

# Minimierung der Umweltauswirkungen durch Erdkabel

Heiner Brakelmann  
Universität Duisburg-Essen

Forum Netzintegration, Berlin ,06.05.2010



Abb. 2: Ventilgruppe HVDC classic für 500 kV/ 600 MW (Quelle: Siemens)

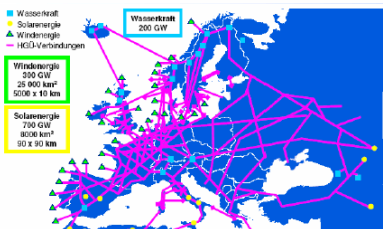
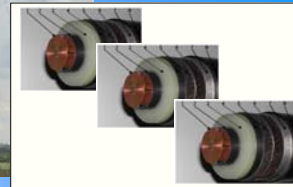


Abb. 1:

Vision eines  
HVDC-  
Overlay-  
Netzes  
  
Quelle: ABB:  
„Übermorgen?  
Scenario  
Europa 20xx  
-Prinzipskizze“  
(Kreisel)



**Studie:**

**Technische Möglichkeiten und Kosten  
transeuropäischer Elektrizitätsnetze  
als Basis einer 100% erneuerbaren Stromversorgung  
in Deutschland mit dem Zeithorizont 2050:**

**Optionen der elektrischen Energie-  
übertragung und des Netzausbaus**

Übermorgen: HVDC VSC mit  $U > 300$  kV  
und verringerten Verlusten ??

**Erforderlicher Netz-Ausbau:**

- Freileitung und/oder Kabel ?
- HVAC oder HVDC ?
- HVDC classic oder VSC
- HVAC 50 Hz oder 16,7 Hz ?

**Drehstrom-Kabeltechnik:**

- neue Möglichkeiten
- Bodenerwärmung
- neue Materialien
- Monitoring
- Kühlung
- Magnetfeld-Schirmung

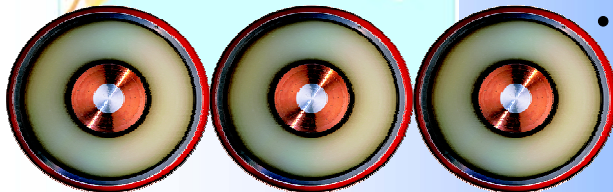
3

**400 kV XLPE Cable Route Copenhagen****Southern Route (first phase)**

- 22 km route length
- 66 km 400 kV XLPE cable
- 72 prefabricated joints
- 9 GIS sealing ends
- 3 outdoor sealing ends
- in service since Oct. 1997

**Northern Route (second phase)**

- 12 km route length
- 36 km 400 kV XLPE cable
- 42 prefabricated joints
- 9 GIS sealing ends
- 3 outdoor sealing ends
- in service since Dec. 1999

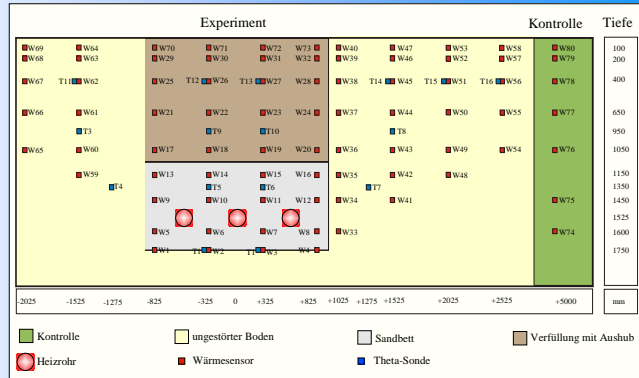


Stand der Technik:  
VPE-Kabel bis  
 $U = 500 \text{ kV}$

4

ETS

University Duisburg-Essen



**Auswirkungen wärmeemittender Hoch- und Höchstspannungskabel auf den Boden**

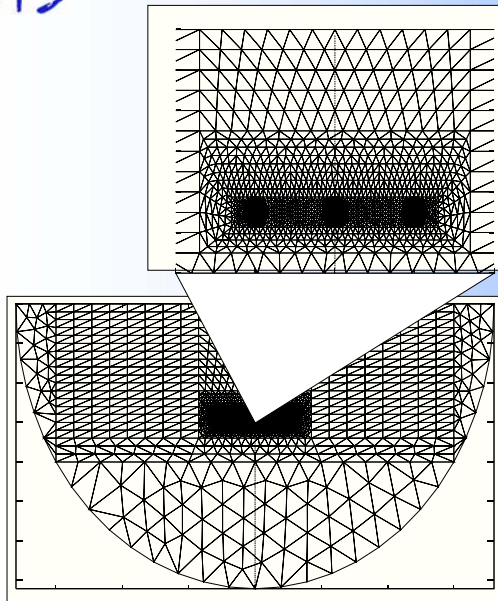
D. Uther  
RWE Transportnetz  
Strom GmbH,  
Dortmund

