Zusätzlich machen **vorhandene Infrastrukturen** (U-Bahn, Tunnel, Flüsse, Kanäle etc.) ein Legen neuer Energiekabel im Stadtbereich nicht leichter



In München soll vor diesem Hintergrund eine 500 MVA-Verbindung vom Süden der Stadt in den Norden gebaut werden – das Projekt **SuperLink**

# Technische Optionen, um 500 MVA auf 110 kV quer durch eine Großstadt zu bringen

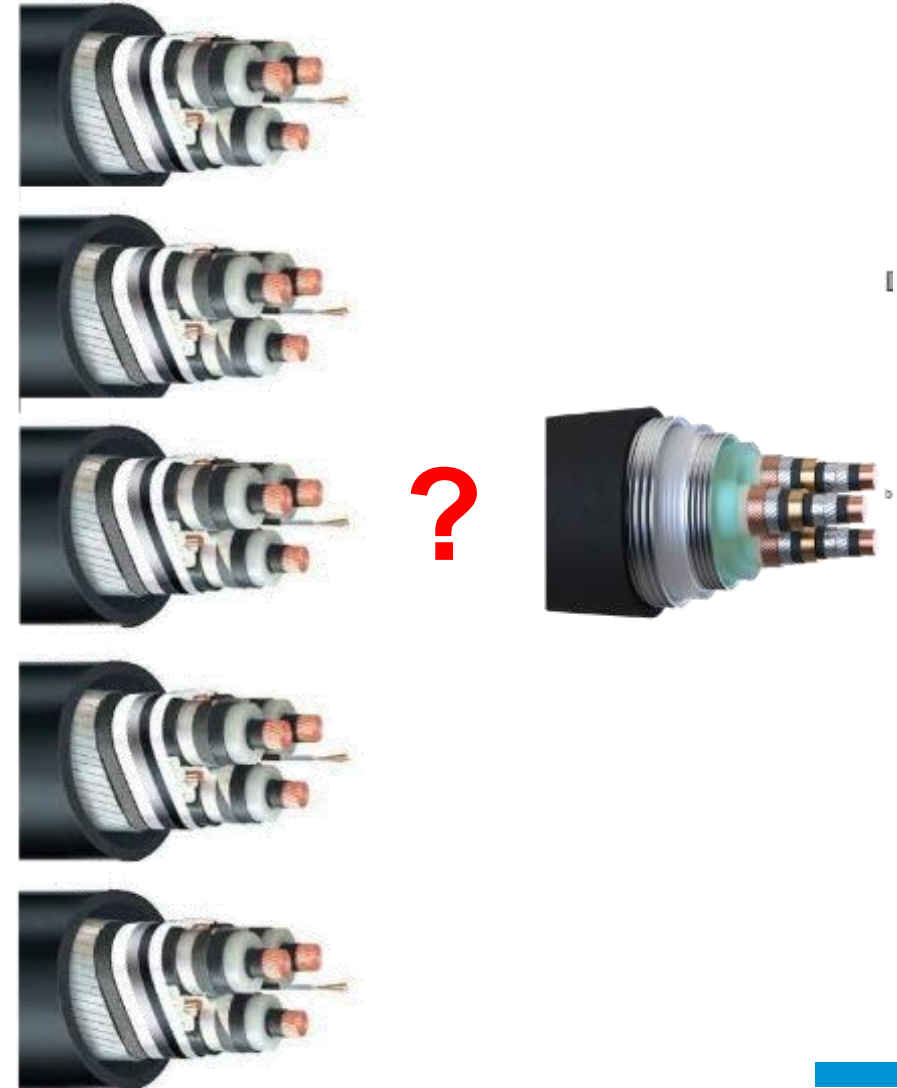
## Kriterien

1. Realisierbarkeit / Durchführbarkeit
2. Investitionen (Capex)
3. Operative Kosten (Opex)
4. Verlustenergie / Effizienz (v.a. CO<sub>2</sub>-Belastung)
5. Gesellschaftliche Akzeptanz (Verkehrsbeeinträchtigung, Magnetfelder, Thermische Außenwirkung)

# Standardlösung versus Supraleitung

Wie so oft, gibt es mehrere  
Möglichkeiten das Problem zu lösen.

