

Herausforderungen beim Einsatz eines 500-MVA-HTS- Kabels in München

ZIEHL VII Berlin 2020

Die Hochschule für die Region Südwestfalen



Fachhochschule Südwestfalen

Eine Hochschule - fünf Standorte



Hagen

Elektro- &
Informations-
technik

Technische
Betriebswirtschaft

2.861
Studierende



Iserlohn

Informatik & Natur-
wissenschaften

Maschinenbau

2.721
Studierende



Meschede

Ingenieur- und
Wirtschafts-
wissenschaften

4.945
Studierende



Soest

Agrarwirtschaft

Elektrische
Energietechnik

Maschinenbau-
Automatisierungs-
technik

Frühpädagogik

3.245
Studierende



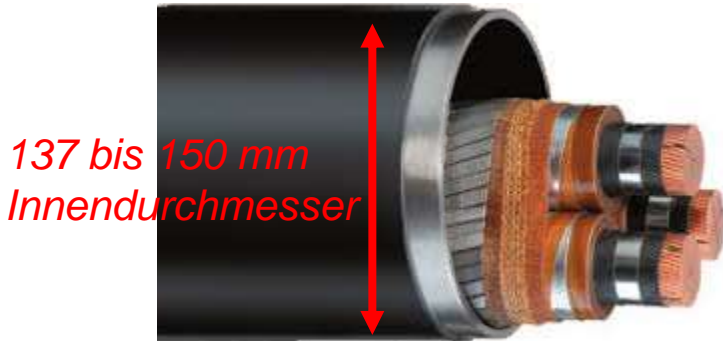
Lüdenscheid

Medizintechnik

Stand: Wintersemester 2017/2018

Geht das?

Besteht die Möglichkeit, ein 500-MW-HTS-Kabel in ein Stahlrohr einer GAD-Kabelanlage einzuziehen?



Welche Design ist dafür optimal? Triax- oder Drei-Einleiter-Kabel?

Welche weiteren Konstruktionsmerkmale sind wichtig?

Spannungsebene?

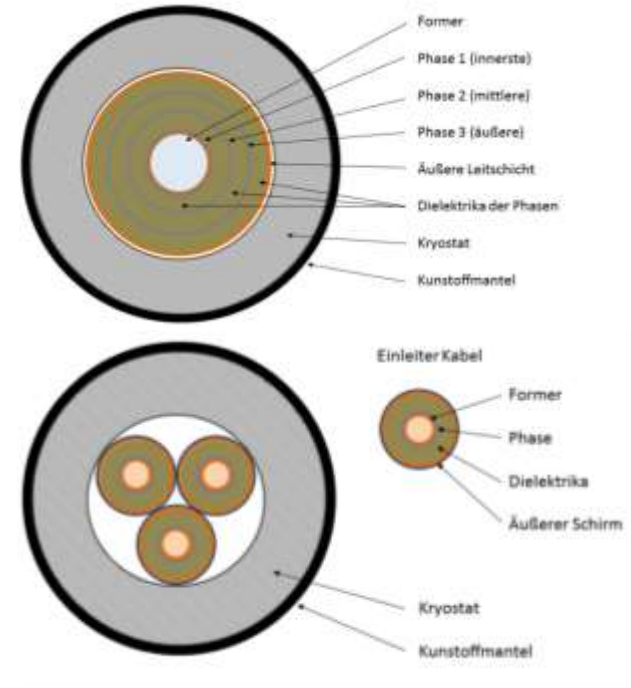
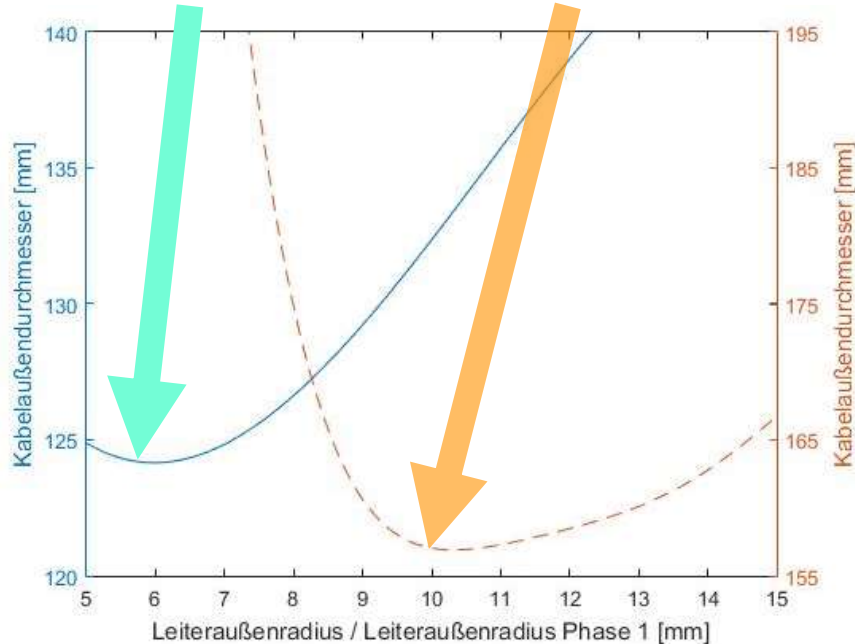
Ist das bezahlbar?