P. Trüby, E. Aldinger  
Institut für Bodenkunde und  
Waldernährungslehre  
Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg,

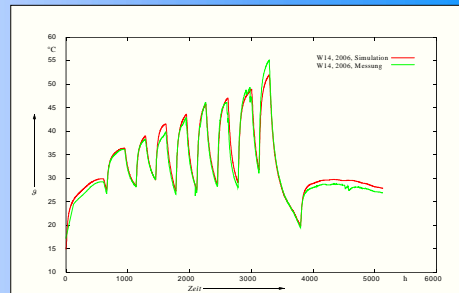
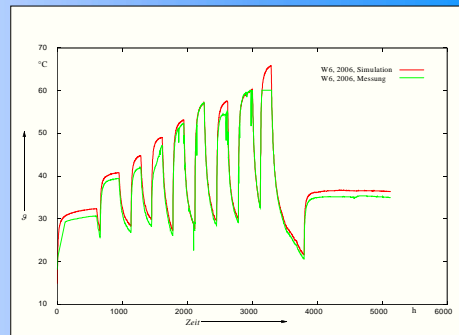
H. Brakelmann, J. Stammen  
Energietransport und -Speicherung  
Universität Duisburg-Essen

ETS

University Duisburg-Essen



FEM-Analyse

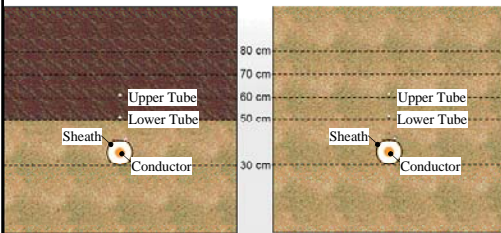
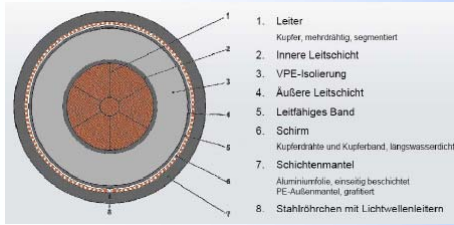


ETS

HEIDELBERGCEMENT

nkt cables

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN



Versuchströge mit Sand/Erde-Füllung (links) und mit Beton-Füllung (rechts)  
 Kabel: 2XS(FL)2Y 1 x 1600 RMS/215+LWL 127/220 kV  
 Mess- und Prognose-System: VALCAP

HEIDELBERGCEMENT

nkt cables

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

University Duisburg-Essen

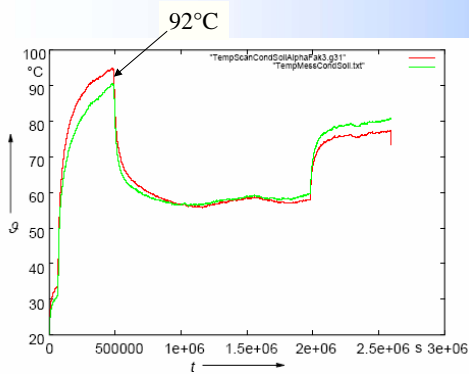


Abb. 2: wie zu Abb. 1; aber: im Sandrog; Wärmeleitfähigkeit -des Sandes 0,4 W/(K m), des Erdreichs 1,2 W/(K m)