Hier kommen jedoch nur zwei in die  
engere Wahl:





# Projektpartner



- Auftraggeber
- Kabelspezifikation
- Testbetrieb



- Kabel- und Garniturenentwicklung
- Konstruktion und Typtest
- Installation Testkabel



- Bandleiterentwicklung
- Bandleiterherstellung
- Test und Qualifikation



- Auswahl Kühltechnik
- Neue Kühlkonzepte
- Testanlage



- Festigkeitsuntersuchung
- Künstliche Alterung
- Lebensdaueruntersuchung



- Netzsimulation SWM-Netz
- Integration HTS-Kabel
- Lastszenarien

Gefördert durch:

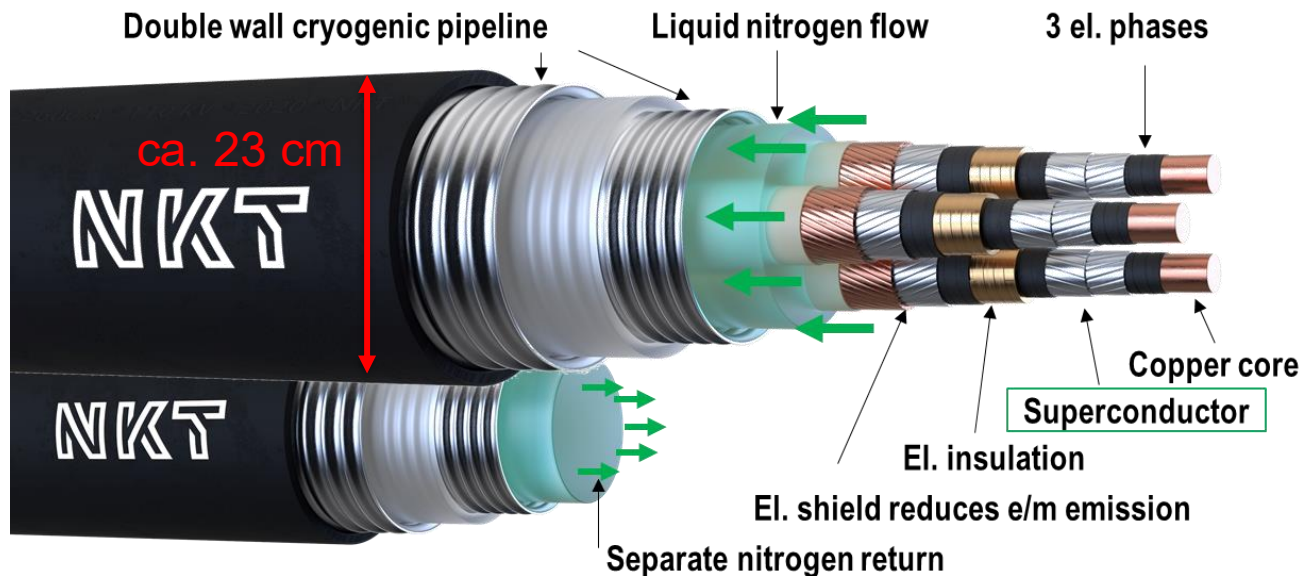


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

# DAS SUPERLINK KABEL

# Das SuperLink-Kabel

- Drei-Einleiter-Design (ein Kryostat)
- HTS-Bänder (2te Generation)
- Option: separate Rückleitung für flüssigen Stickstoff
- Supraleitender Schirm