Klärung einiger Fragen im Vorfeld durch vereinfachte Simulation:

- Welches Design benötigt weniger Querschnitt (Abstands-/ Krümmungseffekt)?
- Welcher Durchmesser des Innenleiters wäre optimal für einen geringen Außendurchmesser?
- Ist ein HTS-Schirm hilfreich, notwendig?
- Welche Alternativen aus dem Standardkabelprogramm kämen in Frage?
- Kann auf Basis der verfügbaren Informationen ein Kostenvergleich (Capex und Opex) angestellt werden?

Optimale HTS-Kabel-Geometrie: eine Abschätzung

■ Drei-Einleiter-Kabel vs. Triaxialkabel:



- *Kompakterer Aufbau des Drei-Einleiter-Kabels*
- *Retrofit-Lösung hier voraussichtlich nur mit Drei-Einleiter-Aufbau realisierbar*

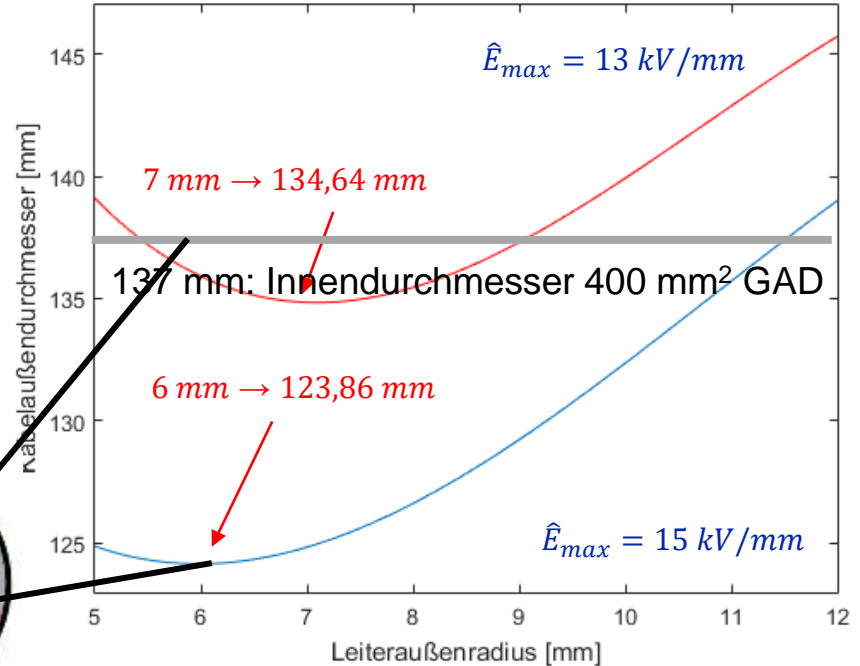
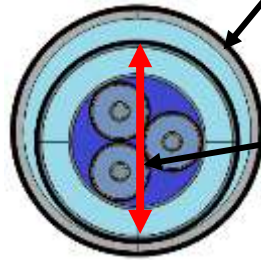
Vorteile des Drei-Einleiter-Kabels