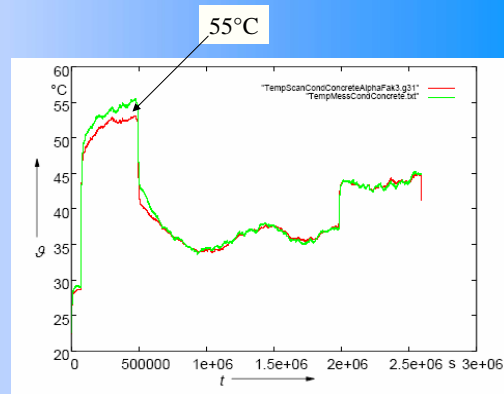
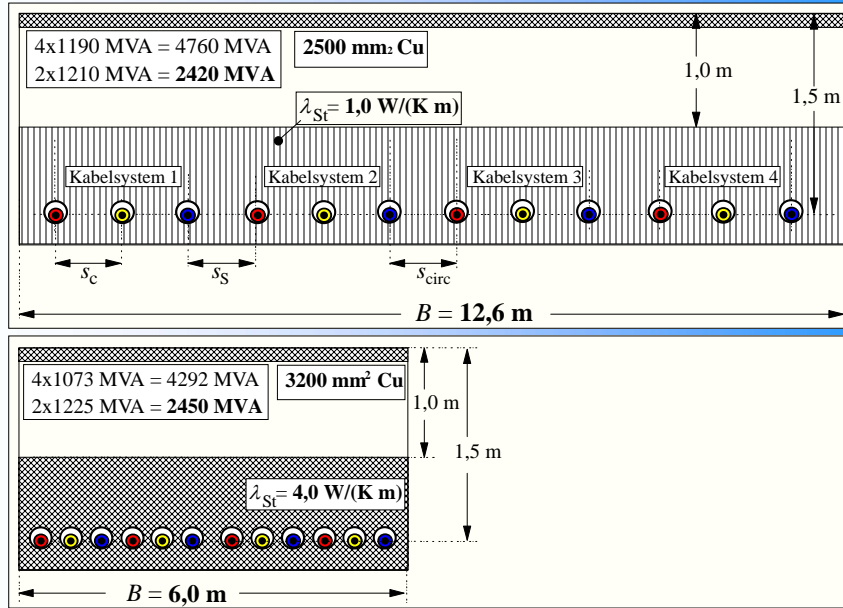


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Leitertemperatur im Betonrog; gemessen (rot) und berechnet (grün); Wärmeleitfähigkeit des Betons 5,4 W/(K m)

Leitertemperaturen: Sand/Erde  
 (grün: gemessen rot: simuliert)

Wärmeleitbeton

ETS



Trassenbreite  $B$  für (n-1)-Belastbarkeit von 2400 MVA

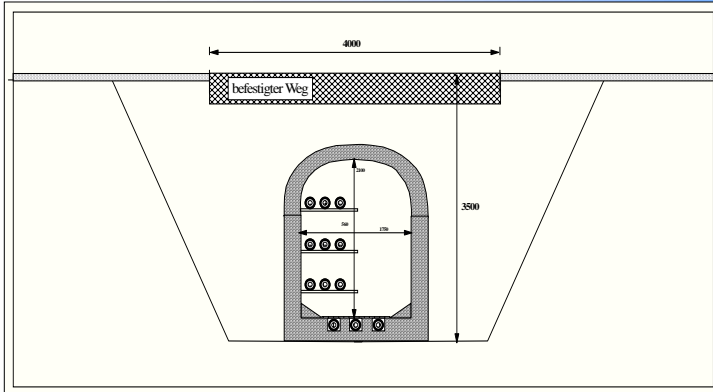
ETS



ETS

University Duisburg-Essen

### Infrastrukturkanal

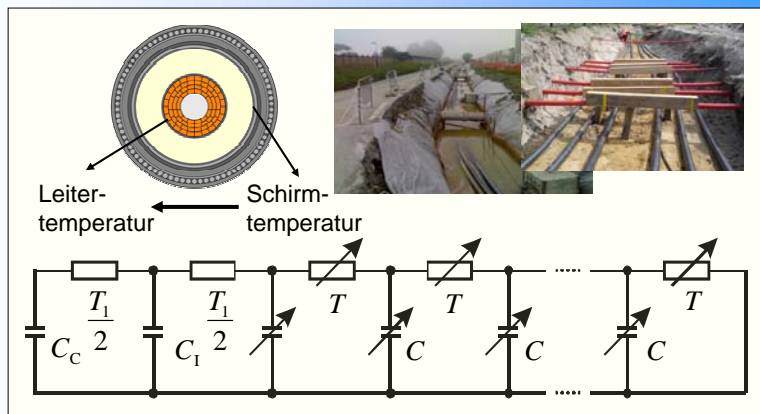
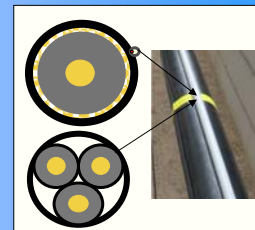
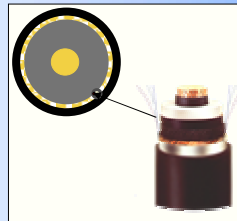
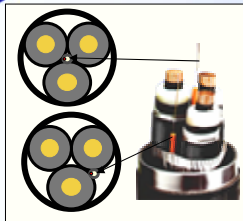


