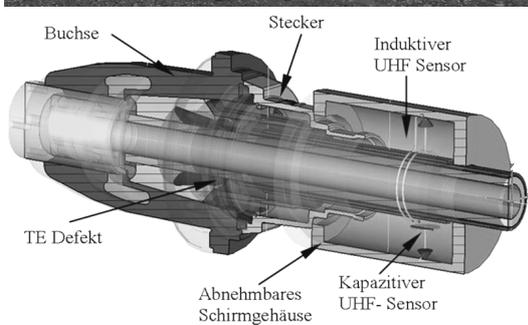
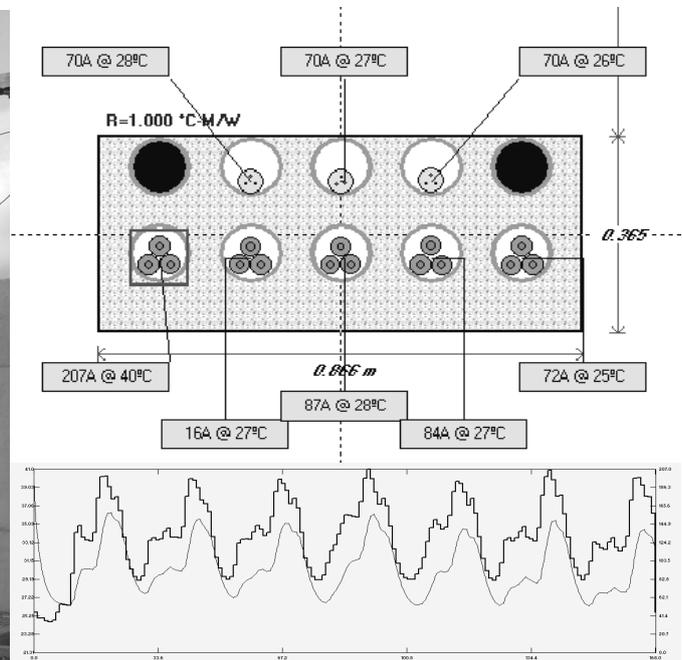


**FKH- / ETG-Fachtagung
4. November 2009
Hochschule für Technik und Architektur Fribourg**

**Hochspannungskabel
aktuelle technologische Herausforderungen**



FKH- / ETG-Fachtagung
4. November 2009
Hochschule für Technik und Architektur Fribourg

Hochspannungskabel

aktuelle technologische Herausforderungen

Veranstalter:

Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
Voltastrasse 9
8044 Zürich



Energietechnische Gesellschaft von Electrosuisse (ETG)
Luppenstrasse 1
8320 Fehraltorf



FKH- / ETG-Fachtagung
4. November 2009
Hochschule für Technik und Architektur Fribourg

Vorwort zur Tagung

In der Schweiz sind in den letzten Jahren Hochspannungskabelanlagen in Betrieb gegangen, die sowohl in Bezug auf die Länge als auch in Bezug auf die Nennspannung neue Massstäbe setzten. Neben der Vorstellung von solchen wichtigen Projekten sollen bei dieser Tagung die folgenden drei technischen Aspekte im Vordergrund stehen:

Thermische Dimensionierung von Hochspannungskabelanlagen

Mit der zunehmenden Belastung der Netze und dem ebenfalls zunehmenden Kostendruck wird die korrekte thermische Dimensionierung von Hochspannungskabelanlagen immer wichtiger, insbesondere wenn eine Kabelanlage z.B. im Notbetrieb voll ausgelastet werden soll. Dabei ist es wichtig, die thermisch ungünstigsten Stellen zu kennen (z.B. Näherung zu Wärmequellen, Häufung / Kreuzung von Kabeln, grosse Verlegetiefe etc.) und die jeweiligen Belastbarkeiten mit verbesserten Methoden möglichst genau berechnen zu können.

Entwicklungen im Zubehörbereich

Die grössten Entwicklungsfortschritte finden zur Zeit bei Muffen und Endverschlüssen statt. Mit dem Ziel, die Montage leichter und sicherer zu machen, findet vor allem ein Trend zu trockenen Endverschlüssen statt.

Prüfung / TE-Messung

Die Prüfung mit Wechselfeldspannung ist in der Schweiz für Hochspannungskabelanlagen praktisch Standard und es liegen bereits 25 Jahre Prüferfahrung vor. Insbesondere bei den höheren Spannungen findet die TE-Messung an den Garnituren immer mehr Anwendung, was auch die Hersteller zur Entwicklung von geeigneten TE-Sensoren veranlasst.

Die Tagung schliesst mit einer Diskussionsrunde ab, in welcher auf Fragen zu den behandelten aber auch zu weitergehenden Aspekten der Hochspannungskabeltechnik eingegangen wird.

Dr. Thomas Heizmann
Tagungsleiter

Dr. Reinhold Bräunlich
Geschäftsleiter der FKH

Tagungsprogramm

Datum: Mittwoch, 4. November 2009, Beginn 09¹⁵
 Ort: Auditoire E. Gremaud, Hochschule für Technik und Architektur Fribourg
 Titel: **Hochspannungskabel - aktuelle technologische Herausforderungen**
 Tagungsleitung: Dr. Thomas Heizmann, FKH

	Titel / Inhalt	Referent
09 ¹⁵ -09 ²⁵	Begrüssung durch den Präsidenten der FKH	Dr. Thomas Aschwanden, KWO, Innertkirchen
09 ²⁵ -09 ³⁵	Vorwort und Einleitung ins Tagungsthema durch den Vorstand der ETG	Markus Burger, Brugg Kabel AG, Brugg
09 ³⁵ -10 ⁰⁵	Vorstellung des Projekts Manno – Mendrisio - Cagno Neue Verbindung Schweiz - Italien – 400-kV-Kabelleitung – Verdoppelung der Übertragungskapazität der bestehenden Freileitung und Kabel	Dr. Roberto Pronini, AET, Bellinzona
10 ⁰⁵ -10 ⁴⁵	Optimierung von Hochspannungskabelanlagen Thermische Dimensionierung – Reserven im Störfall – neue Rückfüllmaterialien – magnetische Felder – Leistungsgrenzen	Prof. Dr.-Ing. habil. Heinrich Brakelmann, Universität Duisburg-Essen, D-Duisburg
10 ⁴⁵ -11 ¹⁵	Kaffeepause	
11 ¹⁵ -11 ⁴⁵	Prüf- und Diagnosemethoden für Hochspannungskabel Neue Prüfanlagen – Erfahrungen aus der Praxis – Statistik Kabelprüfungen – Checkliste für Ausschreibungen hinsichtlich Prüfung	Günther Storf, FKH, Zürich
11 ⁴⁵ -12 ¹⁵	UHF Teilentladungsmessung an Kabelgarnituren Verschiedene TE-Messmethoden – UHF-Messung – Vergleich von Labor- und Feldversuchen – Sensoren für verschiedene Kabelgarnituren	Dr. Thomas Klein, Pfisterer Kontaktssysteme GmbH & Co. KG, D-Winterbach
12 ¹⁵ -12 ⁴⁵	Enfouissement partiel des lignes HT: avantages techniques Lenteur des procédures d'acceptation – réduction des pertes – comportement réactif des lignes (présentation en français) Teilweise Verkabelung von Hochspannungsleitungen: Technische Vorteile Langwierige Bewilligungsverfahren – Reduktion der Verluste – reaktives Verhalten der Leitungen (Präsentation auf französisch)	Jean Fehlbaum, Nexans Suisse SA, Cortaillod
12 ⁴⁵ -14 ⁰⁰	Mittagessen	
14 ⁰⁰ -14 ³⁰	Material, Design, Installation und Tests von Muffen für Hochspannungskabel Materialauswahl – neue Erkenntnisse zu Tests – Lebensdauererfahrungen	Dr. Ruben Vogelsang, Brugg Kabel AG, Brugg
14 ³⁰ -15 ⁰⁰	Die Kabelanlagen im Gotthard-Basistunnel Organisationsstrukturen – Versuchsstollen Hagebach – Einzugskonzepte f. Energie- und Telekommunikationskabel – Planung 2010 bis Inbetriebnahme	Jürg Hosner, Leoni Studer AG, Däniken
15 ⁰⁰ -15 ³⁰	Teilentladungs-Monitoring an Hochspannungs-Kabelanlagen	Dr. Kay Rethmeier, Omicron Electronics GmbH, A-Klaus
15 ³⁰ -15 ⁵⁰	Diskussion	Dr. Thomas Heizmann, FKH, Zürich
15 ⁵⁰	Apéro	

Ende der Veranstaltung ca. 16³⁰

Zusammenfassung der Referate

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorstellung des Projekts Manno – Mendrisio - Cagno Dr. Roberto Pronini, AET, Bellinzona	1
Optimierung von Hoch- und Höchstspannungs-Kabelanlagen Prof. Dr.-Ing. Heinrich Brakelmann, Universität Duisburg-Essen, D-Duisburg	17
Prüf- und Diagnosemethoden für Hochspannungskabel Günther Storf, FKH Fachkommission für Hochspannungsfragen, Zürich	43
UHF Teilentladungsmessung an Kabelgarnituren Dr.-Ing. Thomas Klein, Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG, D-Winterbach	61
Enfouissement partiel des lignes HT: avantages techniques Teilweise Verkabelung von Hochspannungsleitungen: Technische Vorteile Jean Fehlbaum, Nexans Suisse SA, Cortaillod	77
Material, Design, Installation und Tests von Muffen für Hochspannungskabel Dr. Ruben Vogelsang, Brugg Kabel AG, Brugg	81
Die Kabelanlagen im Gotthard-Basistunnel Jürg Hosner, Leoni Studer AG, Däniken	103
Teilentladungs-Monitoring an Hochspannungs-Kabelanlagen Dr. Kay Rethmeier, Omicron Electronics GmbH, A-Klaus	119
Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Namen	147
Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Firmen	151
Referentenadressen	155
Internetseite zur Fachtagung	157
Notizen	159

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Projekt Manno – Mendrisio – Cagno

Dr. Dipl.-Ing. ETH Roberto Pronini **Azienda Elettrica Ticinese**

- Geboren am 22.05.1968 in Bellinzona
- Primar- und Sekundarschule in Giubiasco 1974 – 1979 – 1983
- Mittelschule und Matura Typus C in Bellinzona 1983 – 1987
- Studium an der ETH Zürich, Abschluss als Dipl. El.-Ing. ETH (1987 – 1992)
- Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich
- Dissertation ETH Nr. 11664 bei Prof. Dr. H. Glavitsch 1996: Modellierung und Simulation des Leistungsbedarfs und – angebots eines hydrothermischen Energiversorgungssystems
- Seit 1997 bei AZIENDA ELETTRICA TICINESE in verschiedenen technischen Funktionen tätig, als Verantwortlicher der Produktion und der Netze. Seit 2000 Vizedirektor und Mitglied der Geschäftsleitung

Verheiratet seit 2002, Vater von 2 Kindern

Vorstellung des Projekts Manno – Mendrisio – Cagno

Neue Verbindung Schweiz – Italien – 400-kV-Kabelleitung – Verdoppelung der Übertragungskapazität der bestehenden Freileitung und Kabel

Roberto Pronini
Azienda Elettrica Ticinese

Zusammenfassung

Der Beitrag geht auf folgende Aspekte der beiden vorgestellten Netzausbauschnitte ein:

- Entwicklung des Energieverbrauchs im Sottoceneri und im Mendrisiotto und bestehende Netztopologie Manno – Mendrisio 150 kV anfangs der 200-er Jahre
- Sicherstellung des N-minus-1-Netzzustands und Entwicklung eines Konzeptes für eine internationale Verbindung Schweiz – Italien
- Vorstellung der neuen 400-kV-Kabelleitung Mendrisio – Cagno
- Verdoppelung der Übertragungskapazität der bestehenden 150-kV-Leitung Manno – Mendrisio (Freileitung, Kabel im Stollen, Kabel im See)
- Praktische Erfahrungen aus dem Gesamtprojekt



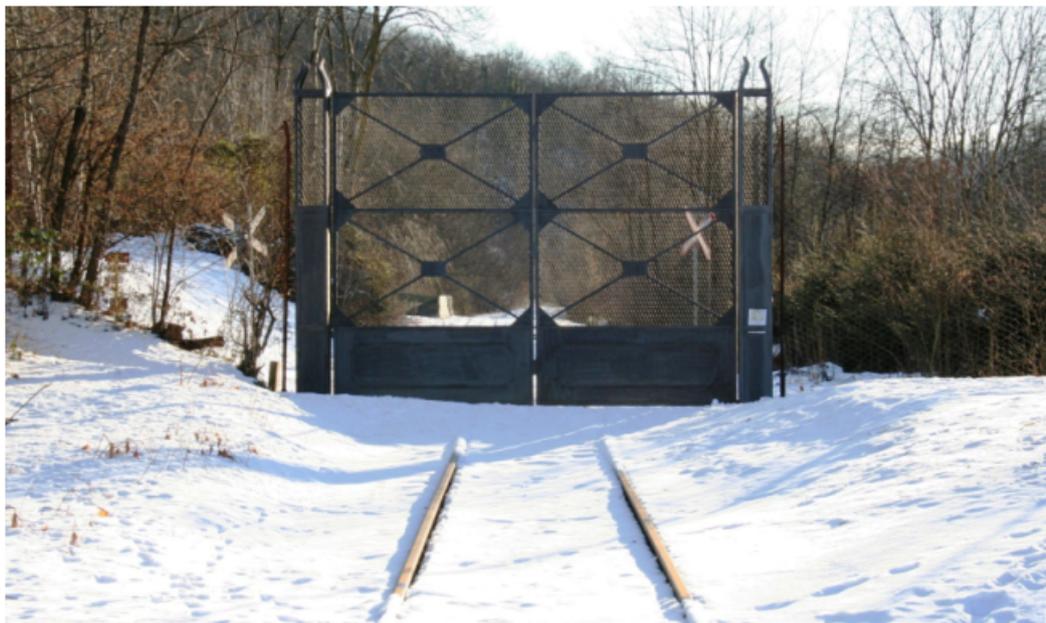
Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV

Dr. Ing. Roberto Pronini

FKH / ETG Fachtagung
Fribourg, 04. November 2009

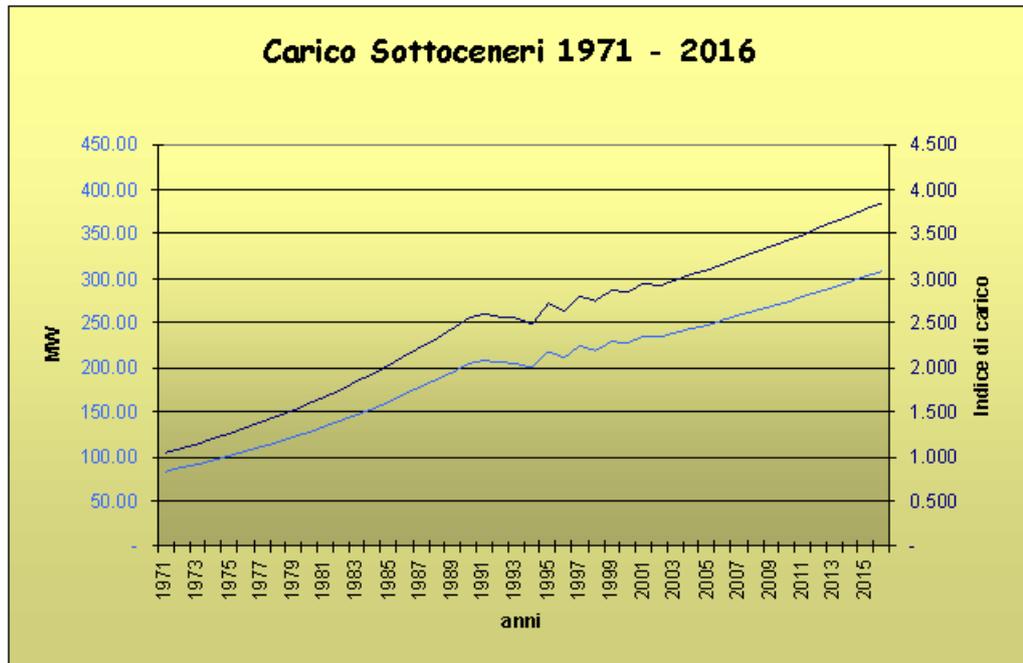


Confine di stato CH – I / Stabio Val Morea 2007





Entwicklung Verbrauch Sottoceneri



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Mendrisio-Cagno - Die “technische” Geschichte

- Erste Projektidee AET Mendrisio – Cagno im Jahr 2000
- Letter of Intent für den Bau zwischen AET und Ferrovie Nord Milano: 2002
- Vereinbarung Kanton Tessin, Regione Lombardia: Februar 2003
- CH - Baubewilligung 380 kV Leitung Mendrisio – Cagno: Herbst 2005
- IT - Baubewilligung 380 kV Leitung Mendrisio – Cagno: Januar 2006
- Baubeginn: Dezember 2005
- Inbetriebsetzung provisorisch: 29 Juni 2008
- Inbetriebsetzung definitiv mit Nennleistung: 1. November 2008

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



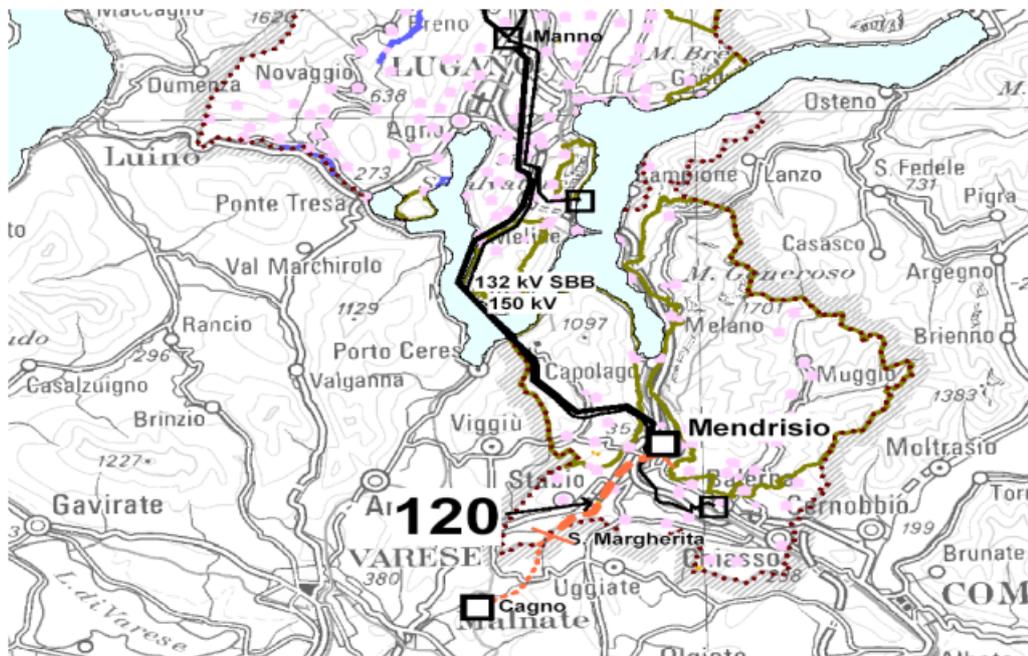
Hauptpunkte Verbindung Magadino – Mendrisio – Cagno

- Übertragungsleitung vom wichtigsten Tessiner Knotenpunkt Magadino nach Cagno (IT)
 - Grenzüberschreitendes 380 kV Kabel mit Anschluss 380 kV in Cagno (9.1 km)
 - 400 MVA Phasenschieber 150 / 380 kV in Mendrisio
 - Neubau 150 kV GIS - Unterstation Mendrisio
 - Verstärkung der 2 x 150 kV Verbindung Manno - Mendrisio auf 600 MW (26 km Freileitung / Kabel)
 - Betrieb 2. Verbindung Magadino – Manno mit neu 220 kV (vorher 150 kV)
- Investitionen ca. 80 Mio. CHF
- Schrittweise Inbetriebnahme im Jahr 2008

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Geografische Situation der Merchant Line

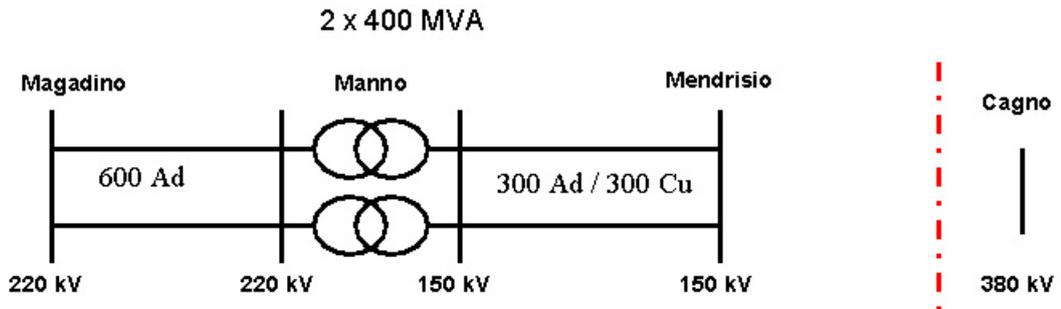


Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Netz: Magadino–Manno–Mendrisio–Cagno

2007

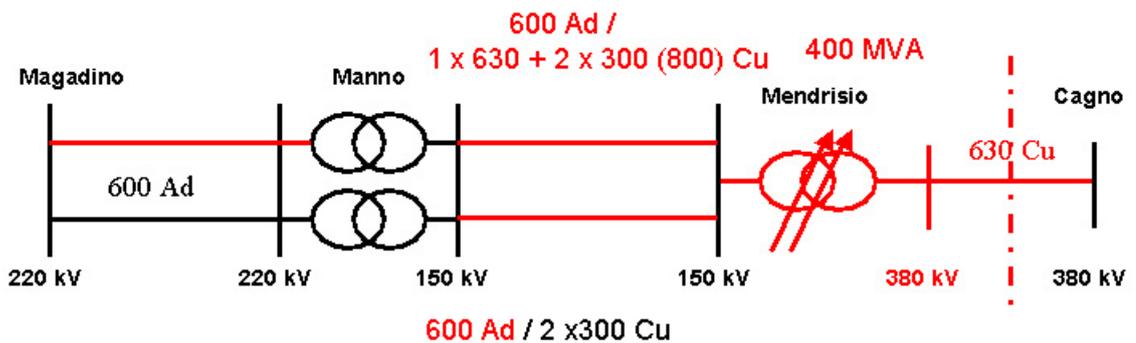


Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Netz: Magadino–Manno–Mendrisio–Cagno

2009



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Hauptpunkte Verstärkung Doppelleitung 150 kV Manno - Mendrisio

- Kabel 150 kV im Stollen unter Lugano (ca. 6 km):
 - Zwei alte Kabel (1984) je 300 Cu parallel geschaltet zu einem Strang
 - Zusätzlich neues Kabel (2008) 1 x 630 Cu
- Kabel 150 kV im See zwischen Morcote und Brusino (2.8 km)
 - Zwei alte Kabel (1984) je 300 Cu parallel geschaltet zu einem Strang sowohl im Rohrblock wie auch im See
 - Zusätzlich neues Kabel (2008) 2 x 300 Cu im See und 2 x 800 Cu im Rohrblock an Land
 - Bestehender Rohrblock wieder verwendet (keine baulichen Massnahmen in Morcote und Brusino !!!)
- Freileitung 150 kV Manno –Morcote – Brusino – Mendrisio (16 km)
 - Mastverstärkungen und Seilersatz von 300 Ad auf 600 Ad

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno –Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Hauptpunkte Kabel 380 kV Mendrisio - Cagno

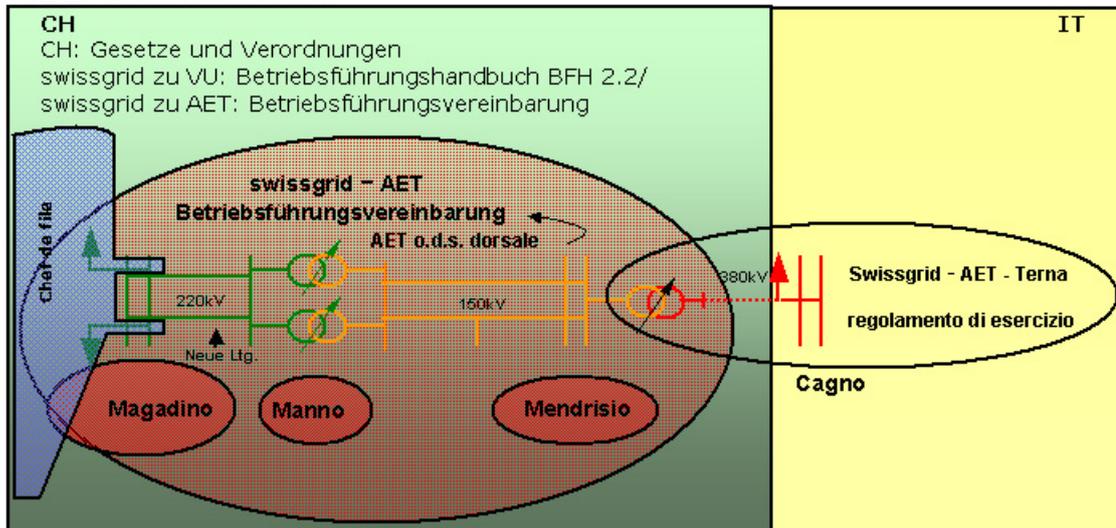
- Lieferant des 380 kV Kabels: Nexans
 - Grenzüberschreitendes 380 kV Kabel mit 630 Cu zwischen Mendrisio und Cagno (9.1 km)
 - Höhendifferenz zwischen Mendrisio und Cagno 12 m
 - 45 Längen, max. 700 m
 - 14 Kabelschächte 13 m x 2.5 m x 2 m
 - 13 Flussunterquerungen
 - 5 Bahnunterquerungen
 - 1 Brücke gebaut
 - 3 Freiluftendverschlüsse
 - 3 GIS - Endverschlüsse

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno –Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Netzbetrieb Achse Magadino - Cagno

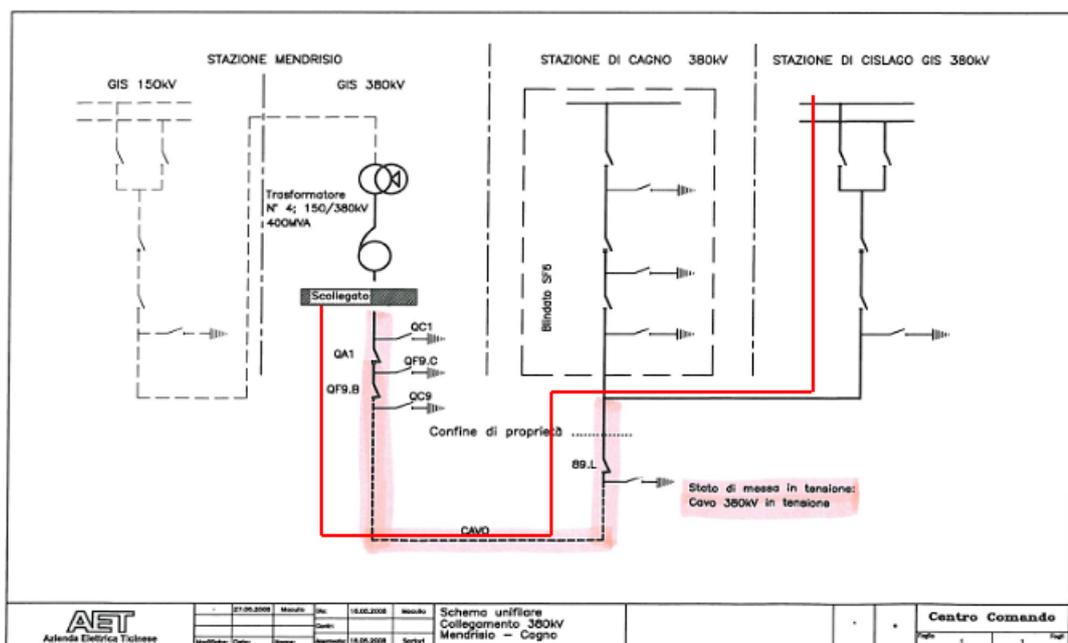
UCTE Operation Handbook



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno - Mendrisio - Cagno 220 / 150 / 380 kV



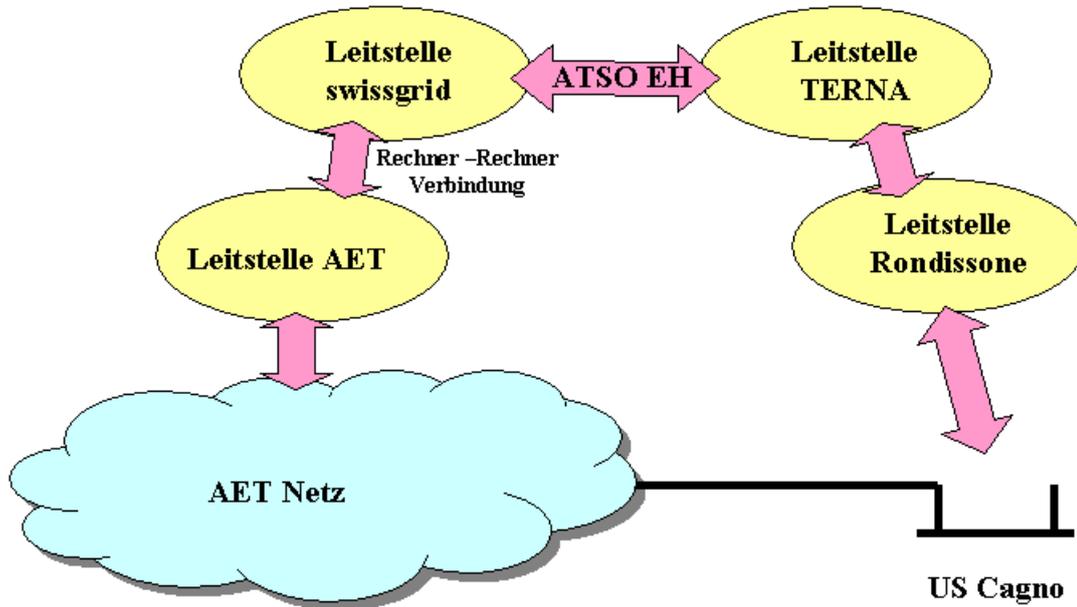
Provisorischer T Anschluss Mendrisio - Cagno - Cislago 380 kV Kabel 630 Cu / Freileitung 3 x 550 Ad



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno - Mendrisio - Cagno 220 / 150 / 380 kV



Mess- & Zählwerte und Übertragung: Prinzip



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Unterstation Cagno



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Stabio Val Morea 2007



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Unterstation Mendrisio



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



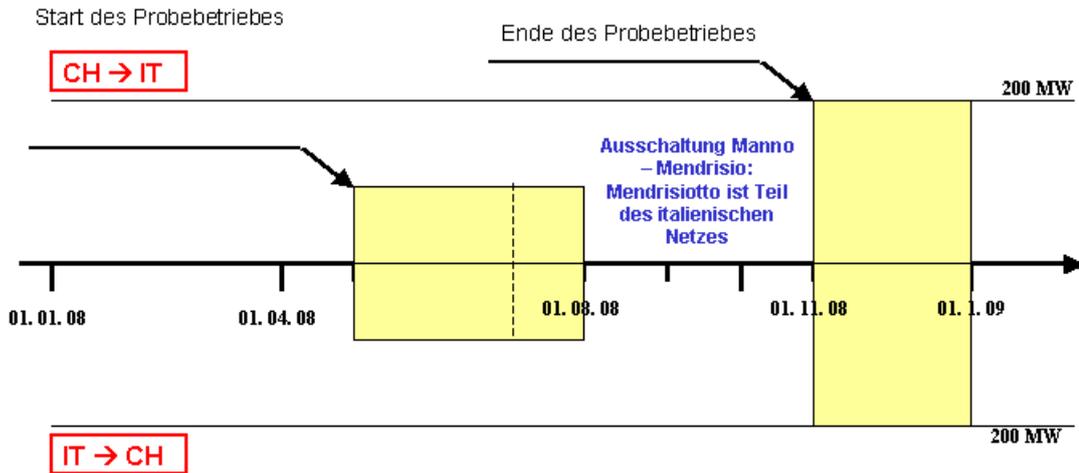
Inbetriebnahme und Probetrieb

Beschreibung	Termin	Bemerkungen
Bauarbeiten:		
Trafowanne	24.08.2007	Arbeiten abgeschlossen
Fundament GIS 380kV u. 380kV Kabelkanal	12.10.2007	Arbeiten abgeschlossen
Rohrblock, Seite CH	29.05.2007	Arbeiten abgeschlossen
Rohrblock, Seite I	27.07.2007	Arbeiten abgeschlossen
Fundament KEV, UW Cagno (I)	10.10.2007	Arbeiten abgeschlossen
Elektrotechnischen Teil:		
HS Prüfung GIS 380kV	16.11.2007	Arbeiten abgeschlossen
HS Prüfung 380kV Kabel	03.12.2007	
Transformator ab Werk: zum Transport bereit	19.12.2007	
Transformator 400MVA geliefert, UW Mendrisio	Anfang Februar 2008	
Montage Transformator 400MVA	Ende März 2008	
IBS Transformator 400MVA	Mitte April 2008	
IBS Steuerung, Schutz u. Leitsystem	Anfang Mai 2008	
380kV Anlage, Aufschaltung am Netz	Mitte Mai 2008	
Betrieb mit reduzierter Leistung nach Italien	Mitte Mai- Ende Juli 2008	
Verstärkung 150kV-Leitungen nach Mendrisio	Anfang August-Ende Oktober 2008	Einspeisung Gebiet <u>Mendrisiotto</u> von Italien
Normalbetrieb mit voller Leistung	Ab Anfang November 2008	

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



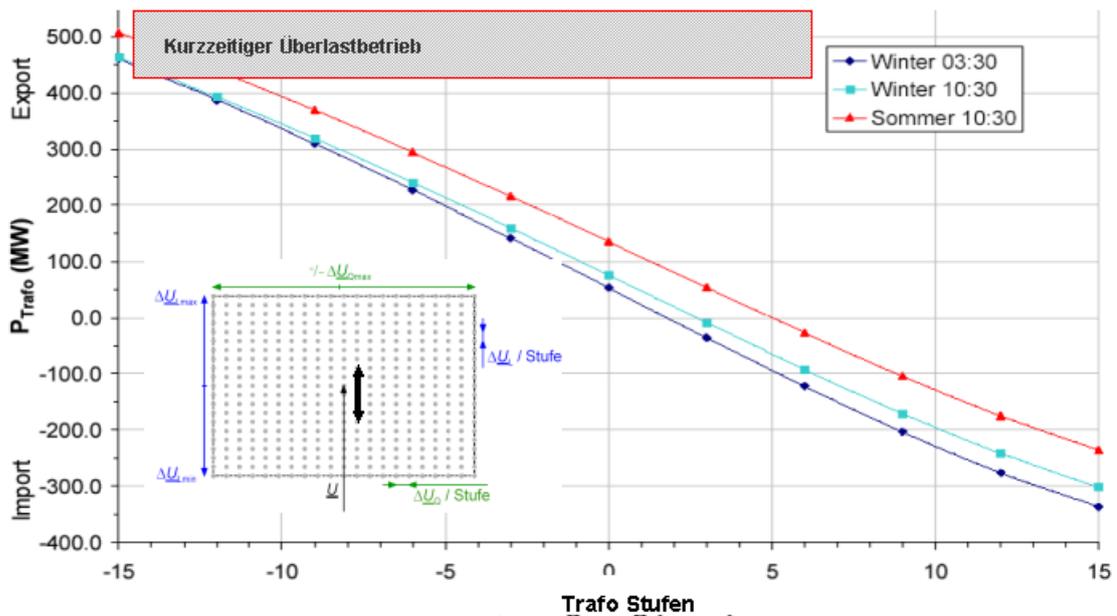
Behandlung der Leitung während des Probetriebes



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



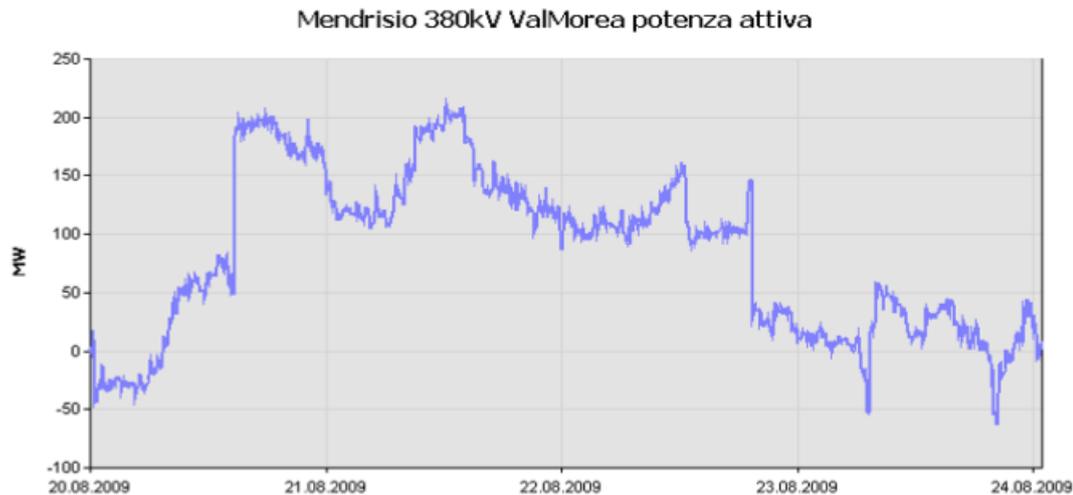
Der 380 / 150 kV Trafo ist ein starkes Werkzeug um den Fluss IT – CH zu steuern



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Typischer Tagesverlauf der Belastung der Leitung Mendrisio – Cagno



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



Synergie zwischen regionaler Netzsicherheit und internationalem Transit

- Der längs- und quergeregelte Transformator ist ein mächtiges Instrument um (über)regional Wirk- und Blindleistung zu steuern.
- Die Verbindung Magadino – Cagno erlaubt die Versorgung des südlichen Tessins entweder von Norden oder von Italien her, sowie im Inselnetz Sottoceneri.
- Die Verbindung Magadino – Cagno hat eine regionale aber auch eine internationale Bedeutung.
- Die Verbindung erlaubt Swissgrid einen Redispatch von Lastflüssen innerhalb von wenigen Sekunden (+ / - 400 MW in wenigen Minuten).
- Das Projekt hat die Machbarkeit einer internationalen Leitung als Kabel mit 380 kV bewiesen.
- Eine pragmatische Kombination von bestehenden und neuen Kabeln – und Freileitungsteilen hat ein rasches Bewilligungsverfahren und eine effiziente Umsetzung ermöglicht.

Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV



15.09.2009: Die Dampflokomotive fährt über das 380 kV Kabel



Ing. Roberto Pronini - Projekt Manno – Mendrisio – Cagno 220 / 150 / 380 kV

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Optimierung von Hoch- und Höchstspannungs- Kabelanlagen

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Brakelmann
Universität Duisburg-Essen,
Energie-Transport und -Speicherung

Prof. Dr.-Ing. habil. Heiner Brakelmann, VDE/CIGRE, Fachgebiet "Energie-Transport und -Speicherung" der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen. Die Hauptausrichtung seiner Arbeiten ist die Kabeltechnik (ETG-Preis 1982). Er studierte an der RWTH Aachen Elektrotechnik und wurde dort 1973 promoviert. Danach arbeitete er als Entwicklungs-Fachabteilungsleiter der Felten & Guilleaume Energietechnik AG in Köln. 1976 nahm er seine Tätigkeit als Oberingenieur an der Universität Duisburg auf, habilitierte sich 1985, wurde 1992 zum apl. Professor ernannt und 1994 als Professor berufen. Über viele Jahre war er Mitglied des DKE-Arbeitskreises AK 411.1.1 sowie der CIGRE-WG 21-02 („Current ratings of cables“). Er ist Mitglied des Arbeitskreises CIGRE SC 21 sowie deutscher Repräsentant in der CIGRE-WG B1-05 („Transient effecting long cables“). Zur Zeit arbeitet er in der CIGRE WG B1.23 („Impact of EMF on Current Ratings and Cable“). Er ist Autor von mehr als 150 Fachaufsätzen sowie von drei Buchpublikationen zu Themen der Kabeltechnik sowie der Hochspannungs- und Hochstromtechnik.

Optimierung von Hoch- und Höchstspannungs- Kabelanlagen

Heinrich Brakelmann
Universität Duisburg-Essen,
Energie-Transport und -Speicherung

Abstract

Der Vortrag zeigt neue Möglichkeiten der Kabeltechnologie auf und hieraus abgeleitete Ansätze zur Optimierung von Kabelanlagen. Er geht insbesondere auf die folgenden Aspekte ein:

- Simulations- und Messverfahren zur Kabel- und Bodenerwärmung
- Temperaturmonitoring und –prognose während des Betriebs mit Parameteradaption
- Einsatz hochwärmeleitfähiger Materialien im Kabelgraben
- Verlegung im Infrastrukturkanal
- zeitabhängige Überlastbarkeiten
- Lateralkühlung zur Redundanzserhöhung
- magnetische Schirmung durch Zusatzleiter und ferromagnetische Kapselungen
- neue magnetische Schirmungssysteme mit hochpermeablen Folien
- bipolare Drehstromkabel
- Leistungsgrenzen



ETS

Energy -Transport
 and -Storage

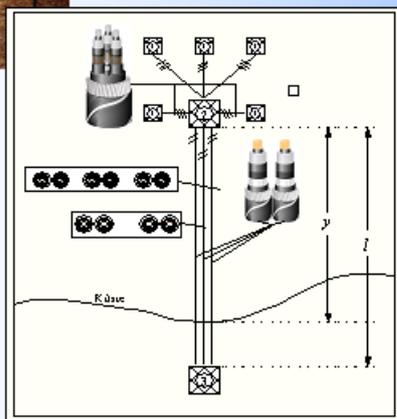
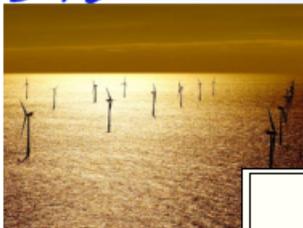
Universität Duisburg-Essen

Optimierung von Hoch- und Höchstspannungs- Kabelanlagen

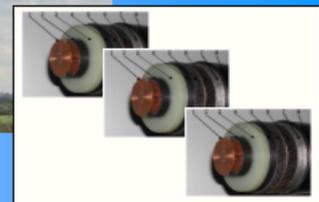
Heiner Brakelmann
 Universität Duisburg-Essen

Fribourg, FKH/ETG, 04.11.2009

ETS



University Duisburg-Essen



offshore:

windpark - socket platform: 400 MVA
 socket platform - shore: 1200...2000 MVA
 offshore-grids : 1200...2000 MVA

onshore:

shore to PCC: 1200...2000 MVA
 grid extension 110 kV: < 400 MVA
 grid extension 380 kV: 1500...2300 MVA

ETS

University Duisburg-Essen

400 kV XLPE Cable Route Copenhagen

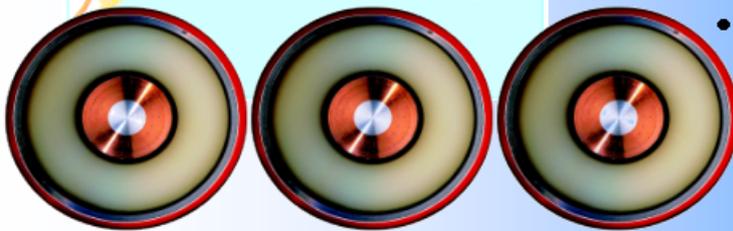


Southern Route (first phase)

- 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



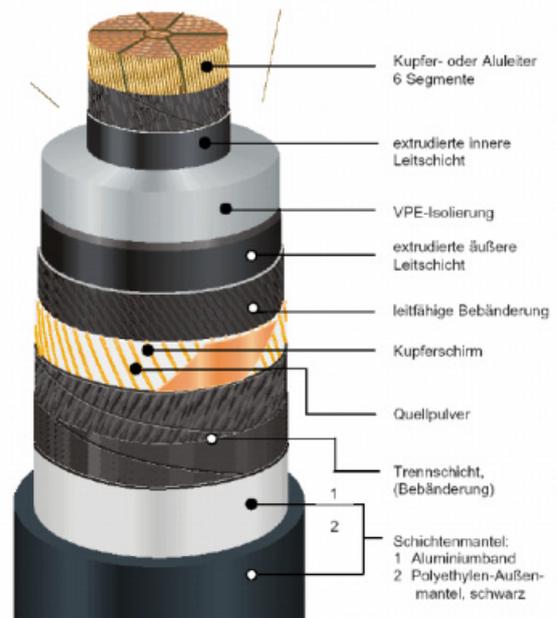
For Wind/Oswald:
 60 km; 400 kV:
 VKF = 2,4

ETS

**Stadtkabel
 mit LWL**

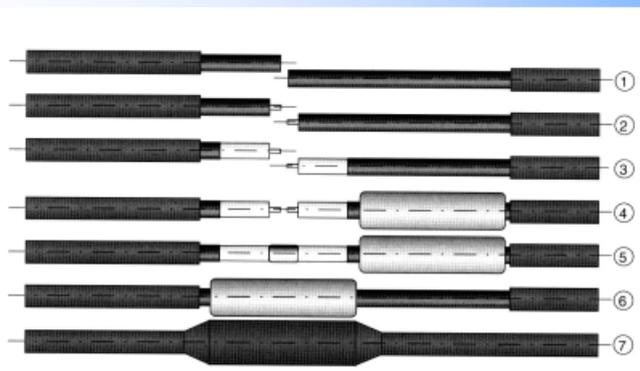


N(A)2XS(FL)2Y 1x1600 RMS/50 87/150 kV

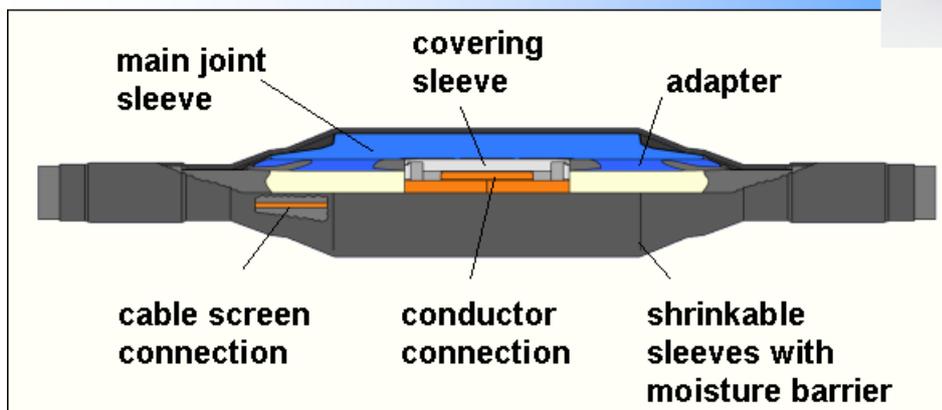


VPE-Kabel-Konstruktionen

ETS



University Duisburg-Essen



VPE-Kabel und
 -Garnituren bis
 550 kV
 verfügbar

5

ETS



Cable spacing increased as cable enter duct

University Duisburg-Essen





7

ETS

University Duisburg-Essen

Grenzen der HVAC-Kabeltechnik heute:

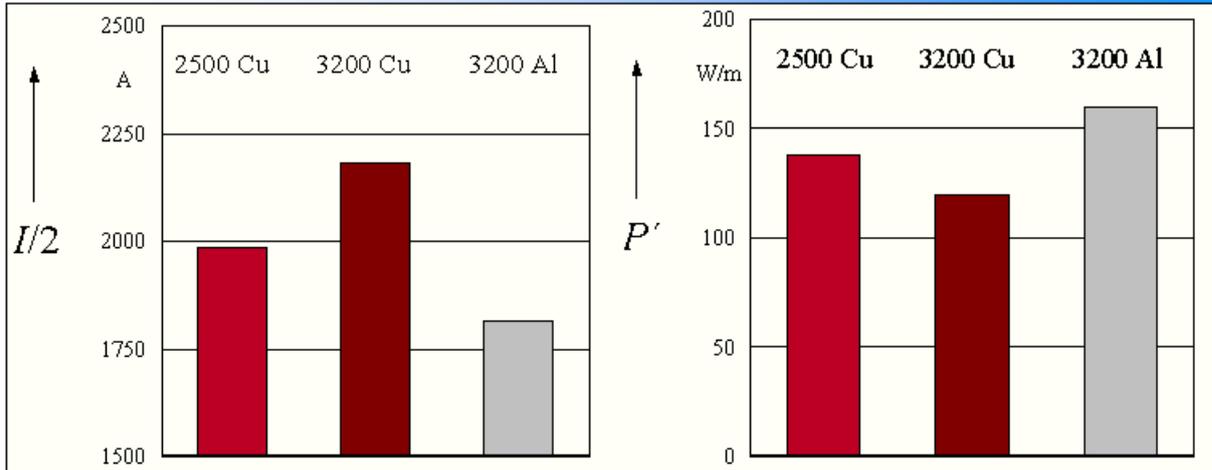
- 500 kV
- 3200 sqmm Kupferleiter
- > 2000 MVA Übertragungsleistung
- > 2000 A Betriebsströme

8

ETS

University Duisburg-Essen

**Kupferleiter
 3200 mm²**

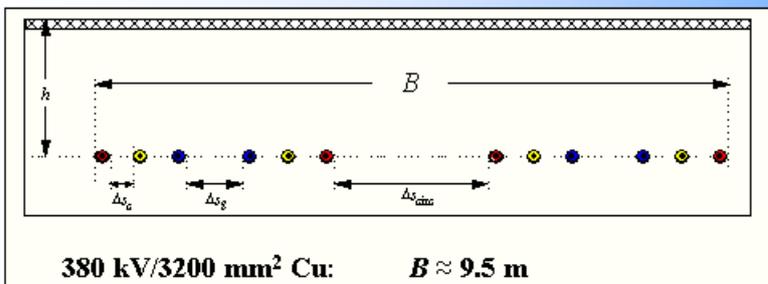
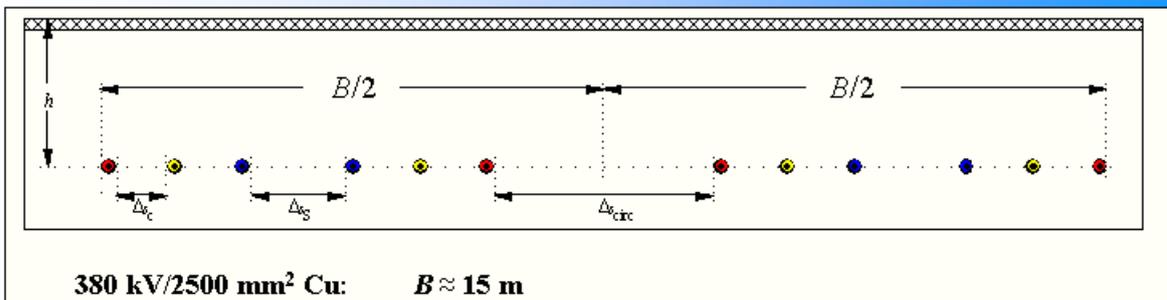


Belastbarkeit (links) und Verlustbeläge bei Belastung mit 2*2000 A
 Notbetrieb mit $\theta_c = 95^\circ\text{C}$

9

ETS

University Duisburg-Essen

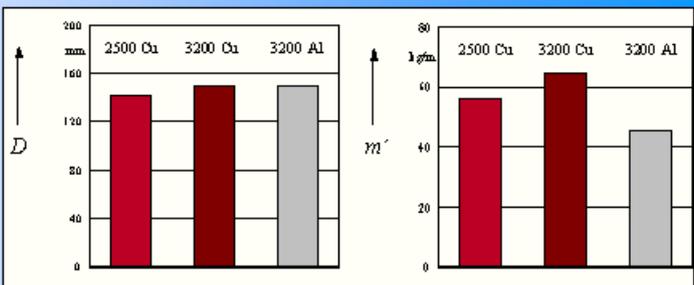
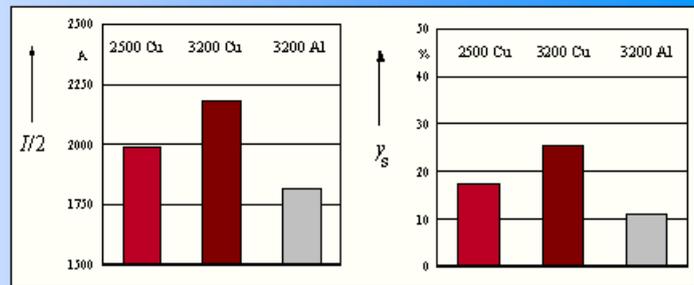
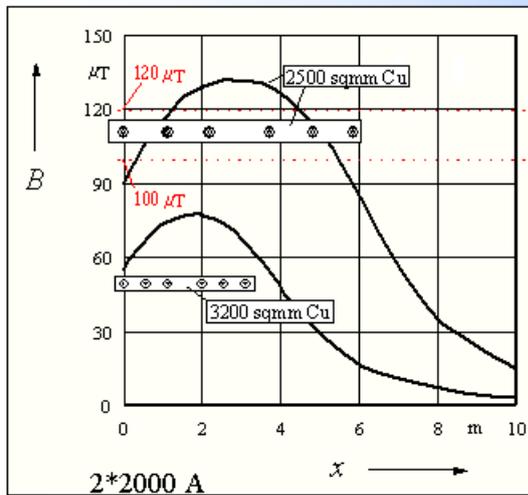


**Kupferleiter
 3200 mm²**

10

ETS

University Duisburg-Essen

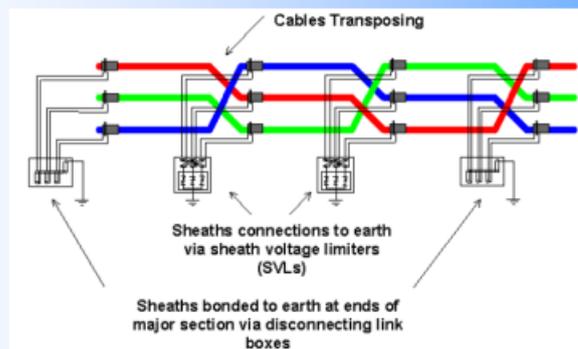
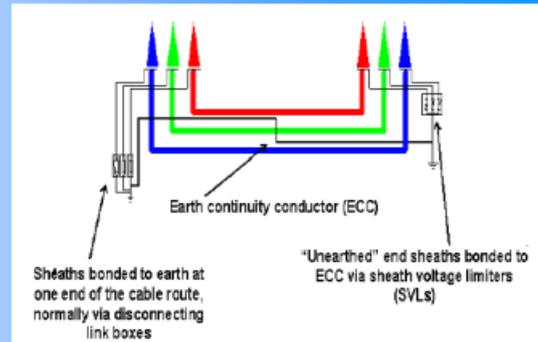
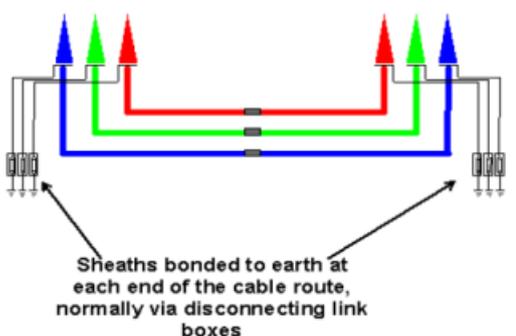


Kupferleiter
 3200 mm²

ETS

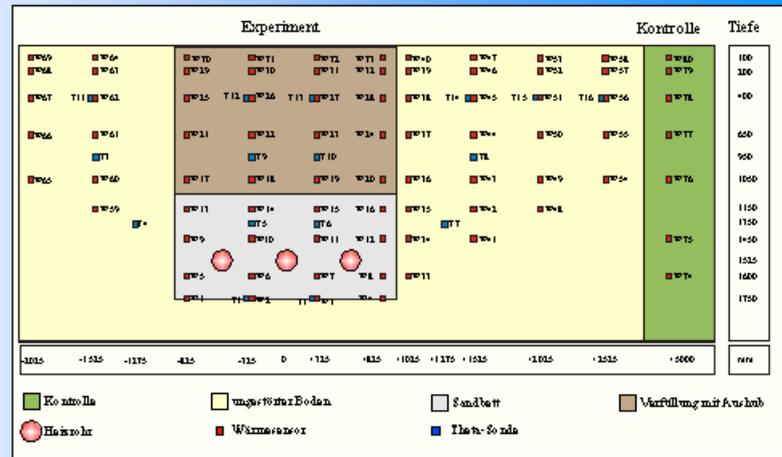
⑥ Cross-Bonding oder einseitige Erdung

University Duisburg-Essen



ETS

University Duisburg-Essen



Auswirkungen wärmeemittender Hoch- und Höchstspannungskabel auf den Boden

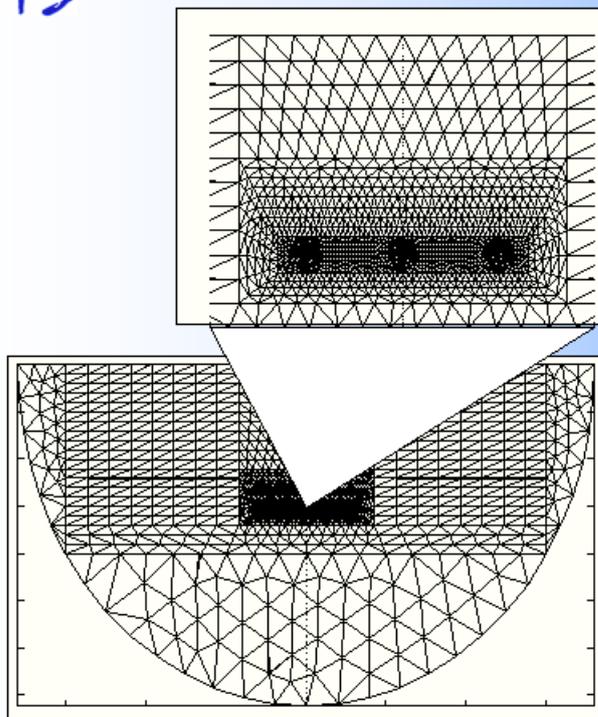
D. Uther
 RWE Transportnetz
 Strom GmbH,
 Dortmund

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

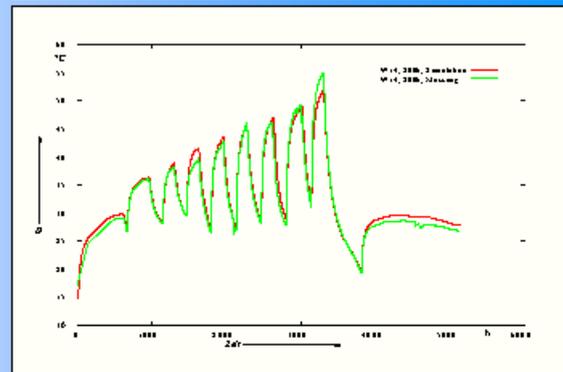
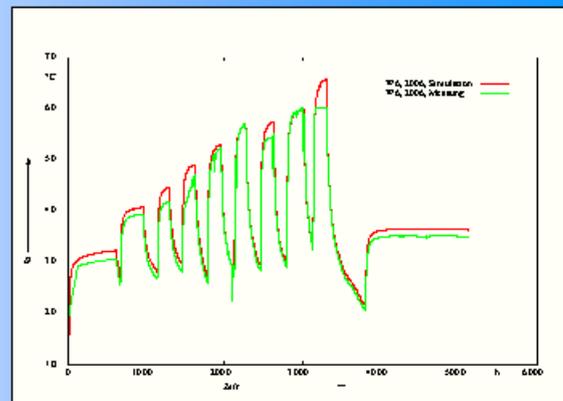
H. Brakelmann, J. Stammen
 Energietransport und -Speicherung
 Universität Duisburg-Essen

ETS

University Duisburg-Essen

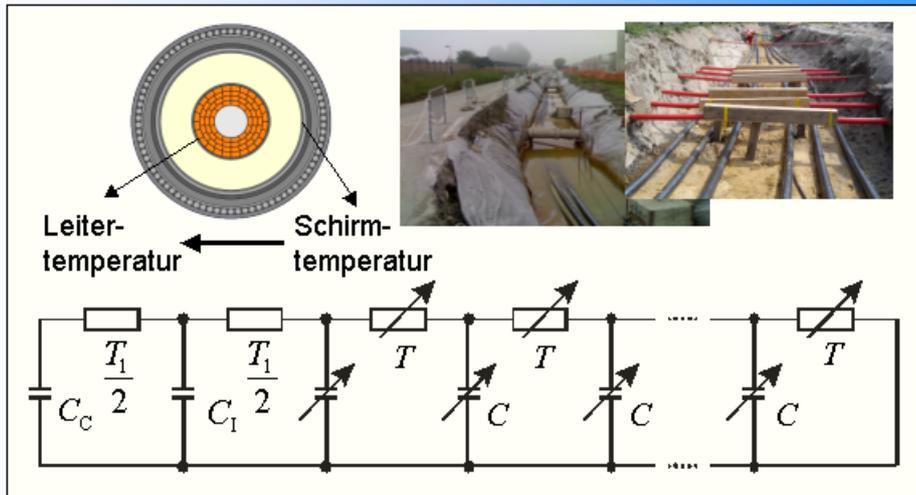
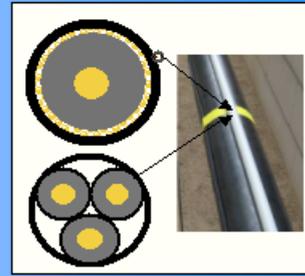
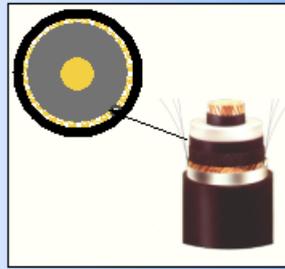
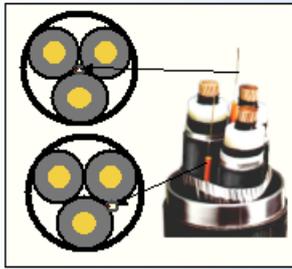


FEM-Analyse



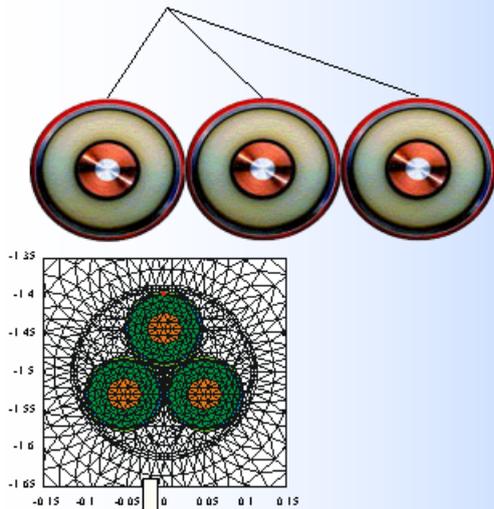
ETS

University Duisburg-Essen

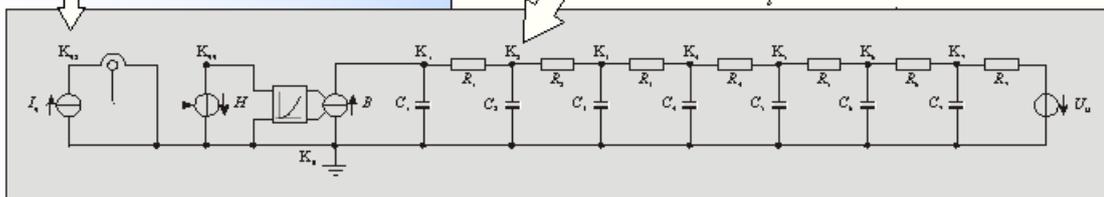
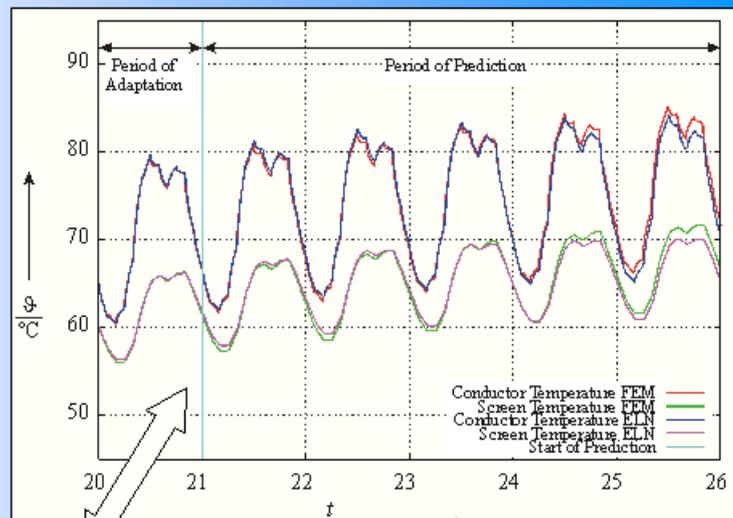


15

Temperaturerfassung am Schirm (Lichtwellenleiter)



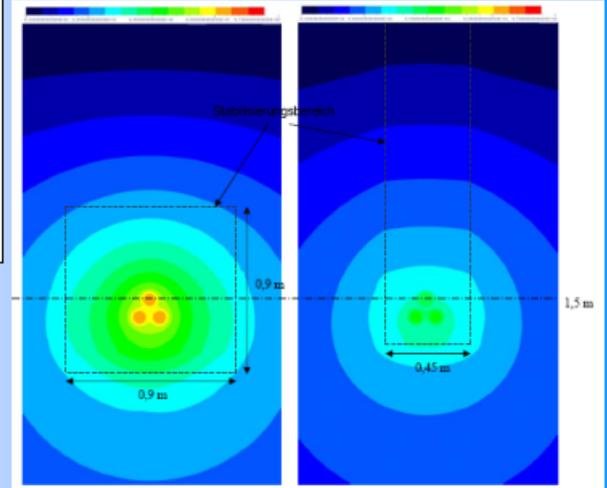
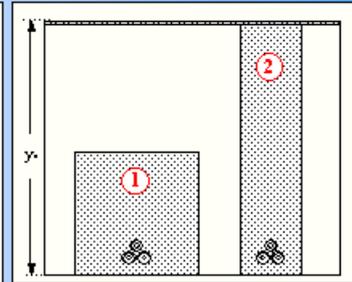
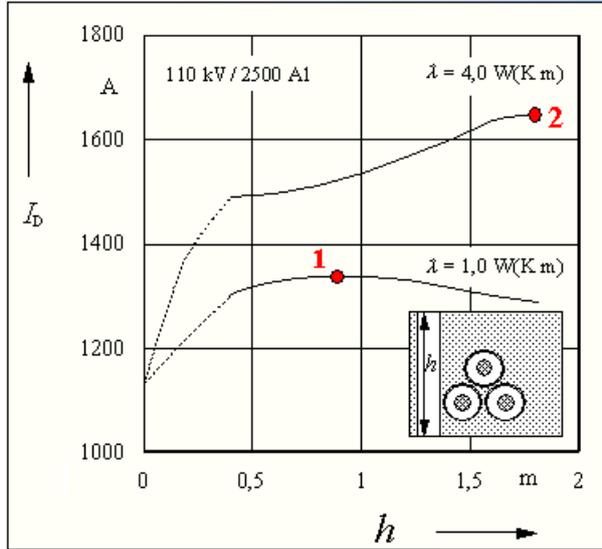
Prognose mit Parameter-Adaption durch Genetischen Algorithmus



16

ETS

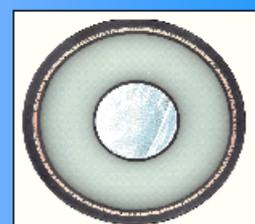
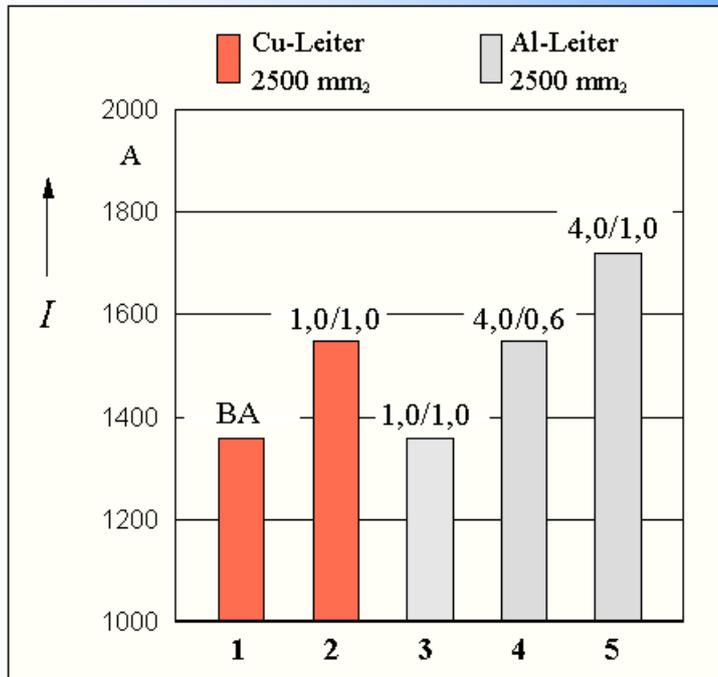
University Duisburg-Essen



neue Materialien zur
 thermischen Stabilisierung

ETS

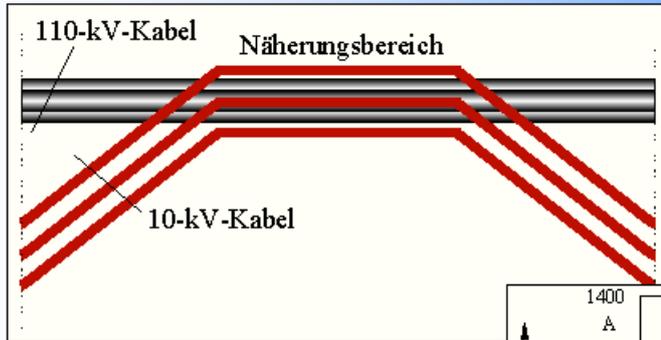
University Duisburg-Essen



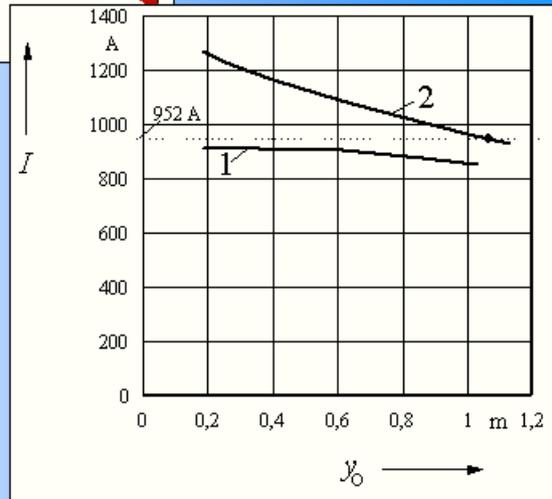
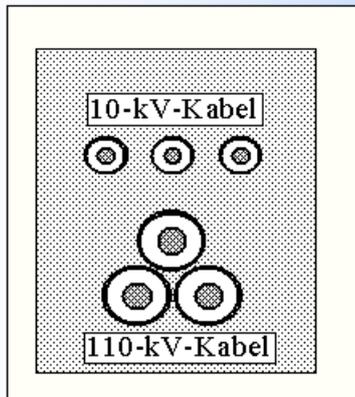
Aufwands-
 Minimierung

ETS

University Duisburg-Essen



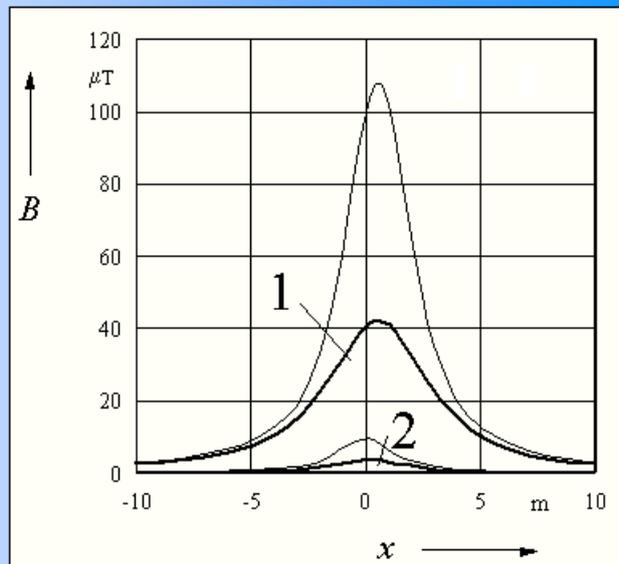
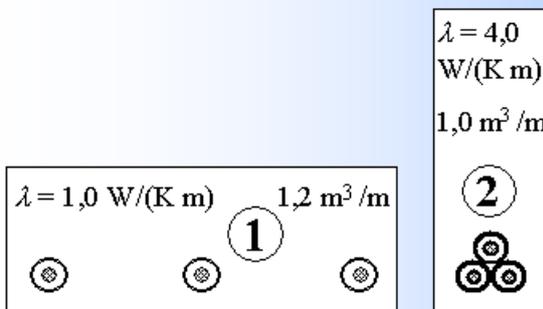
thermische Entlastung
 von hot-spots



19

ETS

University Duisburg-Essen

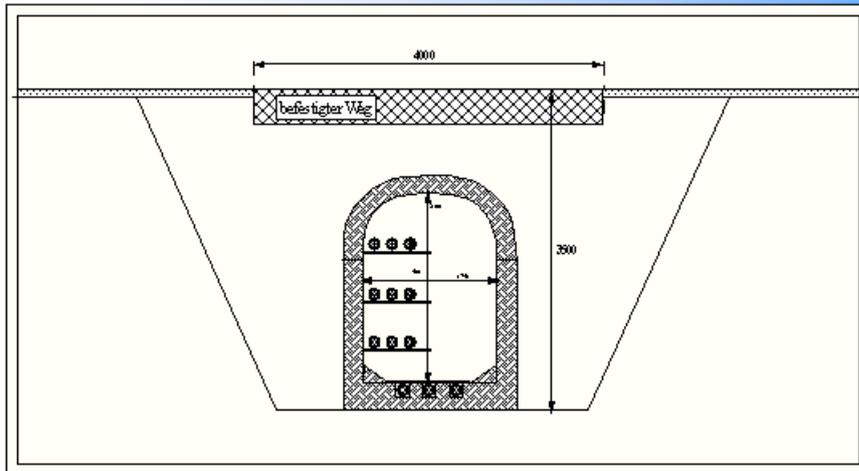


Magnetfeldverringernung
 durch Spezialbeton ?

