Energie Zentrum Graz

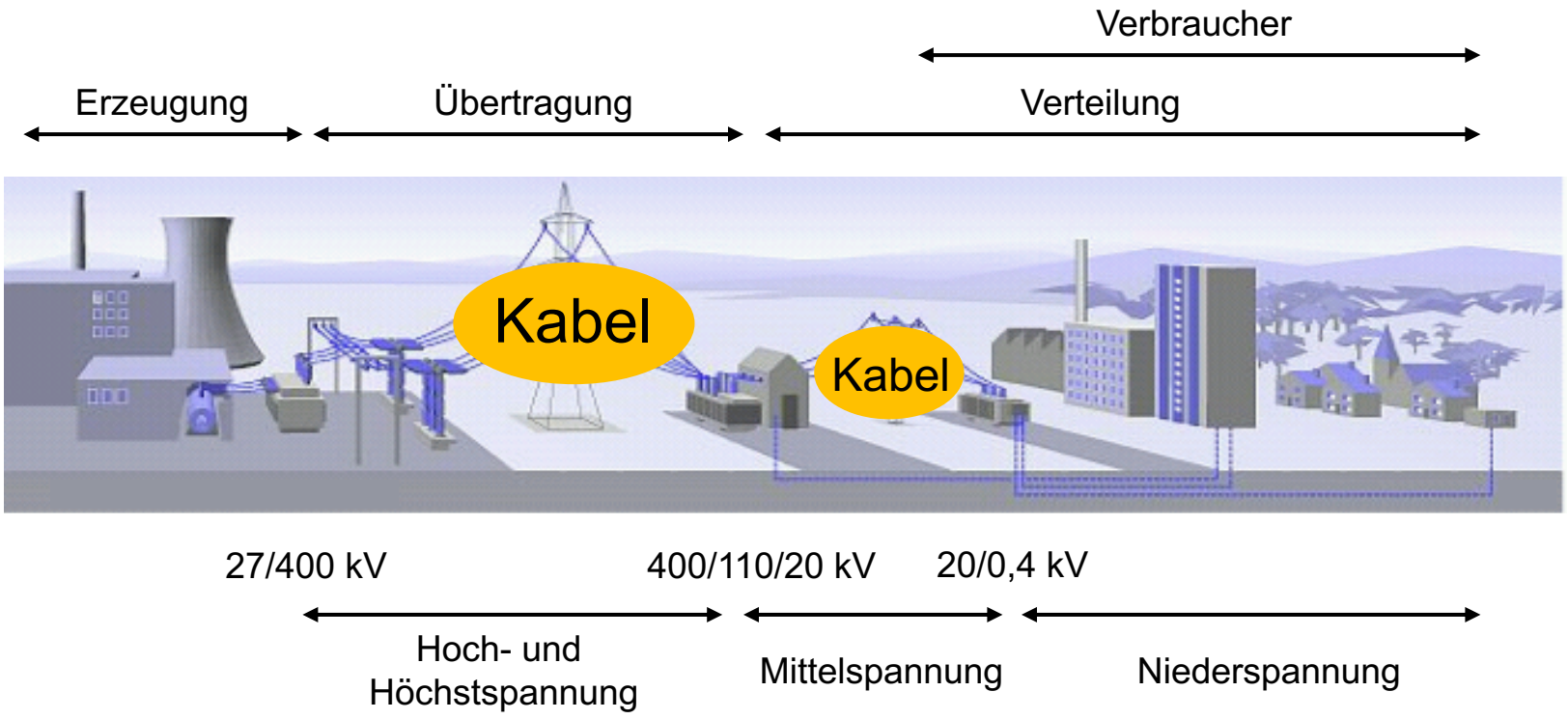
Innovationen beim Einsatz von Hochspannungskabeln im Übertragungsnetz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Schichler
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz

15. Symposium Energieinnovation
Graz, 14.-16.02.18

EnInnov2018
15. Symposium Energieinnovation

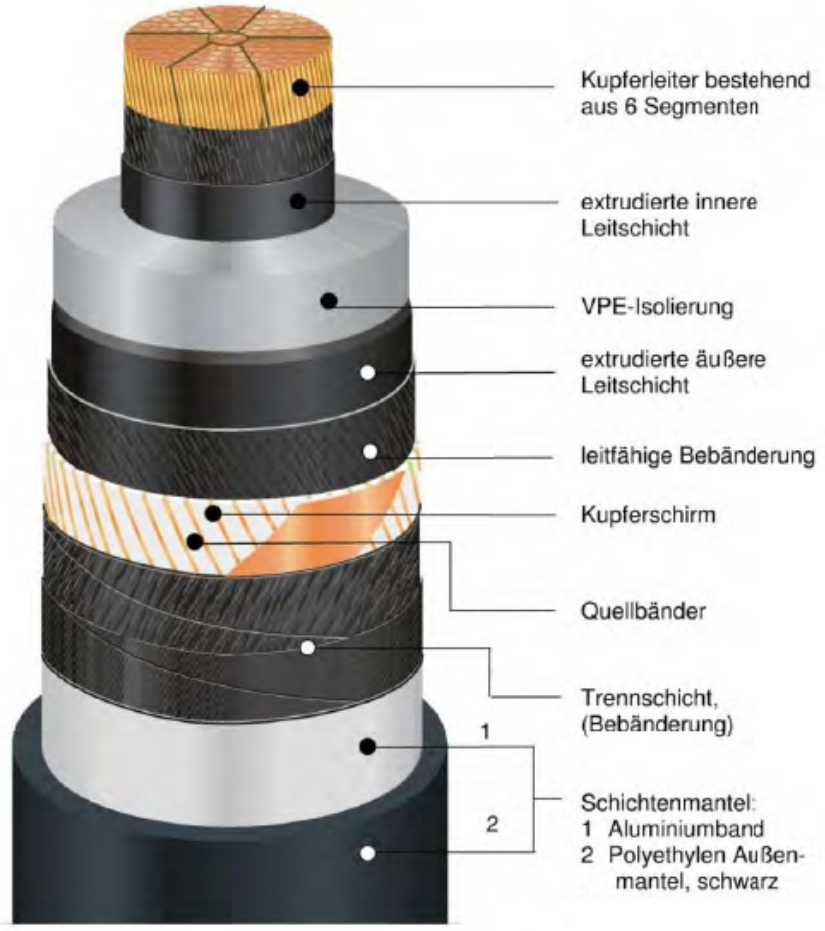
Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)