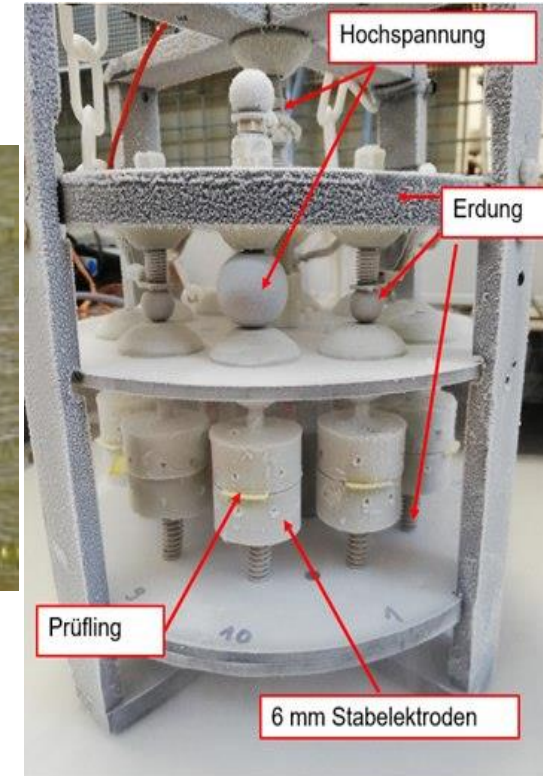


- **Leistung 500 MVA @ Spannungsebene 110 kV**  
→  $2.6 \text{ kA}_{\text{rms}}$  ( $3.7 \text{ kA}_{\text{peak}}$ )
- Kurzschluss tolerantantes Kabel:  
→ **Das Kabel soll einem Kurzschlussstrom von 40 kA für eine Sekunde standhalten**
- Bei dem Ausfall der Kühlung soll das Kabel für eine Dauer von mehreren Stunden so gekühlt bleiben, dass der Supraleitende Zustand aufrechterhalten wird

# Isolierung von Supraleitenden-Kabeln

## Gewickelte und imprägnierte Kabelisolierung

- Kunststoffolie imprägniert mit flüssigem Stickstoff
- Im Tieftemperaturbereich thermische Alterung vernachlässigbar, aber: Schädigung durch Teilentladungen denkbar
  - Untersuchung zur Auswirkung von Teilentladungen auf Festigkeit und Lebensdauer
  - **Sehr hohe Festigkeit der Stickstoff-Folien-Isolierung**
  - Isolierung ist extrem resistent gegen künstlich erzeugte, reproduzierbare TE-Fehlstellen
- Erste Ergebnisse:  
**Alterungseffekte durch TE in betrieblich relevantem Umfang nicht nachweisbar**



## Supraleitendes Kabel

- sehr hohe Übertragungsleistung von 500 MW bei 110 kV
- sehr kompakte, robuste Konstruktion
- ein HTS-Kabel ersetzt ca. fünf konventionelle Kabelsysteme



## Kryostat

- der Kryostat dient zur effizienten thermischen Isolation zwischen flüssigem Stickstoff (ca. -200°C) und der Umgebung
- HTS-Vorteil: kein Wärmeeintrag in die Umgebung



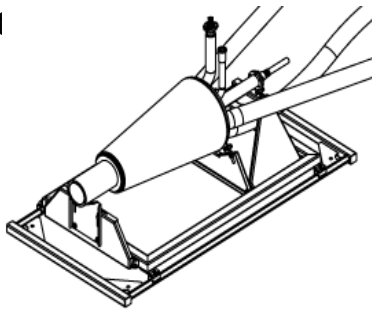
## Verbindungs-muffen

- E-joint: ermöglicht die elektrische Verbindung zweier Kabellängen
- ΔP-joint: dient darüber hinaus der Zuführung von flüssigem Stickstoff in das Kabelsystem



## Aufteilkopf

- der Aufteilkopf ermöglicht den Übergang zwischen kompakter Anordnung der Adern im Kryostaten und notwendigem Phasenabstand für die 110-kV-Endverschlus-anlage



## Endverschlüsse

- Endverschlüsse ermöglichen den Übergang vom Kabel auf die Freiluftschaltanlage
- NKT hat ein neues kompaktes Design für den thermischen Übergang auf Umgebungstemperatur sowie der elektrischen Feldsteuerung entwickelt