20

ETS

Infrastrukturkanal



University Duisburg-Essen

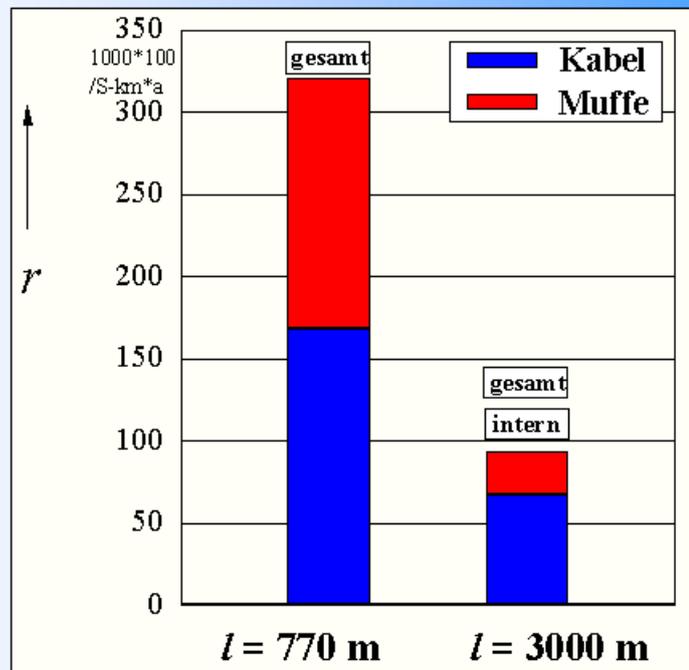


$$\lambda_F = \lambda_{F,intern} !!!$$

21

ETS

University Duisburg-Essen

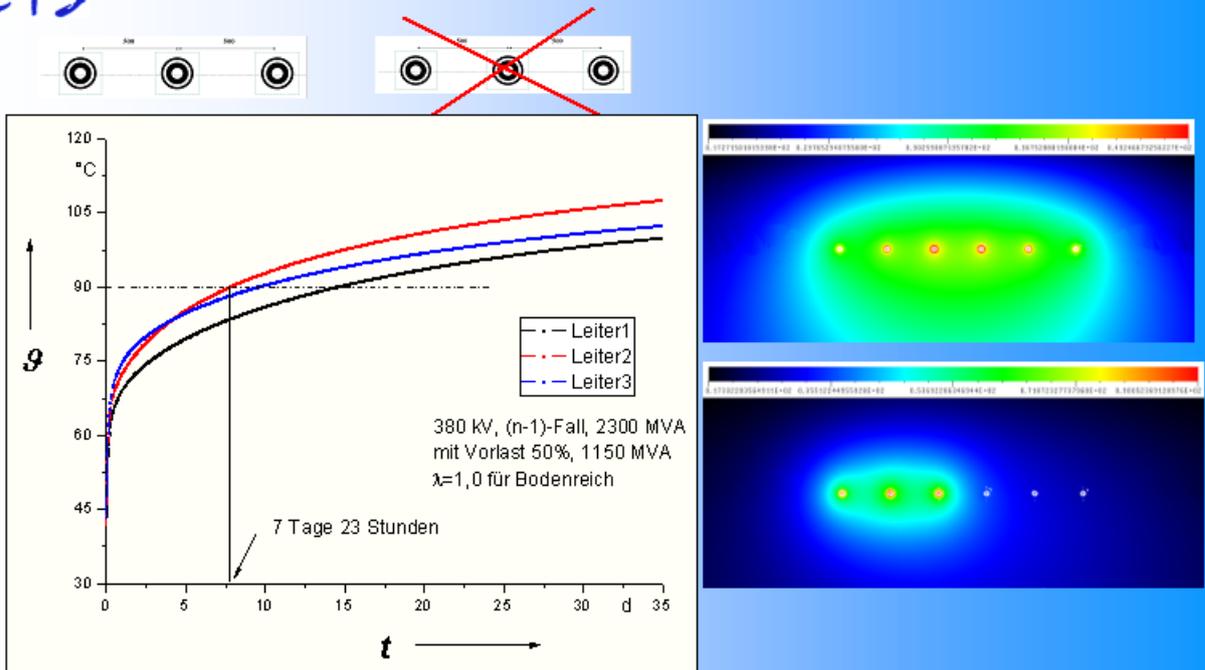


große Lieferlängen und wirksamer mechanischer Schutz ($U \geq 220$ kV)

22

ETS

University Duisburg-Essen

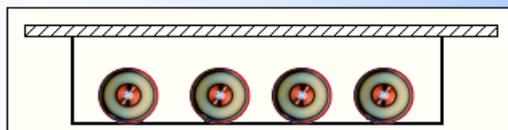


temperature response of a 380 kV XLPE cable system
 (2500 mm² copper conductors)

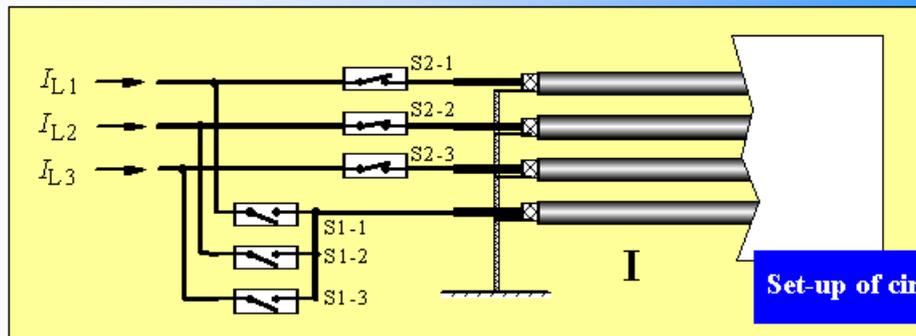
23

ETS

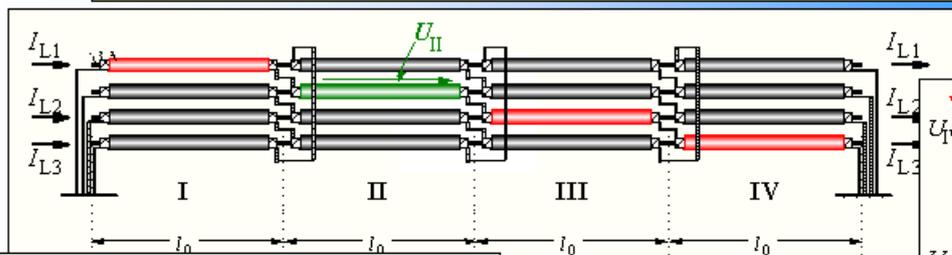
University Duisburg-Essen



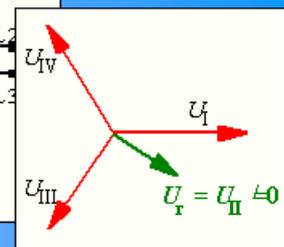
(n-1)-core-redundancy



Set-up of circuit-breakers



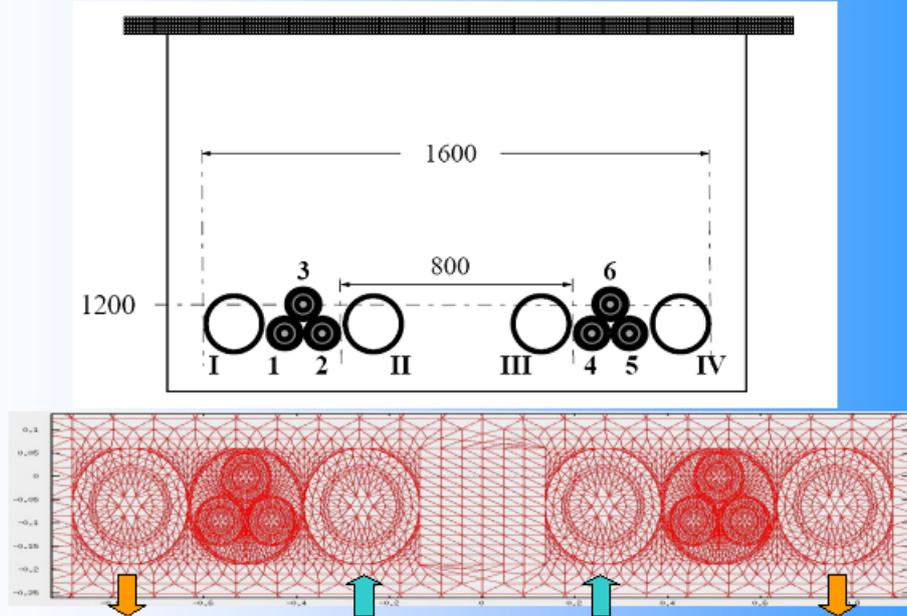
special cross bonding



ETS

University Duisburg-Essen

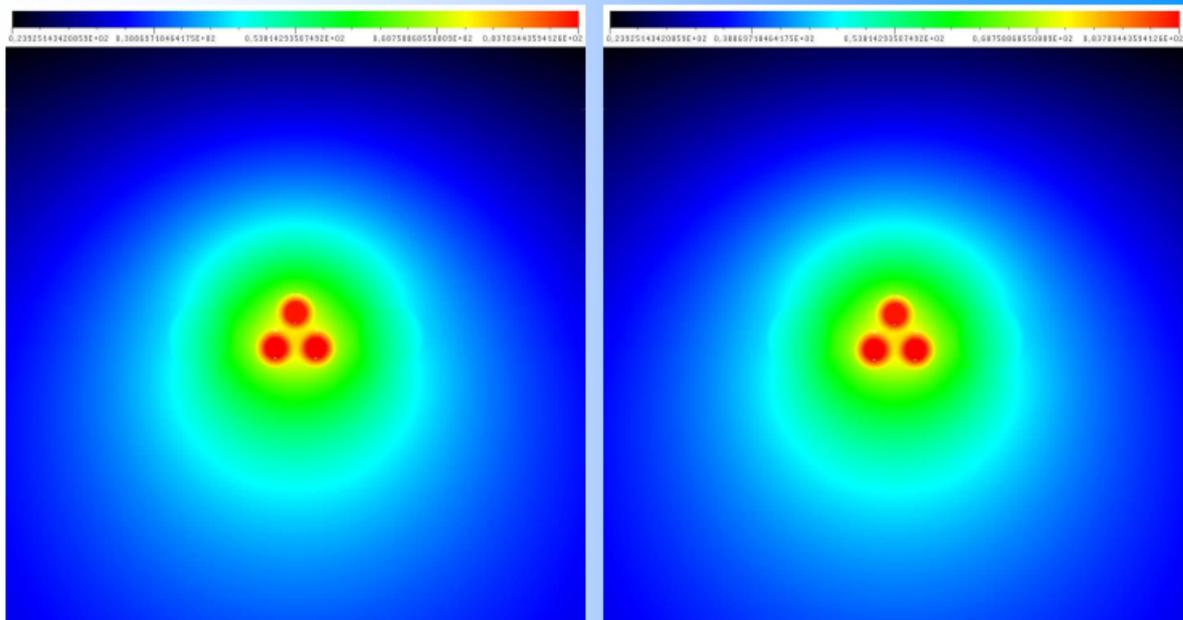
Lateralkühlung:
 + 50 % (n-1)-Reserve; Kabel- und Bodenkühlung
 Wärmerückgewinnung



25

ETS

University Duisburg-Essen

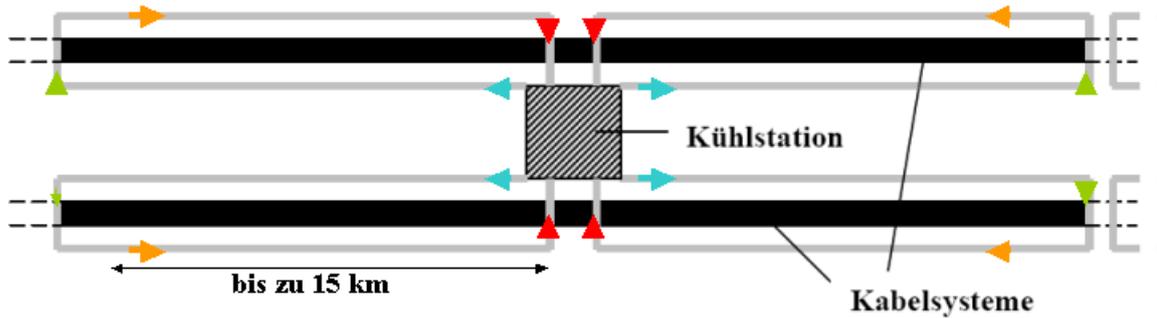


Einschalten der Kühlung über 6 Tage

26

ETS

University Duisburg-Essen

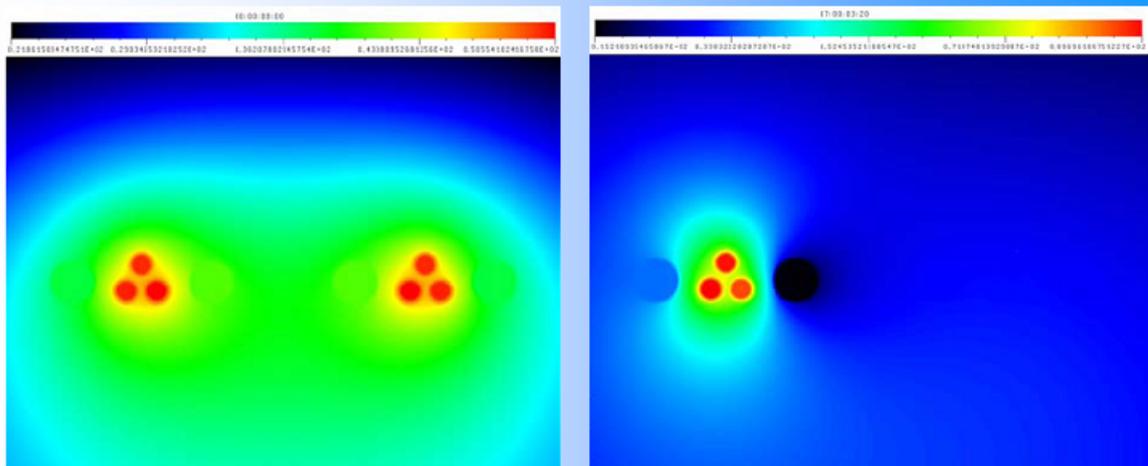


Kühlstationen-Abstand 20...30 km

27

ETS

University Duisburg-Essen



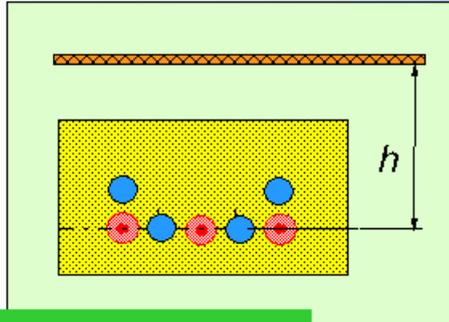
Zwei Systeme im Normalbetrieb
 (2*50% von 380 MVA)

Volllast in einem System mit
 Kühlung
 (nach 7tägiger Kühlung)

28

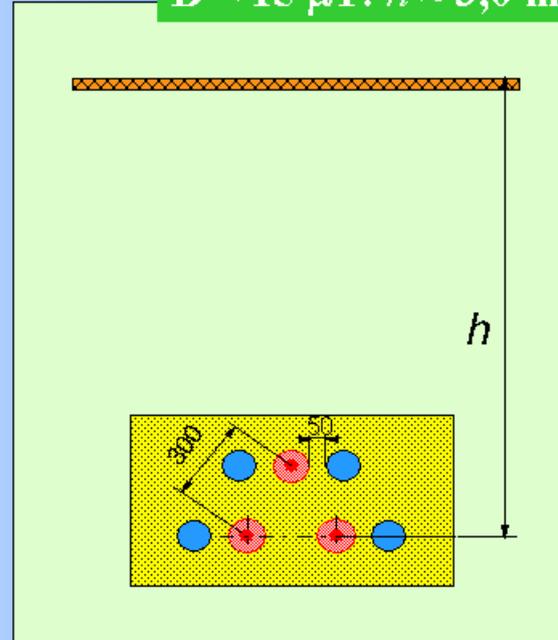
ETS

University Duisburg-Essen



„Wiener Modell“:
 $h = 1,2 \text{ m}$

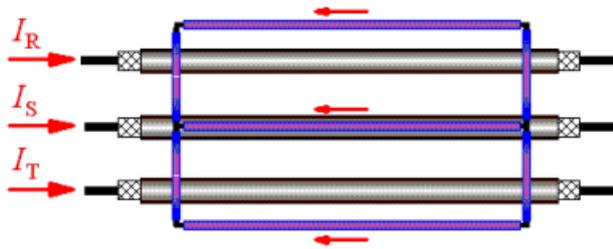
$B < 15 \mu\text{T}$: $h \approx 3,0 \text{ m}$



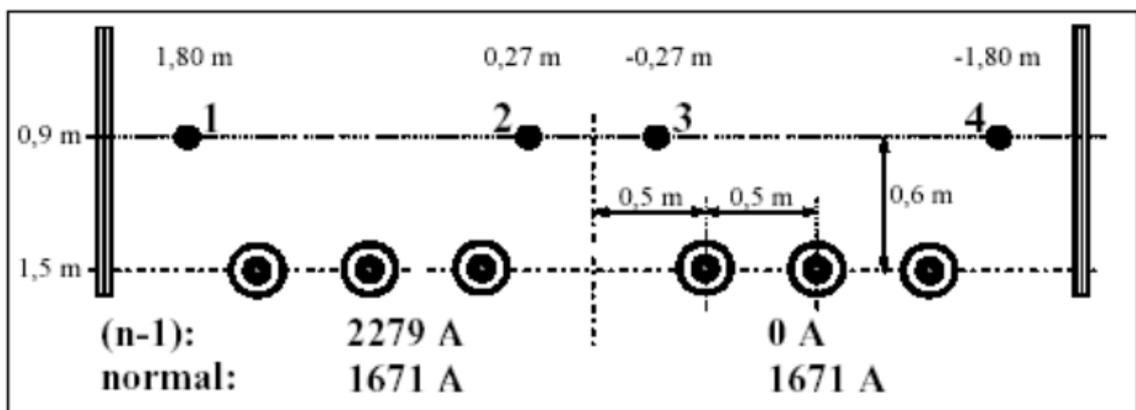
Wien: 380-kV-VPE-Kabel

29

ETS



University Duisburg-Essen

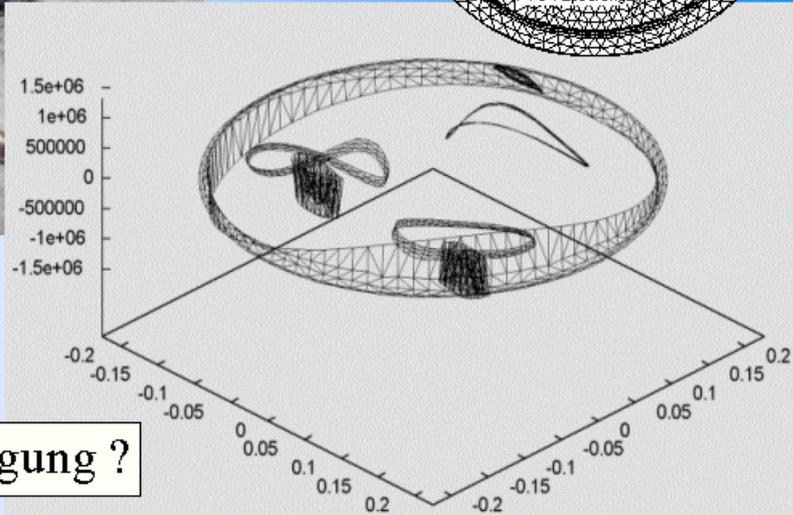
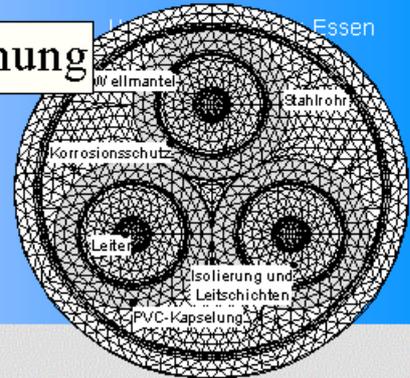


380-kV-cable twin system with 4 compensation conductors
 normal operation: 2*1671 A (2200 MVA); (n-1): 1*2279 A (1500 MVA)

30

ETS

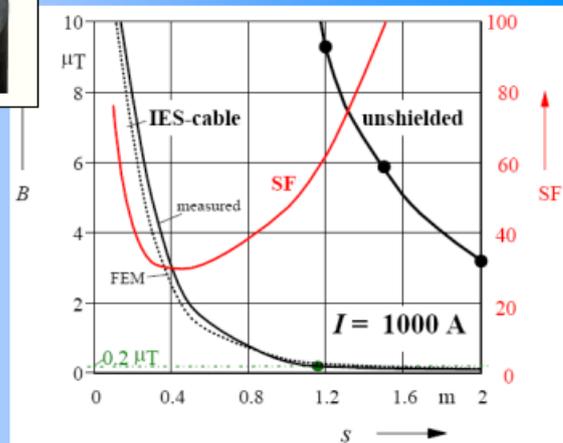
magnetische Schirmung



„feldfreie“ Übertragung ?

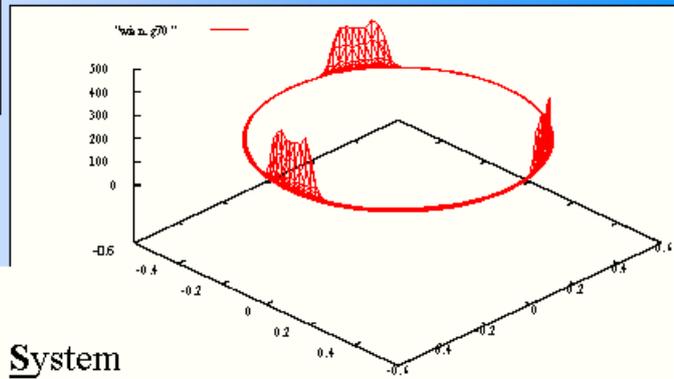
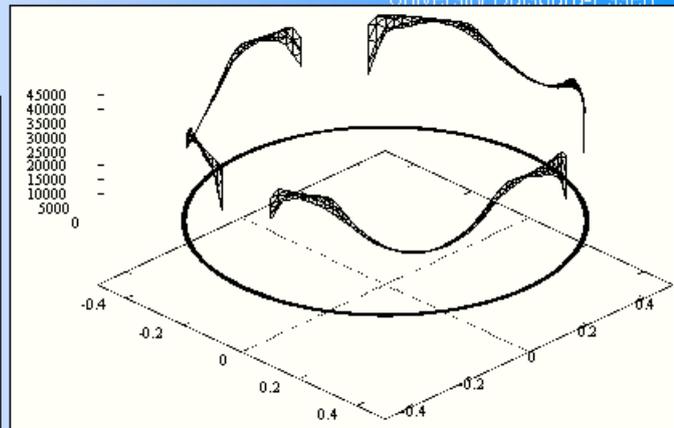
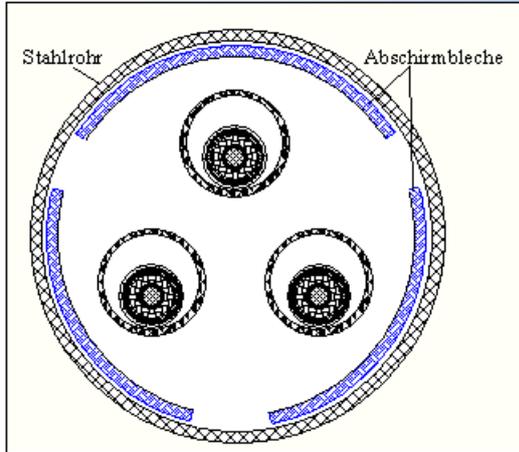
ETC

University Duisburg-Essen



110 kV power cable with integrated electromagnetic shielding– „IES Cable“

ETS



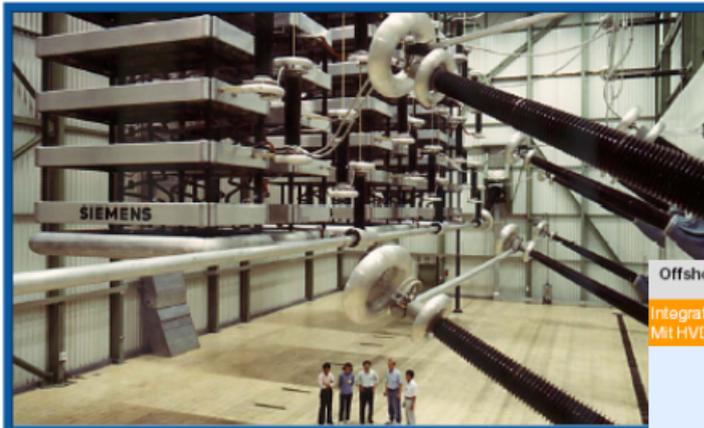
Neues Prinzip: **OCSS**
Optimized Composite Shielding System

University Duisburg-Essen

FTC

12 pulsige 500 kV DC / 1200 A Ventilgruppe für 600 MW
 Gezhouba - Shanghai China

University Duisburg-Essen



required space: 140 m³/MVA

specific losses : 1.2...1.5 %
 (per converter)

Offshore Modul HVDC PLUS 3x 250 MW

Integration von Großwindparks -
 Mit HVDC und Leistungselektronik



required space: 75 m³/MVA
 specific losses: 1.2...2.5 %



Abmessungen : Länge x Breite = 45 x 45 m, Höhe 28 m

ETS

HVAC ??

University Duisburg-Essen



single-core HVAC submarine cables with normal steel armour would be self-destructing



windpark to socket platform

HVAC 3core submarine cables:

150 kV 1200 mm² : ≤ 250 MVA
 245 kV 1200 mm² : 350...400 MVA



400 kV HVAC single-core submarine cable with copper armour:
 3*1*1200 mm² : 1000 MVA

ETS

University Duisburg-Essen

bipolares Drehstromsystem

L1-1

L1-2

L2-1

L2-2

L3-1

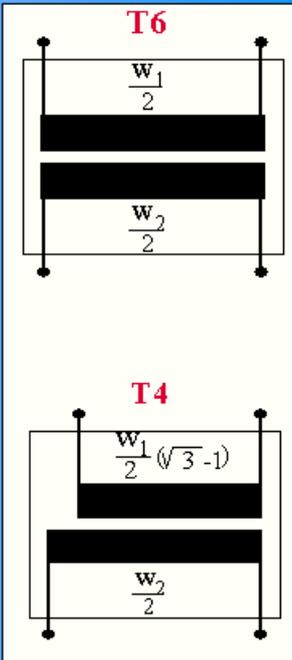
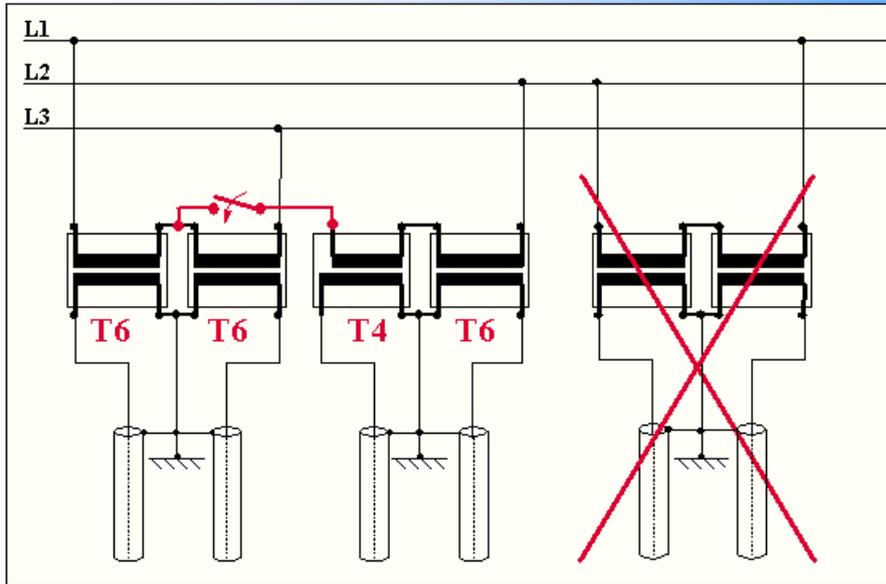
L3-2



Grenzdaten: 150 kV; 2000 mm²; 130 mm^φ; 70 kg/m; 840 MVA
 245 kV; 2000 mm²; 135 mm^φ; 75 kg/m; 1.300 MVA
 400 kV; 2000 mm²; 145 mm^φ; 80 kg/m; 2.200 MVA

ETS

University Duisburg-Essen

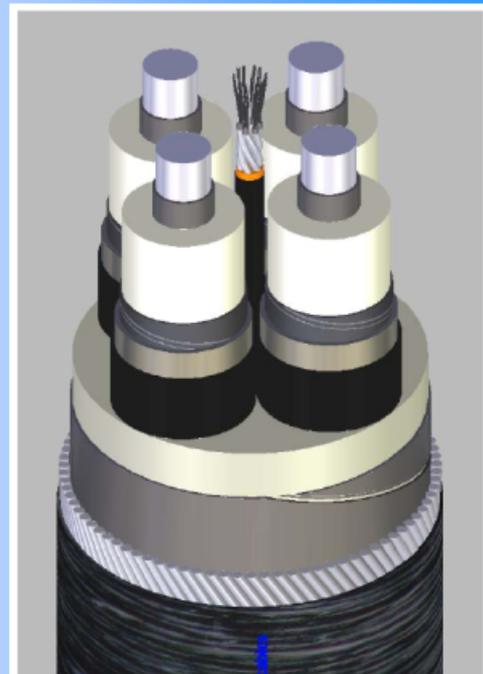


Umschaltung 6-Phasen / 4-Phasen

37

ETS

University Duisburg-Essen

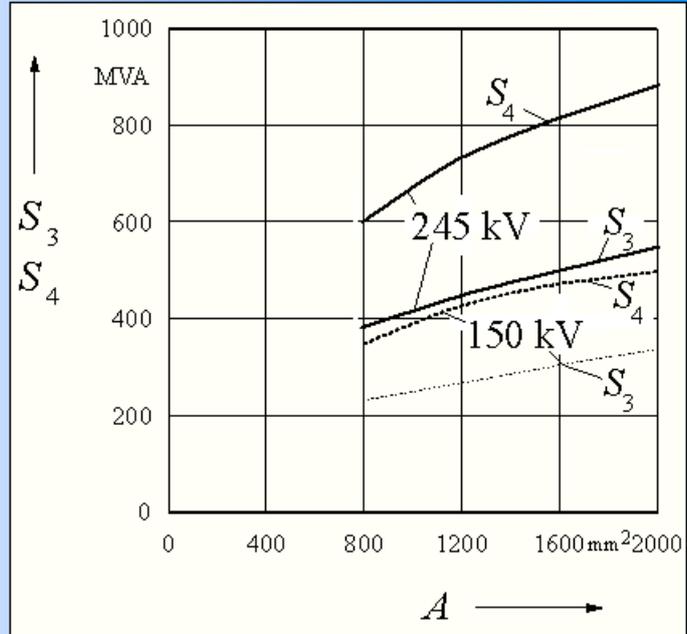
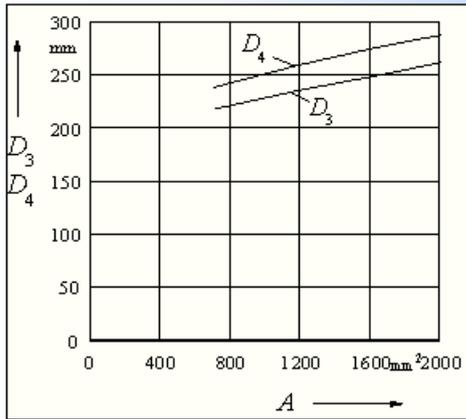


vieradriges Bipolar-Drehstromkabel

38

ETS

University Duisburg-Essen

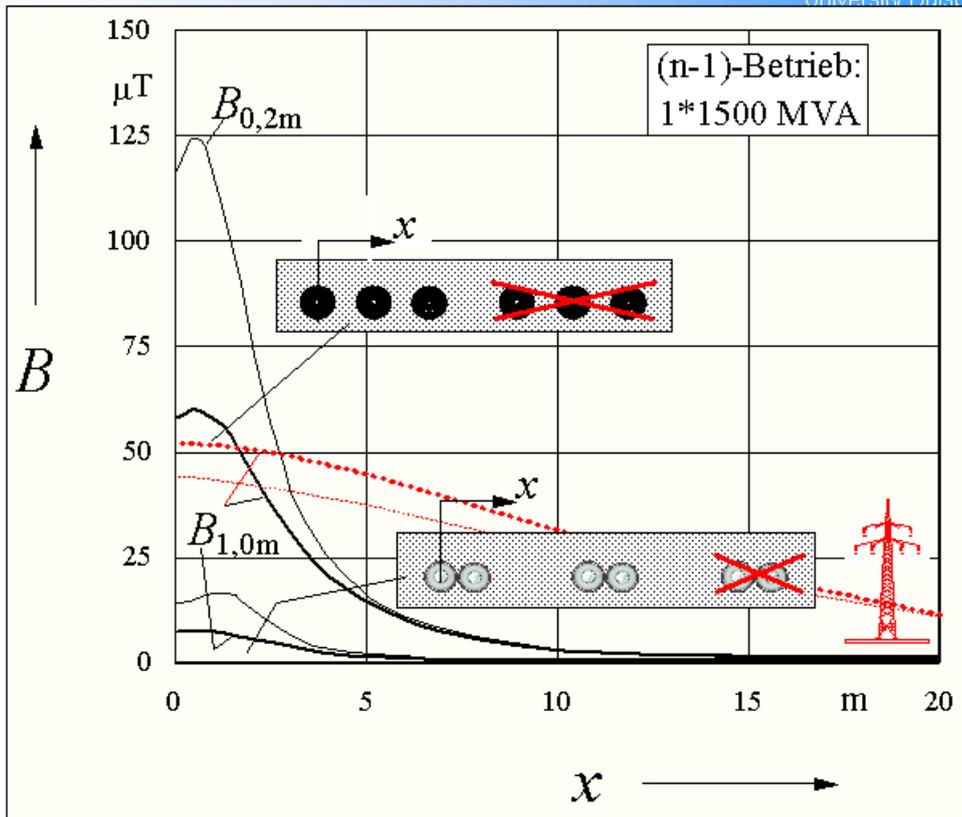


Durchmesser- und Leistungs-Vergleich

39

ETS

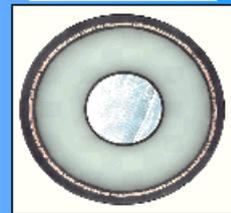
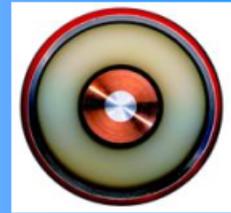
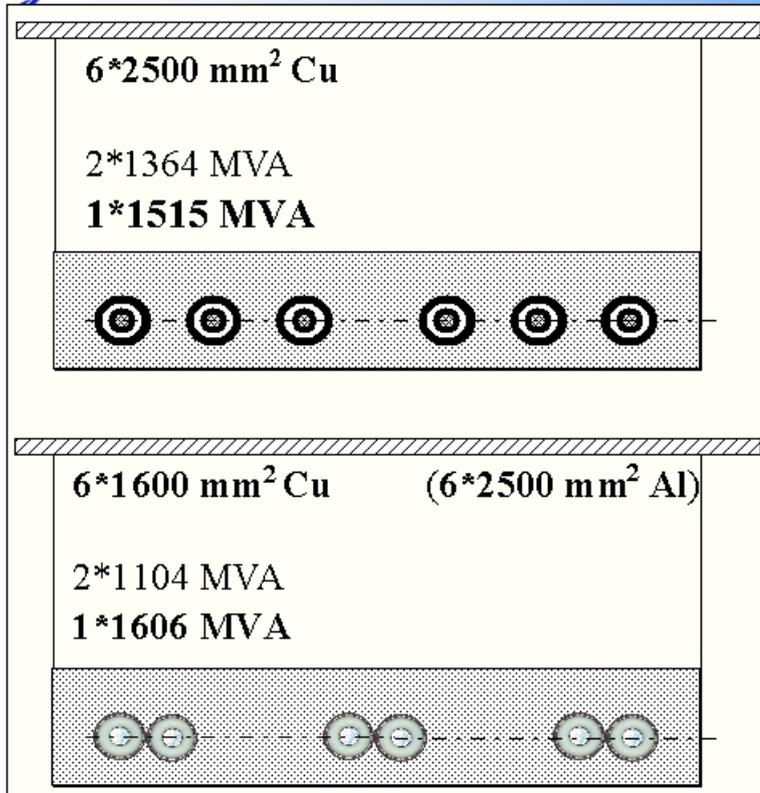
University Duisburg-Essen



40

ETS

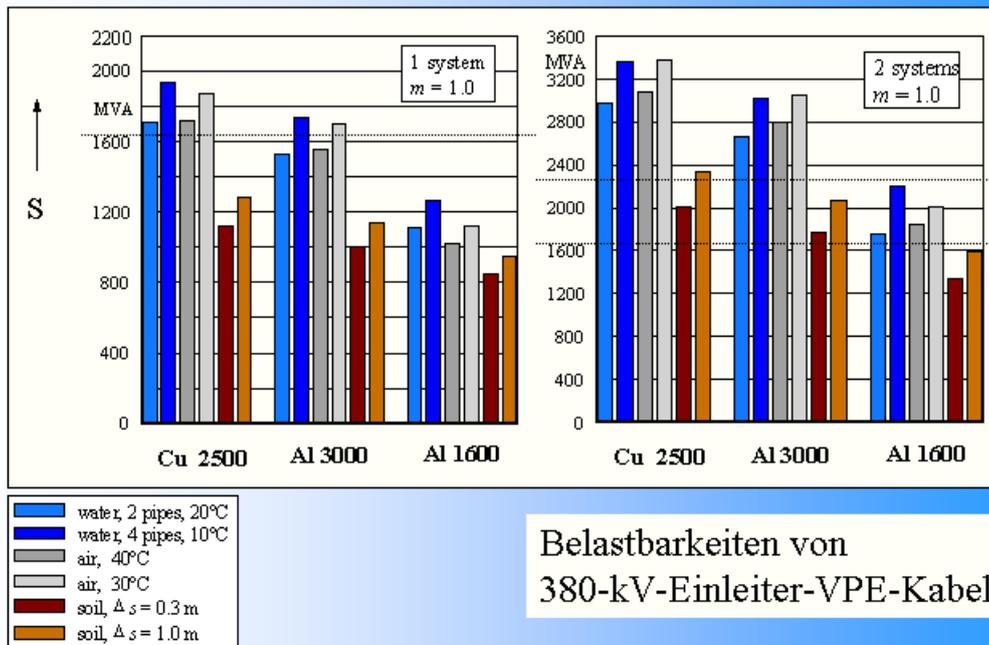
University Duisburg-Essen



41

ETS

University Duisburg-Essen



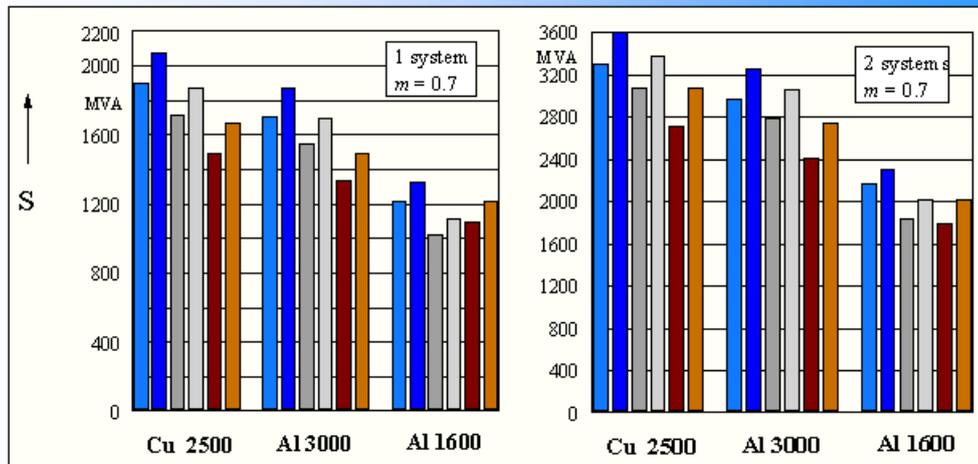
Belastbarkeiten von
 380-kV-Einleiter-VPE-Kabel

m = 1,0 ist praxisfremd und
 unphysikalisch !