Extrudierte Kabel

- Übertragung elektrischer Energie im Hochspannungsbereich, hauptsächlich innerhalb von Städten, wenn räumliche oder technische Bedingungen keine Freileitung zulassen
- Verlegung im Erdreich oder in Rohren bzw. im Tunnel (nicht sichtbar)
- Geringe Abmessungen, aber Erwärmung ist zu beachten mit Einfluß auf die übertragbare Leistung
- Nutzungsdauer > 50 Jahre
- nichtselbstheilende Isolation, aufwendige Reparaturen im Vergleich zu Freileitungen
- Muffen notwendig bei längeren Kabelstrecken (ca. alle 1000 m)
- Kostennachteil gegenüber Freileitungen
- HDÜ:
  - Kapazitive Ladeleistung begrenzt Länge der Übertragungsstrecke, Abhilfe durch Kompensationsspulen
  - Anwendung bis U_m = 550 kV
- HGÜ:
  - kein Blindleistungsbedarf
  - kein Skineffekt
  - Anwendung bis U = ±320 kV (±525 kV verfügbar, ±640 kV fertig entwickelt)

Kabel - Aufbau eines 380-kV-VPE-Kabels



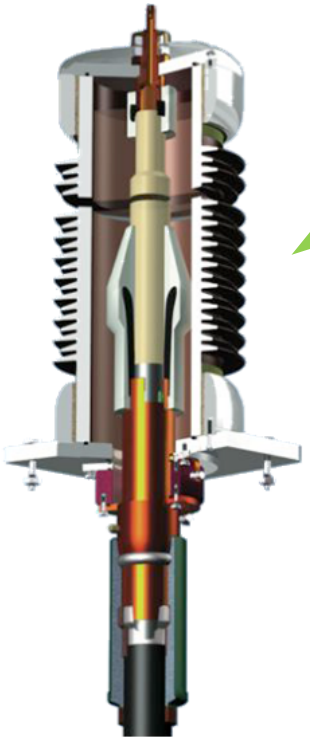
Leiterquerschnitt:
bis zu 3.000 mm²

Isolierwanddicke:
ca. 26 mm

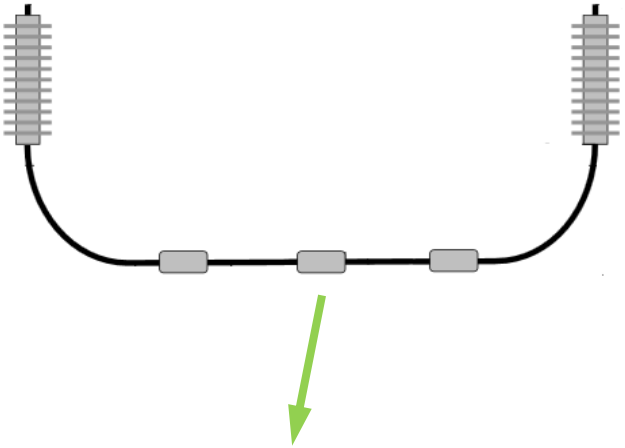
Gewicht:
ca. 40 kg/m

Durchmesser:
ca. 140 mm

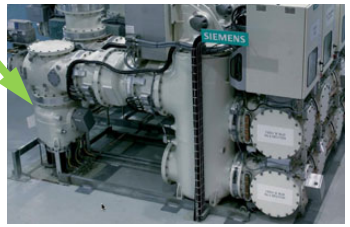
Kabelsystem - Kabel und Garnituren (Kabelendverschluß und Kabelmuffe)

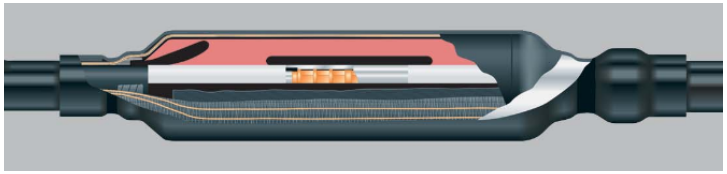


Freiluft-Kabelendverschluß

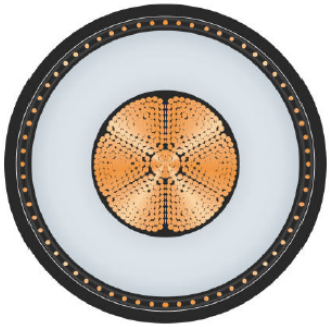


Kabelendverschluß am Transformator oder GIS





Aufschiebemuffe mit integrierter Leiterglättung und Feldsteuerung



380-kV-Kabel: Teilverkabelung (Pilotprojekte)

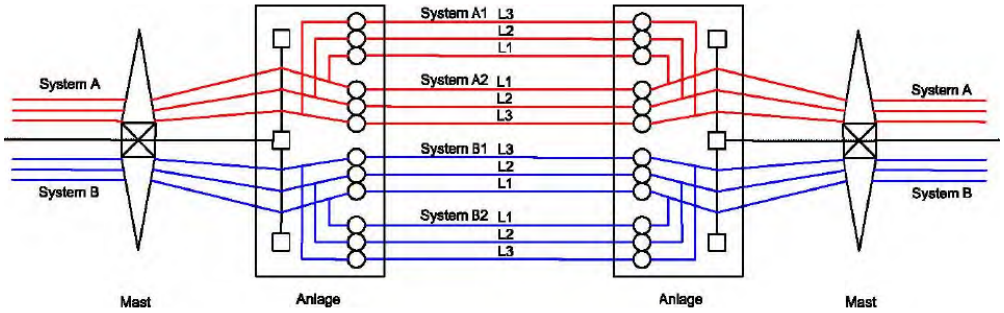
Präqualifikationstest für extrudierte
525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

DC-Kabel im Mittelspannungsnetz

380-kV-Teilverkabelung (Pilotprojekte)