- ✓ **Geringere Abmessungen:** nur Leiter-Erd-Spannung
- ✓ **Bessere Kühlung:** Kühlung der innen gelegenen HTS-Phasen beim Triaxialkabel problematisch
- ✓ **Elektrische Stabilisierung möglich:** Zusätzliche Erhöhung des Triax-Kabeldurchmesser durch elektrische Stabilisierung (Strombegrenzer erforderlich)
- ✓ **Flexibilität:** Hohe Steifigkeit bei dickem, konzentrischem Kabelaufbau
- ✓ **Kosten:** Absolut geringere Anzahl Bandleiter beim Drei-Einleiter-Kabel
- **Kabelaufbau aus drei Einzelphasen in einem Kryostat hier sinnvoller**

Feldstärke zu Kabelaußendurchmesser

Geometrische Optimierung:

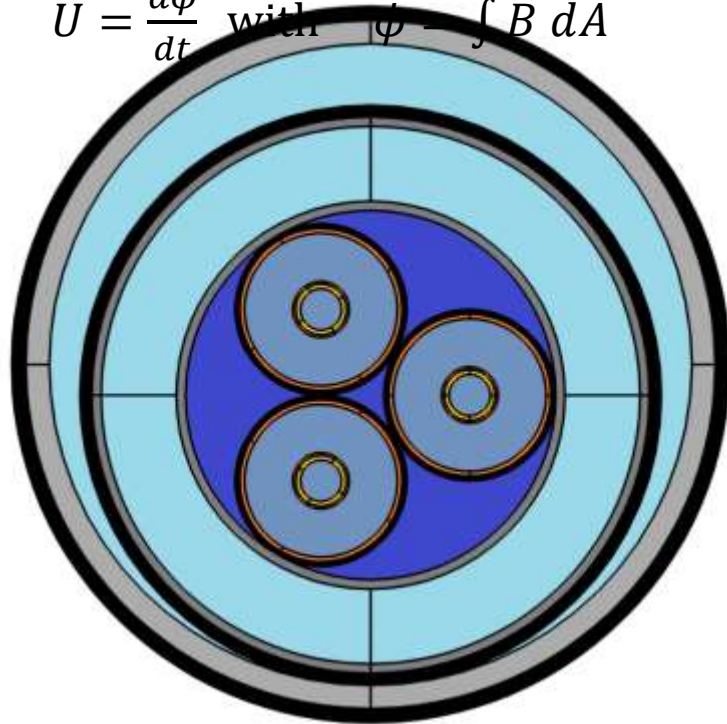
- Elektrische Belastung der Isolierung entscheidend für den Außendurchmesser
- Bei $\hat{E}_{max} = 15 \text{ kV/mm}$ gute Chancen für Einzug in GD-Rohr



- Mit einem innerer Former
mit 6 mm Radius wäre
Einzug grundsätzlich möglich

Magnetfelder: brauchen wir einen HTS-Schirm?

$$H = \frac{I}{2\pi r} \rightarrow U = \frac{d\phi}{dt} \text{ with } \phi = \int \vec{B} d\vec{A}$$



- Phase (Superconductor)
- Inner/ outer conductive layer
- Dielectric (LN2 impregnated)
- Liquid nitrogen (LN2)
- Air/ Vacuum
- Polyamid (PA)
- Cryostat
- Steel pipe