42

ETS

University Duisburg-Essen



- light blue: water, 2 pipes, 20°C
- dark blue: water, 4 pipes, 10°C
- grey: air, 40°C
- white: air, 30°C
- brown: soil, $\Delta s = 0.3 \text{ m}$
- orange: soil, $\Delta s = 1.0 \text{ m}$

Belastbarkeiten von
 380-kV-Einleiter-VPE-Kabel

43

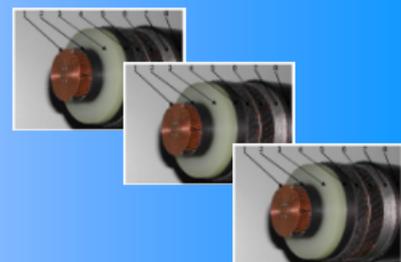
ETS

University Duisburg-Essen

so:



oder so:



Jetzt ist Schluß !

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

44

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Prüf- und Diagnosemethoden

- *Erfahrungen aus der Praxis*
- *Statistik der Prüfergebnisse*
- *Empfehlungen für Ausschreibungen von Kabelanlagen hinsichtlich Prüfung*

Dipl. El.-Ing. ETH Günther Storf
Fachkommission für Hochspannungsfragen, Zürich

Günther Storf ist am 16. August 1967 in Zürich geboren. Er studierte Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich.

Seit 1994 arbeitet er bei der Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH).

Prüf- und Diagnosemethoden

Günther Storf

Fachkommission für Hochspannungsfragen, Zürich

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Prüfmöglichkeiten an neuen Hochspannungskabeln (Betriebsspannung ≥ 50 kV) nach der Verlegung, aber auch an betriebsgealterten Kabelstrecken nach Reparaturen oder Modifikationen. Kunststoffisolierte Kabel werden heute praktisch ausschliesslich mit Wechselfeldspannung geprüft. Für andere Spannungsformen wie schwingende Stossspannungen oder Niedrigfrequenzen (< 1 Hz) liegen ungenügende Erfahrungen vor. Bei Gleichspannungsbeanspruchung von Kunststoffkabeln besteht zudem ein hohes Risiko für eine irreversible Schädigung der Isolation. Die folgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf Vor-Ort-Hochspannungsprüfungen mit Wechselfeldspannung im Frequenzbereich zwischen 20 und 300 Hz, wie es durch das Technische Komitee 20 der IEC (Elektrische Kabel) festgelegt wurde (z.B. IEC Publikation 62067).

Die Spannungsfestigkeit einer Kabelstrecke wird durch ihre schwächste Stelle definiert. In der Regel sind dies die Muffen und Endverschlüsse, die vor Ort montiert werden. Als aussagekräftige und zerstörungsfreie Diagnosemethode bietet sich heute einzig die Teilentladungsmessung an, um lokale Schwachstellen, entstanden durch mögliche Montagefehler an den Garnituren, aufzudecken und zu orten.

Die so genannten „integralen“ Diagnosemethoden, die auf einer Charakterisierung der dielektrischen Verluste bzw. der Polarisations-eigenschaften der ganzen Kabelstrecke beruhen, haben sich bis heute wenig durchgesetzt. Es können dafür dreierlei Gründe angegeben werden:

- Sie sind nicht in der Lage lokale Schwachstellen aufzudecken
- Die stark unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften der Kabelisolation und der Endverschlüsse überlagern sich bei der Messung, was eine Interpretation erschwert
- Bekannte Zusammenhänge zwischen dem Polarisationsverhalten und dem Alterungszustand der Kabel bestehen nur für heute kaum noch in Betrieb stehende ältere Kabeltypen, bei welchen sich so genannte „Wasserbäumchen“ im Isolierstoff ausbilden können.

Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die Ausführungen über die Diagnosemethoden auf die unterschiedlichen Möglichkeiten der Teilentladungserfassung und deren Interpretation, sowie auf die seit dem Aufkommen dieser Messtechniken gemachten praktischen Erfahrungen.

2 Erzeugung der Prüfspannung

Zur Erzeugung der Prüfspannung vor Ort wird bevorzugt eine Serie-Resonanz-Anlage mit variabler Frequenz eingesetzt, wie sie von der FKH seit 1980 für Kabelprüfungen eingesetzt wird [1, 2].

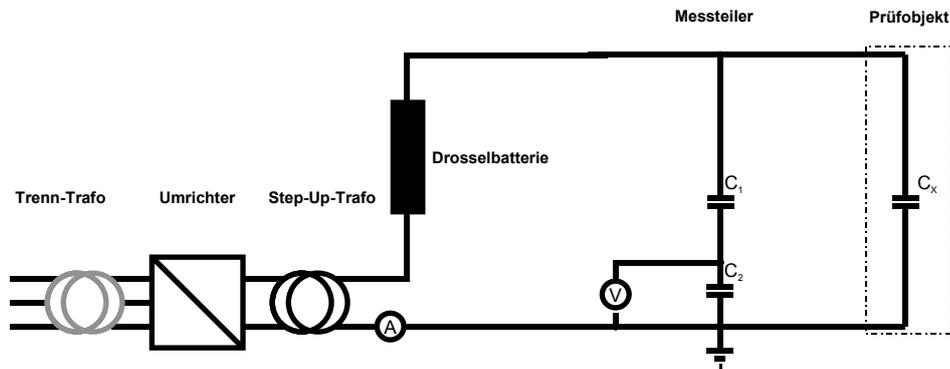


Abbildung 1: Schema einer Serie-Resonanz-Anlage

Für den Einsatz bei Teilentladungsmessungen sind bei solchen Anlagen die Quellen zur Erzeugung der variablen Frequenz problematisch. Elektronische Frequenzumrichter grösserer Leistung erzeugen eine Rechteckspannung, welche starke Störimpulse erzeugt, die je nach Messtechnik unterdrückt werden müssen. Motor-Generator-Gruppen haben am Ausgang normalerweise ein sinus-ähnliches Signal, welches mit relativ einfachem Filteraufwand für TE-Messungen verwendet werden kann. Sie sind allerdings aus mechanischen Gründen nur in einem eingeschränkten Frequenzbereich einsetzbar (z.B. 60 – 130 Hz).

Elektronische Frequenzumrichter müssen durch Abschirmung und Filterung für den Einsatz als Speisequelle für TE-Messungen tauglich gemacht werden.

Als Beispiel kann ein 42-kVA-Umrichter erwähnt werden, der von der FKH geschirmt und mit hochwertigen Filtern versehen wurde, so dass er sogar bei konventionellen TE-Messungen einsetzbar ist.

Die mehrstufige Filterung ist allerdings sehr aufwändig. Der eigentliche Umrichter wiegt etwa 80 kg, während das gesamte Gerät mit Filter, Trenntrafo und geschirmtem Gehäuse über 700 kg schwer ist.

3 TE-Detektion

3.1 Allgemeine Messtechnik

Die von den unterschiedlichen Sensoren kommenden Signale werden in der Regel mit einem Spektrum-Analysator in einem möglichst störungsfreien Frequenzbereich schmalbandig gefiltert und zur phasenaufgelösten Darstellung an das TE-Messgerät weitergeleitet.

Moderne TE-Messgeräte verwenden meistens die Methode der PRPDA (Phase Resolving Partial Discharge Analysis, [3]), welche die phasenaufgelöste Darstellung der TE-Signale über mehrere Perioden erlaubt. Bei der neusten Generation können mehrere Geräte mit LWL-Verbindungen zusammen geschaltet werden. Dies ist gerade bei Kabelprüfungen, an welchen bei allen Garnituren gemessen werden soll, sehr hilfreich, wobei vorgängig zwischen allen Muffenstellen und den Endverschlüssen LWL-Kabel verlegt werden müssen.

Ein Oszilloskop dient zur Beurteilung der elektrischen TE-Pulse im Zeitbereich, sowie zur Einstellung der Messparameter bei der phasenaufgelösten Darstellung.

Durch die netzasynchrone Prüfspannung wird eine weitere wirksame Störunterdrückung erreicht. Zur Netzfrequenz synchrone Störpulse weisen dann keine Korrelation zur Prüfspannung auf und können bei einer statistischen Auswertung diskriminiert werden.

3.2 Elektrische TE-Messung mit Koppelkondensator

Die Teilentladungen werden über einen Koppelkondensator und einen Ankopplungs-4-Pol ausgekoppelt. Das Messsignal wird anschliessend wie in Kap. 3.1 beschrieben weiterverarbeitet.



Abbildung 2: Prinzip der elektrischen TE-Messung mit Koppelkondensator

3.3 TE-Auskopplung am Kabelschirm

Die Teilentladungen werden mittels eines 4-Pols über den enterdeten Kabelschirm ausgekoppelt und weiterverarbeitet.



Abbildung 3: Prinzip der TE-Auskopplung am Kabelschirm

Bei entsprechender Wahl des Messfrequenzbereichs ist es mit dieser Methode auch möglich Teilentladungen zu erfassen, die im Kabel (in grösserem Abstand vom Endverschluss) erzeugt worden sind. Allerdings ist damit zu rechnen, dass über den Kabelschirm ein hoher Störpegel eingekoppelt wird, der eine empfindliche TE-Detektion bei den notwendigerweise tiefen Messfrequenzen erschwert.

3.4 In Garnituren eingebaute Sensoren

Es gibt Hochspannung-Kabelmuffen mit eingebauten Sensoren, die auf der induktiven Auskopplung des Signals eines kapazitiven Messbelags beruhen [4, 5]. Der TE-Sensor besteht aus einem Ferritkern, durch den die Verbindung des Schirmlags des Muffenkörpers zum Kabelschirm geführt wird. Die Messwicklung besteht ebenfalls aus einer einzigen Windung um den Ferritkern, die auf eine HF-Koaxialbuchse am Muffengehäuse geführt wird.

Messungen an einer abgeschnittenen Muffe im Labor haben gezeigt, dass ein derartig aufgebauter Sensor eine Bandpasscharakteristik mit einem Durchlassbereich von ca. 12 MHz – 40 MHz besitzt. Vergleichende TE-Messungen haben weiter ergeben, dass die detektierbare Ladung unter 5 pC liegt.

In der Regel wird es notwendig sein, das vom Sensor erfasste Signal direkt an der Muffe mit einem rauscharmen Vorverstärker zu verstärken. Abbildung 4 zeigt die gesamte Messkette.

Im genannten Messfrequenzbereich sind Teilentladungen, die aus dem Kabel kommen (allerdings auch externe Störungen) über eine Distanz von einigen hundert Metern noch erfassbar.

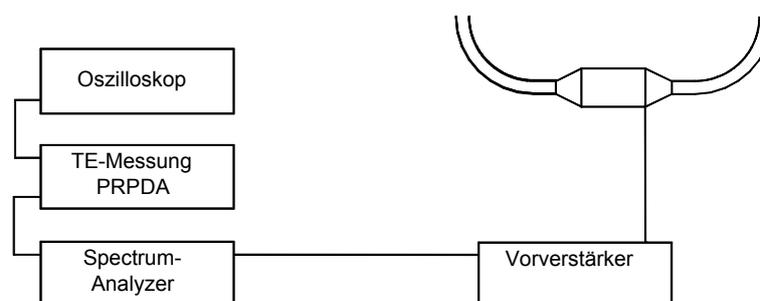


Abbildung 4: Prinzip einer Crossbondingmuffe mit eingebautem TE-Sensor

3.5 Feldsensor

Die TE-Erfassung erfolgt bei diesem System mittels Feldkopplung. Mit kapazitiven oder induktiven Sonden kann entweder das elektrische oder das magnetische Feld erfasst werden.

Auf dem Markt erhältlich sind auch UHF/VHF-Konverter, welche es ermöglichen, mit Messfrequenzen zwischen 50 MHz und 300 MHz zu messen.

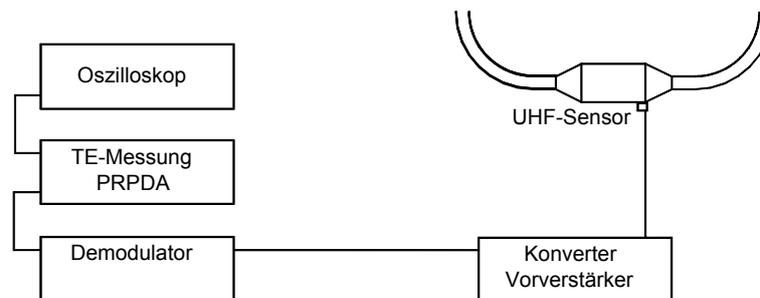


Abbildung 5: Prinzip der Messung mit Feldsensoren

In diesem Frequenzbereich ist eine Kalibrierung der scheinbaren TE-Impulsladung nicht mehr möglich. Statt dessen wird die notwendige Empfindlichkeit mit vergleichenden Tests nachgewiesen.

3.6 Akustische TE-Messung

Die akustische Detektion der Teilentladungen wird über einen auf der Grundplatte des Kabelendverschlusses befestigten Sensor S vorgenommen (Körperschall-Resonanz-Sensor, 60 kHz). Nach einer Aufbereitung über einen Vorverstärker und einen Demodulator wird das Signal gemeinsam mit dem Prüfspannungsverlauf auf einem Oszilloskop dargestellt.



Abbildung 6: Prinzip der akustischen TE-Messung

Je nach Art der TE-Quelle und der charakteristischen Eigenschaften des Kopplungsweges kann die Empfindlichkeit der akustischen TE-Messung sehr stark variieren. Wird jedoch ein zur Prüfspannung synchrones Signal gemessen, kann mit grosser Sicherheit davon ausgegangen werden, dass sich eine TE-Quelle in unmittelbarer Nähe des Sensors befindet.

4 Ausgewählte Beispiele

4.1 110-kV-Freiluftendverschlüsse

Nach Feststellung einer systematischen Isolationsschwachstelle an einem Freiluftendverschlusstyp, wurde vom EVU, an einer wichtigen, schon einige Jahre im Betrieb stehenden 110-kV-Kabelanlage, welche mit den problembehafteten Endverschlüssen ausgerüstet war, eine TE-Überprüfung gewünscht. Die Kabelanlage hatte folgende Parameter:

- Nennspannung: 110 / 64 kV
- Prüfspannung: 128 kV ($2 U_0$, da älteres Kabel)
- Isolation: XLPE
- Querschnitt: 500 mm²
- Kapazität: 194 nF/km
- Trasseelänge: 1350 m

Die Prüfanlage wurde auf Seite der Freiluftendverschlüsse aufgebaut, während auf der anderen Seite SF₆-Endverschlüsse montiert waren. Untersucht wurde ausschliesslich das TE-Verhalten der Freiluftendverschlüsse.

Die Teilentladungen wurden mittels Koppelkondensator gemessen (siehe Kap. 3.2) und akustisch (siehe Kap. 3.6) detektiert.

Der Grundstörpegel (GSP) bei der Messung mit Koppelkondensator variierte zwischen 28 und 34 pC.



Abbildung 7: Prüfanlage mit Koppelkondensator, Freiluftendverschluss

Bei den TE-Messungen mittels Koppelkondensator konnte bei 128 kV Prüfspannung eine TE-Aktivität von bis zu 60 pC festgestellt werden (siehe Abbildung 8). Mit den akustischen Sensoren konnten, selbst bei Nennspannung, an der Endverschlussgrundplatte Entladungen geortet werden, womit klar war, dass sich der Isulationsdefekt im Endverschluss befand.

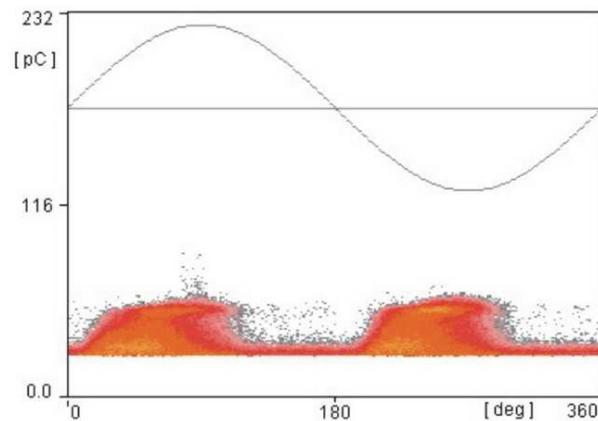


Abbildung 8: PRPDA-Bild

Alle drei Freiluftendverschlüsse wurden ausgewechselt und haben die anschliessend wiederholte Hochspannungsprüfung mit TE-Messung bestanden.

4.2 150-kV-Sperrmuffe

Eine neu erstellte 150-kV-Kabelanlage wurde vom Unterwerk bis zu einer Sperrmuffe geprüft. Im Unterwerk wurde die Prüfanlage (Abbildung 9) an den Freiluftdurchführungen eines Trafofeldes (Abbildung 10) angeschlossen und zum Kabel durchgeschaltet. Die Sperrmuffe wurde mit SF₆-gefüllten GFK-Prüfgehäusen ausgerüstet.

Die Kabelanlage hatte folgende Parameter:

- Nennspannung: 150 / 87 kV
- Prüfspannung: 190 kV (2.2 U₀)
- Isolation: XLPE
- Querschnitt: 300 mm²
- Kapazität: 132 nF/km
- Trasseelänge: 2881 m



Abbildung 9: Prüfanlage



Abbildung 10: Anschluss an GIS-Anlage durch Trafazelle

Mit der Spannungsprüfung wurde am GIS-Endverschluss, der Sperrmuffe und den drei dazwischenliegenden Crossbonding-Muffen eine TE-Messung durchgeführt. Bei den Crossbonding-Muffen waren werkseitig TE-Sensoren eingebaut (Kap. 3.4). Am Endverschluss und der Sperrmuffe wurde am Kabelschirm ausgekoppelt (Kap. 3.3). Es konnte an allen Messstellen gleichzeitig gemessen werden, da die lokal aufgestellten Messgeräte über LWL miteinander verbunden waren.



Abbildung 11: TE-Messung an den Muffen



Abbildung 12: TE-Messung an der Sperrmuffe

Die Spannungsprüfung mit 190 kV während 15 min wurde von allen drei Phasen des Kabelsystems bestanden, wobei zwei Phasen auch TE-frei waren.

Nachdem die dritte Phase anfangs bis U_0 ebenfalls TE-frei war, wurde später Teilentladungen mit einer Stärke von ca. 100 pC registriert. Diese traten bei Reduktion der Prüfspannung noch bei 10 kV auf.

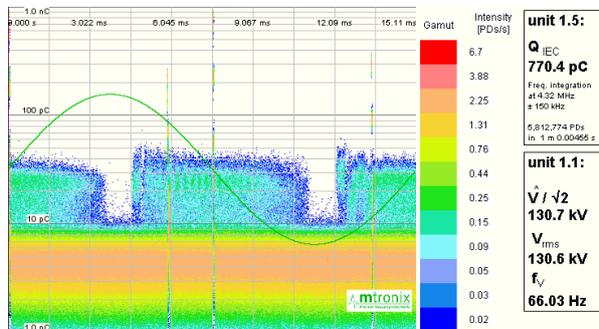


Abbildung 13: PRPDA-Bild
Sperrmuffe 131 kV

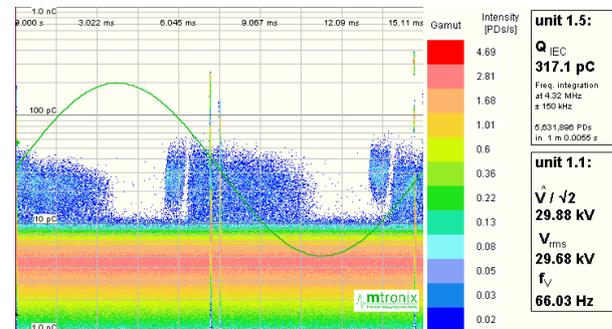


Abbildung 14: PRPDA-Bild
Sperrmuffe 30 kV

Die betreffende Sperrmuffe wurde ausgetauscht. Drei Wochen später wurde die Prüfung wiederholt. Wiederum konnten dieselben TE-Muster bei ähnlichen Pegeln aufgezeichnet werden.

Es zeigte sich, dass der Kabelhersteller Isolatoren verschiedener Chargen von seinem Zulieferer einbaute. In einer Serie, von welcher nacheinander bei der dritten Phase Isolatoren eingesetzt wurden, waren in der Epoxiharz-Isolation Hohlräume vorhanden.

Als Quintessenz wollte der Hersteller zukünftig alle Isolatoren im Werk vorprüfen.

4.3 Integrale Prüfung

Wenn Kabel an GIS-Anlagen angeschlossen sind, ist es von Vorteil, dass nach erfolgter Prüfung keine Gasarbeiten an der GIS mehr durchgeführt werden müssen. Bei den Liechtensteinischen Kraftwerken (LKW) wurden je zwei Leitungs- und zwei Transformatorenkabel in eine 110-kV-GIS geführt. Um die Kabelstecker an der GIS und am Transformator im eingesteckten Zustand prüfen zu können, wurden alle drei Phasen der Kabelsysteme zusammen mit dem Trafo und der GIS unter Prüfspannung gesetzt. Die Prüfanlage wurde bei den Freiluftendverschlüssen eines Linienkabels aufgebaut.

An den Positionen 1-3 gemäss Abbildung 15 wurden TE-Signale am Kabelschirm ausgekoppelt (siehe Kap. 3.3). Am vollisolierten und mit einer Freiluftdurchführung ausgerüstetem Trafosternpunkt (Positionen 4, Abbildung 15) wurde zusätzlich Teilentladung über einen Koppelkondensator (siehe Kap. 3.3) gemessen.

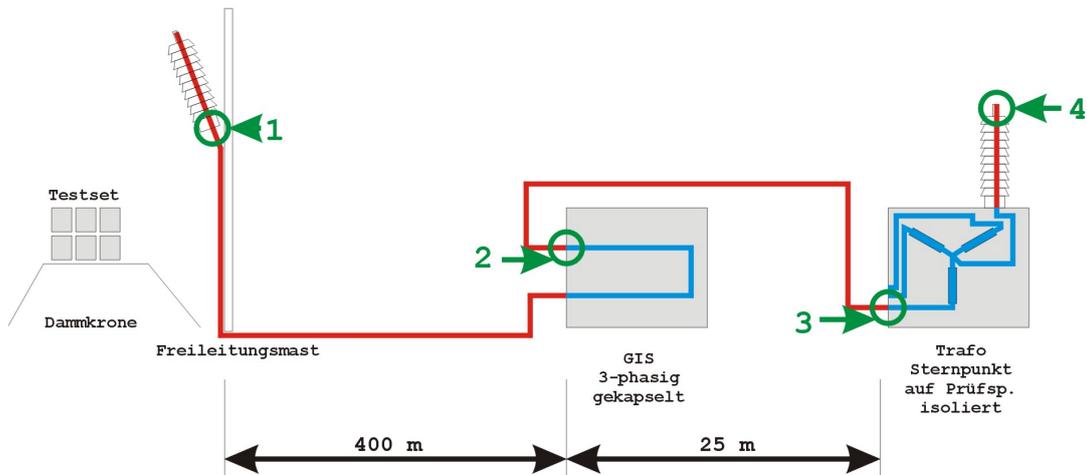


Abbildung 15: Messprinzip einer integralen Prüfung

Alle geprüften Komponenten waren TE-frei, wobei der GSP bei der TE-Messung mit den Sensoren zwischen 5 und 29 pC lag

5 Statistische Auswertung der Prüferfahrungen

Die Serie-Resonanz-Anlagen der FKH wurden ursprünglich zur Prüfung von gasisolierten Schaltanlagen verwendet. Mit der Zeit wurden gleichzeitig kürzerer Kabelstrecken und ab 1986 regelmässig auch Kabel alleine geprüft.

Vor allem in den früheren Jahren war die FKH viel im Ausland unterwegs, auch um Kabel zu prüfen. Seitdem ab 1996 von einem deutschen Prüfanlagenanbieter Resonanzanlagen auf LKW-Trailern verkauft wurden, reduzierten sich die Auslandeinsätze stark, so dass heute von der FKH hauptsächlich Prüfungen in der Schweiz durchgeführt werden.

Tabelle 1 zeigt den markanten Anstieg der geprüften Systeme in den letzten Jahren. Mittelspannungskabel werden von der FKH nur in seltenen Spezialfällen geprüft.

Jahr	MS	45 – 65 kV	110 – 150 kV	220 – 275 kV	400 kV
Bis 1989	0	0	16	1	0
1990-1999	1	16	70	12	0
Ab 2000	33	66	211	30	11
Total	34	82	297	43	11
Total alle:	467				

Tabelle 1: Alle Vor-Ort-Kabelprüfungen der FKH, aufgeteilt nach Spannungsreihen

Jahr	MS	45 – 65 kV	110 – 150 kV	220 – 275 kV	400 kV
Bis 1989	0	0	1	0	0
1990-1999	0	2	10	0	0
Ab 2000	1	3	2	3	0
Total	1	5	13	3	0
Total alle:	22				

Tabelle 2: Durchschläge bei Vor-Ort-Kabelprüfungen durch die FKH

Durchschläge während der Prüfung sind in Tabelle 2 dargestellt. Die 22 Durchschläge betrafen 12 Endverschlüsse, 8 Muffen und zwei Kabel auf offener Strecke. Beim einen Kabel handelte es sich um eine ältere 110-kV-Anlage, die bis dahin nur mit 50 kV betrieben wurde. Nachdem sie in eine erneuertes UW eingeführt wurde und mit neuen Endverschlüssen ausgerüstet worden war, wurde erstmals mit Wechselspannung geprüft.

Jahr	MS	45 – 65 kV	110 – 150 kV	220 – 275 kV	400 kV
1990-1999			1		
Ab 2000			4	3	
Total			5	3	
Total alle:	8				

Tabelle 3: TE-Befunde bei Vor-Ort-Kabelprüfungen durch die FKH, aufgrund welchen die betreffende Garnitur ausgewechselt wurde

Seit den 90er-Jahren werden an verlegten Kabeln auch Teilentladungsmessungen durchgeführt. Anfangs wurden die TE-Signale eher ungezielt, im Zusammenhang mit GIS-Prüfungen zusammen mit kürzeren Kabelverbindungen, mit den in der Schaltanlage vorhandenen Sensoren aufgezeichnet. Heute wird bei Hochspannungsprüfungen von Kabeln mit Systemspannung von 150 kV und höher, häufig eine TE-Messung angestrebt.

Bei allen gemessenen Kabelsystemen kommt man somit auf eine Ausfallrate wegen Durchschlägen bei der Wechselspannungsprüfung von 4.7%. Zählt man noch die TE-Ereignisse, die zum Auswechseln der betroffenen Garnitur führten dazu, ergibt es eine Ausfallrate von 6.4%

6 Empfehlung für die Ausschreibungen von Kabelanlagen hinsichtlich Prüfung

6.1 Anschluss der Prüfanlage an das Kabelsystem

Um ein Kabel mit Prüfspannung belasten zu können, muss die Prüfanlage mit dem Leiter des Kabels verbunden werden können. Beim Aufstellungsort der Prüfanlage sind folgende Punkte zu beachten:

- Es hat genügend Platz um die je nach Kabellänge recht umfangreiche Prüfanlage aufzustellen.
- Ein dreiphasiger elektrischer Energieanschluss ausreichender Grösse ist vorhanden. Als Alternative müsste ein Notstromaggregat gestellt werden.

6.1.1. Freiluft-Kabel-Endverschlüsse

Hier kann grundsätzlich eine Hochspannungsprüfanlage angeschlossen werden. Allerdings gelten folgende Punkte:

- Keine Hochspannungsgeräte (z.B. HS-Ableiter) sind innerhalb des Sicherheitsabstands für die Prüfspannung aufgestellt.
- Im Betrieb stehende Anlagenteile sind genügend weit von unter Prüfspannung stehenden Teilen (Endverschlüsse und Prüfanlage) entfernt. Evtl. müssen gewisse Schaltanlagenteile vorsorglich freigeschaltet und geerdet werden.

6.1.2. GIS-Kabel-Endverschlüsse

Hier kann eine Hochspannungsprüfanlage grundsätzlich nicht direkt angeschlossen werden. Folgende Lösungen sind möglich:

- Über eine Sammel- oder Hilfsschiene der GIS kann ein Trafofeld mit Freiluftdurchführungen zugeschaltet werden. Die Prüfanlage könnte beim betreffenden Trafofeld aufgebaut werden, wobei die Schaltanlage vom Trafofeld (evtl. mit Trafokabel) bis zum Leitungsfeld der Prüfspannung unterzogen wird.
- An die GIS wird an geeigneter Stelle eine Prüfdurchführung oder ein Kabeladapter angebracht. Vor und nach der Kabelprüfung müssen Gasarbeiten an der Schaltanlage durchgeführt werden. Die Prüfadaptervorrichtung muss, je nach Kabellänge, für den recht grossen Prüfstrom ausgelegt sein.

6.1.3. Trafo-Kabel-Endverschlüsse im Öl

Auch hier kann grundsätzlich keine Hochspannungsprüfanlage direkt angeschlossen werden. Lösungen sind:

- Über den ausgebauten Endverschluss wird ein Prüfgehäuse aus isolierendem Material (z.B.: GKF) angeschlossen, welches für die Prüfung mit SF₆ gefüllt wird. Der Innenleiter des Kabel muss mit der Kopfseite des Gehäuses verbunden werden können.

6.1.4. Trockene Kabel-Stecker

Hochspannungskabelstecker, die sich immer grösserer Beliebtheit erfreuen, sind an allen Hochspannungsgeräten, wie z.B. GIS oder Transformatoren möglich. Für das Anlegen einer Prüfspannung gibt es folgende Möglichkeiten:

- Der Stecker wird ausgezogen und mit einer Prüfbuchse versehen. An dieser muss ein Kabeladapter mit Freiluftendverschlüssen oder direkt eine Freiluftdurchführung montiert werden.

6.2 Gegenseite des zu prüfenden Kabels

Für das von der Prüfanlage entfernte Kabelende sind die nötigen Massnahmen ebenfalls vorgängig abzuklären. Grundsätzlich sollte die Gegenseite während der Prüfung personell überwacht sein und die Aufsichtsperson kurz vor, aber auch kurz nach, der Prüfung informiert werden.

6.2.1. Freiluft-Kabel-Endverschlüsse

Dies ist wiederum die problemloseste Variante. Allerdings müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Es sind keine Hochspannungsgeräte (z.B. Ableiter) innerhalb des Sicherheitsabstands für die Prüfspannung aufgestellt.
- Im Betrieb stehende Anlagenteile sind genügend weit von unter Prüfspannung stehenden Teilen (Endverschlüsse und Prüfanlage) entfernt. Evtl. müssen gewisse Felder vorsorglich freigeschaltet und geerdet werden.

6.2.2. GIS-Kabel-Endverschlüsse

Bei GIS-Anlagen sind in der Regel bei Leitungsfeldern Hochspannungswandler direkt mit den Kabeln verbunden. Normale HS-Wandler können bei Betriebsfrequenz während 8 Stunden bei etwa doppelter Betriebsspannung geprüft werden. Da die meisten Kabelprüfungen bei höherer Spannung geprüft werden gelten folgende Punkte:

- Die Prüfanlage wird so konfiguriert, dass die Prüffrequenz bei 70 Hz oder höher liegt, womit der HS-Wandler einfach mitgeprüft werden kann. An der Schaltanlage muss keine Gasarbeit ausgeführt werden. Da mit der Prüffrequenz auch die Prüfleistung steigt, ist dieses Vorgehen bei langen Kabeln nicht immer möglich. Während der Prüfung müssen die Sekundärseiten des Wandlers abgetrennt werden um die Mess- oder Schutzeinrichtung nicht zu gefährden.
- Der HS-Wandler wird von der GIS-Anlage abgetrennt oder entfernt. Es entstehen vor und nach der Spannungsprüfung Gasarbeiten an der GIS.
- Es gibt HS-Wandler, welche sich spannungsfrei, durch spezielle Schalter von der Anlage trennen lassen, ohne das die GIS geöffnet werden muss.

Bei GIS-Anlagen sollte zwischen den unter Prüfspannung stehenden und den in Betrieb stehenden Anlagenteilen möglichst ein geerdetes Zwischenstück geschaltet sein.

6.2.3. Trafo-Kabel-Endverschlüsse im Öl

Hier kann der Link vom Kabelendverschluss zur Trafodurchführung entfernt werden. Dabei muss der Ölpegel im Endverschlussgehäuse vorübergehend gesenkt werden und die Kabelendverschlüsse sollen mit Abschirmringen versehen sein.

6.2.4. Trockene Kabel-Stecker

Hier können die selben Massnahmen wie in den Kap. 6.2.2 und 6.2.3 getroffen werden. Zusätzlich kann ein Stecker aber auch ausgezogen und mit einer Prüfbuchse versehen werden.

6.3 Teilentladungsmessung während der Hochspannungsprüfung

Wenn Teilentladungsmessungen vorgesehen sind, müssen weitere Punkte beachtet werden.

- Koronafreier Aufbau der Prüfanlage
Alle spannungsführenden Teile der Prüfanlage und insbesondere die HS-Verbindung zum Kabelendverschluss dürfen keine scharfen Kanten oder Ecken aufweisen. Sie müssen mit abgerundeten Körpern (z. B. Toroiden) abgeschirmt werden. Grundsätzlich müssen die Abstände zu geerdeten Teilen grösser sein, als bei einfachen Spannungsprüfungen
- Falls auf der Gegenseite ein Freiluftendverschluss steht, muss dieser ebenfalls abgeschirmt werden.
- Während der Prüfung darf kein Niederschlag fallen, da die abperlenden Wassertropfen zu Koronaeffekten führen. Es muss also für die Prüfung mehr Reservezeit eingerechnet werden.
- Falls an den einzelnen Muffen direkt TE ausgekoppelt werden soll, werden am besten Crossbonding-Garnituren verwendet, bevorzugt solche mit schon eingebauten Sensoren. Um dann gleichzeitig an allen Sensoren messen zu können müssen alle Muffen mit einem LWL-Kabel verbunden sein. Dieses Kabel kann vorgängig über parallele Leerrohre eingezogen, oder bei kürzern Verbindungen im Unterwerk, kurz vor der Prüfung ausgerollt werden.

7 Schlussfolgerung

Die Resonanzprüftechnik an Hochspannungskabelstrecken hat sich seit deren Einführung durch die FKH Ende der Siebzigerjahre als aussagekräftiges Instrument für die Sicherstellung der Qualität, der Kabelmontage aber auch der Garniturteile etabliert. Ein Isolationsversagen im Betrieb, nach erfolgreicher Prüfung, ist im Wirkungsbereich der FKH bisher nur in wenigen, erklärbaren Fällen bekannt geworden. Die langjährige positive Erfahrung belegt auch die Zweckmässigkeit der heute verwendeten Prüfpegel und Prüfzeiten und war schliesslich in den letzten Jahren auch den Auslöser für eine beispiellose weltweite Anschaffungswelle für entsprechende Prüfanlagen sowie die Normierung dieser Prüftechnik.

Bei Spannungen ab 150 kV wird begleitend zur Resonanzprüfung eine Teilentladungsmessung an Endverschlüssen und ggf. Muffen empfohlen. Die Verfügbarkeit kompakter mehrkanaliger TE-Messsysteme erlaubt einen effizienten Einsatz dieser Diagnosetechnik, welche Informationen über latente Fehlerstellen liefern kann. Durch deren Detektion und Behebung kann in vielen Fällen eine vorzeitige Isolationsalterung abgewendet werden. Die Teilentladungsmessung als zerstörungsfreie Zusatzdiagnosetechnik begründet sich bei höheren Betriebsspannungen, insbesondere auch durch die geringeren Prüfspannungsfaktoren, die hier zum Einsatz kommen. Wie bei allen Betriebsmitteln erfordert die TE-Diagnose allerdings sowohl bei der Anwendung (Störpegelminimierung) wie auch bei der Interpretation nach wie vor ein gewisses Expertenwissen voraus, welches sich auch durch hoch ausgereifte Messsysteme nicht ersetzen lässt.

8 Literatur

- [1] Bernasconi, F.; Zaengl, W. S.; Vonwiller, K.: A New HV-Series Resonant Circuit for Dielectric Tests. ISH, Milan, 1979, vol. 2, paper 43.02.
- [2] Binz, H.; Gerlach, H.G.: Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung an SF₆-Schaltanlagen und an PE-Hochspannungskabeln nach dem Serienresonanz-Prinzip. SEV/VSE Bulletin, Bd 79(1988)13, S. 763.
- [3] Fruth, B.; Fuhr, J.: Partial Discharge Pattern Recognition. Cigré, 1990
- [4] Heizmann, Th.; Aschwanden, Th.; Hahn, H.; Laurent, M.; Ritter, L.: On-Site Partial Discharge Measurements on Premoulded Cross-Bonding Joints of 170 kV XLPE and EPR Cables. IEEE Trans. Power Delivry, Vol. 13, pp. 330-335, 1998.
- [5] Heizmann, Th.; Aschwanden, Th.; Hahn, H.; Laurent, M.; Ritter, L.: Vor-Ort-Teilentladungsmessung an 170-kV-Kabel-Aufschiebemuffen. SEV/VSE Bulletin, Bd 89(1998)4, S. 35.

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

UHF Teilentladungsmessung an Kabelgarnituren

Dr.-Ing. Thomas Klein
Pfisterer GmbH, D-Winterbach

Ausbildung

Studium der Elektrotechnik an den Universitäten Ulm und Stuttgart;

Schwerpunkt: Energietechnik, Hochspannungstechnik

Promotion am Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik der Universität Stuttgart

Thema: Einflüsse auf das Energieaufnahmevermögen von Metalloxidableitern

Beruflicher Werdegang

1997 – 1998: Mitarbeiter bei ABB Schweiz AG im Bereich Überspannungsableiter und der Grundlagenentwicklung für Hochspannungsschalter

1998 – 2004: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energieübertragung.
Arbeitsschwerpunkt: Hochspannungs- und Hochstromprüfungen sowie elektrische TE-Messtechnik im Labor und vor Ort

2004 – 2005: Leiter Produktmanagement und Entwicklung Kabelgarnituren
Pfisterer Kontaktsysteme GmbH&Co KG

Seit 2006: Geschäftsführer der Pfisterer Kontaktsysteme GmbH
Leiter des Geschäftsbereichs Kabelsysteme der Pfisterer Gruppe

UHF Teilentladungsmessung an Kabelgarnituren

Thomas Klein

Pfisterer GmbH, D-Winterbach

1. Zusammenfassung

Die modernen Herstellungsverfahren von Hochspannungskabelgarnituren bieten eine sehr hohe Prozesssicherheit, die im Zusammenspiel mit der Stückprüfung der isolationsrelevanten Teile Materialfehler nahezu ausschließt. Das Risiko von Montagefehlern unter Baustellenbedingungen, herrscht jedoch nach wie vor. Vor allem in den höheren Spannungsebenen kommt deshalb ergänzend zur Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung eine Teilentladungsprüfung zur Anwendung. Es können so Fehler detektiert werden, die nicht unmittelbar zum Durchschlag führen, sondern einen beschleunigten Alterungsprozess verursachen. Mittlerweile sind die meisten Garniturenhersteller in der Lage, ihre Produkte mit TE-Sensoren auszurüsten. Neben der Überprüfung der Montagequalität bieten mit TE-Sensoren versehene Kabelgarnituren auch die Möglichkeit einer Zustandserfassung während des Betriebs.