$$\lambda_F = \lambda_{F,intern} !!!$$

11

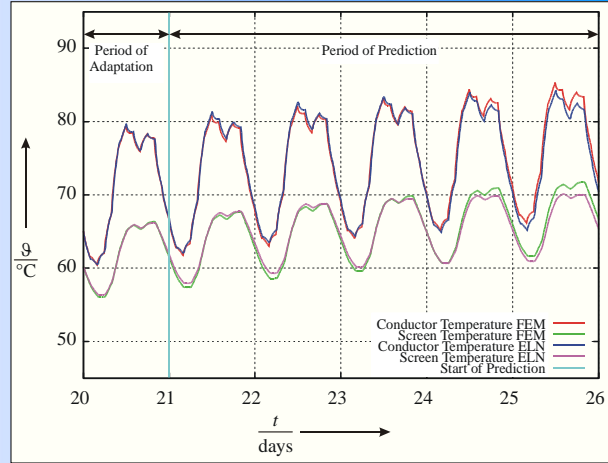
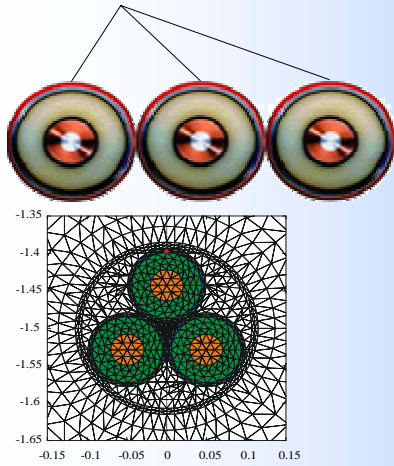
ETS

University Duisburg-Essen

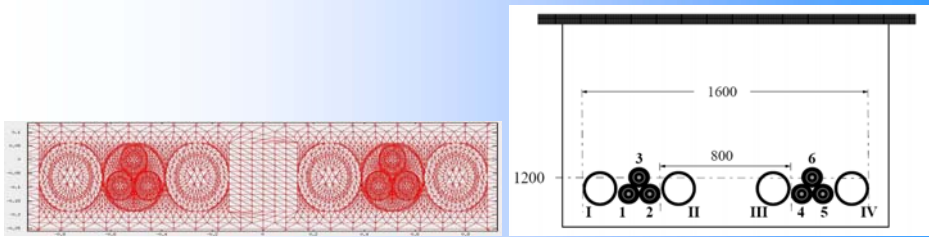


12

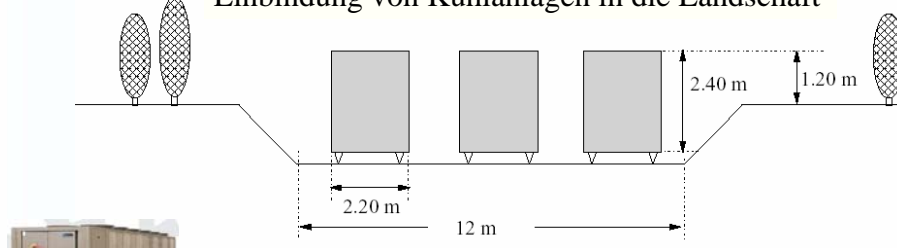
Temperaturerfassung am Schirm (Lichtwellenleiter)



Measured (FEM) and predicted temperatures of screen and conductor by an adaptive monitoring system