## Kühlanlage

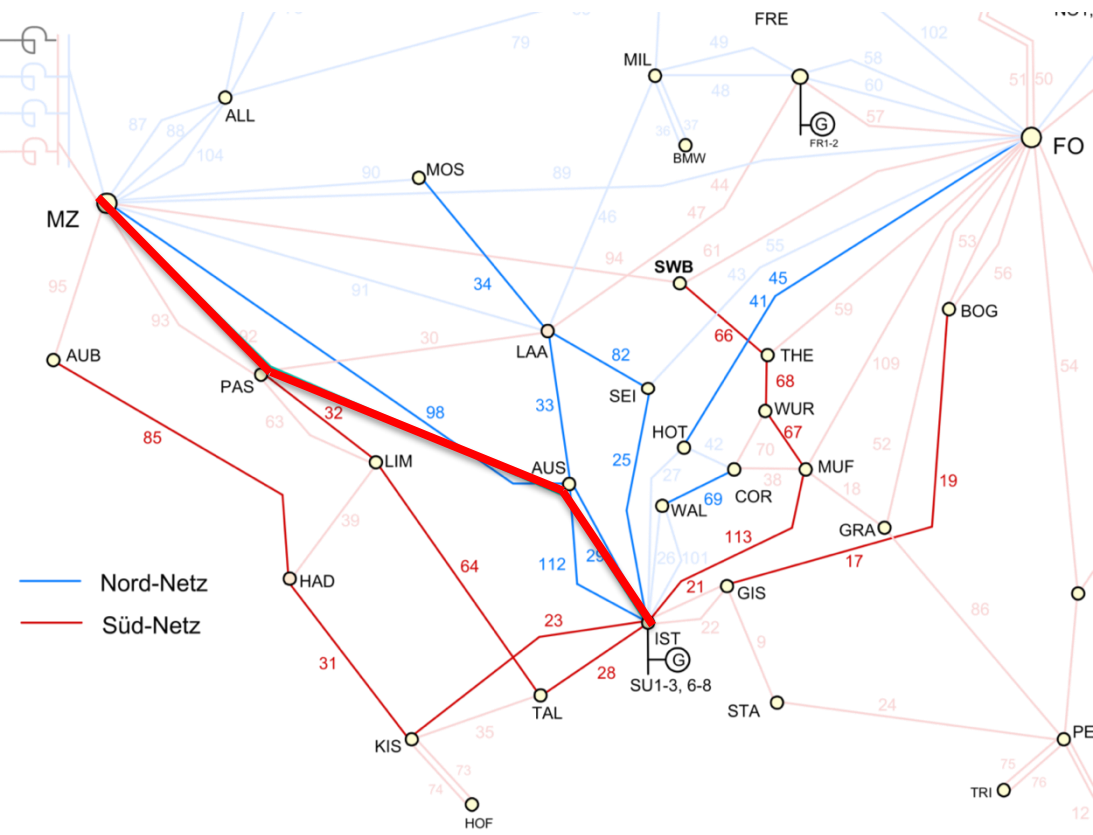
- die Kryokühlanlage sichert das definierte Temperaturniveau im Kabelsystem
- für den Demobetrieb wurde eine temporäre Sonderlösung aufgebaut