Magnetfelder

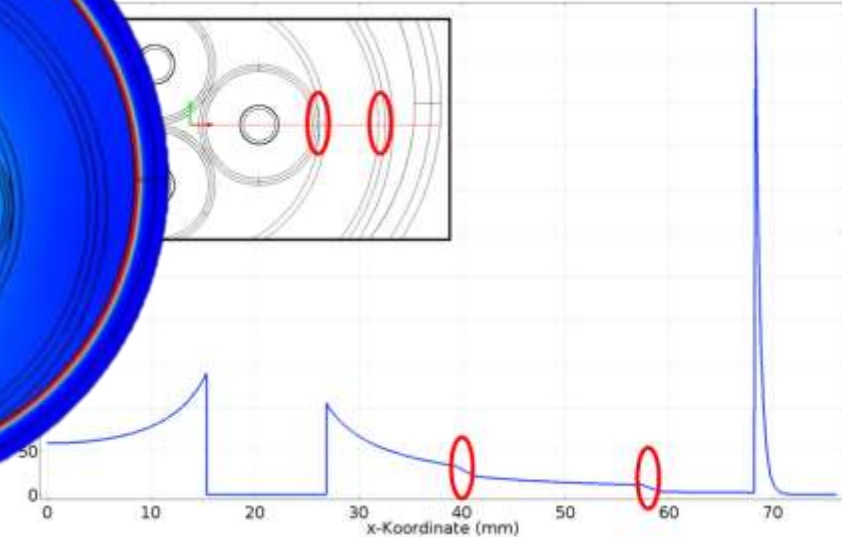
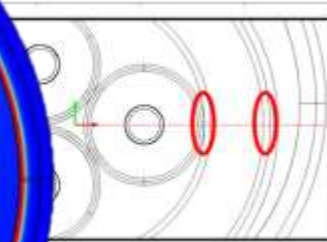
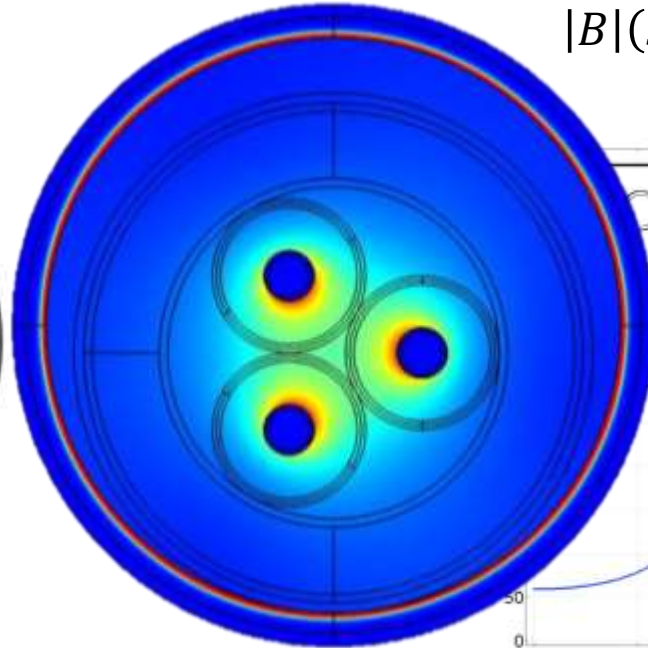
- High permeability of the steel pipe $\mu_r = 2530$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