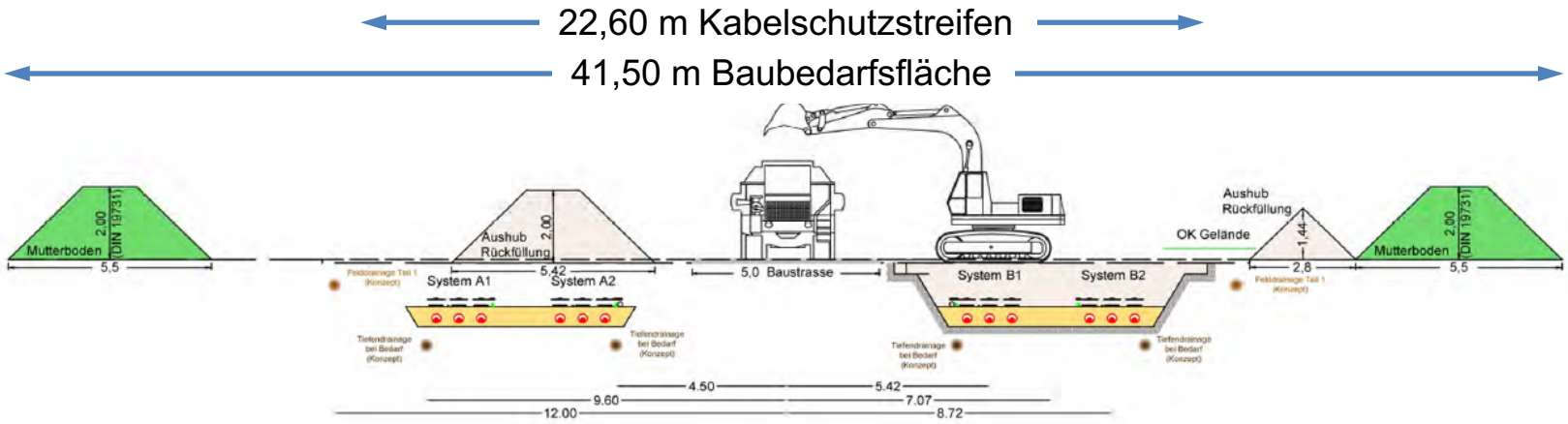
Weltweit
- VPE-Kabel sind seit 1986 verfügbar
- Weltweit bereits mehr als 30 Kabelprojekte realisiert, maximale Trassenlänge: 35 km (Abu Dhabi)
- Längste VPE-Kabelstrecke in Europa: Kopenhagen, 22 km, 1997

Deutschland
- Energiewende und Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG)
- Sechs Pilotprojekte für Teilverkabelung definiert
    - Erprobung der 380-kV-Kabeltechnologie als Teilverkabelung im Übertragungsnetz
- Pilotprojekt Raesfeld (Leitung Diele - Niederrhein, Amprion)
    - Vier parallele Kabelsysteme für eine Übertragungsleistung von 2 x 1800 MVA
    - Trassenlänge = 3,4 km, Leiterquerschnitt = 2500 mm²
    - Tiefbau in offener Bauweise, Kabelverlegung in Schutzrohren



Energie Zentrum Graz

380-kV-Teilverkabelung - Pilotprojekt Raesfeld



380-kV-Teilverkabelung - Pilotprojekt Raesfeld

Bauphase

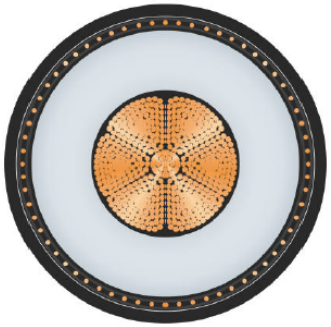
Rohreinbettung mit Flüssigboden

Einbettung der Kabelmuffen

380-kV-Teilverkabelung im Übertragungsnetz

Fazit (…Amprion)

- Teilverkabelung kann lokale Planungskonflikte lösen
- Die Investitionskosten liegen in Raesfeld ca. beim Faktor 6 gegenüber der Freileitungslösung
    - Stark abhängig von der Übertragungsaufgabe
    - Bodenverhältnisse
    - Zu kreuzende Infrastrukturen (Flüsse, Bahngleise, Strassen, etc.)
- Deutliche Eingriffe in den Boden
    - Bodenschonende Bauweise erforderlich für Akzeptanz der Grundstückseigentümer
- Die Verfügbarkeit von Kabelanlagen ist wegen langer Reparaturdauern geringer als die der Freileitung
- Die Länge von HDÜ-Kabeln ist auf wenige Kilometer zu begrenzen

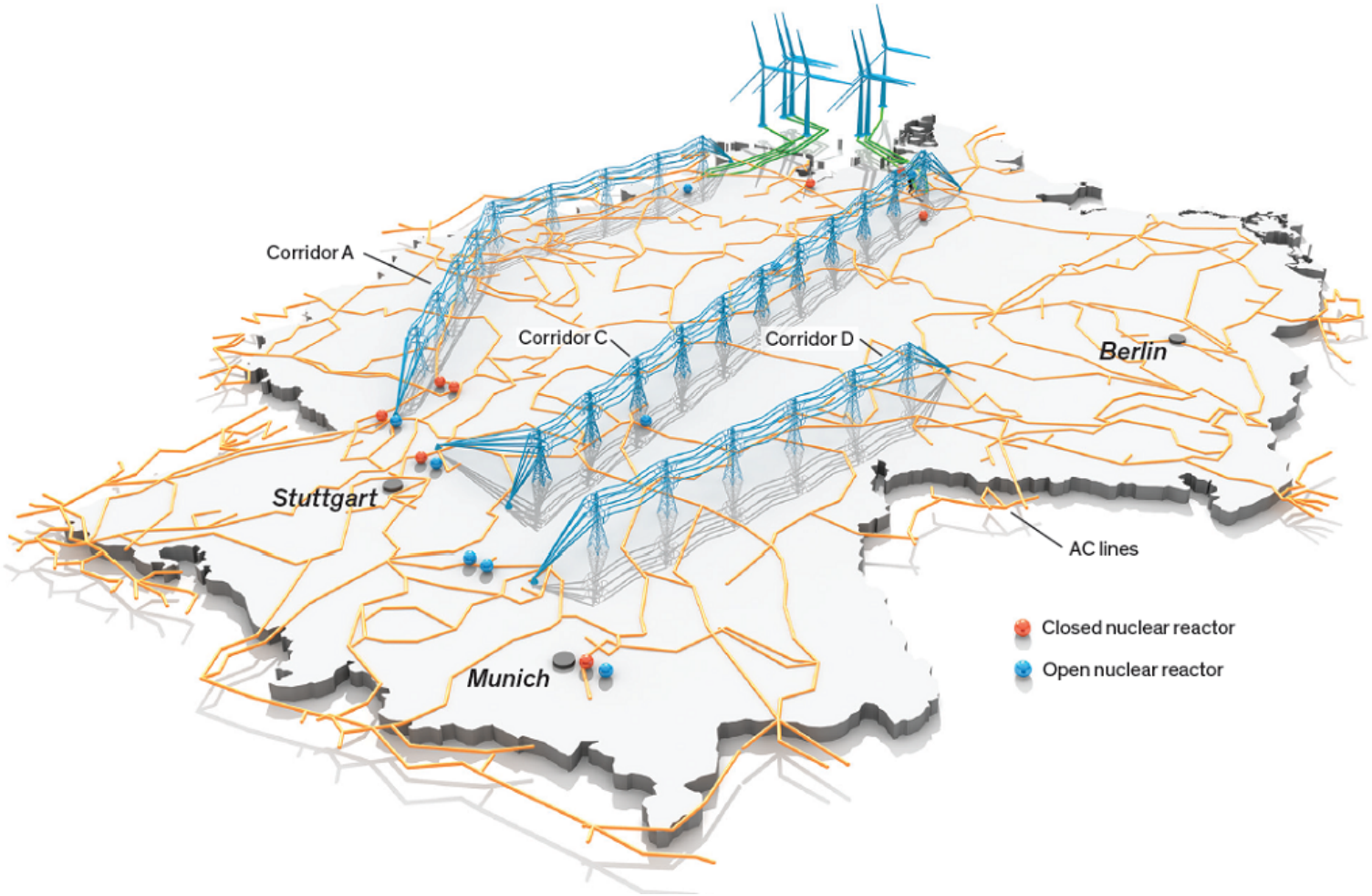


380-kV-Kabel: Teilverkabelung (Pilotprojekte)