# EINFLUSS AUF DAS BESTEHENDE 110-KV-KABELNETZ

# Entlastung alter Kabelsysteme

Auswirkungen des HTS-Kabels auf das bestehende Netz



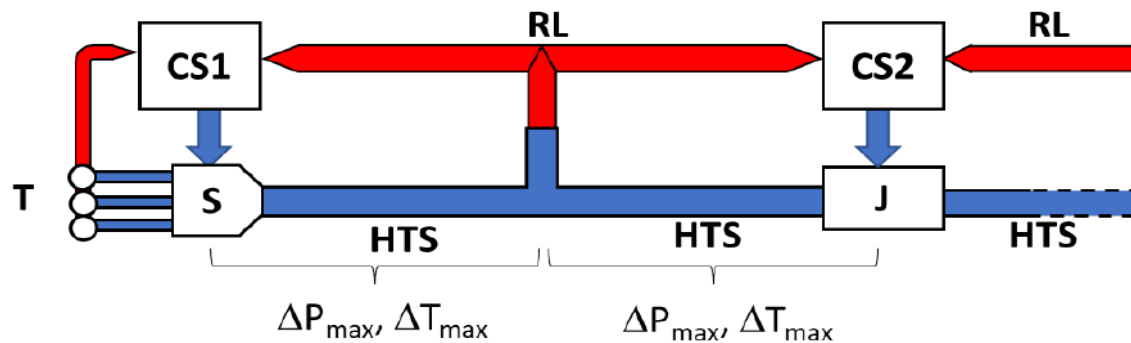
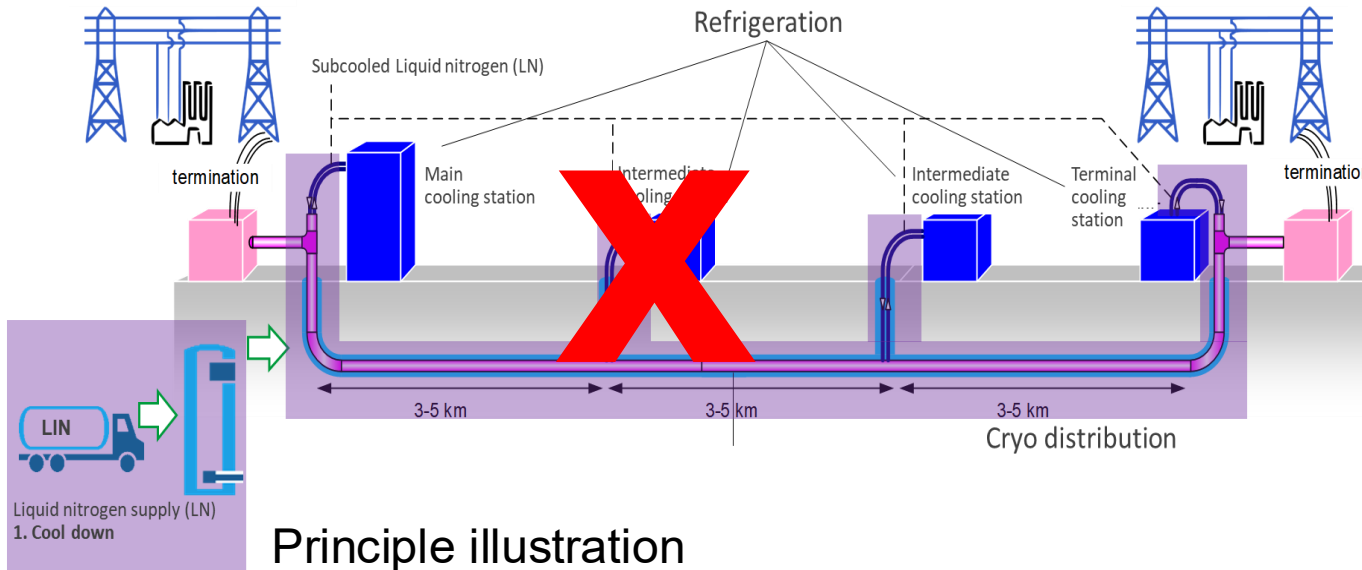
## Auswirkungen Einbau Superlink:

- **Entlastung** benachbarter (älterer Kabelstrecken) um bis zu **40%**
- Reduzierte Belastung **verlängert die Lebensdauer** der älteren Kabel im Netz (mehr Zeit für Austausch)
- Verringerung der gesamten **Netzverluste um 15-20%**
- **Keine negativen Auswirkungen** hinsichtlich Kurzschlussströme, Spannungsstabilität
- HTS-Kabel ermöglicht **neue Einspeise- und Netzbetriebsszenarien**

# INNOVATIVER KÜHLKREISLAUF

# Kühlung langer Supraleiterkabel

Braucht man an jeder Ecke in der Stadt eine Kühlstation?