$$|B|(\text{steel pipe}) = 22,5 \mu T$$

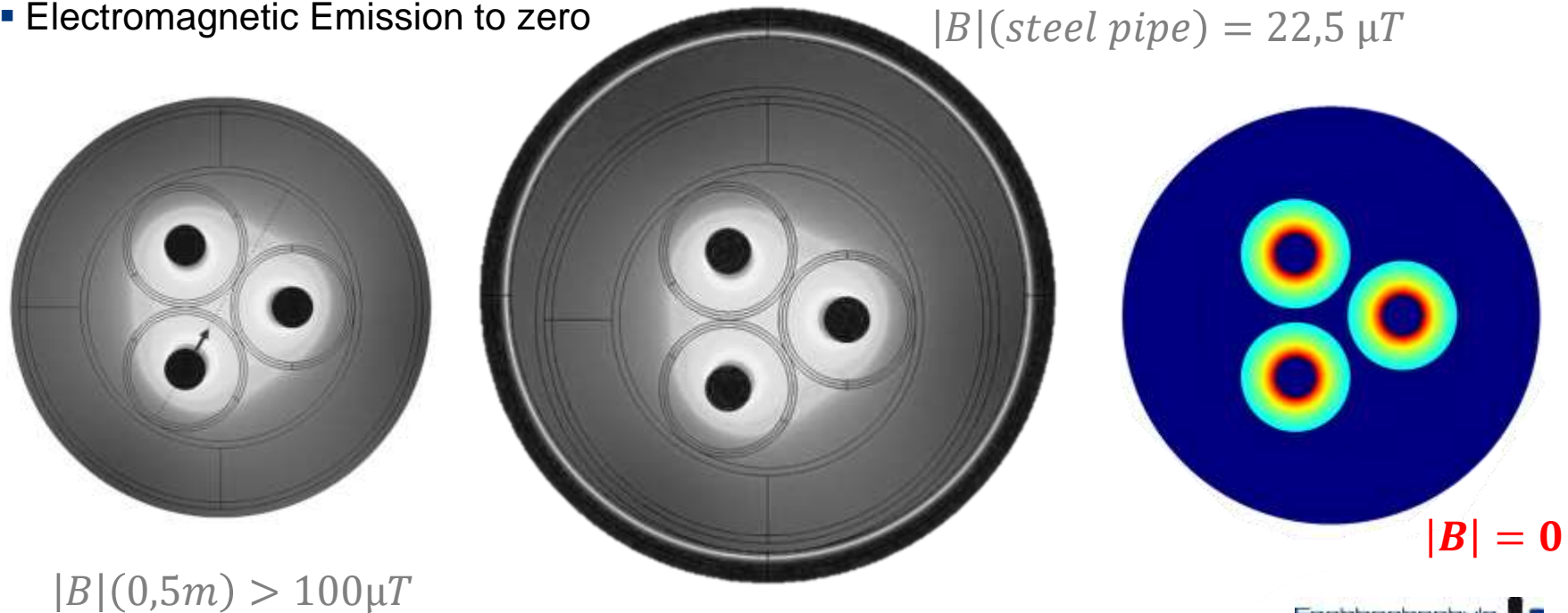


$$|B|(0,5m) > 100 \mu T$$



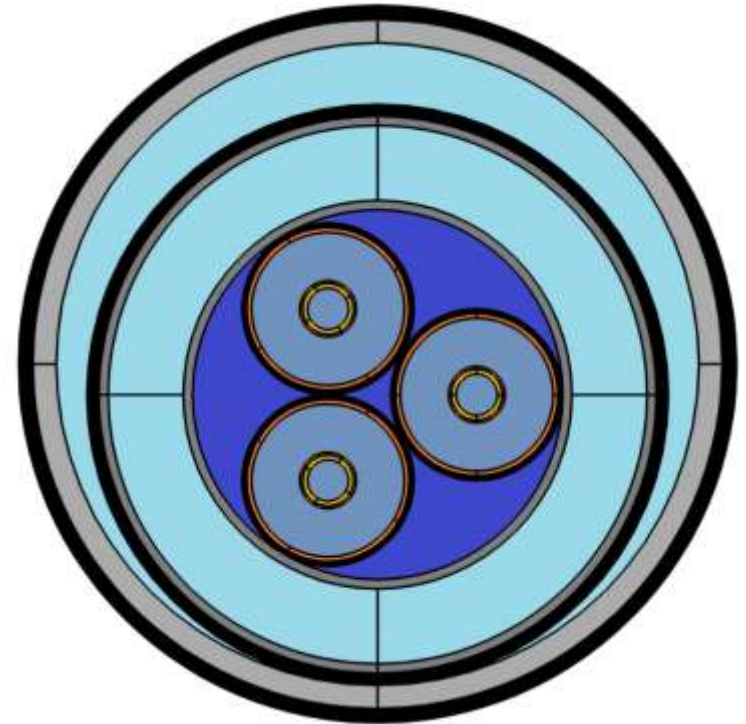
HTS-Schirm aus verschiedenen Gründen hilfreich

- Superconducting shielding decouples the individual magnetic fields
- Maximum flux density reduced
- Electromagnetic Emission to zero



Ergebnisse der Simulation:

- Drei-Einleiter-Kabel in einem Kryostaten
- Zulässige Feldstärke auf Leiteroberfläche
 $\hat{E}_{max} = 15 \text{ kV/mm}$
- Schirm aus HTS-Material
- Kryostat noch nicht optimiert
- **Diese Konstruktion könnte in ein GD-Kabelrohr hinein passen**
(z. B. bei 150 mm *Innendurchmesser* -> Stahlrohr für 630 mm² GAD-Kabel)

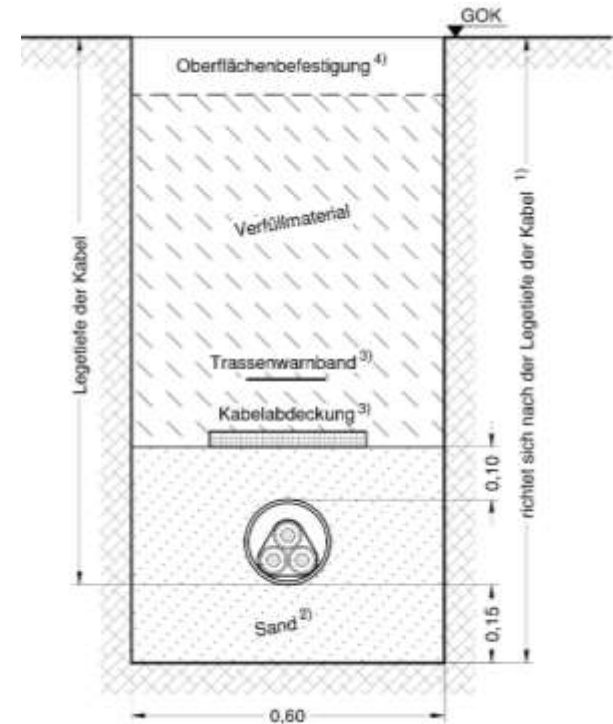


Spannungshöhe und Alternativen zum HTS-Kabel?

Übertragung von 500 MW



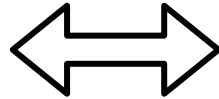
- Annahmen für Kostenabschätzung:
 - Übertragungsfähigkeit 500 MVA
 - $U_{\Delta} = 110 \text{ kV}$
 - Länge rund 12 km
 - Legung quer durch Stadtgebiet
 - Annahme: **keine Verlegung von HTS im Rohr**



Relevante Größen für einen Kostenvergleich

Übertragung von 500 MVA bei 110 kV

▪ VPE: 4 Systeme 1000 mm² Al



▪ HTS: 1 System Drei-Einleiter-Kabel

Wesentliche Punkte (neben Kabel- und Materialkosten):

- Größe der Baumaßnahme (Verkehrsbeeinträchtigung)
- Tiefbau und Oberflächenkosten
 - VPE: 60/120 cm Grabenpreis **750 €/m** bis zu 1.500 €/m
 - HTS: 40/80 cm Grabenpreis **250 €/m** bis 500 €/m (wenn Einzug im Rohr nicht möglich sein sollte)
- Kühlanlagen (Zwischenkühlung)
- Schaltanlagen (Kosten und Platzbedarf)



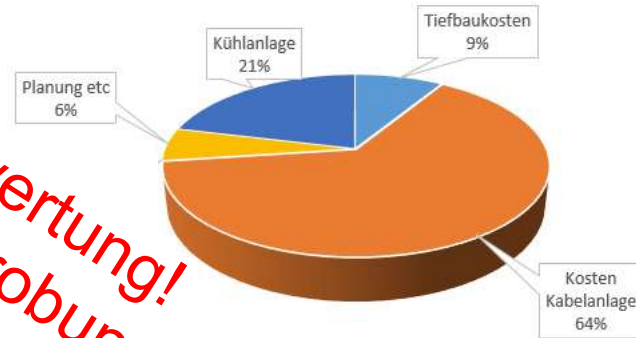
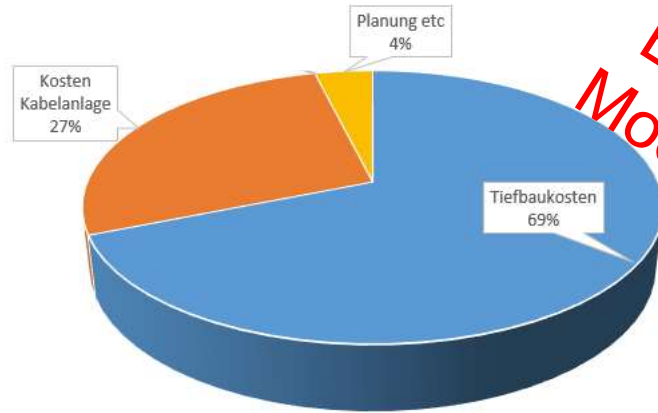
Abschätzung der Investitionskosten