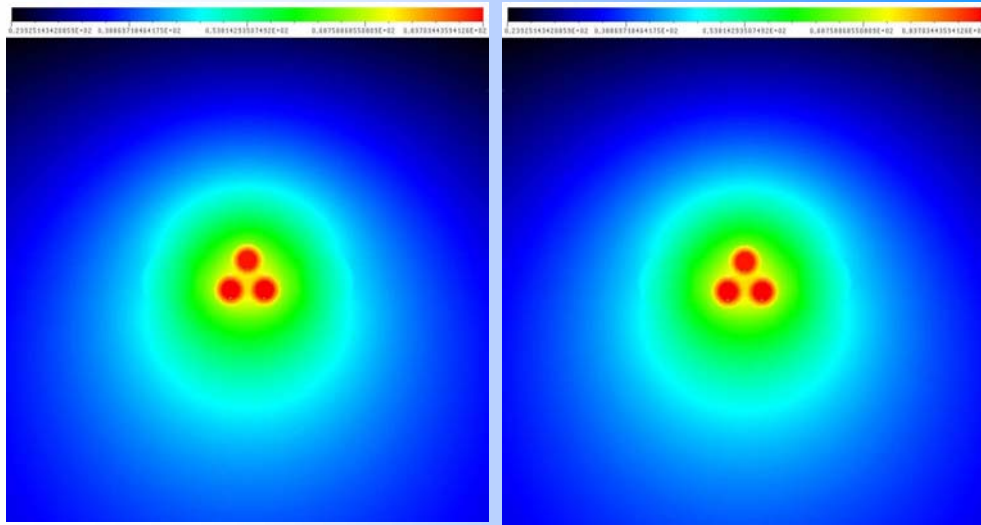


Einbindung von Kühlanlagen in die Landschaft



Kühlstationen-Abstand 20...30 km

ETS

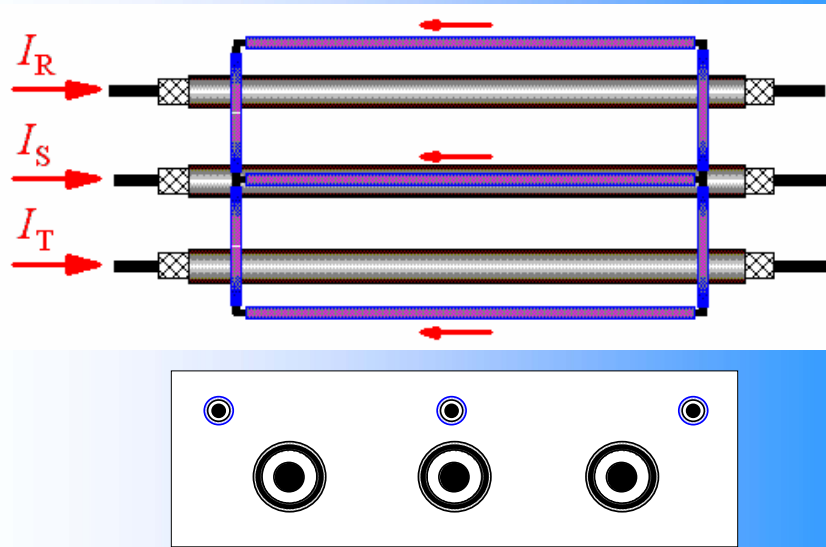


Einschalten der Kühlung über 6 Tage

ETS

Magnetfeld-Schirmung

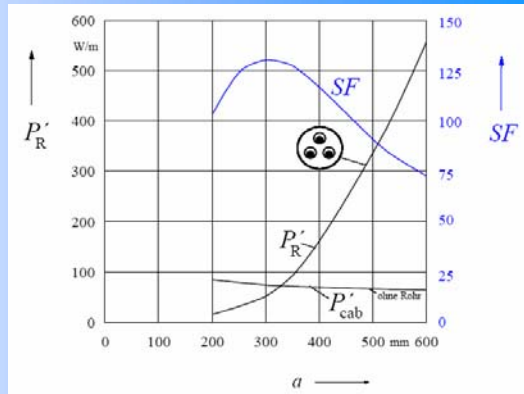
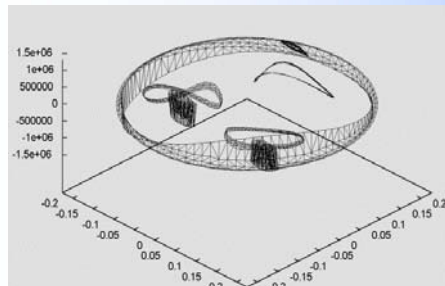
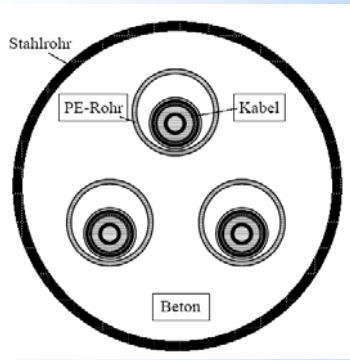
ETS