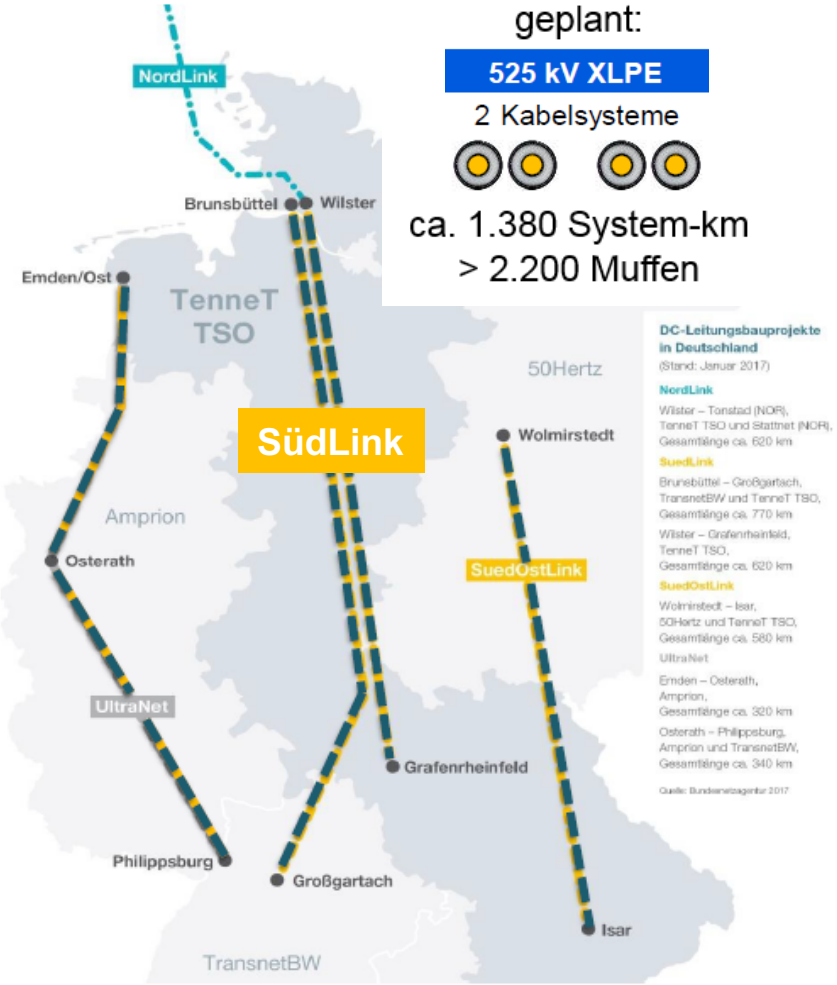
Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