Neben der Auswertung der UHF-Signale soll in diesem Beitrag näher auf die Entwicklung einer TE-Messmethode eingegangen werden, die zur Überprüfung von Garnituren im Betrieb, die nicht mit Sensoren ausgerüstet sind, Anwendung findet. Da der Aufbau der Sensoren auf die Geometrie der Kabelgarnitur angepasst sein muss, wurde das Messsystem für die trockenen, steckbaren Endverschlüsse der Connex-Serie entwickelt und abschließend die Anwendbarkeit für andere Kabelgarnituren geprüft.

2. Aufbau des Messsystems

Zur Erfassung von Teilentladungen sind mittlerweile TE-Sensoren verfügbar, die auf die meisten Ausführungen von Kabelgarnituren, d. h. Muffen, Freiluft- und Anlagenendverschlüsse adaptierbar sind. Die zur Auswertung der Signale notwendige Hardware wird inzwischen von mehreren Herstellern angeboten.



Bild 1: Induktiver TE-Sensor, montiert an einem GIS-Kabelendverschluss

Um die Empfindlichkeit der Messung zu erhöhen und Störeinflüsse zu unterdrücken, wird die Signalauskopplung möglichst nahe an der potentiellen Teilentladungsquelle angeordnet. Bei Verbindungsmuffen werden deshalb leitfähige Erdbeläge auf dem Muffenkörper zur Auskopplung verwendet.

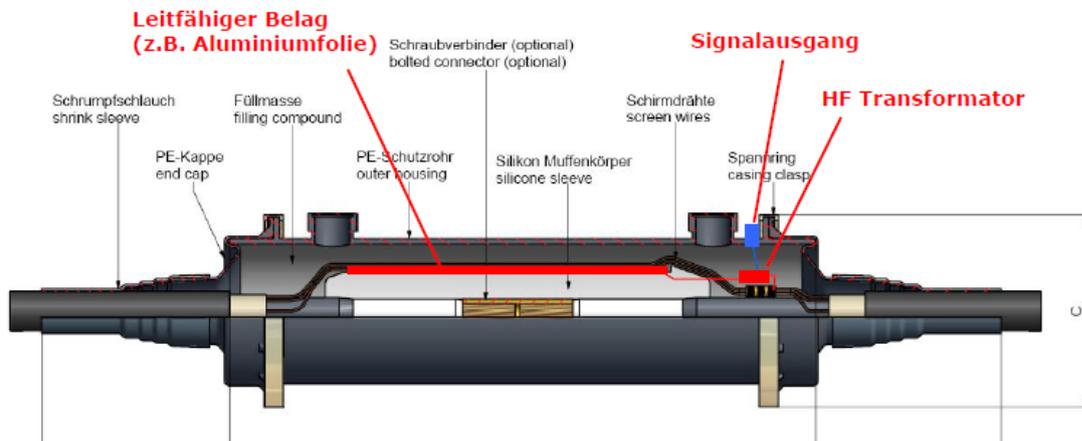


Bild 2: Signalauskopplung an einer Verbindungsmuffe

Die Unterdrückung von äußeren Störeinflüssen war auch bei der Entwicklung des hier vorgestellten Messsystems ein wichtiger Punkt. Der Anspruch der Anwendbarkeit des Systems während des Betriebs, ohne Unterbrechung, verhindert eine direkte Platzierung des Sensors am isolierenden Silikonkörper. Er befindet sich deshalb außerhalb des Steckendverschlusses, ist aber durch ein metallisches Gehäuse so geschirmt, dass eine Messempfindlichkeit von 3 pC erreicht wird.

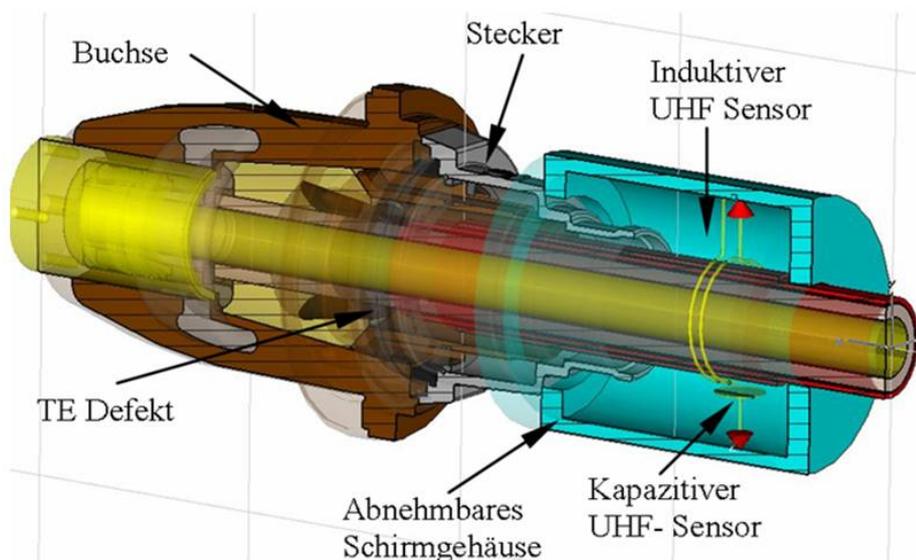


Bild 3: Aufbau des UHF Sensors

3. Ergebnisse

Ein Nachteil der UHF Methode ist sicherlich die fehlende Kalibrierbarkeit. Um die TE-Aktivität quantifizieren zu können, ist deshalb eine Vergleichsmessung mit der elektrischen TE-Messung nach IEC 60270 notwendig. Dies wurde im ersten Schritt im Labor durchgeführt.

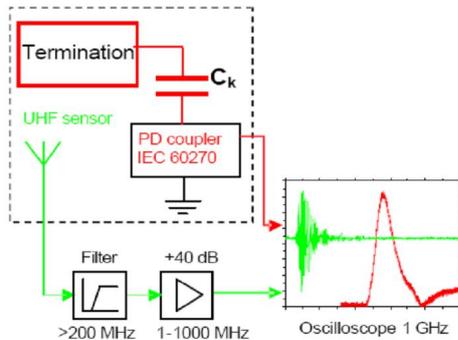


Bild 4: Laboraufbau zur Vergleichsmessung

Die so hergestellte Korrelation ist von der Geometrie der Anordnung abhängig und muß für jedes Layout der Sensoranordnung vorgenommen werden.

Um eine Abhängigkeit der UHF-Meßwerte von der klassischen Messung nachzuweisen, wird der gemessene UHF-Impuls integriert.

$$E = \frac{1}{50\Omega} \int u^2 dt$$

Ein Vergleich des so errechneten Energieinhalts E des UHF-Impulses mit der scheinbaren Ladung des konventionell gemessenen Wertes, ergibt eine lineare Abhängigkeit für beide Sensorarten.

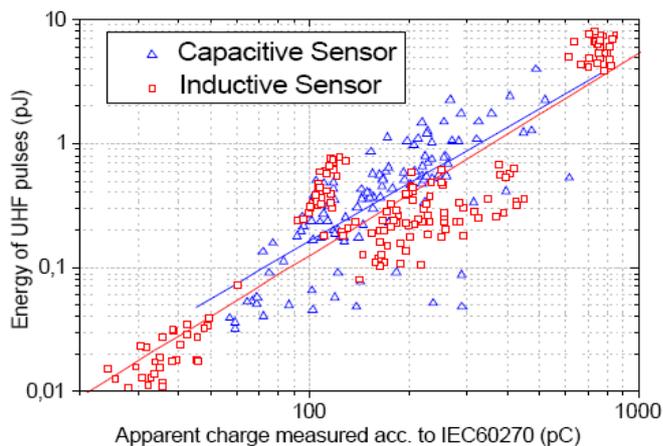


Bild 5: Abhängigkeit der Energie des UHF-Impulses von der Ladung des konventionell gemessenen

Anschließend wurde näher auf die Ausführung der Sensoren eingegangen. Prinzipiell können beide Arten, kapazitive und induktive, verwendet werden. In Bild 6 ist deutlich zu erkennen, dass der induktive Sensor seine größte Empfindlichkeit im Bereich um 300 MHz besitzt, während sich diese beim kapazitiven zwischen 700 und 1000 MHz befindet. Aufgrund der stärkeren Dämpfung höherfrequenter Signale bietet der

kapazitiver Sensor den Vorteil, TE-Aktivitäten aus angrenzenden Anlagen oder dem Kabel zu unterdrücken.

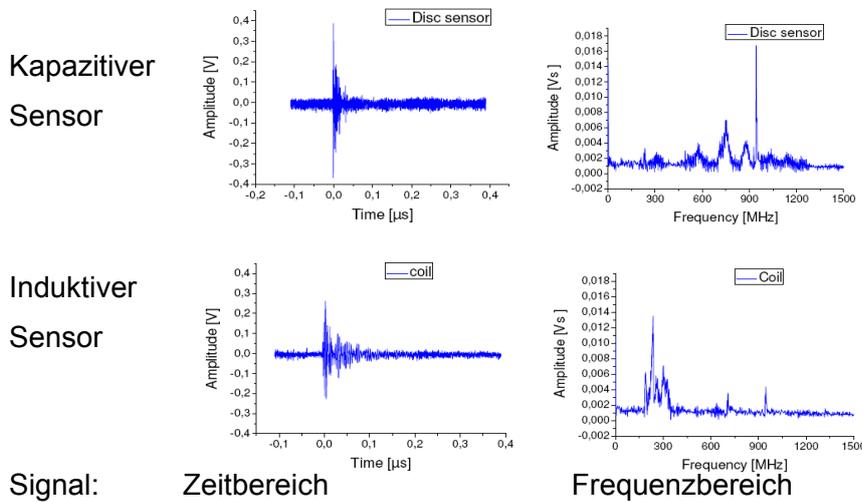


Bild 6: Vergleich kapazitiver und induktiver Sensor

Umgebungsbedingte, externe Störeinflüsse, die sich, unabhängig vom Sensor, nicht vermeiden lassen, sind meist schmalbandig und lassen sich mit geeigneten Filtern ausblenden.

Die zusätzliche Messung der anliegenden Betriebsspannung ermöglicht auch bei der UHF-Methode eine phasenbezogene Darstellung des TE-Signals. Entsprechend der klassischen Messung können so PRPD-Muster erzeugt werden. Anhand dieser Muster ist eine Klassifizierung der Fehlerquellen möglich.

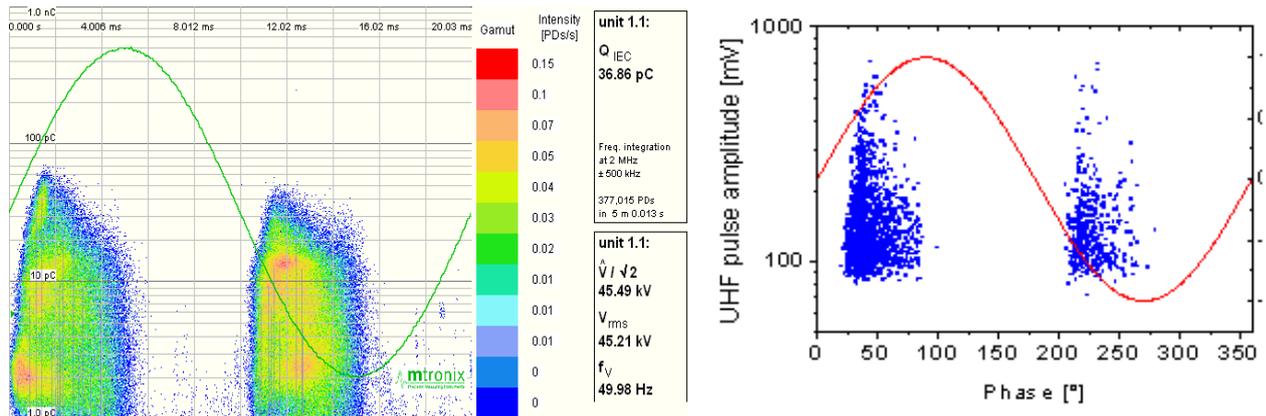


Bild 7: PRPD Muster mit der konventionellen Methode (links) und mit der UHF-Methode erfasst

Messungen in Schaltanlagen und Trafostationen haben die ausreichende Empfindlichkeit des Systems nachgewiesen. An schwer zugänglichen Stellen, wo der Einsatz des geschirmten Sensors nicht möglich war, wurde ein Kompaktensor eingesetzt. Aufgrund der fehlenden Schirmung können TE-Aktivitäten ab 10 pC detektiert werden.

PFISTERER

ETG Fachtagung am 04.11.2009 in Fribourg

UHF Teilentladungsmessungen an Kabelgarnituren

THE POWER CONNECTION

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Gliederung

PFISTERER

- Teilentladungsmessung an Kabelgarnituren – Weshalb?
- Möglichkeiten der On-line TE-Messung an Kabelgarnituren
- Alternative UHF TE-Messung
 - Aufbau des Messsystems
 - Ergebnisse der Labormessungen
 - Vergleich der Ergebnisse mit der klassischen TE-Messung
 - Erfahrungen aus Vor-Ort-Messungen
- Vergleich der Messmethoden

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Einleitung

PFISTERER

Motivation für die TE-Messung an Kabelgarnituren

Aktueller Stand der Garniturentechnik

- Isolierkörper mit Feldsteuerelementen werden mit höchster Prozesssicherheit unter „Laborbedingungen“ hergestellt
- Stückprüfung bei Hochspannungsgarnituren ermöglicht die Erkennung von Fehlern, z.B. Verunreinigungen und Lufteinschlüsse im Isoliermaterial

dennoch

- Risikofaktor Montage bleibt
 - Fehler bei der Bearbeitung der Isoliergrenzflächen
 - Mech. Beschädigung der Isolieranordnung, z. B. beim Eingraben von Muffen

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Anforderung an die TE-Diagnose

PFISTERER

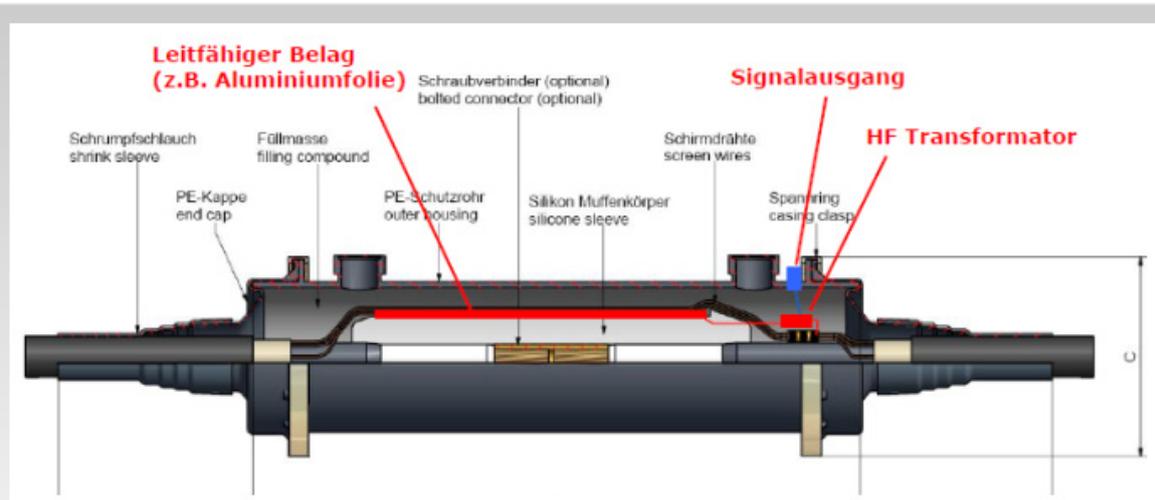
- Durchführung der Messung ohne Betriebsunterbrechung
 - Ausreichende Empfindlichkeit – hinreichender Störabstand
 - Selektivität

 - Klassische TE-Messung nach IEC 60270 arbeitet im Bereich unter 500 kHz und ist aufgrund des geringen Störabstands ungeeignet.
- Wesentliche Verbesserung der Ergebnisse durch Messung im UHF-Bereich
- Höhere Empfindlichkeit
 - Starke Dämpfung externer TE – bessere Selektivität

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

TE-Messung an Kabelmuffen

PFISTERER



- Muffe muss bei der Installation mit Sensor ausgerüstet werden
- Empfindlichkeit der Sensorik von der Schirmbehandlung abhängig

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

TE-Messung an Kabelendverschlüssen

PFISTERER

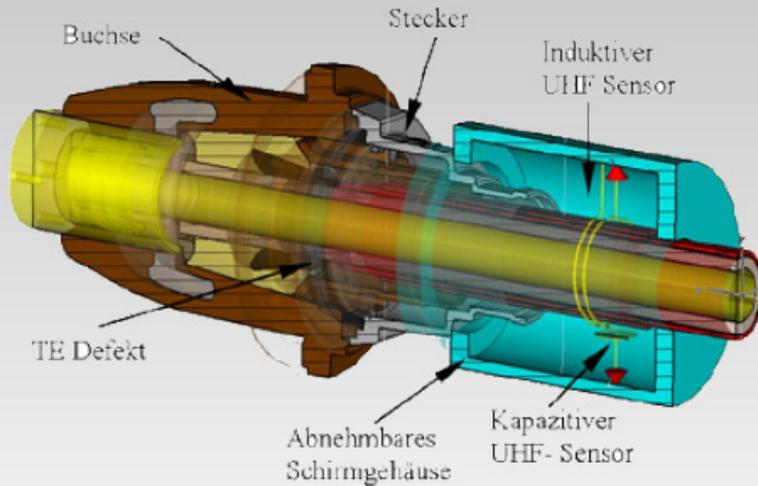


- Nachträglicher Einbau des Sensors prinzipiell möglich
- Koaxiale Schirmanbindung reduziert Empfindlichkeit

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Alternative UHF TE-Messung

PFISTERER



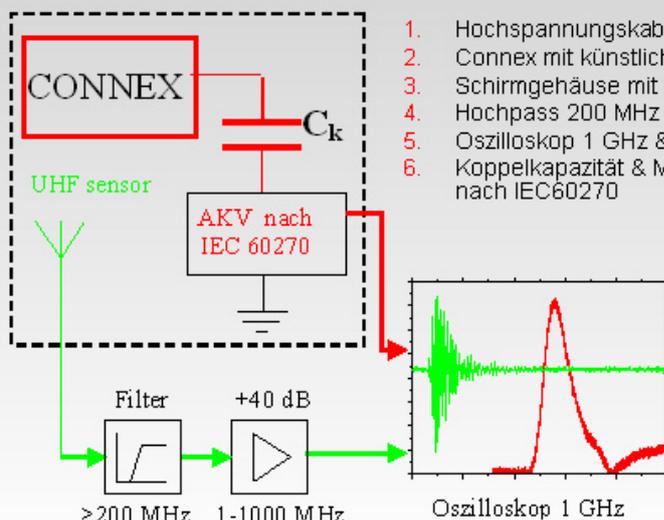
- TE emittiert elektromagnetische Wellen (300 MHz – 3 GHz)
- Aufnahme des Signals über induktive oder kapazitive Sensoren (Antennen)

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

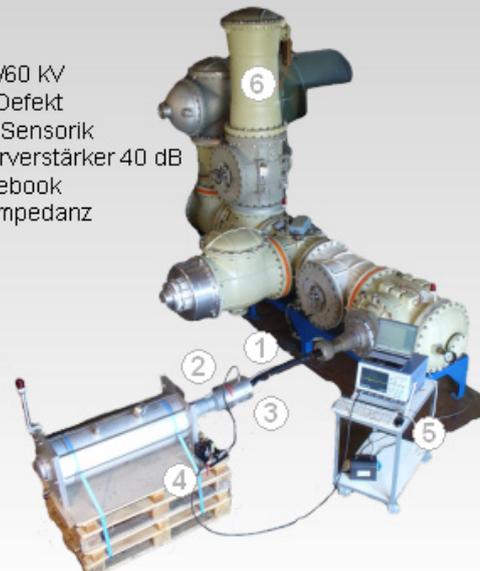
Laboraufbau

PFISTERER

Vergleich mit der klassischen TE-Messung nach IEC 60270 zur
 - Untersuchung der Empfindlichkeit
 - Kalibrierung



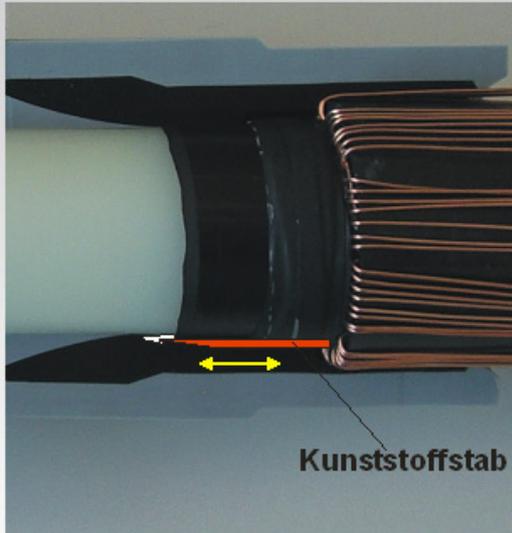
1. Hochspannungskabel 35/60 KV
2. Connex mit künstlichem Defekt
3. Schirmgehäuse mit UHF Sensorik
4. Hochpass 200 MHz & Vorverstärker 40 dB
5. Oszilloskop 1 GHz & Notebook
6. Koppelkapazität & Messimpedanz nach IEC60270



CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Realisierung einer variablen TE-Quelle

PFISTERER



Funktionsprinzip der TE-Quelle

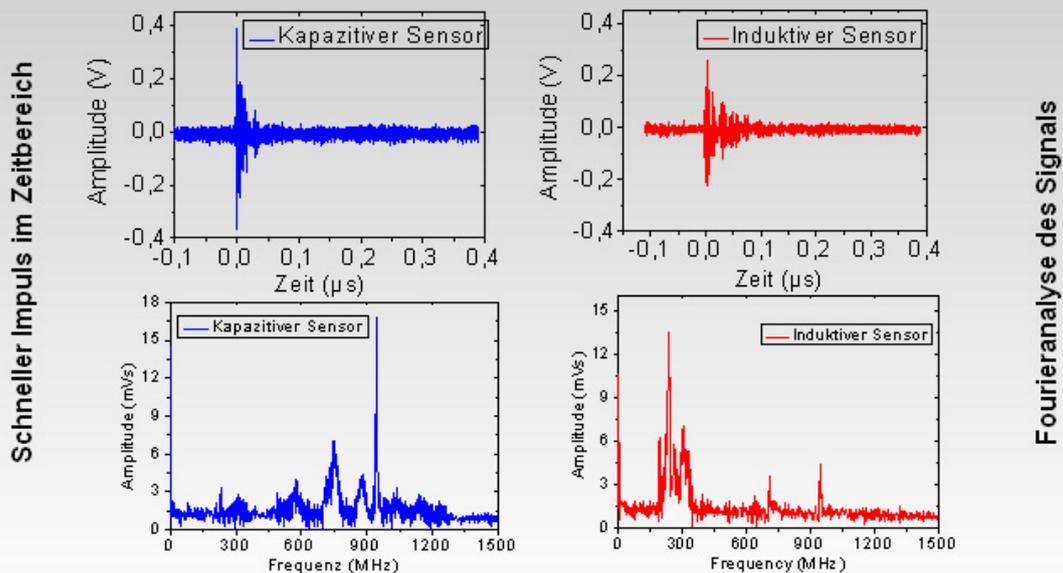
- flacher Kunststoffstab wird am Garniturenflansch zwischen Silikonisolierteil und Kabelisolation geschoben
- Abheben des Deflektors am kritischen Punkt führt zu TE
- TE-Aktivität mit Position des Stabes veränderbar

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Vergleich induktiver - kapazitiver Sensor

PFISTERER

„Künstliche“ TE innerhalb der Garnitur (15 pC)



CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Vergleich induktiver - kapazitiver Sensor **PFISTERER**

Ergebnisse der Vergleichsmessungen:

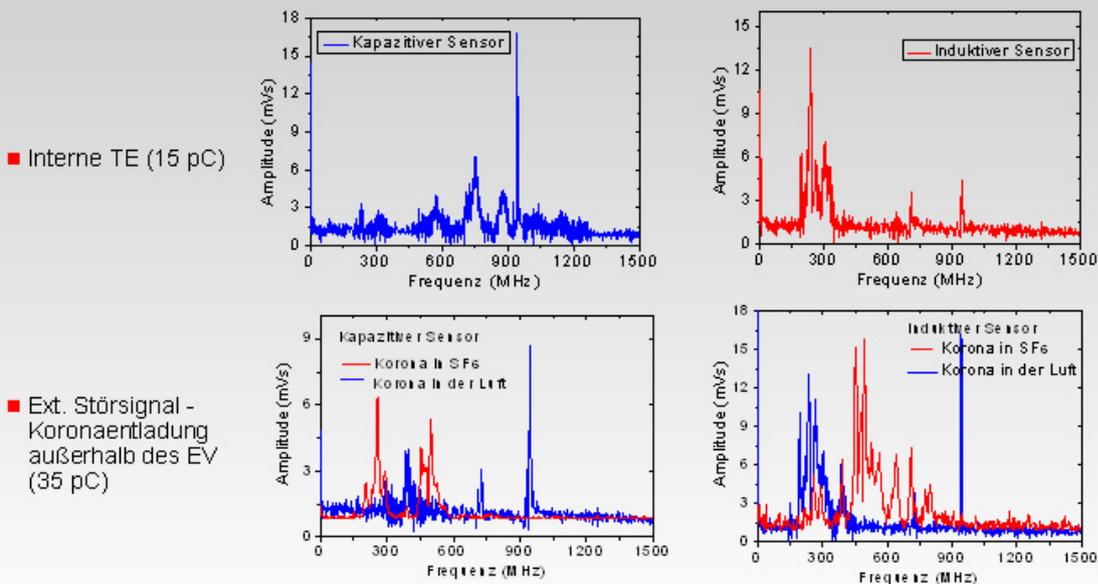
- Mit induktiven und kapazitiven Messungen werden TE-Impulse >1pC detektiert
- Arbeitsbereich des induktiven Sensors liegt zwischen 200 MHz und 350 MHz
- Arbeitsbereich des kapazitiven Sensors liegt zwischen 650 MHz und 1000 MHz

→ Aufgrund der größeren Dämpfung höher frequenter Signale bietet der kapazitive Sensor im Hinblick auf die räumliche Selektivität Vorteile

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Selektivitätseigenschaften der Sensoren **PFISTERER**

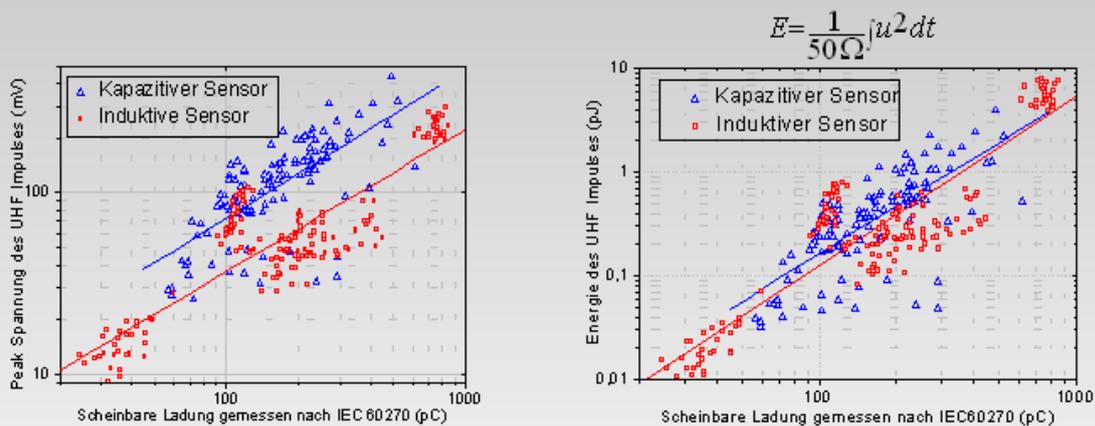
Nachweis der räumlichen Selektivität



CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Korrelation der UHF-Methode mit der klassischen nach IEC 60270

PFISTERER



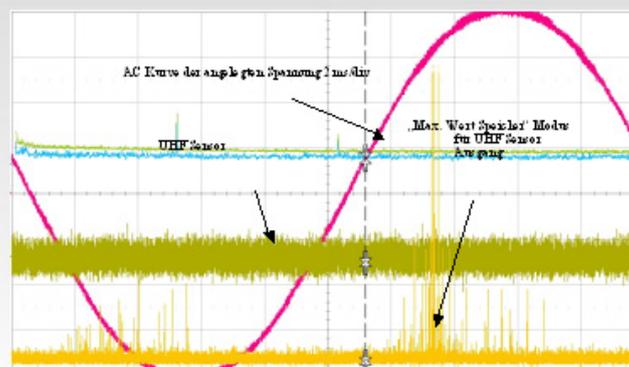
- Lineare Abhängigkeit der Amplitude des UHF-Signals von der scheinbaren Ladung ist sensorspezifisch
- Energie des UHF Impulses korreliert sensorunabhängig mit der scheinbaren Ladung

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Phasenbezogene UHF Messung

PFISTERER

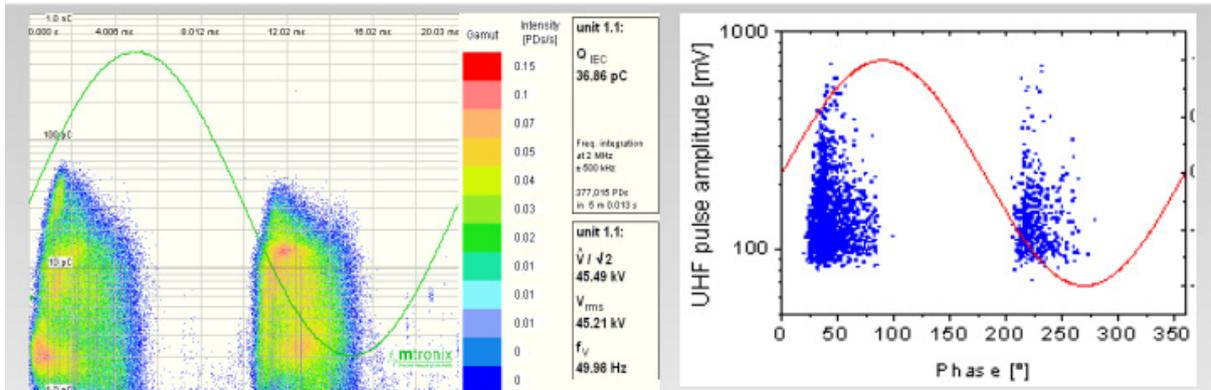
- Erhöhung der Empfindlichkeit durch phasenbezogene Messung
 - Abgrenzung gegen wiederkehrende Störer durch Überprüfung der Phasenlage
 - Abgrenzung gegen einmalige Störer durch phasenbezogene Aufzeichnung der TE über einen längeren Zeitraum



CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Aufnahme von PRPD Muster

PFISTERER



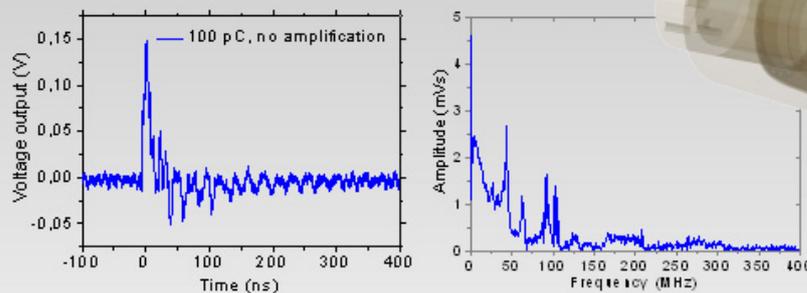
- Aufzeichnung der phasenbezogenen Spannungsamplituden über einen definierten Zeitraum ergeben Teilentladungsmuster äquivalent zu den PRPD Mustern der konventionellen TE-Messung

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Messung mit integriertem Sensor

PFISTERER

Verwendung des Spannungsabgriffs in der Buchse als TE-Sensor



- Eingeschränkte räumliche Selektivität eines induktiven Sensors
- Empfindlichkeit > 10pC

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

Vergleich der Messmethoden

PFISTERER

„Konventionelle“ UHF Messung mit induktiven oder kapazitiven Sensoren

- Einbau von (teuren) Sensoren notwendig
- Messausrüstung (Hardware, Software) von verschiedenen Herstellern verfügbar und kompatibel
- Speziell angepasste Sensoren bieten i.d.R. größere Empfindlichkeit als universell einsetzbare

UHF Messung mit Antennen

- Einfacher, temporärer Einsatz
- Schirmung der Messanordnung verbessert Empfindlichkeit erheblich
→ genaue Anpassung der Sensoren auf die Geometrie der Garnitur
- Nur bei Endverschlüssen einsetzbar
- Methode bleibt ein „Expertensystem“. Abgrenzung gegen externe Störer sowie Interpretation der Ergebnisse erfordert Erfahrung

CABLE SYSTEMS | COMPONENTS | OVERHEAD LINES | RAILWAY CATENARY SYSTEMS

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Enfouissement partiel des lignes HT: avantages techniques

Teilweise Verkabelung von Hochspannungsleitungen: Technische Vorteile

Dipl. El.-Ing. ETH Jean Fehlbaum
Nexans Suisse SA

- Jahrgang 1957
- Diplom als El.-Ing. an der ETH Lausanne 1981
- Seit 1981 bei Nexans Suisse SA (ehemals Kabelwerke Cortaillod)
- Gegenwärtig Leiter Abteilung Strategische Projekte (Energie & Telekom), Mitglied der Generaldirektion seit dem 1.1.2001
- Auf Nexans-Konzernebene : Global Sales Development Manager für Eisenbahn-Infrastruktur, Mitglied des Vorstands des OFCCBG (Optical Fibres Cables and Components Business Group) als strategischer Manager.

Enfouissement partiel des lignes HT: avantages techniques

Teilweise Verkabelung von Hochspannungsleitungen: Technische Vorteile

Jean Fehlbaum
Nexans Suisse SA

Abstract:

La lenteur des procédures d'acceptation de nouvelles lignes aériennes de transport d'énergie électrique à Haute Tension a amené certains opérateurs à s'intéresser de plus près à des solutions intégrées combinant les techniques des lignes aériennes avec un ou des tronçons terrestres (« Partial undergrounding »).

Après un passage en revue des méthodes de calcul et de simulation qui permettent de déterminer les paramètres électriques des lignes partiellement enfouies (pertes de transmission, comportement réactif), les avantages économiques ou les surcoûts résultant des différentes variantes possibles sont passés en revue, du point de vue individuel et en intégration dans un réseau existant.

Ces comparaisons économiques sont ensuite mises en relation avec la durée des procédures d'autorisation de construire, afin de comparer le manque à gagner des exploitants avec le surcoût de la partie terrestre.

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Material, Design, Installation und Tests von Muffen für Hochspannungskabel

Dr.-Ing. ETH Ruben Vogelsang
Brugg Cables

- geb. 22.06.1972
- Studium Elektrotechnik mit Vertiefung Hochspannungstechnik in Dresden, D und Sheffield, UK, dabei intensiv mit der Entwicklung polymerer Kabel zur HVDC Uebertragung beschäftigt
- Doktorat zum Thema Alterung von glimmerhaltigen Generatorstabilisierungen an der ETH Zürich, Abschluss 2004
- von 2001 - 2004 Studium der Betriebs- und Produktionswissenschaften an der ETZ Zürich mit Vertiefung Innovationsmanagement, Abschluss MBA
- Projektleiter internat. Entwicklungsprojekte bei ABB Generatorschalter 2005 – 2007
- Seit 2007 bei Kabelwerke Brugg tätig, zunächst als Produktmanager, heute als Leiter Produkt- und Technologiemanagement

Material, Design, Installation und Tests von Muffen für Hochspannungskabel

Ruben Vogelsang
Brugg Cables

Abstract

High voltage cable systems are state of the art since decades. The first high voltage connection from Brugg Cables was a 150 kV oil-filled cable system that was installed in 1934 in Switzerland. Since then, ongoing changes in the layout, design, installation and tests have been made. One of the most significant changes was the introduction of polymeric cables. With that, also new types of high voltage accessories (joints and terminations) were developed.

Nowadays, the technology of silicone rubber (SiR) for the insulation body, the central element of joints and terminations, has the widest application worldwide. Experiences has proven that single piece prefabricated slip-on elements show the most advantages in terms of a reliable connection of polymeric cables.

In the last years, significant changes can be observed in the global application of high voltage accessories. One tendency is the trend that the producer of high voltage cables is a different one than the producer of accessories. Another tendency is the higher variety of customers worldwide and a higher variety of application needs of the customers. All that results in a demand for a higher variety in the design and application of high voltage joints and terminations.

The manufacturers of high voltage accessories have to respond to that changes. A higher variety in joints can be achieved with a modular structure of the products. The proven technology of single piece SiR joint bodies allows the connection of cables with different sizes and tolerances. The simple and reliable installation technique of “gas cushion method” together with a longer middle electrode in the joint body allows a simpler and more reliable installation on site.

The global trend for monitoring and diagnostics is also influencing the products in high voltage cable systems. More and more requests for monitoring and diagnostic solutions are observed. Since a reliable solution for monitoring and diagnostics is challenging (as the cable and accessories are extremely reliable once the after installation test was passed and the outer interferences on a cable system are usually very high), it is the task of the manufacturer of cables and accessories to help the customer to select an appropriate solution.

Once decided for a monitoring or diagnostic solution, distributed temperature sensing (DTS) for cables and partial discharge (PD) measurements for accessories are applied mostly. PD measurements at the terminations are mostly carried out with UHF measurements. For joints, integrated sensors in the joint or inductive sensors in the cross-bonding box became standard applications.