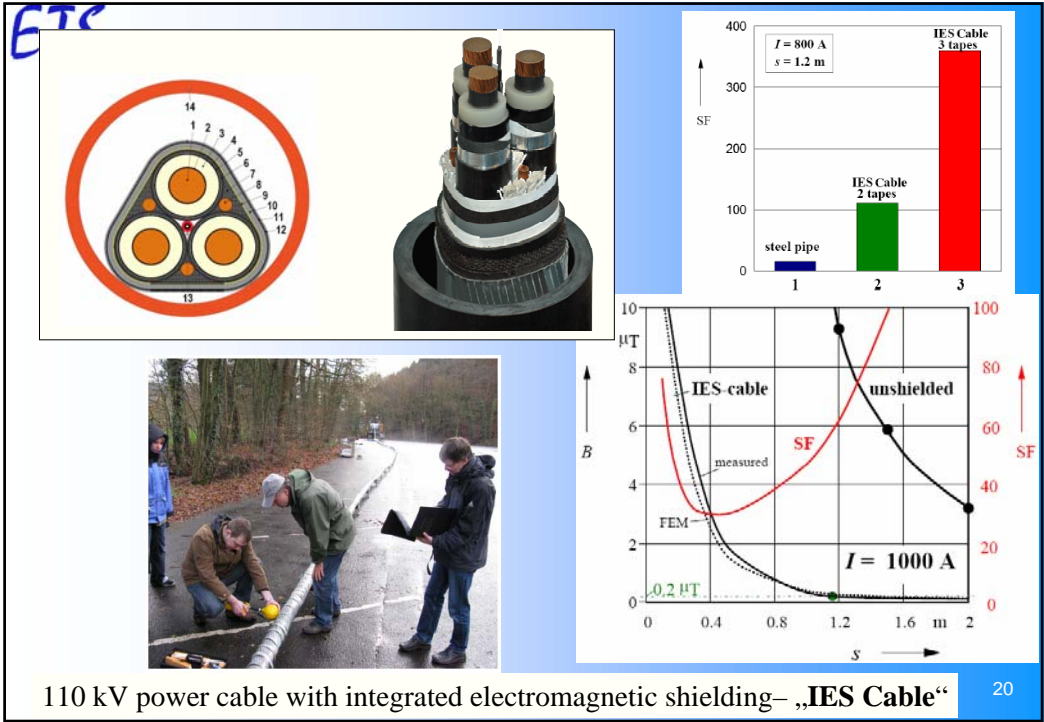


compensation conductor systems: the principal scheme

ETS

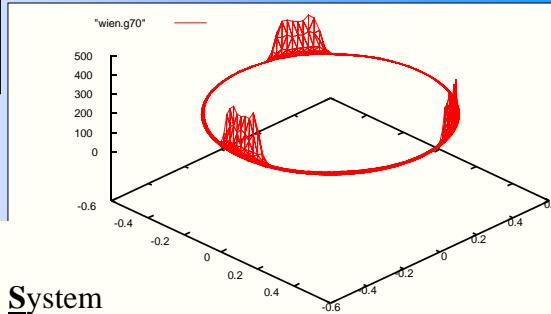
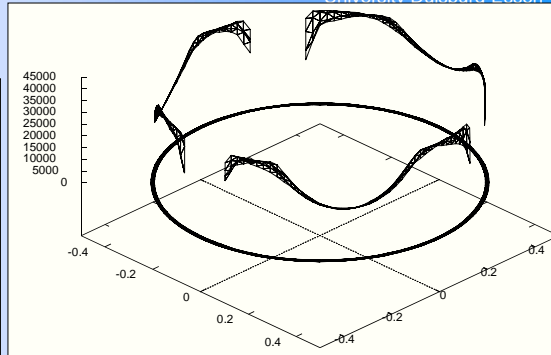
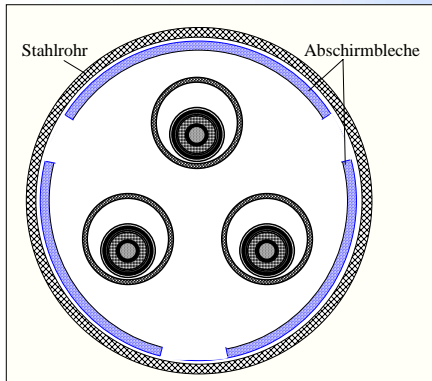
### Stahl-Kapselungen