DC-Kabel im Mittelspannungsnetz

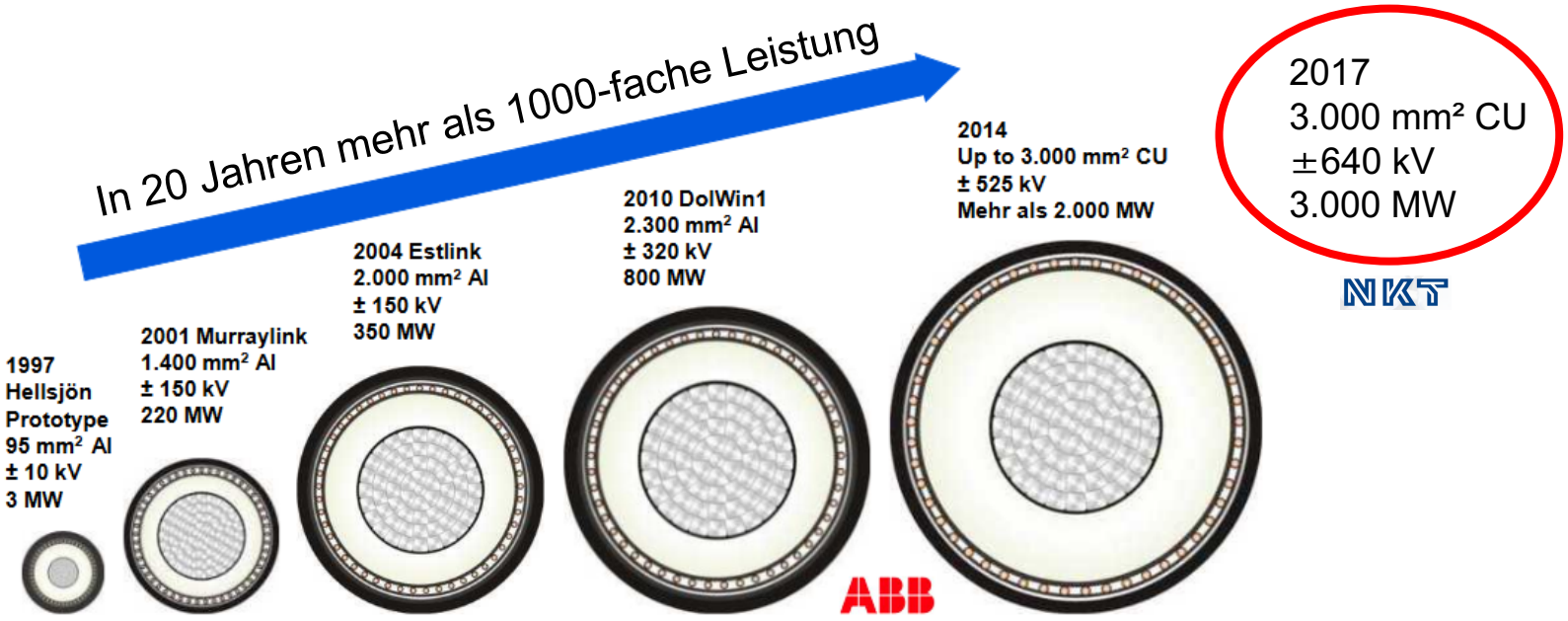
HGÜ-Trassen in Deutschland



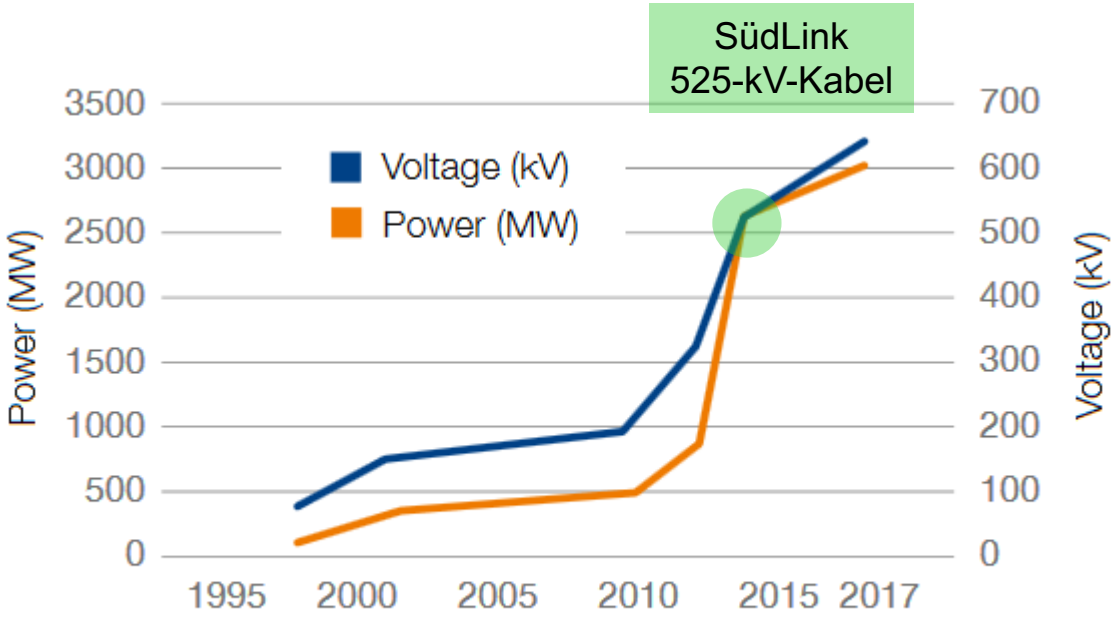
HGÜ-Trassen in Deutschland



Extrudierte HGÜ-Kabel - Historie



Extrudierte HGÜ-Kabel - Historie

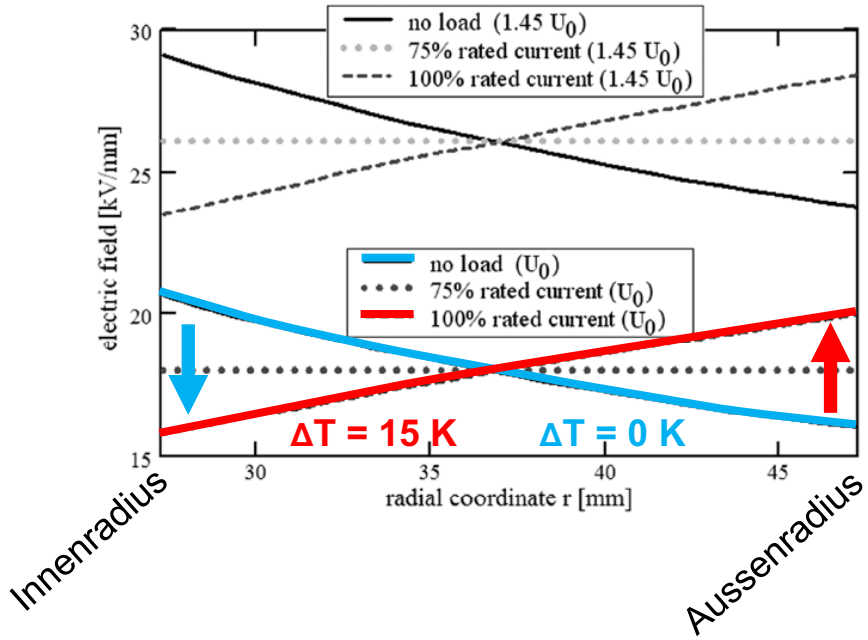


Extrudierte HGÜ-Kabel sind eine neue Technologie,
insbesondere für Spannungen größer ±200 kV.

Umfangreiche Betriebserfahrungen sind nicht vorhanden!

Extrudierte HGÜ-Kabel - Unterschiede zu AC-Kabeln

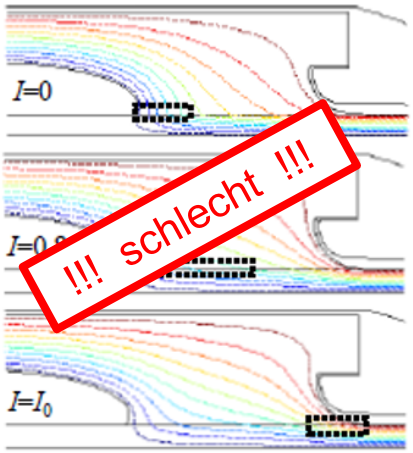
Gleichspannung: Feldinversion bei Kabelerwärmung



Extrudierte HGÜ-Kabel - Unterschiede zu AC-Kabeln

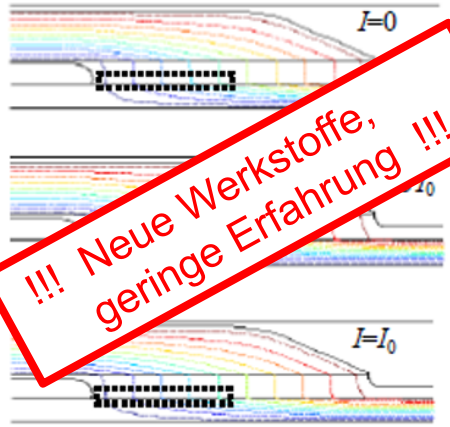
Wechselspannung: Kapazitive Feldverteilung
Gleichspannung: Resistive Feldverteilung

Geometrische Feldsteuerung



!!! schlecht !!!

Nichtlineare resistive Feldsteuerung



!!! Neue Werkstoffe, geringe Erfahrung !!!