It is concluded that due to the higher variety of applications, the variety of material, designs, installation means and tests are constantly increasing. This results in a higher effort for the manufacturer of high voltage accessories. For the customer of high voltage cable systems, that tendency means an improvement of choice for their applications.

BRUGG CABLES

Well connected.

„Material, Design, Installation und Tests von Muffen für Hochspannungskabel“

Dr. Ruben Vogelsang

FKH - / ETG - Fachtagung 2009 “Hochspannungskabel -
aktuelle technologische Herausforderungen”
Fribourg, 04.11.2009



A company of the BRUGG Group

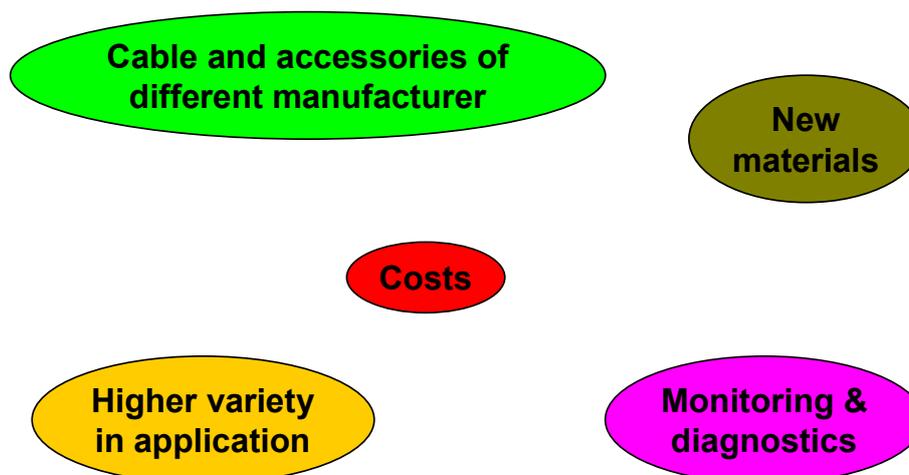
Content

- Today's challenges and trends for joints (& high voltage accessories)
- Effects on the material, design and installation of joints (& high voltage accessories)
- Effects on tests, diagnostics and monitoring of joints (& high voltage accessories)
- Conclusions and Outlook

Content

- **Today's challenges and trends for joints (& high voltage accessories)**
- **Effects on the material, design and installation of joints (& high voltage accessories)**
- **Effects on tests, diagnostics and monitoring of joints (& high voltage accessories)**
- **Conclusions and Outlook**

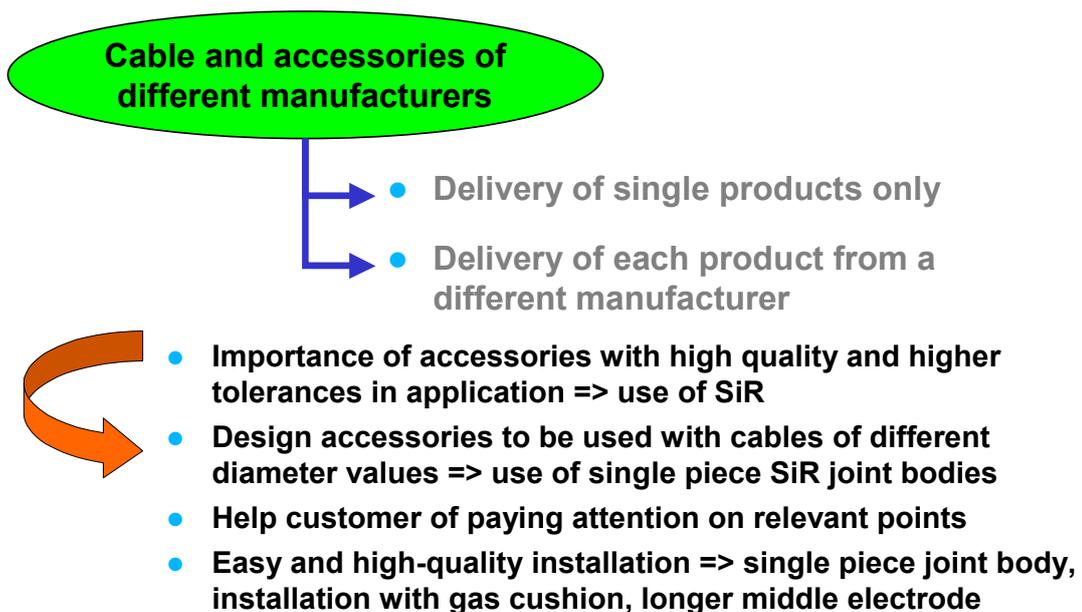
Today's challenges and trends for joints



Content

- Today's challenges and trends for joints (& high voltage accessories)
- Effects on the material, design and installation of joints (& high voltage accessories)
- Effects on tests, diagnostics and monitoring of joints (& high voltage accessories)
- Conclusions and Outlook

Cable & accessories of different manufacturer



Advantages of SiR

Silicone rubber (SiR)

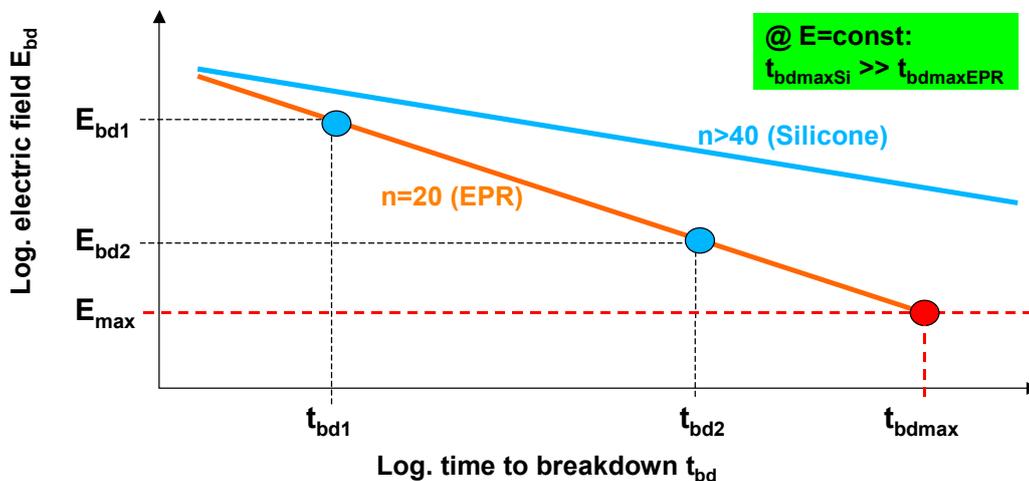
- High elasticity of SiR body ensures void-free contact to cable surface and high contact pressure on the cable
- Silicone material with good properties
 - High bd strength of >23 kV/mm
 - Excellent ϑ stability of -50 - 180°C
 - Very high lifetime exponent of $n \gg 40$
- Many experiences, excellent track record

Benefit in application

- Long time stability, high reliability of joint/ termination, suitable for different cable diameters (even in-between)
- Proper functioning with a long lifetime at all load conditions
- Applicable for any type of polymer cable or cable manufacturer
- Proven reliability over decades

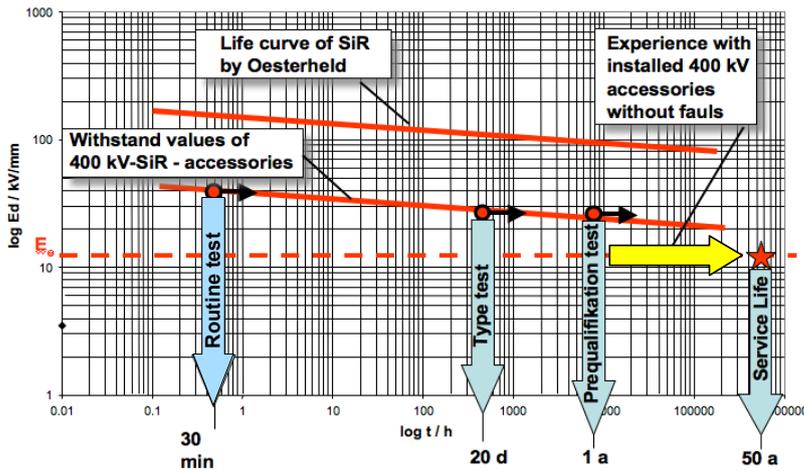
Basics to electrical ageing in polymers

- Lifetime law describes basic relation between electric field (applied voltage), material properties and time to breakdown (lifetime)
- Lifetime law: $E^n \cdot t = \text{constant}$ (E=electric field, n=lifetime exponent, t=time)



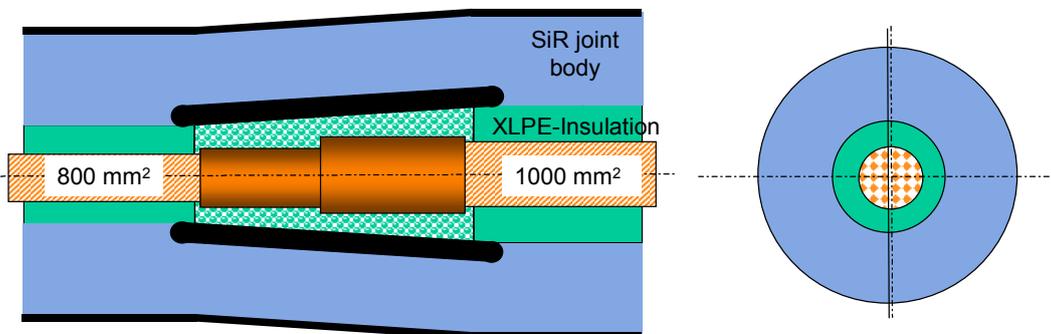
Lifetime curve of SiR and experiences

- The lifetime curve of the material and all experiences in service proof the outstanding properties and long time stability of joint bodies with silicon rubber (SiR)



Application of single piece insulation body

- Connection of cables with different sizes with single piece SiR insulation bodies easily possible
- Eccentricity of 25% with single piece SiR insulation bodies no problem



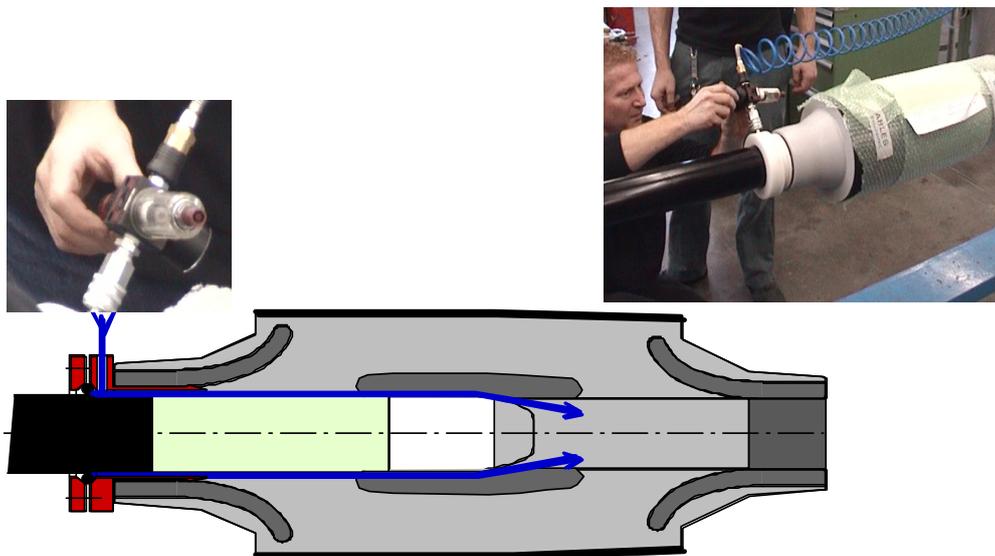
Application table for different joint types

- “Application table” to give customer the choice of selecting appropriate joint solution for its application needs

Type	MPAH	MPAP	MPCC	MPCP
				
Radial moisture barrier	Metal foil of Al or Cu	Metal foil of Al or Cu	Cu-tube	Cu-tube
Mechanical protection	Heat shrink cover	Protection box	Cu-tube with HDPE-coating	Cu-tube & protection box
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - Extremely compact dimensions - Total sealing against moisture - Cost effective 	<ul style="list-style-type: none"> - Normal degree of mechanical protection in different environments - Total sealing against moisture 	<ul style="list-style-type: none"> - Compact dimensions - High degree of mechanical protection - Total sealing against moisture 	<ul style="list-style-type: none"> - Highest degree of mechanical protection - Total sealing against moisture
Application	<ul style="list-style-type: none"> - For limited dimensions, such as small manholes - In tunnels or concrete manholes without permanent water ingress 	<ul style="list-style-type: none"> - All types of laying, such as in tunnels, concrete pits or buried installations - In buried installations with humid soil 	<ul style="list-style-type: none"> - All types of laying, such as in tunnels, concrete pits or buried installations - In installations with permanent humidity or shallow water 	<ul style="list-style-type: none"> - All types of laying, such as in tunnels, concrete pits or buried installations - In installations with permanent humidity or shallow water

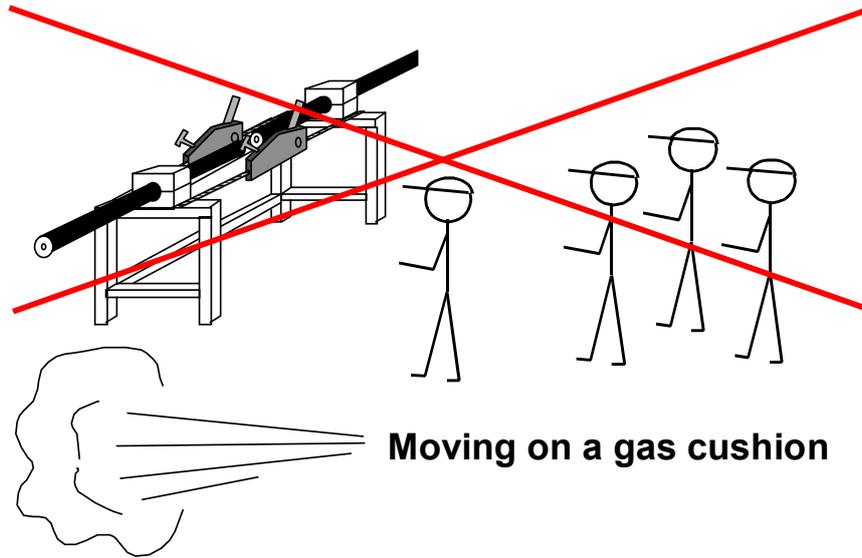
Assembling by “gas cushion method”

- Method of “gas cushion” allows fast and reliable application of joint body



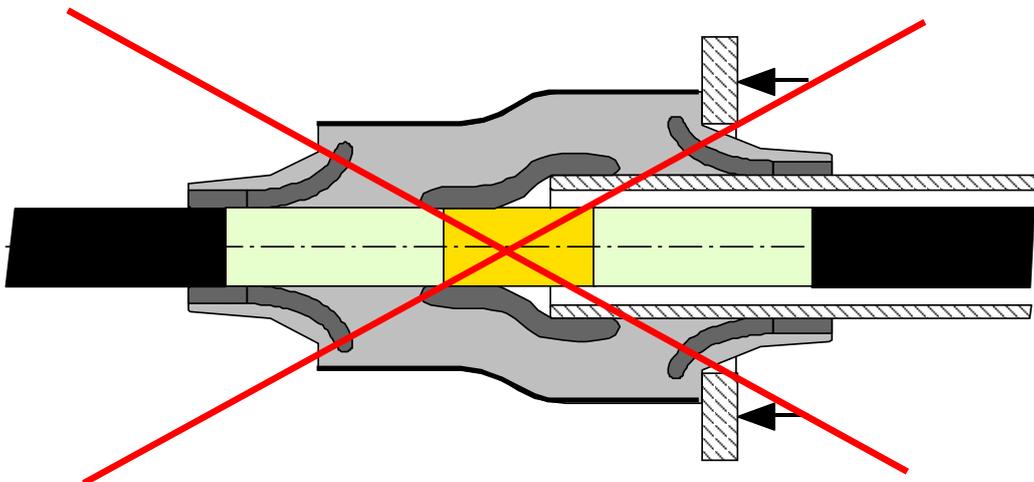
No high forces required

- With “gas cushion” only few people are needed & no high mechan. force is required



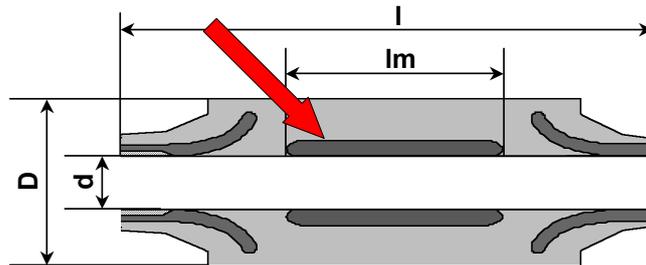
No risk of mechanical damage

- No impact of mechanical tools, no risk of damage to cable and joint body



Joint body of SiR for high flexibility

- Middle electrode of insulation body designed longer for higher tolerances in (international) installation projects



Application example

- **Accessories for 220 kV**
 - 19 Outdoor terminations with porcelain insulator
 - 27 Outdoor terminations with polymer insulator
 - 71 GIS terminations
 - 145 joints
- **Cables of 4 different manufacturers**



Costs

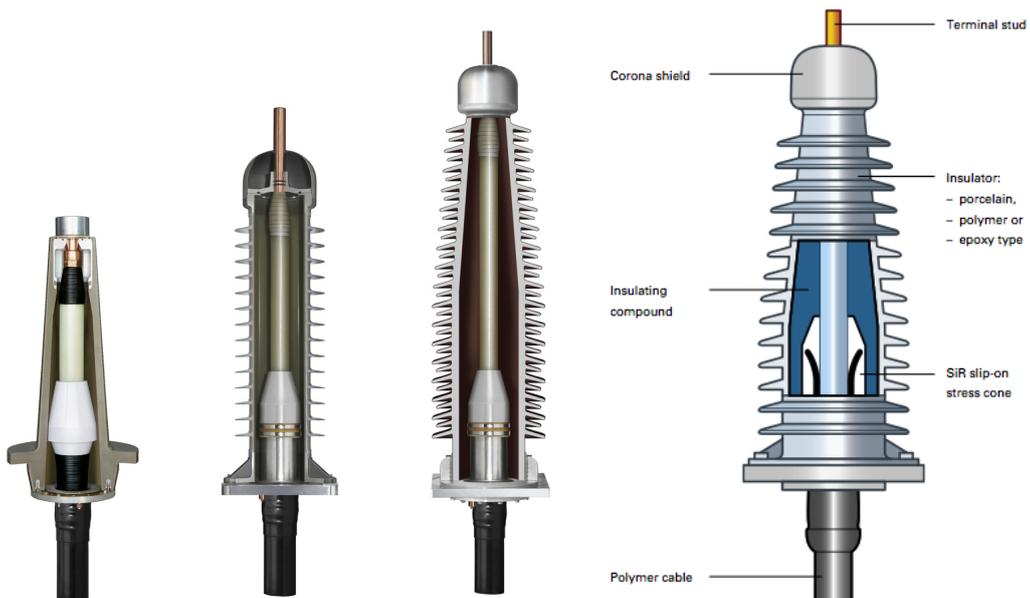
Costs

- Continuous cost pressure on manufacturer
- “Low-cost” products

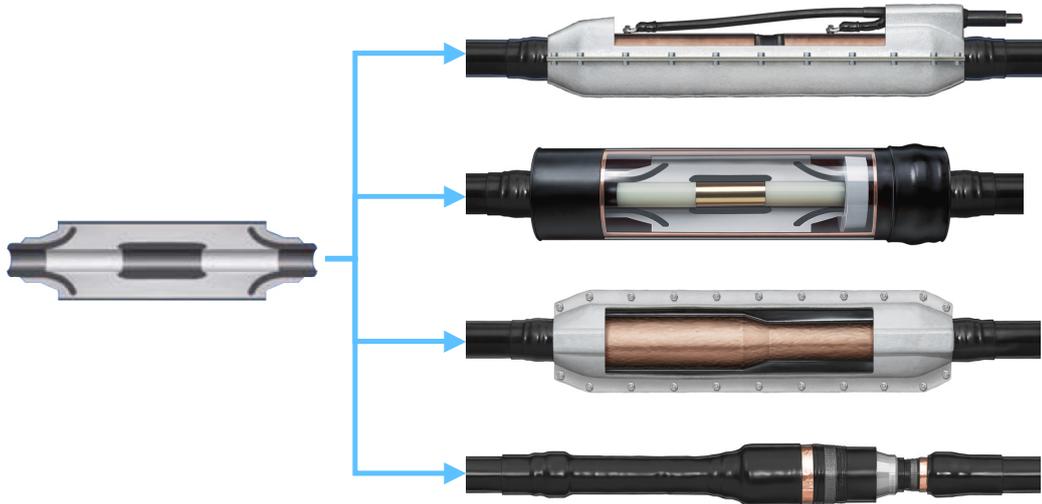


- **Standardisation in products**
- **Modularisation**
- **Products designed for different application needs**

Modular termination design



Modular joint design



Higher variety in application

Higher variety in application

- Products with higher requirements
- Products with lower requirements
- Products with integrated/linked diagnostic/monitoring possibilities
- Products for different cable designs



- **Standardisation in product core and modularisation => different products with similar components**
- **Networks and alliances**

Different type of laying for joints



Joints in a concrete tunnel in the EU



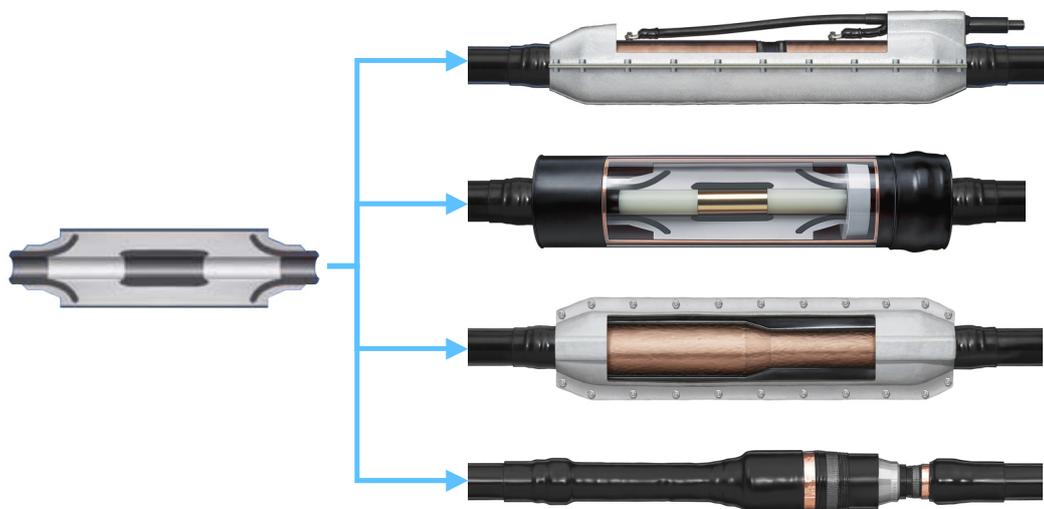
Joints laid in sand in Abu Dhabi



Joints on a concrete base in Saudi Arabia

Modular joint design

- One insulation body with four types of outer protection schemes



Example of a network for monitoring

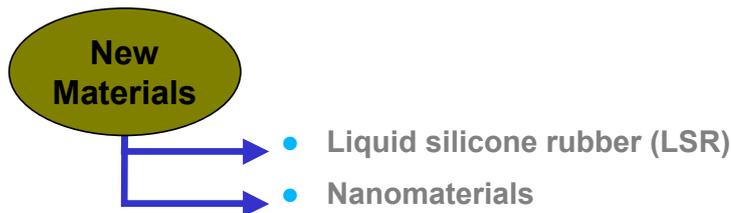
- PD after installation test with integrated sensors in Germany
- Manufacturer accessories: Brugg, Sensors: Lemke Diagnostics, PD-Measurements: FKH



23
 2009 • vogelsang.ruben@brugg.com

A company of the BRUGG Group

Project integration



- 
- Use advantages of new materials wisely
 - LSR as clear trend for easier and faster production
 - Use of nanomaterials for high voltage accessories not clear (at the moment)

24
 2009 • vogelsang.ruben@brugg.com

A company of the BRUGG Group

Content

- Today's challenges and trends for joints (& high voltage accessories)
- Effects on the material, design and installation of joints (& high voltage accessories)
- Effects on tests, diagnostics and monitoring of joints (& high voltage accessories)
- Conclusions and Outlook

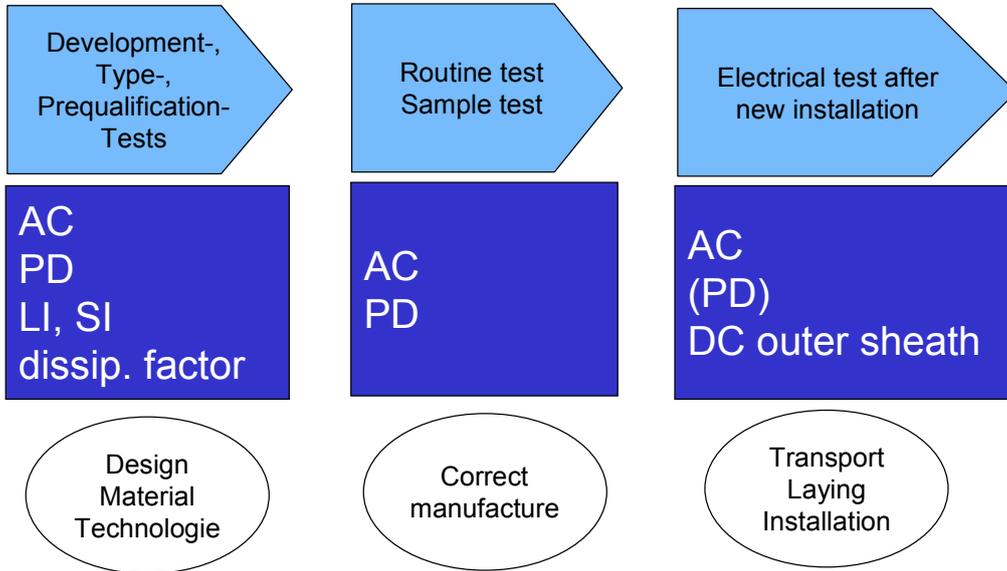
Monitoring & Diagnostics



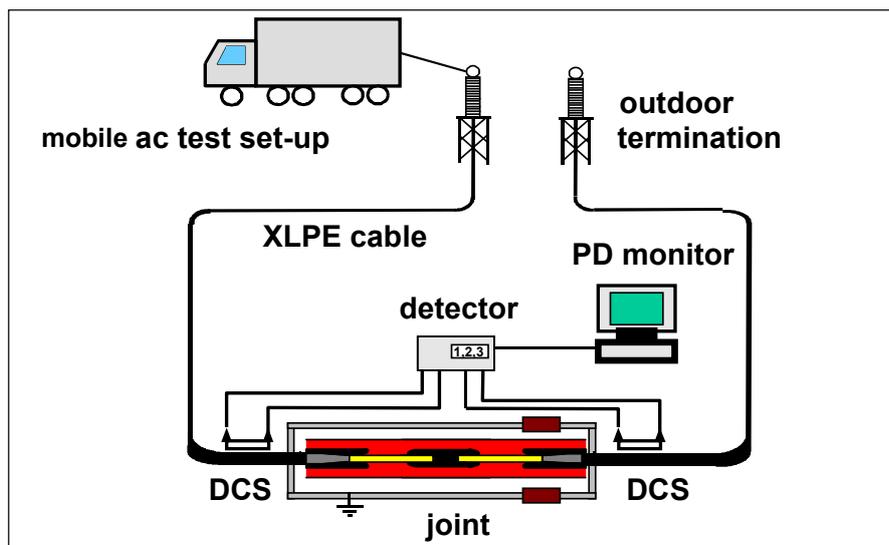
Monitoring & diagnostics

- Request for monitoring & diagnostics as “trend” of our time
 - Not everybody know possibilities and limitations of monitoring & diagnostics
- 
- Give advice on solution of monitoring and diagnostics
 - Provide all materials, services and after sales support
 - Once for monitoring & diagnostic decided, PD measurements for accessories and DTS measurements for cables are mostly used
 - PD measurement with UHF for terminations
 - PD measurement with integrated sensors in joint or in Cross-bonding box

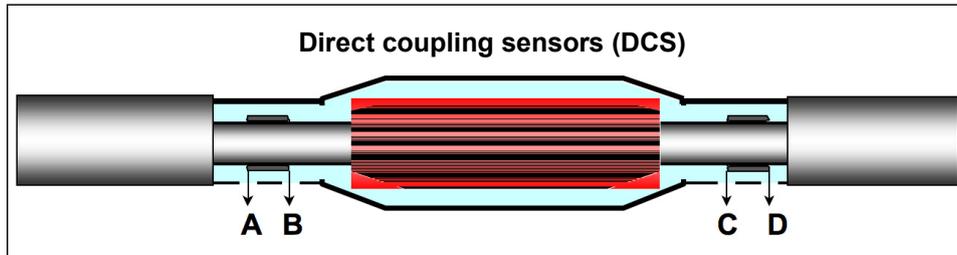
Tests for joints from development to service



PD measurement with direct coupling sensors

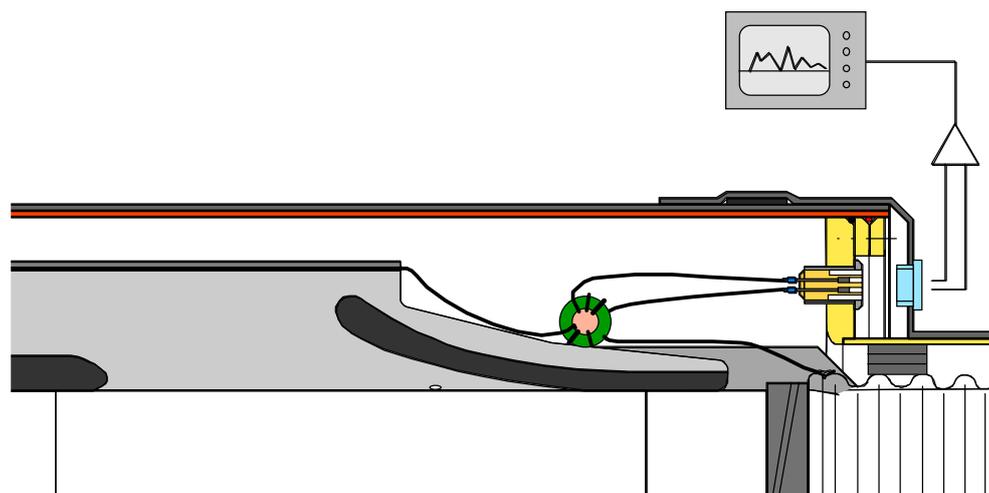


Signals of measurement with DC sensors

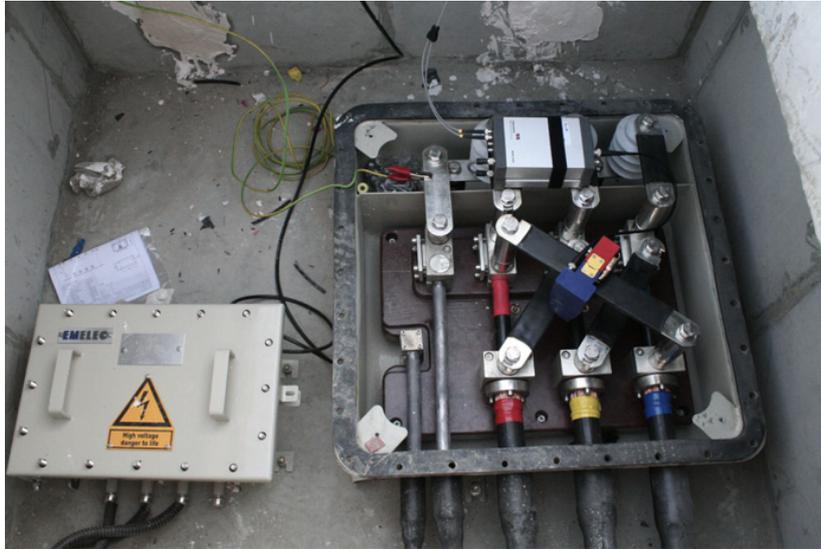


	Signal an Kopplerausgang			
	A	B	C	D
TE in der Muffe	-	X	X	-
Störung von links	X	-	X	-
Störung von rechts	-	X	-	X

Integrated sensor in joint



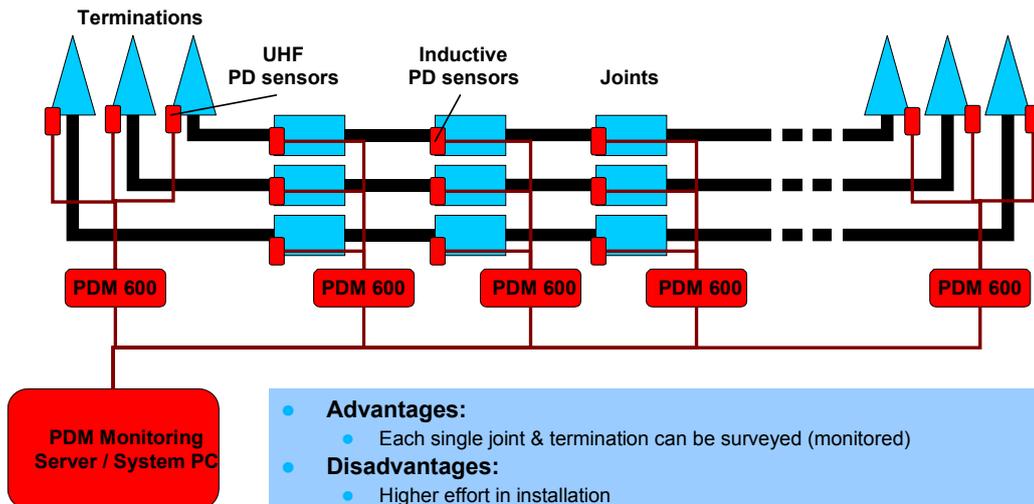
Inductive sensor in cross-bonding box



31
 2009 • vogelsang.ruben@brugg.com

A company of the BRUGG Group

PD monitoring system

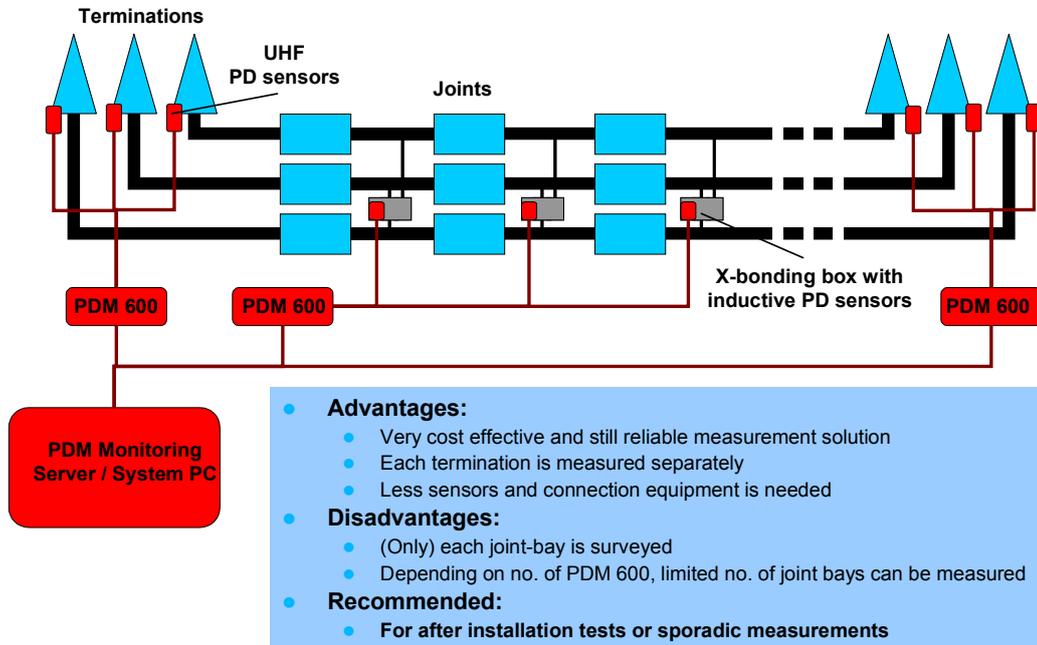


- **Advantages:**
 - Each single joint & termination can be surveyed (monitored)
- **Disadvantages:**
 - Higher effort in installation
 - Higher number of sensors needed
 - Higher costs
- **Recommended:**
 - On extremely sensitive cable systems only

32
 2009 • vogelsang.ruben@brugg.com

A company of the BRUGG Group

PD measurement system



PD monitoring system



Content

- Today's challenges and trends for joints (& high voltage accessories)
- Effects on the material, design and installation of joints (& high voltage accessories)
- Effects on tests, diagnostics and monitoring of joints (& high voltage accessories)
- **Conclusions and Outlook**

Conclusions and outlook

- Higher variety in projects requires higher variety in products.
- Simple installation with higher tolerances is required.
- Use of single piece SiR slip-on bodies is a good basis for high quality joints to be applied on a high variety of cable types.
- Modular system can allow higher varieties in products at adequate costs.
- New materials have a long introduction time, LSR is a trend.
- More projects will have monitoring and diagnostic measures.
- For accessories, PD measurements are mostly used.
- PD measurements is often used for after installation tests, but sometimes also for intermittent tests and/or monitoring.
- Sensors for PD measurements are UHF sensors in terminations and integrated sensors in joints or cross-bonding boxes.