Kostenvergleich CAPEX (erste Abschätzung)

Übertragung von 500 MVA bei 110 kV

- VPE: 4 Systeme 1000 mm² Al

- HTS: 1 System Drei-Einleiter-Kabel



**Erste Auswertung!
Modell in Erprobung!**

Tiefbaukosten sind entscheidende Größe

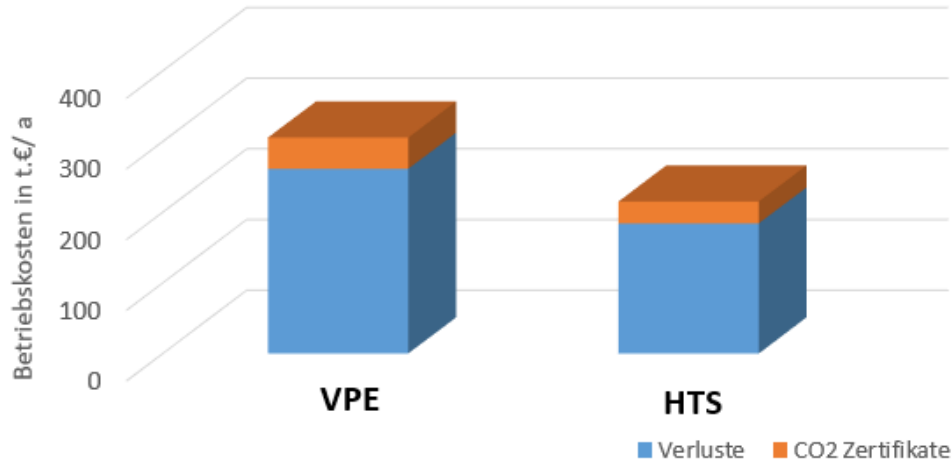
Erste Abschätzung mit folgenden Einschränkungen:

- Ohne Schaltanlagen – käme noch hinzu (teurer für VPE)
- Mittlerer Preis für Tiefbau (höher->teurer für VPE)
- Kein Spezialbauaufwand (HDD) berechnet (würde teurer für VPE)
- Keine Verlegung im GD-Rohr (würde teurer für VPE)
- Ohne Aufwand für Zwischenkühlung (wird teurer für HTS)

CAPEX:

Bei diesen zugrunde gelegten Annahmen wäre hier HTS ca. **25 % bis 30 % günstiger**

Abschätzung OPEX (12 km Strecke)



- Deutscher Strommix (CO₂: 474 g/kWh)
- Akt. Zertifikatspreis **25 €/t**
- Energiekosten: 7 ct/kWh
- Angenommene EVU-Last von 0,7

- Abgeschätztes CO₂-Einsparpotential von ca. 40 % entspricht ca. 600 t. CO₂ pro Jahr

Zunehmende Kosten für CO₂-Zertifikate machen Supraleiter noch günstiger

- Voruntersuchungen lassen den Einzug eines 500-MW-HTS-Kabels in GD-Rohr möglich erscheinen
- HTS-Kabel nach außen vollständig neutral (hohe Akzeptanz - kein Konflikt mit anderen Medien)
- VPE-Kabel in diesem Leistungsbereich in der Innenstadt keine attraktive Alternative:
 1. Umfangreiche raumgreifende Baustellen (starke Beeinträchtigung des öffentlichen Lebens)
 2. Teurer als HTS: Investition und Betrieb!
 3. Mehr Verluste – mehr CO₂