Energie Zentrum Graz

Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

50hertz · amprion · TenneT · TRANSNET BW

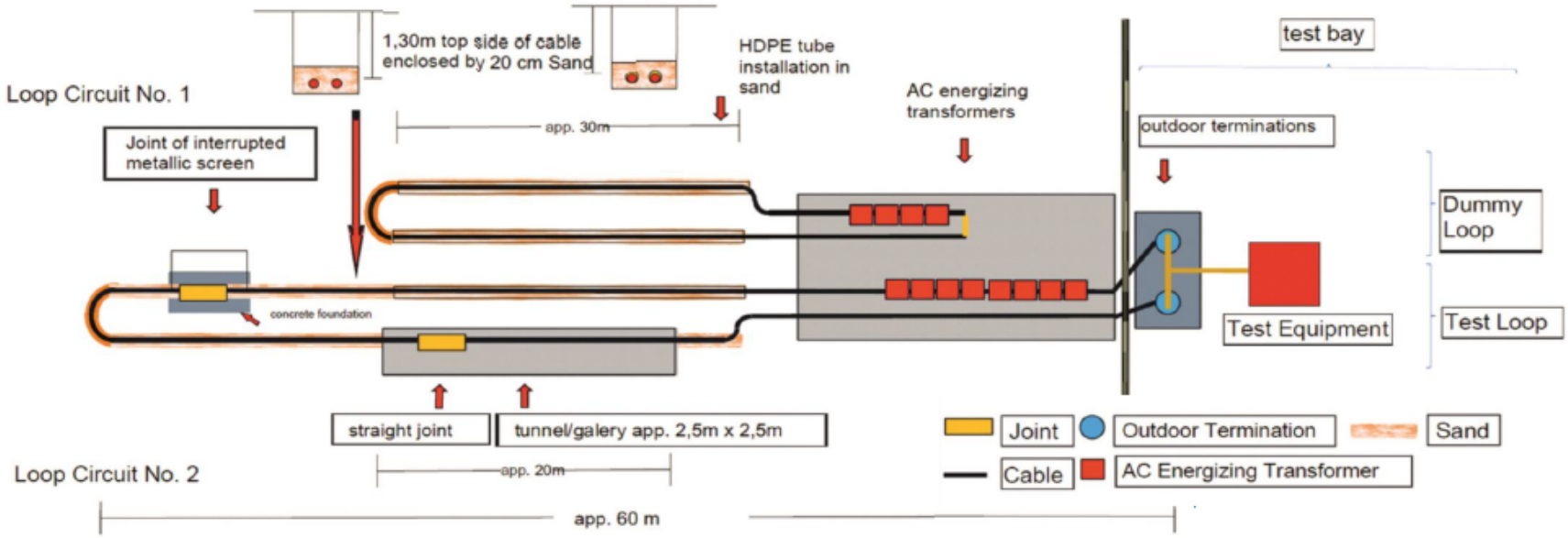
TECHNICAL SPECIFICATION ON HVDC POWER TRANSMISSION CABLES WITH EXTRUDED INSULATION AND THEIR ACCESSORIES FOR RATED VOLTAGES UP TO 525 KV FOR LAND APPLICATIONS

REVISION 0.3

Kooperation der 4 ÜNB
4 Kabelhersteller
2 Prüfinstitute (FGH/CESI, STRI)

Energie Zentrum Graz

Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

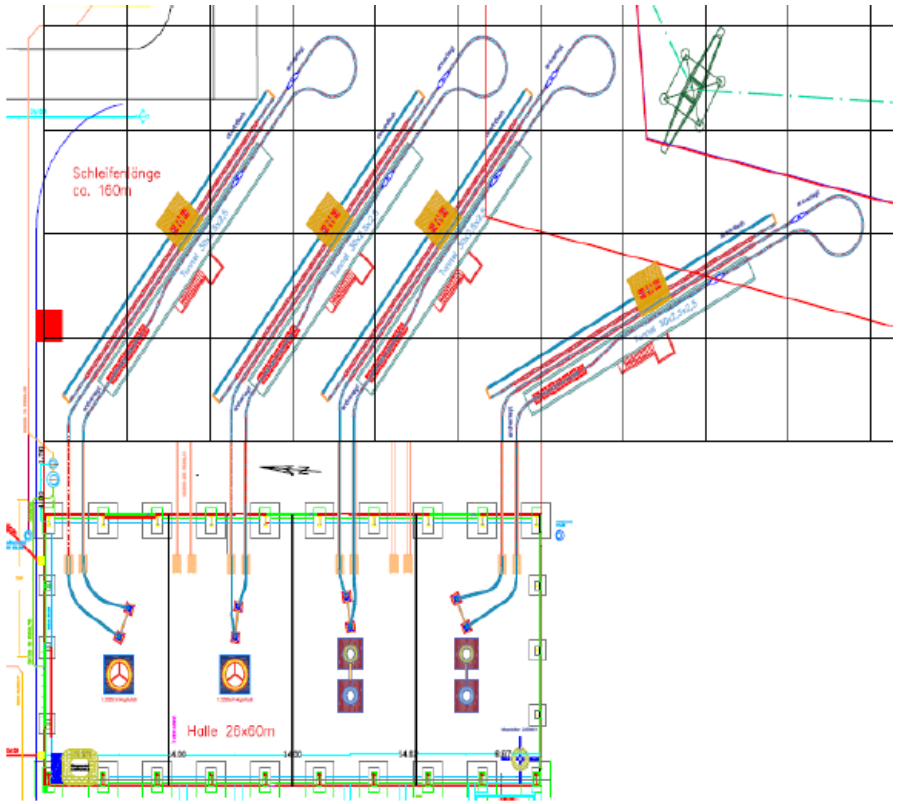


- Kabellänge ca. 150 m, davon ca. 20 m im Tunnel und 30 m im Kabelschutzrohr (D = 230 mm)
- Zwei Muffen, zwei Freiluftendverschlüsse, praxisnahe Kabelverlegung
- Referenzschleife zur Messung der Leitertemperatur und zur Regelung des Heizstromes