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Die Kabelanlagen im Gotthard-Basistunnel

Dipl. El.-Ing. HTL Jürg Hosner
LEONI Studer AG

- Geboren am 03.10.1960 in Bern, Heimatort Lotzwil
- Ausbildung als El. Ing HTL
- Seit 25 Jahren aktiv im Bereich Telekom und Energie tätig
- Zurzeit Leiter Power Application bei LEONI Studer AG mit dem Produktmanagement Energie und anderen Bereichen. Im Bereich Gotthard ist er interner Auditor der LEONI Studer ATG Gotthard.
- Verheiratet, Vater von 2 Kindern, mit dem Hobby Sport im Allgemeinen

Die Kabelanlagen im Gotthard-Basistunnel

Jürg Hosner
LEONI Studer AG

Inhalt:

- Organisationsstrukturen AlpTransit Gotthard, Transtec, ABAG
- Informationen zu LEONI Studer AG
- Erarbeitete Konzepte der LEONI Studer AG
- Situation Versuchsstollen Hagerbach
- Planung 2010 bis Inbetriebnahme

Die **AlpTransit Gotthard AG** wurde am 12. Mai 1998 gegründet. Sie ist eine 100-prozentige Tochtergesellschaft der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) mit Sitz in Luzern und Aussenstellen in Altdorf, Sedrun, Faido und Bellinzona. Zurzeit beschäftigt die AlpTransit Gotthard AG rund 140 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die ATG ist Bauherr der neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT), Achse Gotthard, mit den Basistunnels am Gotthard und Ceneri.

Für die Realisierung der NEAT hat das Schweizer Parlament im September 2008 einen Gesamtkredit von CHF 19,1 Milliarden (Preisstand 1998, ohne Teuerung, Mehrwertsteuer und Bauzinsen) bewilligt. Davon sind für die Achse Gotthard mit dem Gotthard- und Ceneri-Basistunnel CHF 13,157 Milliarden eingestellt worden.

Der kommerzielle fahrplanmässige Betrieb des Gotthard-Basistunnels beginnt voraussichtlich Ende 2017, beim Ceneri-Basistunnel Ende 2019.

Transtec, eine aus gleichen Anteilen bestehende Arbeitsgruppe der Firmen Alpiq, Alcatel-Lucent/Thales, Alpine-Bau und Balfour Beatty Rail, hat am 4. Mai 2007 den Zuschlag als Generalunternehmer für den Einbau der Bahntechnik im Gotthard-Basistunnel erhalten. Die vier Partner bringen ihre Kompetenzen in den Bereichen Fahrbahn, Fahrleitung, Bahnsicherung, Bahn- und Tunnelleittechnik, Telekommunikation, Stromversorgung, Logistik sowie Planung und Ausführung in die Arbeitsgemeinschaft mit ein.

ABAG (Alpiq Burkhalter Bahntechnik AG) ist im Bereich "Stromversorgung 50 Hz und Kabelanlagen" an diesem einmaligen Projekt beteiligt. Die Arbeitsgemeinschaft Transtec Gotthard hat am 29. April 2008 in Luzern den Werkvertrag zum Einbau der Bahntechnik in den Gotthard-Basistunnel unterzeichnet.

LEONI Studer AG, mit einem Liefer-, Dienstleistungs- und Zusammenarbeitsvertrag mit der Firma ABAG verbunden, gehört zur international tätigen LEONI-Gruppe. Am Standort Däniken SO beschäftigt sie rund 400 Mitarbeiter. Sie verfügt über ein hochwertiges und breites Kabelsortiment für die Bereiche Industrie, Energie und Infrastruktur. Die Unternehmenseinheit «Kabel» produziert Kabel und entwickelt und verarbeitet dazu sehr anspruchsvolle Compounds zur Leiterisolation. Die Unternehmenseinheit «Hard» betreibt eine Anlage mit höchst fortschrittliche Technologie für vernetzte Kunststoffe.

Im Gotthard entsteht der längste Eisenbahntunnel der Welt. Der GBT ist das Herzstück der neuen Gotthardbahn. Mit Geschwindigkeiten bis zu 250km/h werden die zukünftigen Züge über diese Flachbahn fahren. Dabei bedürfen die folgenden Punkte einer besonderen Aufmerksamkeit:

- Sicherheit
- Verfügbarkeit
- Bedienung

Die Randbedingungen und die Anforderungen für die Stromversorgung 50 Hz und 16.7 Hz sind besonders hoch:

- Ausserordentliche klimatische Bedingungen (Temperaturen von 35°C bis 40°C bei hoher relativer Feuchtigkeit) sowie staubhaltige Luft
- Erschwerte Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten durch lange Anfahrtswege und den Bahnbetrieb, der so wenig wie möglich beeinträchtigt werden soll.

Die wichtigsten Merkmale für den Mischbetrieb, der bereits im Ausland sowie in der Schweiz läuft, werden mit den wichtigsten Merkmalen für den Betrieb des GBT umschrieben:

- Sehr lange einspurige Tunnelröhre (2 x 57 km), mit relativ kleinem Querschnitt (durchschnittlich 41 m²)
- Personenzüge bis zu Höchstgeschwindigkeiten von 250km/h
- Güterzüge mit bis zu 1'500 m Länge und 4'000 t Anhängelast mit Höchstgeschwindigkeiten bis zu 160 km/h und einer gesamten Traktionsleistung von 20 bis 30 MW
- Intensiver Mischbetrieb
- Hohe Sicherheitsanforderungen
- Dauernd hohe Umgebungstemperaturen bis zu 40°C

Die primäre Stromversorgung 50 Hz erfolgt über fünf Hochspannungshauptspeisestellen (Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faido, Bodio). Die verschiedenen Spannungen der lokalen Verteilnetze werden auf eine einheitliche, normierte Spannungsebene 16 kV für den ganzen Tunnel transformiert.

Die Verbraucher, innerhalb des GBT, sind in folgende drei Kategorien eingeteilt:

- **Priorität 1:** Anlagen, bei welchen eine Unterbrechung der Stromversorgung aus Gründen der Sicherheit oder der betrieblichen Anforderungen nicht zulässig ist (z.B. Stellwerke, Leittechnik-, Sicherheits- und Kommunikations-Systeme, Fluchtwegbeleuchtung)
- **Priorität 2:** Anlagen, bei welchen eine Unterbrechung bis zu einigen Minuten, im Falle einer Netzpanne oder bei Netzumschaltung, zulässig ist (z.B. Lüftung, Pumpen für Entwässerung, Haustechnik, Türen und Tore exkl. Fluchttüren, Teile der Niederspannungsversorgung und Beleuchtung für Unterhaltung)
- **Priorität 3:** Anlagen, die eine Unterbrechung der Stromversorgung zulassen (Teile Niederspannungsversorgung und Beleuchtung für die Wartung)

Die maximale erforderliche Leistung der Verbraucher im Normalbetrieb beträgt ca. 30 MW. Die durchschnittliche erforderliche Leistung beträgt ca. 5.7 MW, woraus ein Energieverbrauch von ca. 49 MWh pro Jahr resultiert.

Für die Realisierung der Stromversorgung 50 Hz sind rund 210 Hochspannungsschaltanlagen, 220 Transformatoren, 10 Notstrom-Anlagen, 175 Last Transfer Module und 800 Niederspannungs-Schaltfelder erforderlich.

Das Normalnetz 16 kV wird mit zwei Netzingen und einem Ersatznetz realisiert, um die erforderliche Versorgungssicherheit mit entsprechender Redundanz zu gewährleisten. Dieses ist in drei Abschnitte aufgeteilt. Fällt einer dieser Abschnitte aus, kann auf einen anderen umgeschaltet werden.

Das Kabelnetz für die Stromversorgung 50 Hz umfasst ca. 1'100 km Mittelspannungskabel und ca. 1'050 km Niederspannungskabel. Für die Datenübertragung werden ca. 1'100 km Lichtwellenleiter verlegt. Um mechanische Beschädigungen zu vermeiden, werden die Kabel in den seitlichen Banketten verlegt.

Die primäre Stromversorgung 16.7 Hz erfolgt über die Unterwerke Amsteg, Faido und Pollegio. Die Fahrleitungsabschnitte im GBT können in Nord-Südrichtung von mindestens zwei Seiten her gespeist werden. Damit kann eine Störung des Bahnbetriebes bei einem Ausfall einer System- oder Schaltkomponente, aber auch eines Unterwerkes, in Grenzen gehalten werden. Bei Ausfall eines Fahrleitungssektors ist es aus Sicherheits- und Verfügbarkeitsgründen wichtig, dass die Störung räumlich begrenzt bleibt, d.h. benachbarte Sektoren müssen entweder im Betrieb bleiben oder in kürzester Zeit wieder in Betrieb genommen werden können.

In beiden Tunnelröhren sind fahrstromtechnisch zwei eigenständige Systeme installiert. Für die beiden Tunnels sind separate Schalt- und Schutzanlagen vorgesehen. Es gibt Querverbindungen, die einen besseren Ausgleich der Strombelastungen zwischen den Fahrleitungssystemen beider Tunnelröhren ermöglichen. Im Bedarfsfall (Wartung, Ereignisfall) sind diese Querverbindungen mit den dafür vorgesehenen Schaltelementen auftrennbar. Sämtliche Innenraumschaltanlagen werden als luftisolierte Schaltanlagen gebaut.

Der Fachbereich Ausrüstung Bahntechnik des Fahrstromes 16.7 Hz ist für die Gesamtkoordination aller Erdungsanlagen im GBT zuständig, mit folgenden Zielen:

- Sichere und zuverlässige Rückführung des Traktionsstromes
- Bei allen Betriebs- und Störungsfällen treten keine Berührungs- und Schrittspannungen auf (Personenschutz)
- Bei allen Betriebs- und Störungsfällen treten keine Potentialdifferenzen an Anlagenteilen und Systemen (Anlagenschutz) auf

Der vorgeführte Film zeigt die einzelnen Arbeitsschritte des Ausbaus der GBT.

Mehrere weitere Mandate sind durch die LEONI Studer AG bearbeitet worden. So z.B. das Mandat der Supervision des Kabeleinzuges, der den Einbau in 6 Abschnitten in den Jahren 2010 bis 2014 überwacht. Dabei ist ein Einzugskonzept erstellt worden, mit

- dem Nachweis der Machbarkeit des Kabelzugs
- dem Ablauf des Kabelzugs
- der Spulenzuteilung der Kabel
- Zwischenlager in Däniken

Das Multifunktionsfahrzeug musste gemäss der technischen Ausschreibung folgende Kriterien erfüllen:

- Mögliche Beladung von 3 Spulen à 10t
- Spulendurchmesser bis 3.15m
- Fahrbar in beiden Richtungen, da das Wenden nicht möglich ist
- Einsatz auch als Transportfahrzeug

Eine weitere, wichtige Aufgabenstellung ist im Bereich des Stollens Sedrun:

- 6 Kabel XDCuE-E 3x1x150 in den senkrechten Schacht (Höhe Schacht: 800 m) einziehen
- Nachweis des Einzuges
- Hilfestellung für Befestigung des Kabels
- Erstellen eines Berichts über Mögliche Varianten des Einzugs

Für die Handlauf-/Fluchtwegbeleuchtung suchte die LEONI Studer AG ein rationelles Verkabelungskonzept. Dabei wurde folgende Lösung vorgeschlagen:

- Konfektionierte Kabel 3x2.5 à 50m mit Stecker mit nichtmetallischem Nagetierschutz

- Lampenanschluss mit konfektionierten Kabeln 3x1.5 à 1 m mit Stecker mit metallischem Nagetierschutz-Geflecht

Die verwendete Technik der LEONI Studer AG für den GBT ist die Anwendung von mehrschichtigen Skin-Extrusions-Verfahren. Im speziellen verarbeitet unser Unternehmen im Mittelspannungsbereich eine Trennschicht zwischen dem flammwidrigen Material und der Aussenhaut. Eine verbesserte Qualität der Mantelprüfung in nasser Umgebung, ist das Resultat.

Im generellen verarbeitet die LEONI Studer AG zwischen ein- und vierschichtigen Mänteln alles, mit allen denkbaren Materialkombinationen, unter Berücksichtigung der Verarbeitungstemperaturen, chemischer Verträglichkeit der Werkstoffe, das Fliessverhalten der Kunststoffschmelzen. Dabei sind die Schichten je nach Wunsch trennbar oder verschweisst.

In Kombination der Skin-Schichtverfahren erfolgt eine mögliche Bestrahlung im Hard-Vernetzungs-Zentrum, mit dem Ziel, eines verbesserten Funktionserhaltes, dank der Bestrahlung der Macro-Molekül-Ketten im Beta Elektronen Beschleuniger. Die Anwendungsgebiete generell, sind die Kunststoff-Vernetzung und die Sterilisation bei den medizinischen Produkte und im Food-Bereich.

Ein wichtiger Bestandteil ist das Erstellen eines Musterquerschlages im Versuchsstollen Hagerbach, mit einer realitätstreuen Wiedergabe der eingesetzten Elemente. Anbei einige Photos der angewandten Techniken.

LEONI Studer AG arbeitet für das Zubehör eng mit Ihren Partnern zusammen bei denen wir uns bedanken möchten.

An dieser Stelle danken wir ebenfalls recht herzlich für die Unterstützung der Firmen und Partner AlpTransit Gotthard, Transtec, Alpiq, ABAG und Burkhalter.

Die Kabelanlage im Gotthard



FKH-/ETG-Fachtagung

4. November 2009

Jürg Hosner

Inhalt

- Strukturen AlpTranist Gotthard, Transtec, ABAG
- Informationen zu LEONI Studer AG
- Informationen zum Projekt Gotthard-Basistunnel
- Mandate, Dienstleistungen
- Lieferumfang von LEONI Studer AG
- Planung
- Verdankung

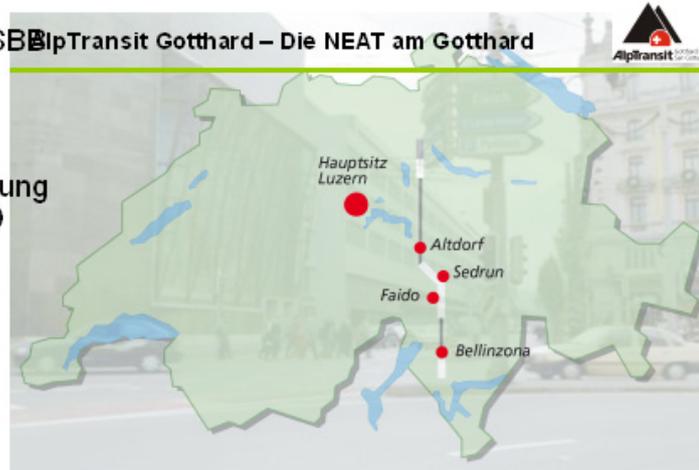
FKH-/ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

1

Organisation AlpTranist Gotthard



- 100% Tochtergesellschaft SBB AlpTranist Gotthard – Die NEAT am Gotthard
- Mai 1998 Gründung
- September 1999: Genehmigung Gotthard-Basistunnel (GBT) durch Parlament



Quellenangabe AlpTranist Gotthard

Geschichte

- 1947: 1. Idee Gotthard-Tunnel
- 1962: 1. Projekt
- 1992: Annahme NEAT
- 1998: Annahme LSVA

Ziel: Inbetriebnahme Gotthard 2017

Inbetriebnahme Ceneri 2019

FKH-/ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

Organisation Transtec



- Arbeitsgruppe bestehend aus
 - Alpiq
 - Alcatel/Lucent/Thales
 - Alpine-Bau
 - Balfour Beatty Rail
- 04.05.2007: Zuschlag Bahntechnik GBT
- Kompetenzen:
 - Fahrbahn/Fahrleitung
 - Bahnsicherung
 - Bahn-/Tunnelleittechnik
 - Telekommunikation
 - Stromversorgung
 - Logistik
 - Planung und Ausführung



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

3

Organisation ABAG



- Arbeitsgruppe bestehend aus
 - Alpiq
 - Burkhälter AG
- April 2008: Werkvertrag zum Einbau der Bahntechnik im GBT
- Kompetenzen:
 - Planung
 - Ausführung
 - Montage



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

4

Organisation LEONI Studer AG



- Liefer-, Dienstleistungs- und Zusammenarbeitsvertrag mit ABAG
- Standort Däniken
 - 400 Mitarbeiter
 - Breites Kabelsortiment, BETAsolution
- Verbesserter Funktionsverhalt dank Bestrahlung der Macro-Molekül-Ketten im Beta Elektronen Beschleuniger (GBT Chemaflex, FE180)
- Kunststoff-Vernetzung:
 - Kabel Isolation und Mantel
 - Kunststoff-Rohre
 - Kalt- und warschrumpf Produkte
 - Geschäumte Kunststoffe
 - Folien und gespritzte Formteile



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

5

Gotthardbasis-Tunnel



- Moderne Flachbahn durch die Schweiz,
- Reisezüge mit Geschwindigkeiten bis 250 km/h
- Bessere Anschlüsse (Zürich – Mailand) und kürzere Reisezeiten
- Benötigt am Gotthard den längsten Eisenbahntunnel der Welt (57 km)
- Sicherheit
- Verfügbarkeit
- Bedienung



Quellenangabe AlpTranist Gotthard

FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

5

GBT: Randbedingungen

- Ausserordentliche, klimatische Bedingungen (Temperaturen von 35°C bis 40°C bei relativer hoher Luftfeuchtigkeit) sowie staubhaltiger Luft
- Erschwerte Zugänglichkeit für Wartungs- und Reparaturarbeiten durch lange Anfahrtswege und den Bahnbetrieb
- Tunnelröhre (2x57 km) mit relativ kleinem Querschnitt (41 m²)
- Güterzüge 1'500 m lang und 4'000 mit Geschwindigkeit bis 160 km/h
- Intensiver Mischbetrieb
- Hohe Sicherheitsanforderungen



Quellenangabe AlpTranist Gotthard

FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

7

GBT: Stromversorgung 16 kV 50Hz

- **Priorität 1:**
Anlagen, bei welchen eine Unterbrechung der Stromversorgung aus Gründen der Sicherheit oder der betrieblichen Anforderungen nicht zulässig ist (z.B. Stellwerke, Leittechnik-, Sicherheits- und Kommunikations-Systeme, Fluchtwegbeleuchtung)
- **Priorität 2:**
Anlagen, bei welchen eine Unterbrechung bis zu einigen Minuten, im Falle einer Netzpanne oder bei Netzumschaltung zulässig ist (z.B. Lüftung, Pumpen für Entwässerung, Haustechnik, Türen und Tore exkl. Fluchttüren, Teile der Niederspannungsversorgung und Beleuchtung für Unterhaltung)
- **Priorität 3:**
Anlagen, die eine Unterbrechung der Stromversorgung zulassen (Teile Niederspannungsversorgung und Beleuchtung für die Wartung)

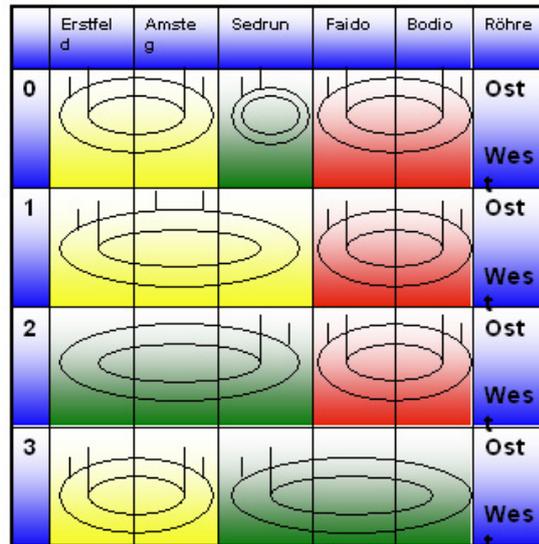
Normalbetrieb Leistung 30 MW, daraus Energieverbrauch von ca. 49 MWh pro Jahr

FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

8

GBT: Stromversorgung 16 kV 50Hz

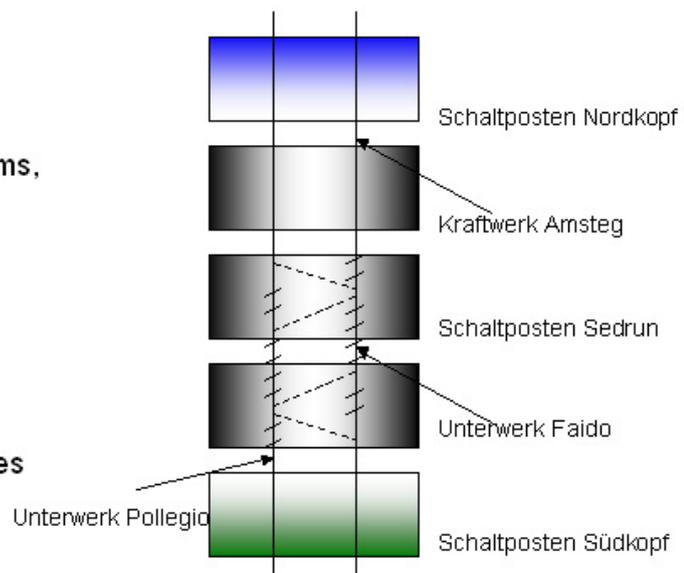
- Zwei Kabelringe in Einbezug Ost- und Weströhre für Redundanz
- Einspeisepunkte: Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faido, Bodio
- 210 Hochspannungs-Schaltanlagen
- 220 Transformatoren
- 10 Notstrom Versorgung
- 175 Last Transfer Module
- 800 Niederspannungs-Schaltfelder
- 1'100 km Mittelspannungs-Kabel
- 1'050 km Niederspannungs-Kabel
- 1'100 km LWL-Kabel



Quellenangabe Eisenbahningenieur 1/2005

GBT: Stromversorgung 30kV 16.7Hz

- Primäre Stromversorgung in Amsteg, Faido, Pollegio
- Ausfall des Fahrleitung-Systems, Störung räumlich begrenzt
- In Querverbindungen, Schaltelemente auftrennbar
- Ziele für die Erdung
 - Sichere/zuverlässige Rückführung des Traktionsstromes
 - Personenschutz
 - Anlagenschutz



Quellenangabe Eisenbahningenieur 12/2004

Erklärung: Streckentrennung Einspeisung 16.7Hz Notbetrieb

GBT: Film



- Film

Quellenangabe AlpTranist Gotthard

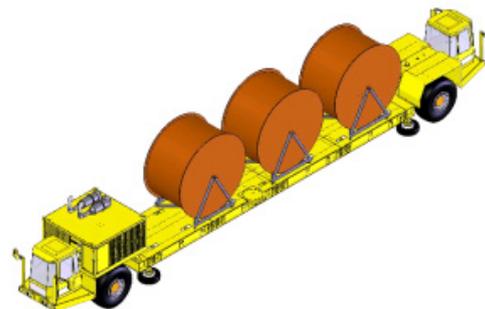
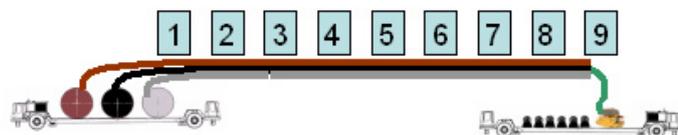
FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

11

Mandate I



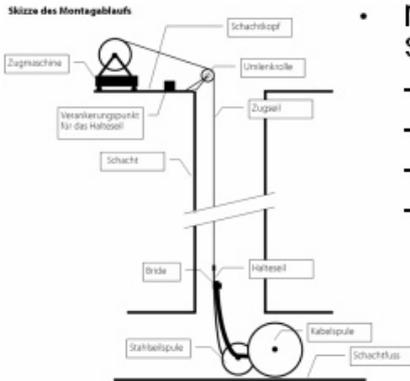
- Supervision Kabeleinzug in sechs Abschnitten zwischen 2010 und 2016 mit
 - Nachweis Machbarkeit Kabeleinzug
 - Ablauf des Kabelzuges
 - Spulenzuteilung der Kabel
 - Zwischenlager Däniken
- Multifunktionsfahrzeug
 - 3 Spulen à 8.5 t
 - Spulendurchmesser bis 3.15 m
 - Fahrbar in beiden Richtungen
 - Einsatz als Transport-Fahrzeug



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

12

Mandate II



- Mandat Bereich Stollen Sedrun
 - 6 Kabel XDCuE 3x150 mm²
 - Senkrechter Schacht 800 m
 - Nachweis des Einzuges
 - Befestigung des Kabels



- Fluchtwegbeleuchtung
 - Konfektionierte Kabel
 - Lampenanschluss
 - Nagetiergeschützt



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

13

Mandate III

- Musterquerschlag Versuchsstollen Hagerbach



FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

14

Technik I

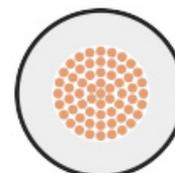
Skin-Schichtverfahren für GBT

- Trennung flammwidrige Materialien mit Aussenschicht im Tandem-Extrusions-Verfahren:

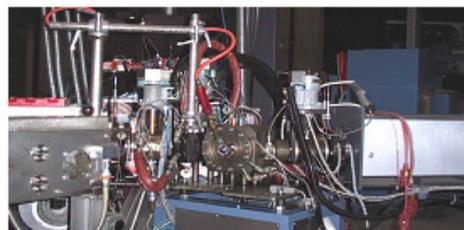


Verbesserte Mantelprüfung in nasser Umgebung

- 1 - 4 Schichten
 - 0.50 mm bis max. Querschnitt 3 Schichten
 - 0.75 mm bis max. Querschnitt 4 Schichten



- Alle denkbaren Materialkombinationen unter Berücksichtigungen:
 - Bereiche der Verarbeitungstemperaturen
 - Werkstoffe untereinander chemisch verträglich
 - Fließverhalten der Kunststoffschmelzen
 - Schichtdickenverteilung ist begrenzt



- Die Schichten sind je nach Materialwahl trennbar oder verschweisst.

FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

15

Lieferplan

Die Planung des GBT ab 2010 sieht wie folgt aus:

- **2010 Periode Mai–August:** Bauprovisorium und Einbau Faido/Bodio West
- **2011 Periode Dezember:** Bauprovisorium Sedrun/Erstfeld Ost
- **2012 Periode Januar–Dezember:** Bauprovisorium und Einbau Erstfeld Ost und West
- **2013 Periode Februar–Juni:** Bauprovisorium und Einbau Faido/Bodio Ost
- **2014 Periode Januar–Mai:** Bauprovisorium und Einbau Faido/Sedrun Ost und West

1507 Riv2	1617 Riv1	1717 Tavel	TS Wert	OS- Nr.	Out / OS- Bezeichnung
20080900	20080900	20080900			
10/15/17 1'854	10/15/17 1'854	10/15/17 1'854		1	*OSL 888'888
				2	*OSL 888'370
				3	*OSL 888'488
				4	*OSL 888'888
	10/15/17 1'854		TS	5	*OSL 888'320
				6	*OSL 888'488
		10/15/17 1'339		7	*OSL 888'888
				8	*OSL 888'290
10/15/17 1'414			TS	9	*OSL 888'410
				10	*OSL 888'888
		10/15/17 1'315		11	*OSL 888'265
				12	*OSL 888'888
	10/15/17 1'559		TS	13	*OSL 888'888
		10/15/17 1'244		14	*OSL 888'190
				15	*OSL 888'488
				16	*OSL 888'290
10/15/17 1'888			TS	17	*OSL 888'888
		10/15/17 1'244		18	*OSL 888'290
				19	*OSL 888'488
	10/15/17 1'822		TS	20	*OSL 888'888
				21	*OSL 888'310
		10/15/17 1'344		22	*OSL 888'422
				23	*OSL 888'450

Danke für Ihre Aufmerksamkeit und der Unterstützung aller beteiligten Firmen

FKH-ETG-Fachtagung 2009 / 4. November 2009

16

FKH - / ETG – Fachtagung

4. November 2009

Hochspannungskabel – aktuelle technologische Herausforderungen

Teilentladungs-Monitoring an Hochspannungs-Kabelanlagen

Dr.-Ing. Kay Rethmeier
OMICRON electronics GmbH, A-Klaus

Herr Rethmeier, Jahrgang 1972, studierte Hochspannungstechnik an der Technischen Universität-Berlin, wo er im Jahre 2006 mit seiner Dissertation zu speziellen Fragen der TE-Messtechnik promoviert wurde. In Kooperation mit dem IPH Berlin (Institut Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik GmbH) führte er in den Jahren 2005 und 2006 verantwortlich Vor-Ort-TE-Messungen an Hochspannungskabelanlagen im In- und Ausland durch. Von 2006 bis 2007 war Herr Rethmeier Produktverantwortlicher für Hochspannungsquellen und Kabeldiagnostik bei der Firma Baur Prüf- und Messtechnik GmbH (Österreich). Seit 2007 ist er bei der Firma OMICRON electronics GmbH (Österreich) der Ansprechpartner für TE-Messtechnik im Produktmanagement, Technical Support und im Service-Bereich.

Herr Rethmeier ist Mitglied bei VDE/VDI und Autor von mehr als 50 wissenschaftlichen Fachbeiträgen rund um die Hochspannungsprüf- und messtechnik.

Teilentladungs-Monitoring an Hochspannungs-Kabelanlagen



Dr. Kay Rethmeier
Omicron electronics, Austria

Why Partial Discharge Diagnostic Measurements?

- **Partial Discharge (PD)** events are in general a consequence of local electrical stress concentrations in the insulation or on the surface of the insulation
- **PD** generates electromagnetic signals
- **PD** is often accompanied by emission of sound, light, heat and chemical reactions

PD measurement is a reliable, non-destructive test method to:

- **detect critical defects**
- **localize defects**
- **recognize defects**
- **access the risk**

Why Monitoring

if the Cable passed factory PD tests and commissioning voltage tests?



- Voltage tests discover only heavy damages!
- Voltage tests may not bring smaller defects to a breakdown within the specified test time!
- Voltage tests deliver poor diagnostic information
- Typical assembling faults cause usually PD – but no immediate breakdown!
- Real breakdowns will take place much later – during service!



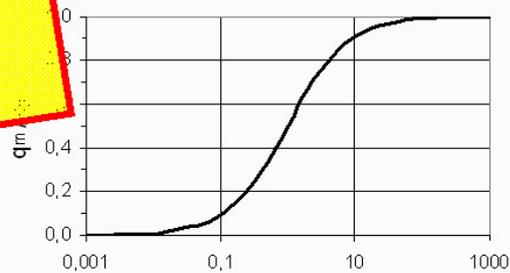
© OMICRON

3

PD Monitoring – At the cable end?

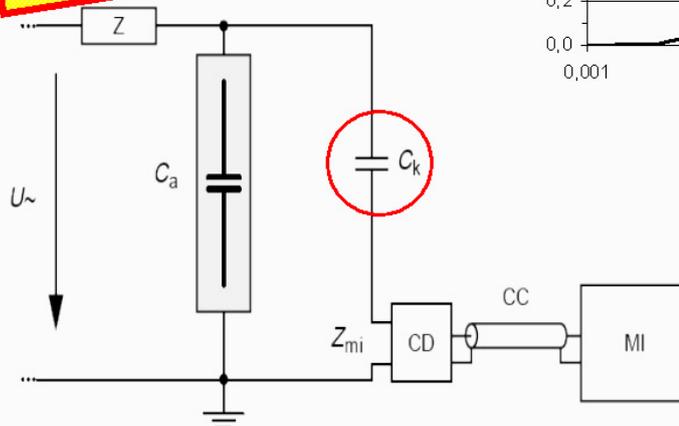


No acceptable sensitivity!



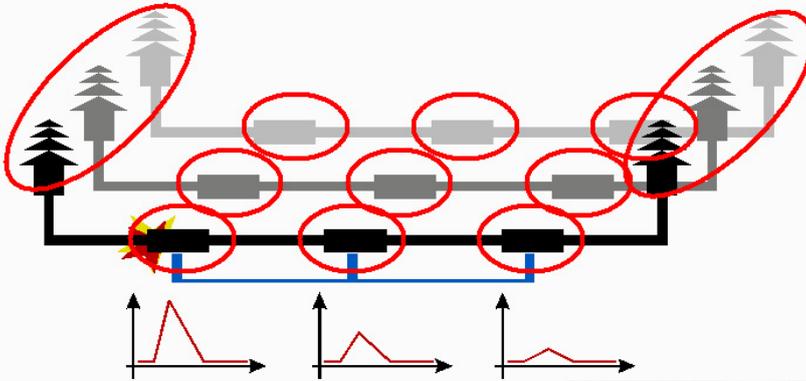
C_k / C_a

HV Cable: μF
 Coupling C: nF



© OMICRON

PD Sources – Accessories, assembling faults



=> PD sensors have to be located close to the most likely PD sources



© OMICRON

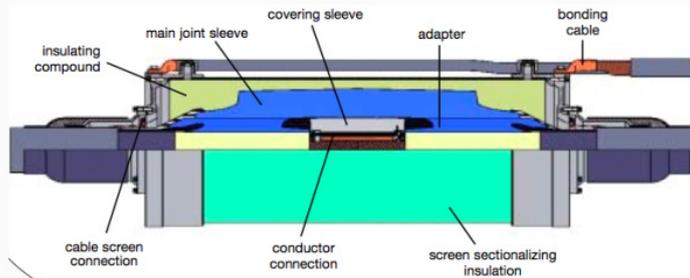


HV CABLE JOINTS

© OMICRON

6

HV Cable Accessory Design

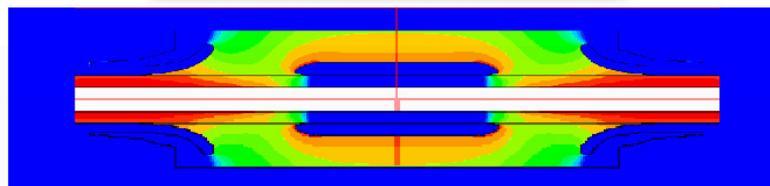
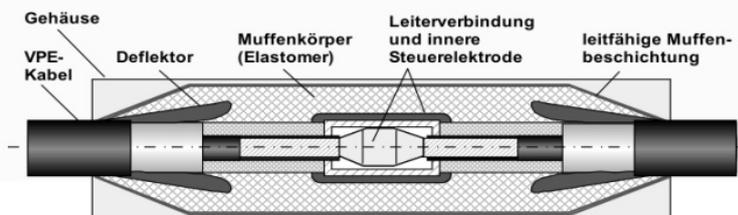


© NKT

© OMICRON

7

HV Cable Accessory Design



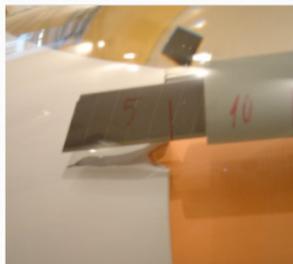
© Brugg Kabel

© OMICRON

8

Why Monitoring?

Cable Joint Assembly Fault → PD → Reaction Time



Picture: DSC01321.jpg	Date: 27.02.2004 10:48 Time: 23 min	PD Noise up to 2 pC
Picture: DSC01339.jpg	Date: 27.02.2004 11:35 Time: 70 min	PD Noise up to 2 pC
Picture: DSC01349.jpg	Date: 27.02.2004 12:03 Time: 98 min	PD Noise up to 2 pC
Picture: DSC01361.jpg	Date: 27.02.2004 13:34 Time: 189 min	PD Noise up to 2 pC PD Input Overdriven by heavy PD Activity

Cut in stress-cone ▶ high PD after 3h ▶ breakdown after 10h

© Brugg Kabel

© OMICRON

9

Why Monitoring?

Other Assembling Faults in HV Cable Accessories



a) Schirmdrahtabdruck

b) 1. Abdrücke von Schirmdrähten 2. Falscher Übergang halbleitende Schicht/EPR-Isolation

c) Schirmdrahteindrücke in die Isolierung

d)

© Brugg Kabel

© OMICRON

10

HV CABLE TERMINATIONS

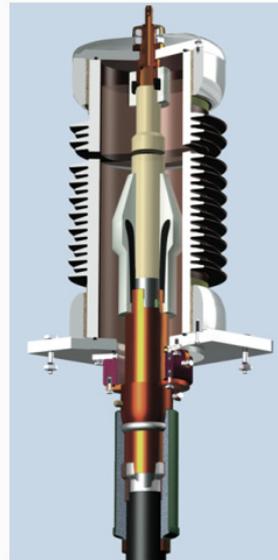
HV Cable Terminations



HV Cable Terminations Example 1



© Brugg Kabel

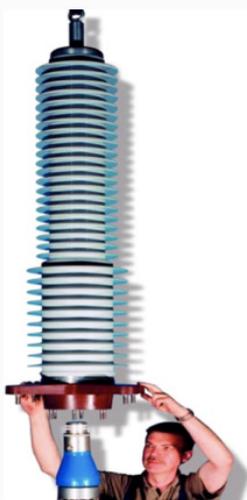


© Brugg Kabel

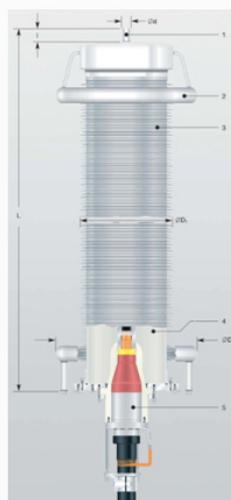
© OMICRON

13

HV Cable Terminations Example 2



NKT



Südkabel
 Outdoor termination



Südkabel
 SF6/GIS termination

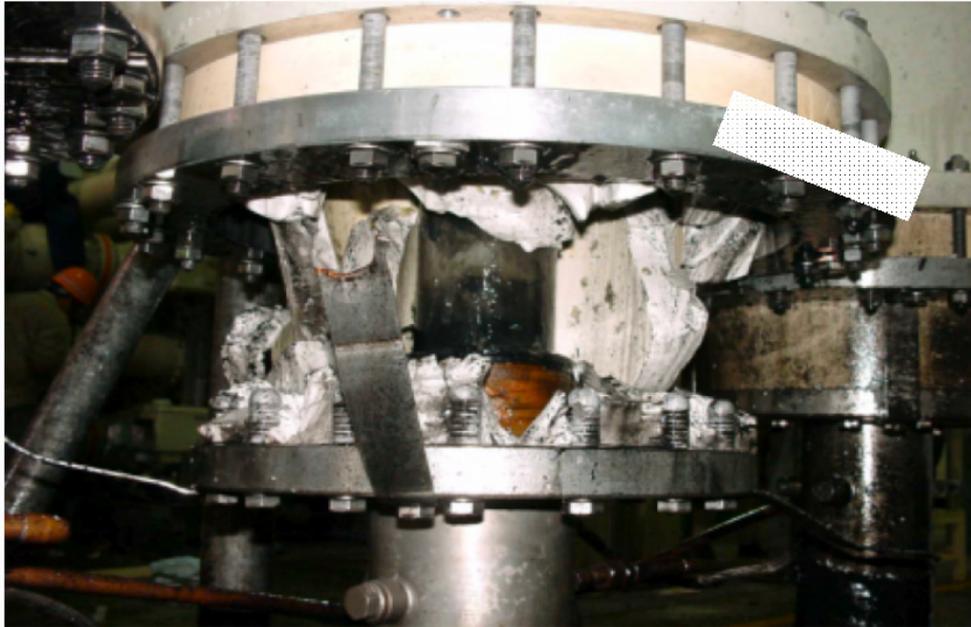


Südkabel
 Transformer termination

© OMICRON

14

Why Monitoring?