ETS

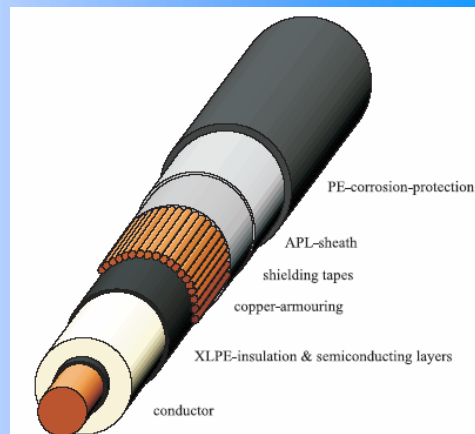
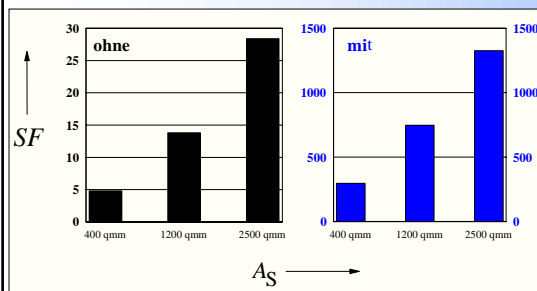
University Duisburg-Essen



Neues Prinzip: **OCSS**  
Optimized Composite Shielding System

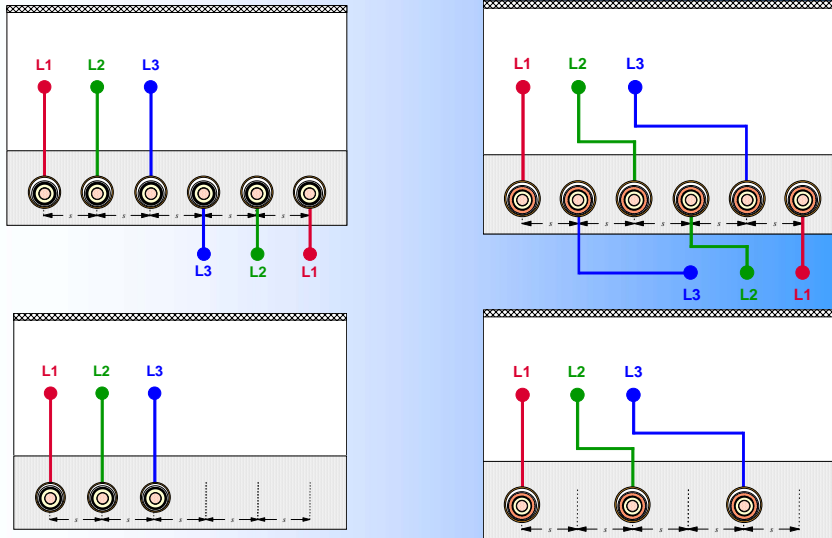
ETS

University Duisburg-Essen



**Koaxialkabel für extreme Schirmfaktoren**

ETS



**Koaxialkabel mit erhöhter Redundanzleistung**

ETS

**Teilverkabeltes Overlay-Netz**

SRU Gutachten

Thyristor-Controlled Series Capacitor (TCSC)