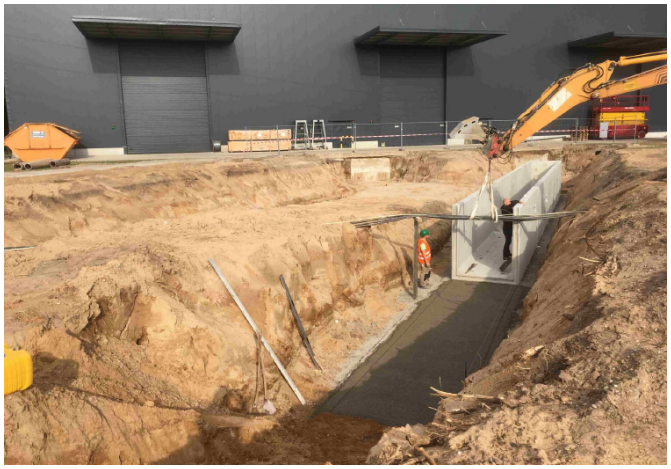
Energie Zentrum Graz

Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

Freiluftbereich



Prüfhalle



Energie Zentrum Graz

Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

Energie Zentrum Graz

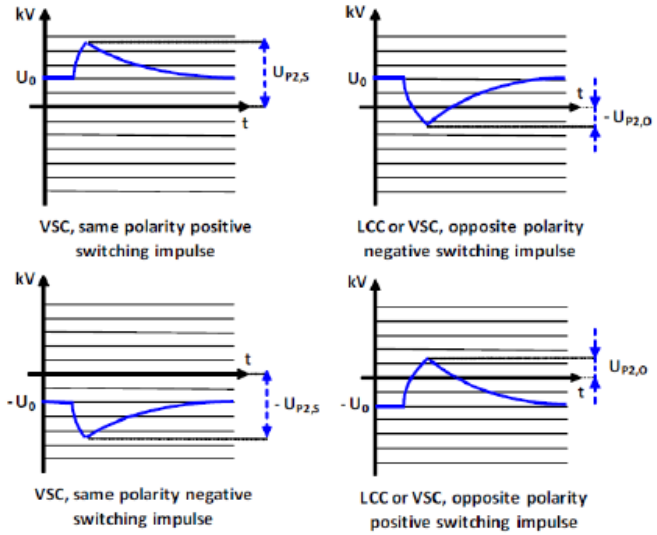
Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

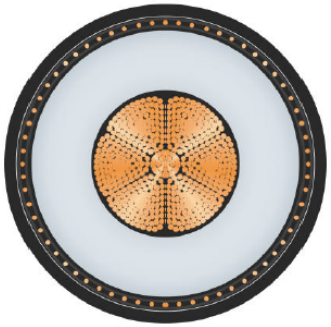
Prüfprogramm: Test in Anlehnung an CIGRE TB 496, VSC, Dauer: ca. 15 Monate

	LC	LC	HL	HL	ZL	LC	LC	S/IMP
Number of cycles or days	40 cycles	40 cycles	40 days	40 days	120 days	40 cycles	40 cycles	Not applicable
Test Voltage	+	-	+	-	-	+	-	$U_{P2,O} = 1.2 \times U_0$ $U_{P1} = 2.1 \times U_0$*
	U_{TP1}	U_{TP1}	U_{TP1}	U_{TP1}	U_{TP1}	U_{TP1}	U_{TP1}	

LC = DC + 8/16-h-Heizzyklen
HL = DC + kontinuierliches Heizen
ZL = DC
S/IMP = DC* + Stoßspannungen

DC = 1,45 U_0
DC* = U_0



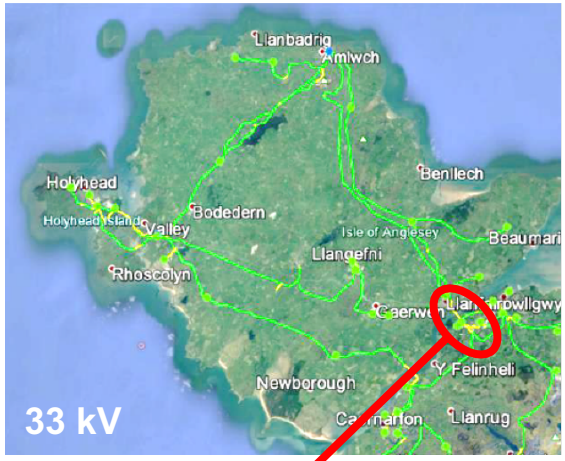


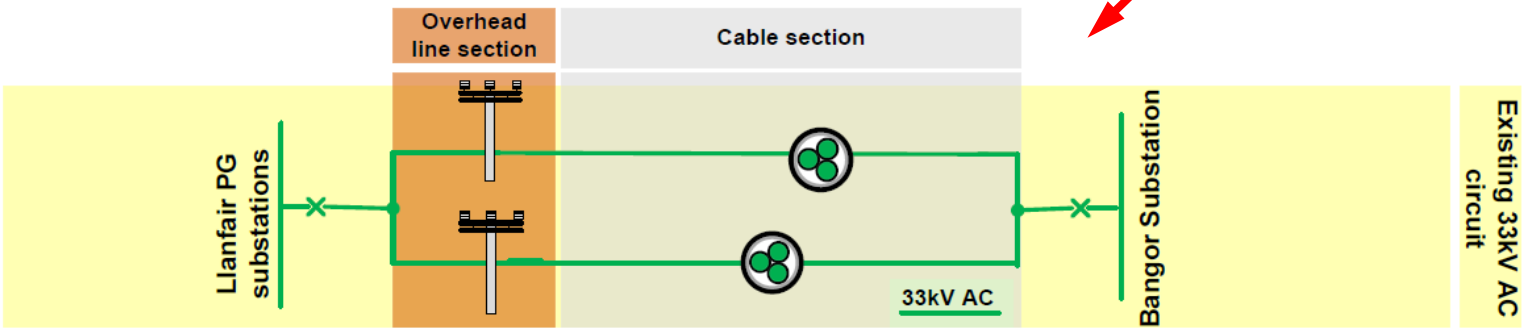
380-kV-Kabel: Teilverkabelung (Pilotprojekte)