## Entwicklung eines optimierten Kühlsystems:

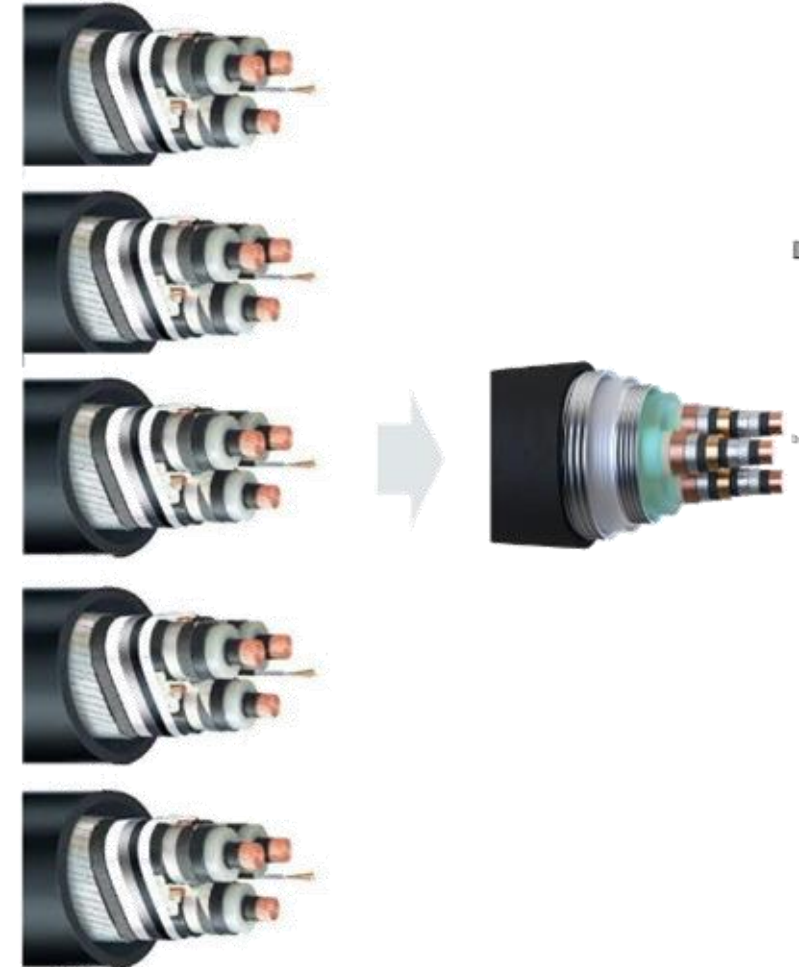
- Ziel: **Eine** Zwischenkühlstation und je eine am Ende
- Haltbare Komponenten (progn. 30 bis 50 Jahre Lebensdauer)
- Wartungsarmes und redundantes System
- **Übertragungsleistung ist mit der Kälte steuerbar!**