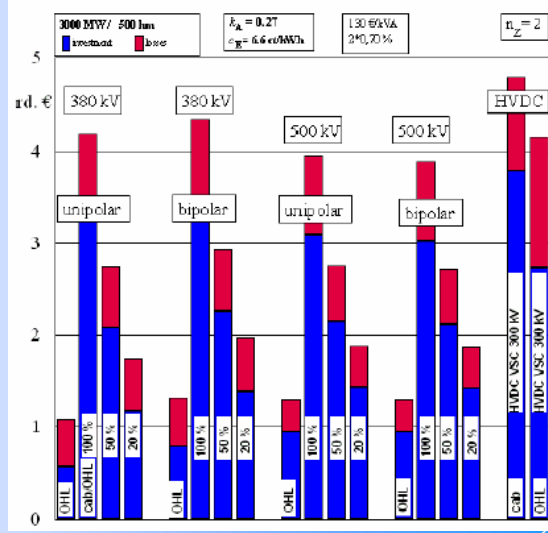
Zusätzlicher Nutzen der Thyristor-Regelung:



- Dynamische Leistungsaufteilung bei parallelen Zweigen
- Verbessertes dynamisches Verhalten, Dämpfung von Leistungspendelungen, dynamische Spannungsstabilität
- Vermeidung subsynchroner Resonanzen



Abb. 12: Geregeltelängskomensation durch TCSC

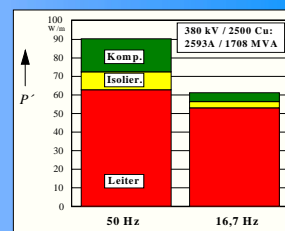
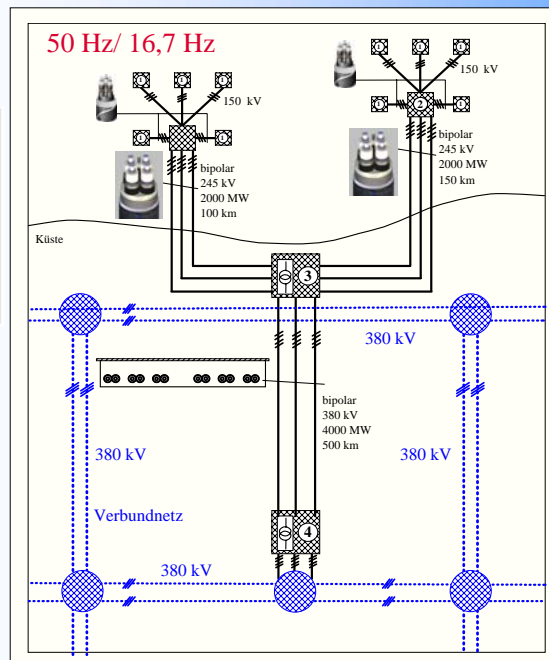


Overlay-Netz

16,7 Hz ?

HVAC  $\geq$  500 kV ?

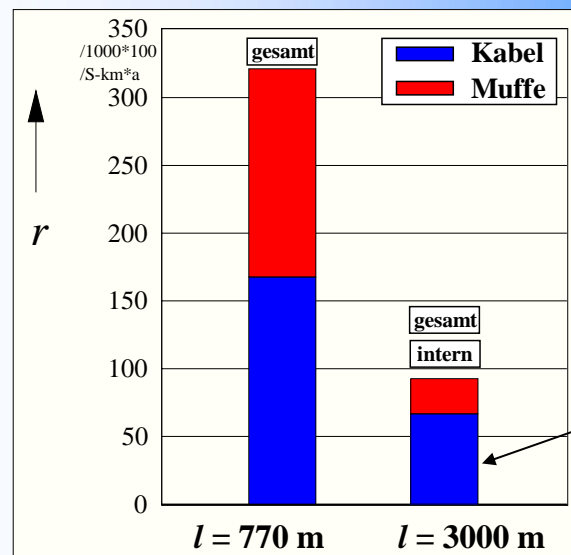
bipolar ?



## Vorteile eines 16,7 Hz -Overlay-Netzes:

- bewährte Drehstromtechnik
- uneingeschränkte Vernetzbarkeit
- 500 kV-Kabel verfügbar
- große Übertragungslängen möglich
- Kabelverluste ähnlich wie HVDC-Kabel
- Regeleigenschaften wie HVDC
- keine zentrale offshore-Umrichteranlage (Verluste entfallen)
- verlustarme Windpark-Verkabelung
- Einspeisung ins DB-Netz möglich
- im Bipolarbetrieb:  $B$  und  $L'$  klein, Redundanzen groß

27


 $U \geq 220 \text{ kV}$ 


28