Präqualifikationstest für extrudierte
525-kV-HGÜ-Kabelsysteme

DC-Kabel im Mittelspannungsnetz

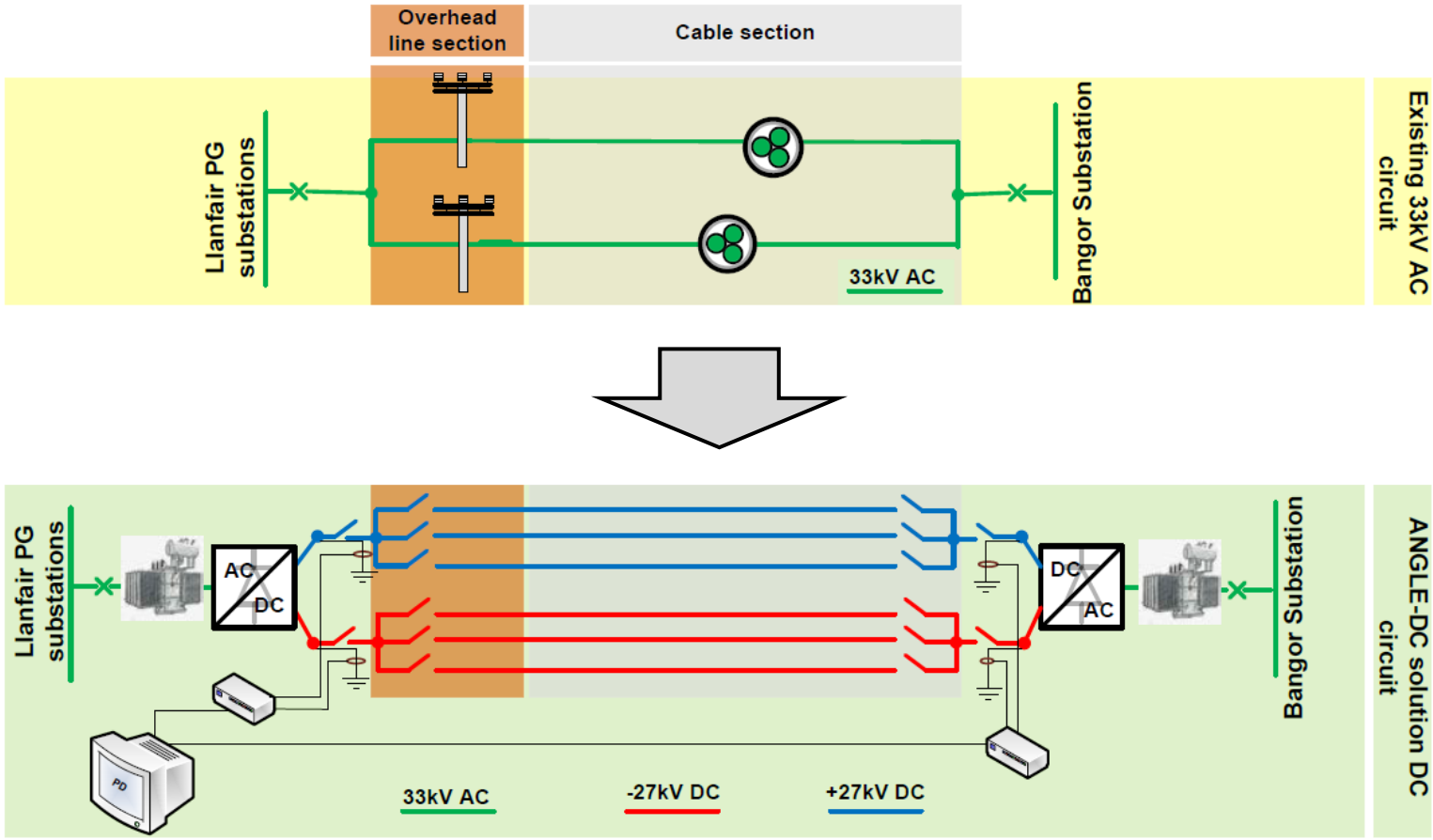
Kabel im Mittelspannungsnetz





Energie Zentrum Graz

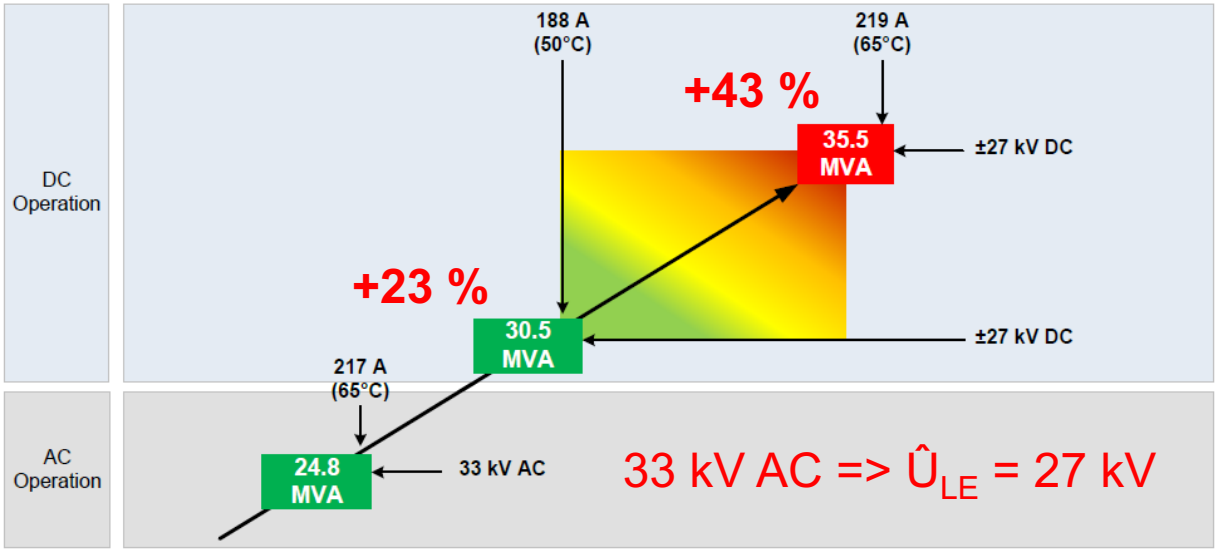
Kabel im Mittelspannungsnetz - Umstellung bestehender Kabel auf DC



Scottish Power Energy Networks: Projekt „Angle DC“

Energie Zentrum Graz

DC-Übertragung im Mittelspannungsnetz - Höhere Übertragungskapazität



Erhöhung der Übertragungskapazität um +23 % bzw. +43 % bei konservativer Umstellung der Betriebsspannung.

Wo liegt die Grenze für die Übertragungskapazität bei der Umstellung von bestehenden Kabelverbindungen bzw. bei neuen Standard-AC-Kabeln?

- Untersuchung von AC-Kabelsystemen mit Gleichspannung

Prüfung von Standard-AC-Kabeln mit Gleichspannung

Prüfling: 12/20-kV-VPE-Kabel
Länge: 10 m

Prüfprogramm:
- in Anlehung an CIGRE TB 496
- Dauertest mit $U_{DC} \geq \pm 40$ kV
- Heizzyklen mit $T_{Leiter} = 90$ °C
- Polarity Reversal
- Überlagerte Stoßspannungen
  (Schaltstoß- und Blitzstoßspannung)

Literatur

[1] Gehlen: Umsetzung der ersten Teilverkabelung nach dem EnLAG, FNN-Fachkongress Netztechnik, 2017
[2] CIGRE: Recommendations for Testing DC Extruded Cable Systems for Power Transmission at a Rated Voltage up to 500 kV, CIGRE TB 496, 2012
[3] Pöhler: Präqualifikationstest für extrudierte 525-kV-HVDC-Kabelsysteme, Euroforum Konferenz, Stuttgart, 2017
[4] Abbasi, Bergelin, Jeroense, Rapp: Fully qualified low loss 525 kV and 640 kV extruded DC cable systems, CIGRE SC B1 Colloquium, New Delhi, 2017
[5] Yu u. a.: Initial Designs for Angle-DC Project: Challenges converting existing AC Cables and Overhead Line to DC Operation, CIRED, Glasgow, 2017

EnInnov2018
15. Symposium Energieinnovation

Energie Zentrum Graz

Innovationen beim Einsatz von Hochspannungskabeln im Übertragungsnetz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Schichler
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz
Email: uwe.schichler@tugraz.at