**Die Abwärme entsteht an einem Ort und kann energetisch genutzt werden!**

# VORTEILE DES HTS-KABELS

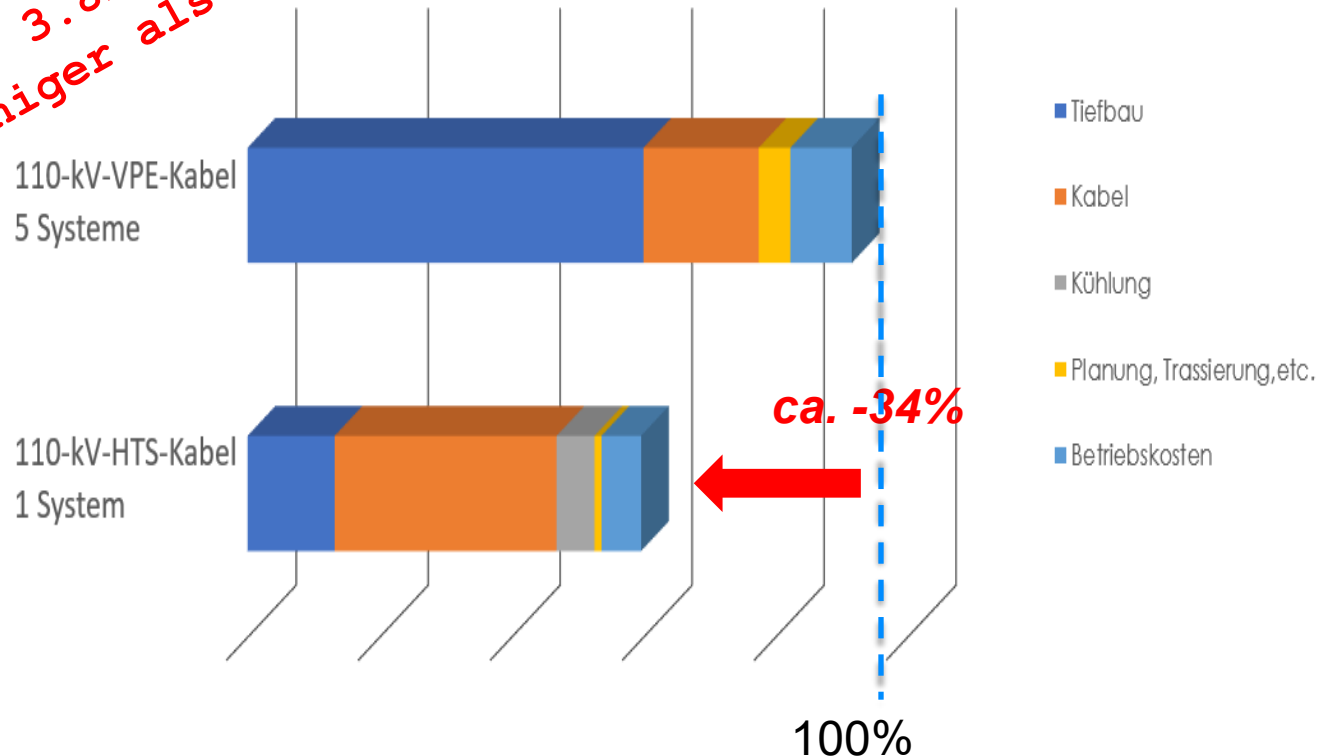
# Vorteile der Supraleitenden Kabel

- Weniger Leitermaterial
  - Weniger Kupfer oder Aluminium
  - Keine seltenen Erden
- Einsparung von mehreren Kabelsystemen
  - Weniger Ressourcenverbrauch
  - Weniger Transport und Logistik
  - Weniger Baustellen **Ist das nicht sehr teuer?**
  - Weniger Tiefbauprobleme
- Keine Emissionen
  - Keine Magnetfelder
  - Keine Bodenerwärmung
  - Kein Abstand erforderlich
- Keine Stromwärme-Verluste
  - Notwendige Kühlenergie geringer als Stromwärme-Verluste
  - Nutzbare Abwärme der Kühlanlagen



# Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

3.820 t CO<sub>2</sub>/a  
weniger als VPE-Lösung



- Zugrunde gelegte Parameter sind nachvollziehbar / anpassbar
- Barwert über 40 Jahre mit 4 % Zinsfuß
- Wesentliche Einsparungen:
  - Tiefbau
  - Betriebskosten
  - Planung und Trassierung
- Zudem:
  - Einsparungen für geringeren Platzbedarf (Schaltanlagen)
  - Geringere Verluste des gesamten Netzes
- Heute: durch Preisentwicklung **größere Einsparungen mit HTS erwartbar!**

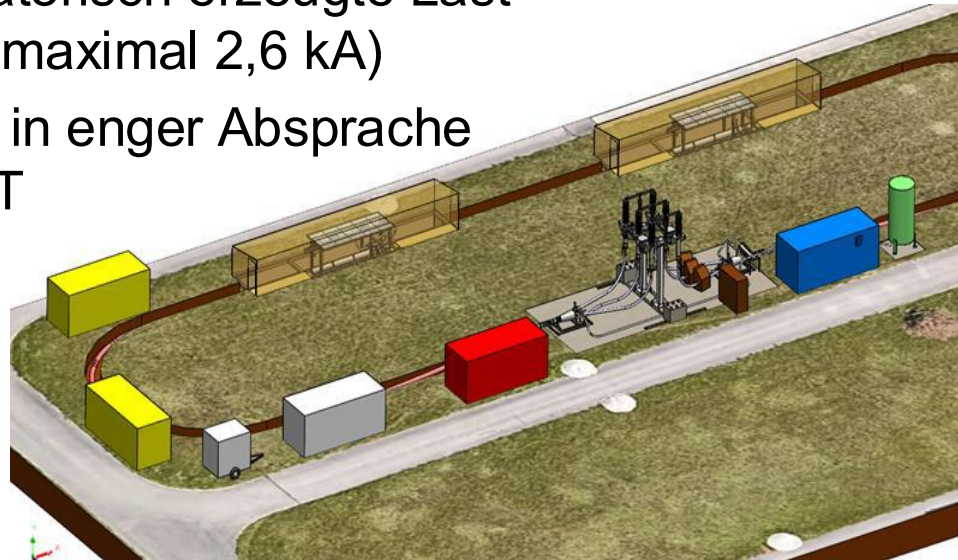
# Entwicklung der Kosten

- Kosten für Energie (Verlustenergie und Kühl-Energie) steigen (*hier profitiert das HTS-Kabel*)
- Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate werden steigen (*hier profitiert das HTS-Kabel*)
- Kosten für Baumaßnahmen insgesamt steigen (*hier profitiert das HTS-Kabel*)
- Kosten für supraleitende Bänder werden sinken (*hier profitiert das HTS-Kabel*)
- Niemand kann die Entwicklung der Kosten heute voraussehen, es spricht aber einiges für diese Entwicklung und damit für HTS-Kabel, vor allem dann, wenn:
  - *der Bauraum knapp ist*
  - *Temperatur eine Rolle spielt*
  - *Gewicht eine Rolle spielt (Tragelemente, Brücken etc.)*
  - *Magnetfelder unerwünscht sind*
  - *die Last hoch sein wird!*

**Dann sind supraleitende  
Energiekabel die bessere  
Alternative**

# Inbetriebnahme der Demostrecke

- Demo-Aufbau in der Schaltanlage Menzing (im Norden von München)
  - 150 Meter Demo mit allen Komponenten
  - Inbetriebnahme erfolgte Oktober 2024
  - Anschluss an das 110-kV-Netz der SWM (Spannungsversorgung)
  - Transformatorisch erzeugte Last (Strom bis maximal 2,6 kA)
  - Lastzyklen in enger Absprache SWM / NKT
  - Dauer ca. 6 Monate



## Münchens SuperLink: Weltweit erster Prototyp eines Hochspannungssupraleiters in Betrieb

(10.10.2024) „Können Sie sich vorstellen, mit dieser Technik die Stromversorgung einer Stadt wie München sicher zu stellen? Darüber müsste man mal nachdenken.“ Mit diesem Dialog begannen im Jahr 2016 die Überlegungen, einen 110.000-Volt-Supraleiter für München zu bauen – den SuperLink.

Gemeinsam mit den Projektpartnern NKT (Köln), Theva (Ismaning), Linde (München), dem Karlsruhe Institute of Technology und der Fachhochschule Südwestfalen hat der Netzbetreiber SWM Infrastruktur einen Supraleiter entwickelt, getestet und im Münchner Stromnetz eingebaut. Gefördert wird das Forschungsvorhaben im Auftrag der Bundesregierung durch den Projektträger Jülich.

Jetzt konnte der Prototyp erfolgreich im SWM Hauptumspannwerk Menzing in Betrieb genommen werden – als der weltweit erste Hochspannungssupraleiter, der alle Komponenten enthält, die für eine Langstreckenverlegung innerhalb einer Großstadt sowie über Land erforderlich sind.



Gemeinsames Startsignal für den Probetrieb des SuperLink (v.l.):

Prof. Robert Bach, FH Südwestfalen,  
Helge-Uve Braun, Technischer SWM Geschäftsführer,  
Michael Hjorth, NKT,  
Ralf Egen, Projektträger Jülich,  
Dr. Werner Prusseit, Geschäftsführer Theva,  
Anders Jensen NKT,  
Lukas Sidler, NKT,  
Klaus Ohlig, Linde

Foto: Vauel

# Demoprojekt erfolgreich abgeschlossen

- Erprobung eines 150-Meter Kabelsystems mit Lastwechseln und maximaler Leistung unter realen Netzbedingungen
- **Projekt in 2025 erfolgreich abgeschlossen**



# Fazit

- Supraleitende Kabel bieten **erhebliche technische Vorteile** für die Versorgung von Großstädten, wo Bauraum knapp und Gewicht sowie Beeinflussung ein Thema ist
- Supraleitende Kabel sind **gut erprobt**: seit 24 Jahren werden Pilotprojekte mit supraleitenden Kabeln (siehe auch AMPACITY) erfolgreich durchgeführt
- Supraleitende Kabel sind immer dann **wirtschaftlich**, wenn große Mengen elektrischer Energie mit kleinem Querschnitt transportiert und verteilt werden müssen
- Supraleitende Kabel helfen, die **Belastung bestehender, gealterter Kabelanlagen signifikant zu reduzieren**, den Austausch zu verzögern und **Verlustenergie einzusparen**
- Supraleitende Kabel können einen großen **Beitrag zur Energiewende** in Ballungszentren leisten
- Supraleitende Kabel sind **nachhaltiger**

# Wie geht es weiter?

- Bau des 15-km-SuperLink rückt in greifbare Nähe
- Ein wirklicher Meilenstein der Energiekabelgeschichte
- Damit wäre dann eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg supraleitender Energiekabel erfüllt

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