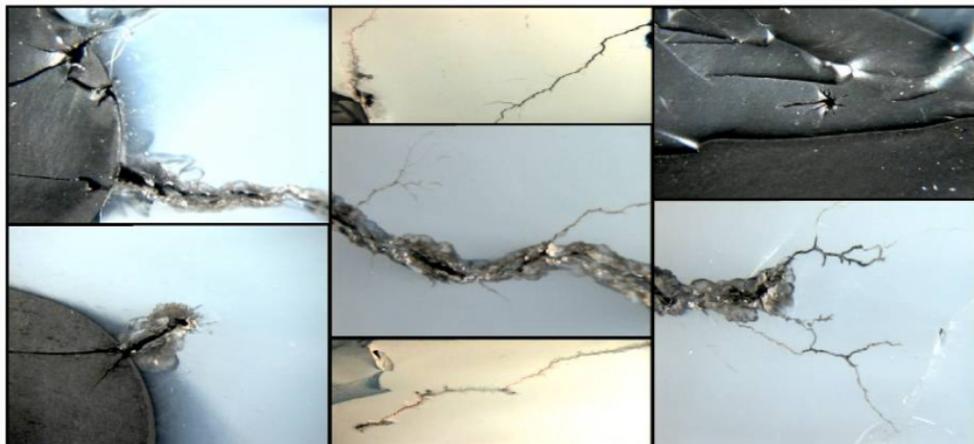


© OMICRON

15

Why Monitoring?

Surface Discharges at Deflector Electrode
 (Termination Without Oil)



© Brugg Kabel

© OMICRON

16

PD MONITORING SENSORS FOR CABLE ACCESSORIES

© OMICRON

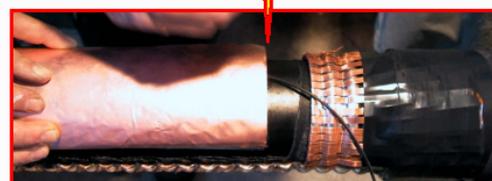
17

PD Sensors Directional Coupling Sensors - DCS



- HF component (Broad band Giga-Hertz range)
- Combined magnetic and electric PD coupling
- **Inherent noise suppression!**
- **PD location in the range of cm!**
- **Mounted VERY close to the outer semi layer**
- **More lab solution than on-site solution**

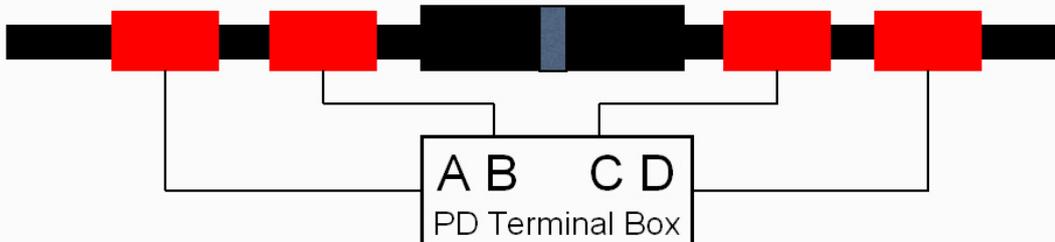
Long term
stability?



© OMICRON

PD Sensors

Capacitive Sensors – Mounted on cable screen



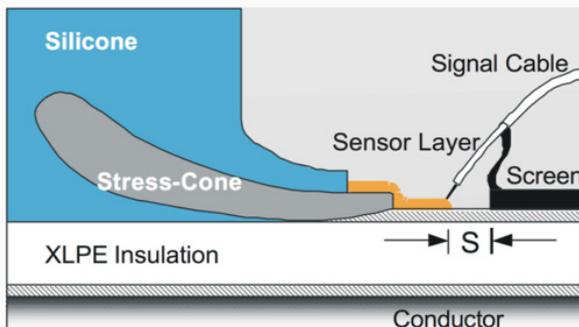
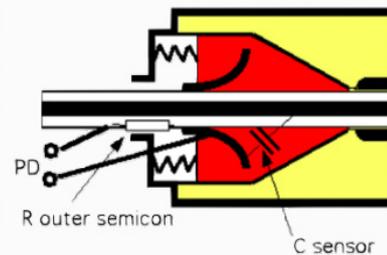
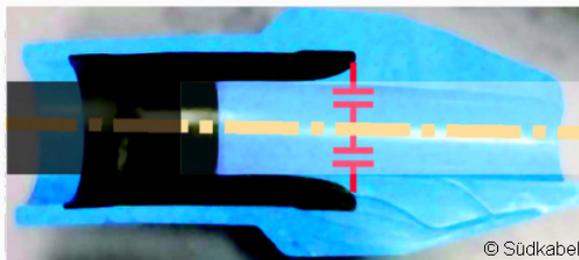
- Screen interruption joints only
- Easy to install
- No intrusion below cable screen
- Easy to calibrate on site
- Calibration between A and D
 - Injecting something into the cable?
- PD Measurement between B and C
 - Measuring something from the cable?

Looks easy but does it work?

© OMICRON

PD Sensors

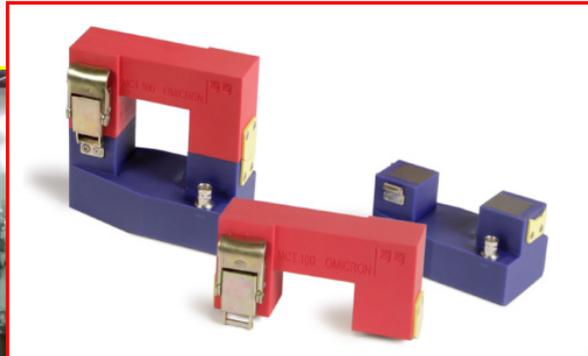
Capacitive Sensor



© OMICRON

20

PD Sensors HFCT Sensor



© OMICRON

21

PD Sensors HFCT at Screen-Earth Cable Connection



© OMICRON

22

PD Sensors



Principles of PD Measurement at Cross-Bonding Links

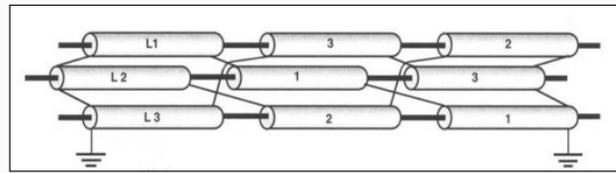


Fig. 1: Cable screen connection scheme – Principle

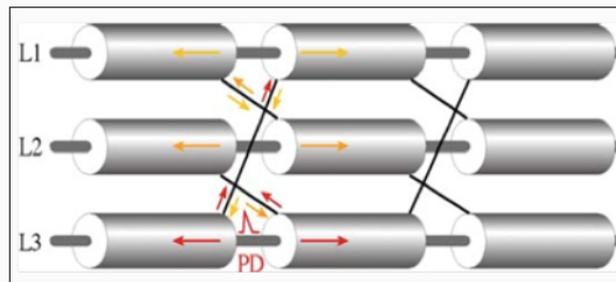
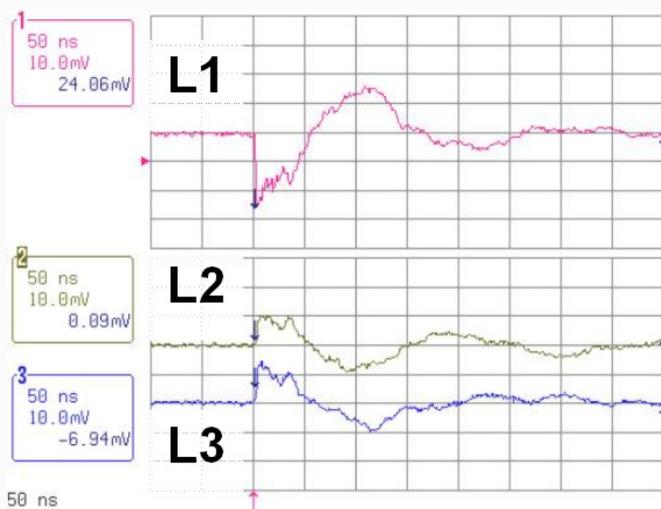


Fig. 2: PD propagation in CB-links (schematic)

Ref.: Weißenberg, W. et al.: On-Site PD Detection at Cross-Bonding Links of HV Cables.
 Cigré Session 2004, Paris, 29.08.-03.09.2003, paper B1-108

Cross Talk – Cross bonding allows pulse cross talk to other phases



Single PD pulse in
 CB link box,
 recorded with DSO

PD Sensors at Cross Bonding Links



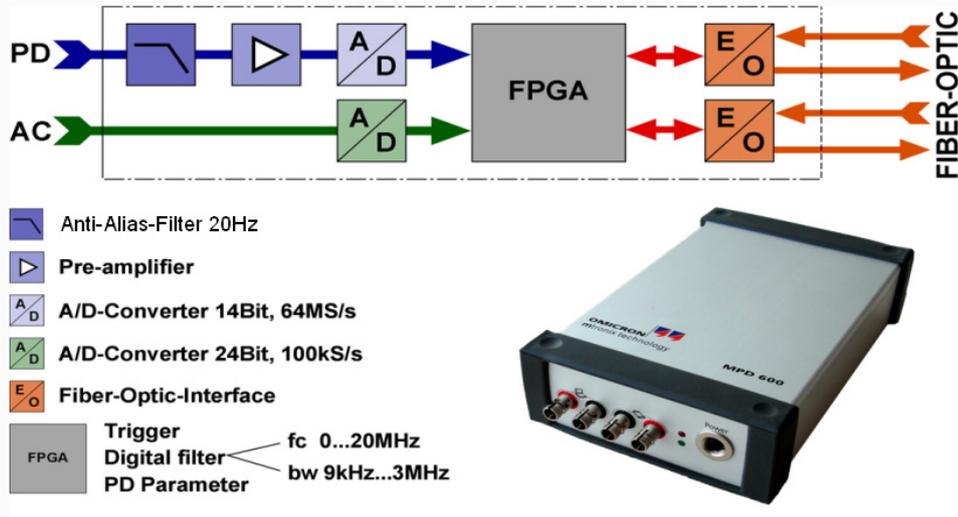
Ref.: *Weißenberg, W. et.al.: On-Site PD Detection at Cross-Bonding Links of HV Cables. Cigré Session 2004, Paris, 29.08.-03.09.2003, paper B1-108*



PD-TECHNOLOGY

OMICRON PD Measurement Technique MPD 600

Design and Function

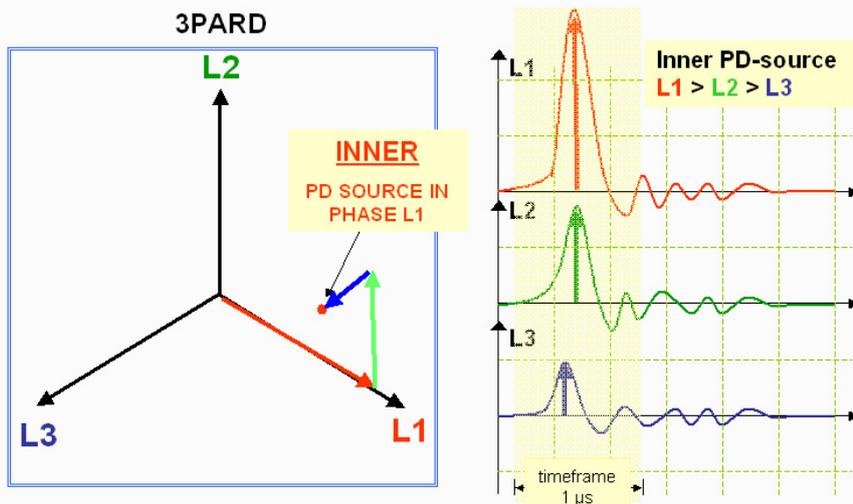


Real-time performance:
 1.6 Mpulses/s

PD-Source Separation – 3PARD



Three Phase Amplitude Relation Diagram (Three Channel Measurement)

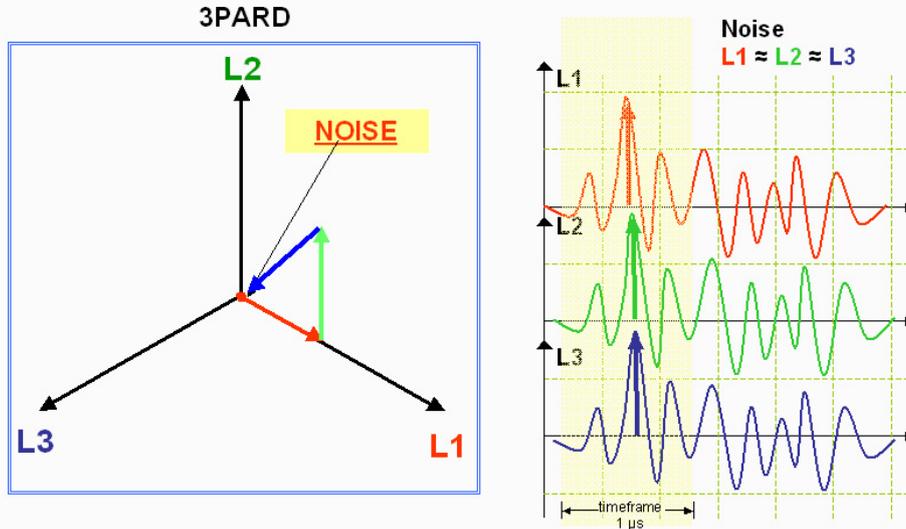


Because of the complex propagation and coupling characteristics of PD impulses, every source of PD impulses has unique impulse to couplings ratio and consequently a characteristic 3PARD signature.

PD-Source Separation – 3PARD



Three Phase Amplitude Relation Diagram (Three Channel Measurement)

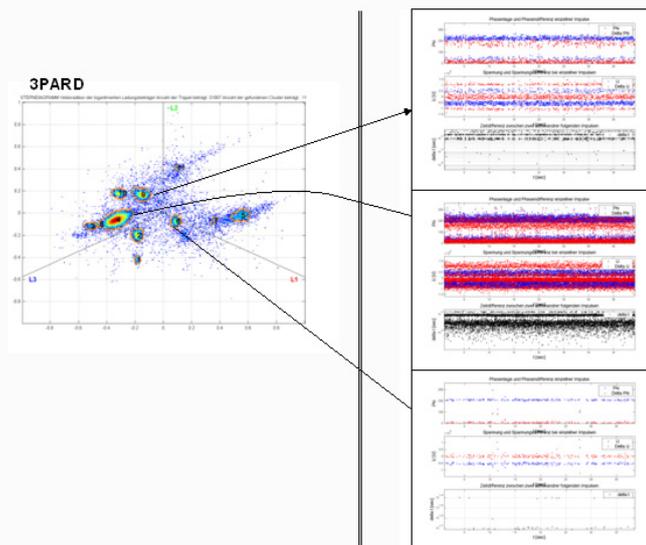


Electrical interferences and outer noise usually have the pulse-like nature of PD but occur with almost the same amplitude on all three phases of the machine.

PD-Source Separation – 3PARD

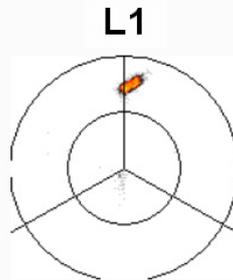


Three Phase Amplitude Relation Diagram (Three Channel Measurement)

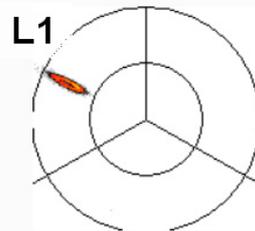
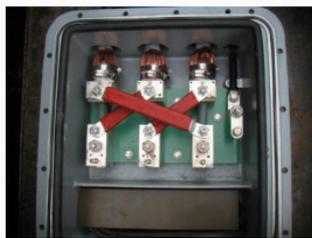


Individual Evaluation of PD-Sources

3PARAD for CB – Linear oder CB connection?



Straight Through Connection
 => Cluster **on** Axis

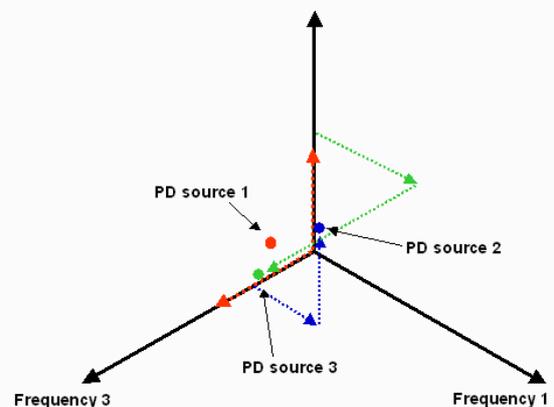
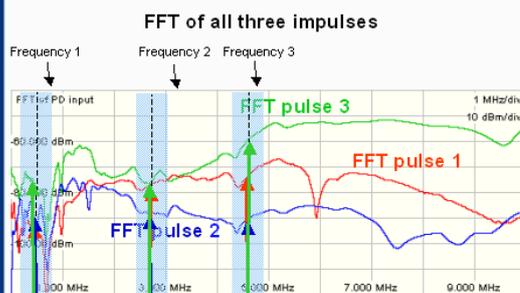
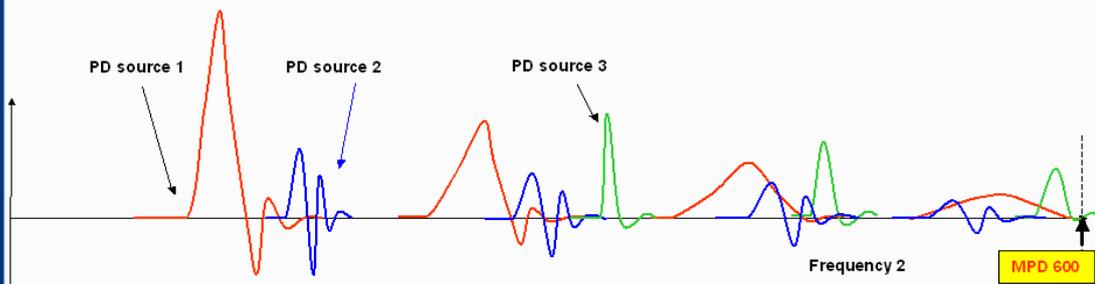


Cross Bonding
 => Cluster **between** Axis

© OMICRON

PD-Source Separation – 3CFRD

Three Center Frequency Relation Diagram (One Channel Measurement)



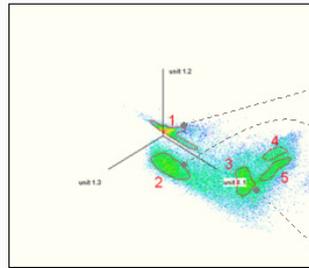
© OMICRON

32

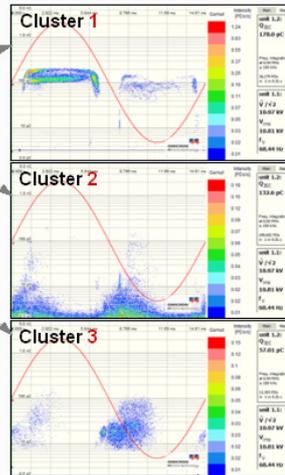
PD-Source Separation – 3CFRD



Three Center Frequency Relation Diagram (One Channel Measurement)



Separation of PD sources by 3CFRD



CONTINUOUS PD MONITORING SYSTEM PDM 600



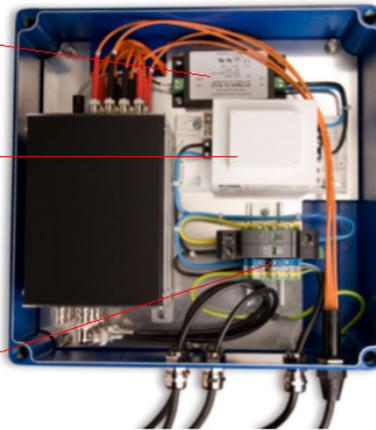
PDM 600 Monitoring System Components



Primary Switcher:
 U_{in} 100-240 V AC
 U_{out} 12 V DC

Isolation Transformer:
 5,000 V
 60 VA
 230/230 V AC
 0.26 A

Surge Arrester:
 U_N 240 V AC
 U_C 350 V AC
 U_P 1.4 kV
 I_{max} 40 kA



One fiber optics controller MCU 502
 (integrated into the monitoring server)

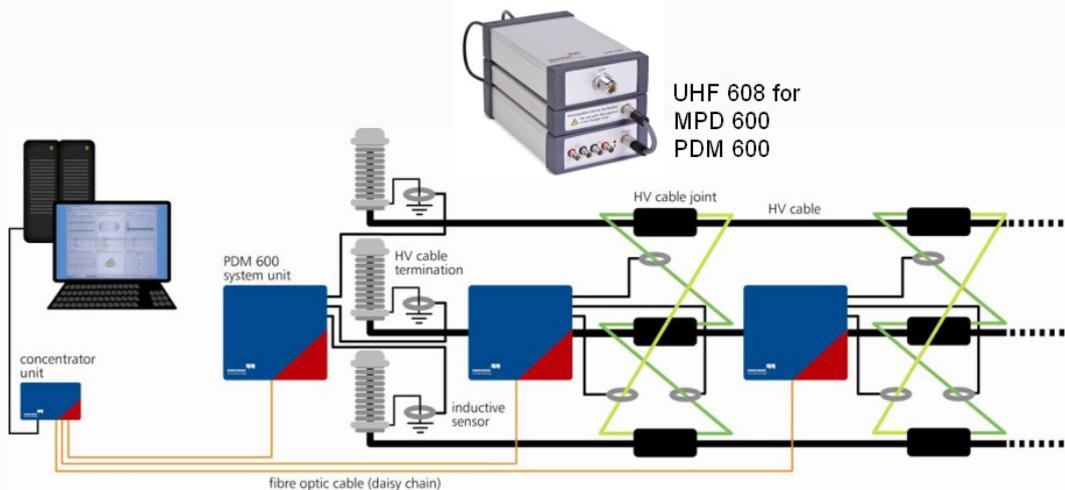


Monitoring server running the monitoring software



Calibrator

PDM 600 Monitoring System Design for HV Cable Lines



MCT 100 for
 MPD 600
 PDM 600



PDM 600 Monitoring System Data Processing



Data acquisition

- 4-channel PD monitoring devices
- Internal quadripole to split PD/AC signals.
- Filtering, amplifying and digitalizing in real-time

Data pre-processing

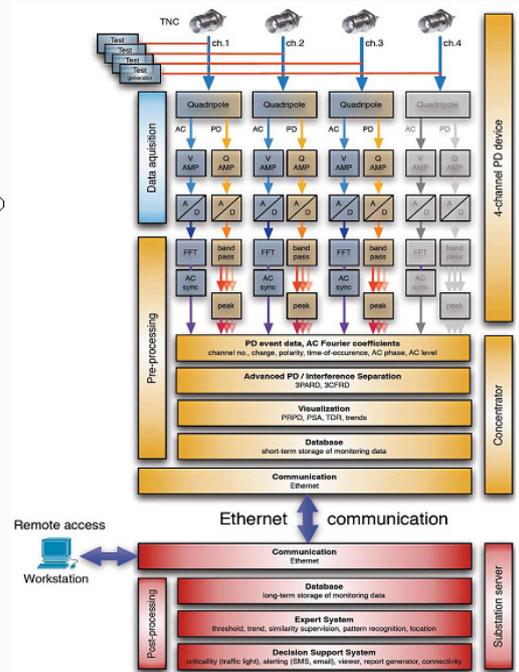
- Quasi-integration of the PD data is performed by a digital band-pass filter.
- Noise/source separation through 3PARF and 3CFRD
- Generation of PRPD, PSA
- Localization: TDR, TDD
- Measured and calculated data are transmitted over Ethernet to the monitoring server

Data post-processing

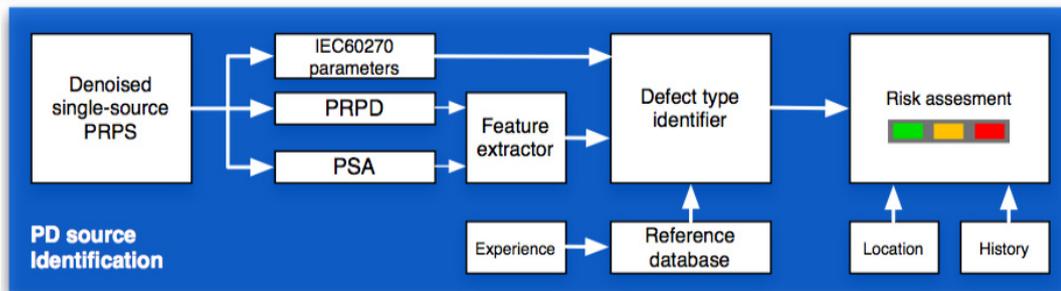
- Monitoring data collection for connected devices
- Intelligent data post-processing for condition-based assessment

Major software components are:

- Operating system
- Reliable data base management
- Monitoring device interfaces
- Expert system
- Configuration tools, self-monitoring, alerting system, remote control



PDM 600 PD-Source Identification & Condition Assessment



CASE STUDIES AND REFERENCES

EXPERTISE IN ON-SITE TESTING OF HV CABLE LINES

Case Studies



400 kV VPE Cable System, BEWAG Berlin 1998 & 2000



© IPH

© OMICRON

41

Case Studies



400 kV XLPE Cable System, GIS Termination Pump Goldisthal 2002



© IPH

© IPH

© OMICRON

42

Case Studies

345 kV XLPE Cable System, Taiwan 2002 & 2003



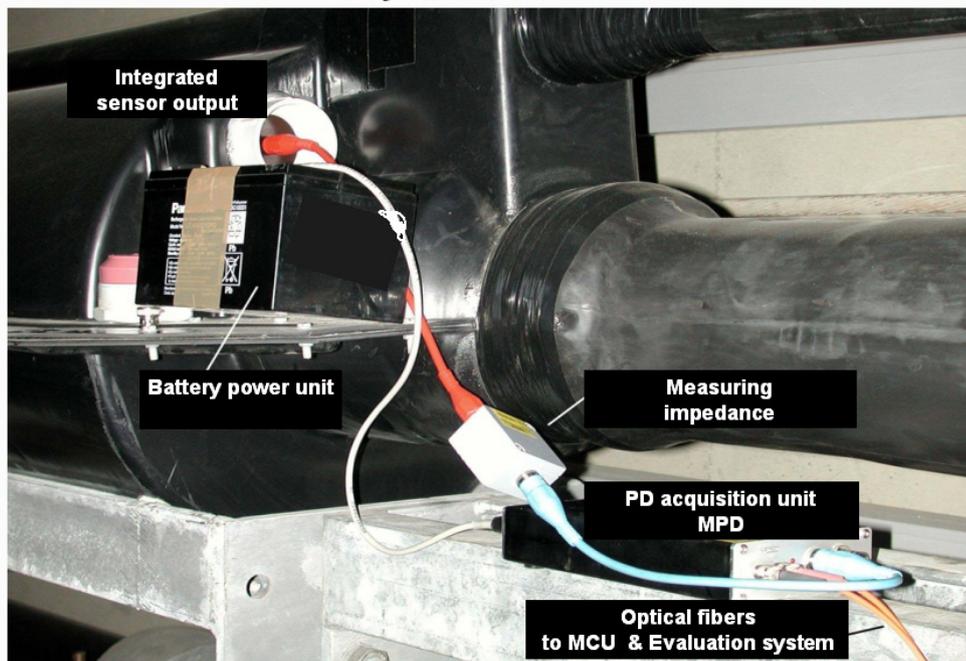
© IPH

© OMICRON

43

Case Studies

345 kV XLPE Cable System, Taiwan 2002 & 2003



© OMICRON

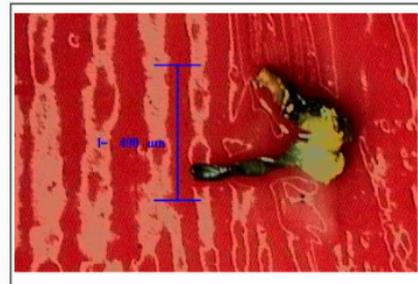
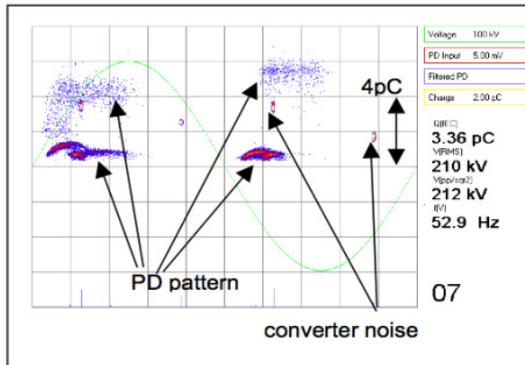
44

Case Studies

345 kV XLPE Cable System, Taiwan 2002 & 2003



PD defect inside 345 kV CB Joint



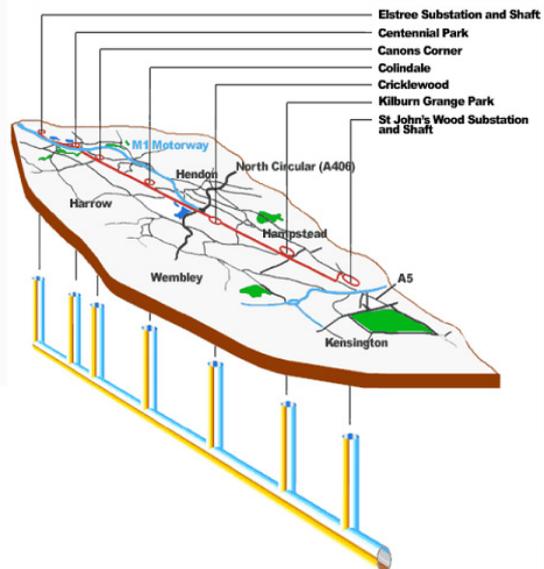
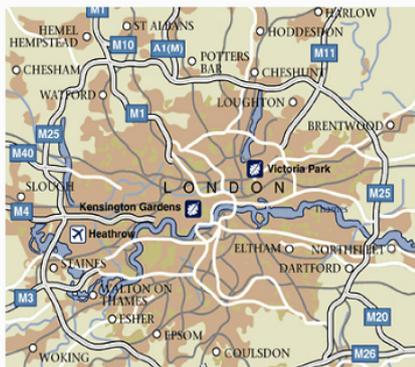
picture 12: 0.5 mm metal part found in joint

figure 11: Inner PD detected from a joint
voltage: 212 kV, frequency 52.9 Hz

Ref.: Kaumanns, J.; Plieth, E.; Plath, R.: On-Site AC Testing and PD Measurement of 345 kV/2500 mm² XLPE Cable Systems for Bulk Power Transmission. Jicable, Versailles, paper A8.4, 2003

Case Studies

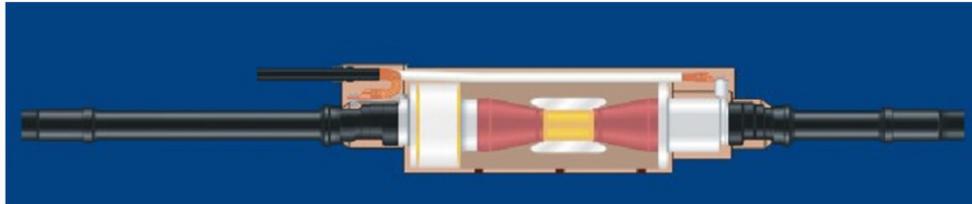
400 kV XLPE Cable System, London Elstree 2005 & 2009/2010



Case Studies

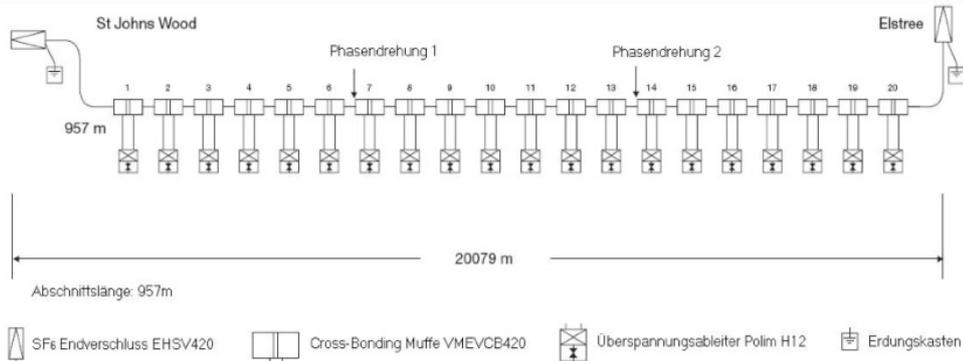


400 kV XLPE Cable System, London Elstree 2005 & 2009/2010



Cross-bonding joints with integrated PD sensors

© Süd-kabel



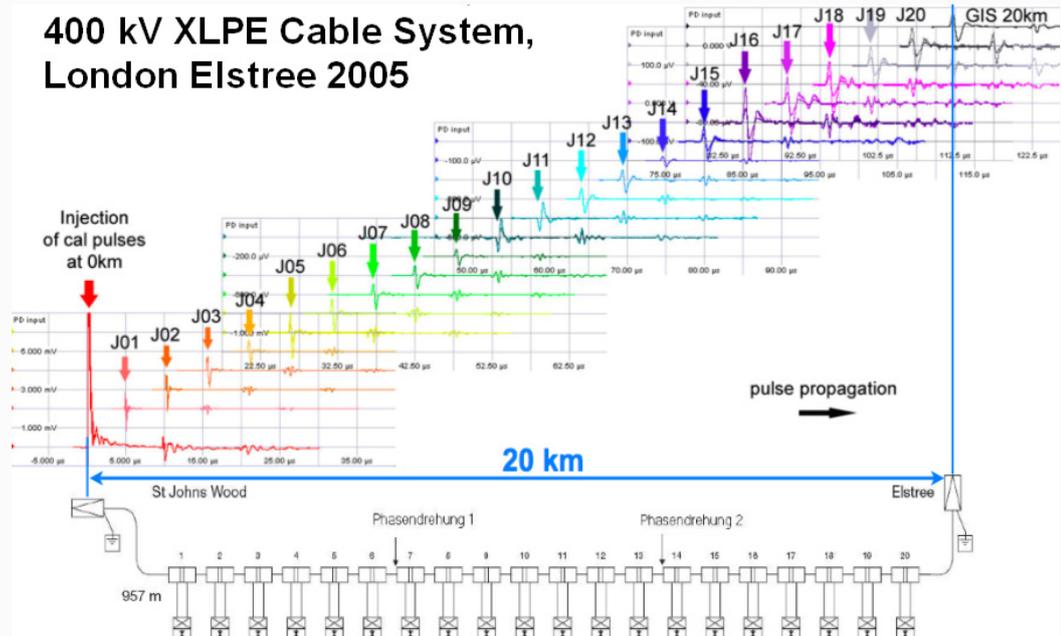
© OMICRON

47

Case Studies



400 kV XLPE Cable System,
 London Elstree 2005



Propagation of calibration impulses – check of performance
 Synchronous measurement at 20 joints over 20 km distance

© OMICRON

48

CASE STUDIES

PD Monitoring

HV Cable Terminations – Project Bureya II

End-User: Bureya Hydropower Station, Talakan, Amur Region, Russia

Delivery: 12/2008 Acceptance Test 02/2009

In Service: 6 single-channel PDM600 Systems since 05/2009



Monitoring Project Generator- Stadtwerke Erlangen



Siemens Generator 21,9 MVA, 6,3 KV

- 3-phase PDM600/3 monitoring system and monitoring server
- with OMICRON capacitive coupling sensor E2224
- installed in October 2009



PD Sensors

© OMICRON



PDM600
 3ch-acquisition unit



Monitoring Server
 PD Sentry Monitoring SW

Monitoring

@omicron.at



Dr. Kay Rethmeier
 Omicron electronics, Austria

© OMICRON

52

Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Namen

Adili	Sedat	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Aeberhard	Martin	Schweizerische Bundesbahnen, Infrastruktur Energie	Zollikofen
Aegerter	Christian	EBM Netz AG	Münchenstein
Aschwanden	Thomas	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Ausborn	Andreas	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Avila	André	Brugg Kabel AG	Brugg
Bachmann	Walter	PFISTERER SEFAG AG	Malters
Baumann	Josef	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Bawart	Manfred J.	BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH	Sulz
Berger	Stefan	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Bieri	Norbert	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Bionda	Filippo	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Bitschnau	Emil	Vorarlberger Illwerke AG	Schruns
Blanchard	Pierre-André	Siemens Suisse SA	Renens
Blaser	Philippe	Nexans Suisse SA	Cortailod
Bolliger	Alain	LDIC AG	Rheinfelden
Borcard	Olivier	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Borer	Gilbert	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Bränlich	Reinhold	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Brakelmann	Heinrich	Universität Duisburg-Essen/Campus Duisburg	Duisburg
Brunner	Roland	Brugg Kabel AG	Brugg
Büttler	Roland	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Burger	Markus	Brugg Kabel AG	Brugg
Camponovo	Flavio	Indeltra SA	Bellinzona
Castelli	Giovanni	AEW Energie AG	Aarau
Cesare	Leucio	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Chollet	Damian	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Der Houhanessian	Vahe	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Doser	Bernhard	ABB Schweiz AG	Wettingen
Egger	Brigitte	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Egli	Stefan	Monosuisse AG	Emmenbrücke
Favre	Fabrice	Schweizerische Bundesbahnen, Infrastruktur Energie	Zollikofen
Fehlbaum	Jean	Nexans Suisse SA	Cortailod
Fehlmann	Pascal	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Fierz	Dorothea	AC-Trade, Energie & Telekommunikation	Rüschlikon
Frei	Patrick	Brugg Kabel AG	Brugg
Freudiger	Thomas	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Fröhlich	Klaus	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Fuhr	Jitka	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Galliker	Patrick	Industrielle Werke Basel	Basel
Gamlin	Michael	Haefely Test AG	Basel
Gautschi	David	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Gianella	Simone		Fribourg
Gnos	René	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Gobeli	Mario	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Gogel	Cornelia	Bundesamt für Energie	Bern
Guillod	Charles	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Habegger	Peter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Häusermann	Heinz	Arnold AG, Energie & Telecom	Fehraltorf
Heizmann	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Chez-le-Bart
Helbling	Peter	CFW EMV-Consulting AG	Heiden
Henn	Nils	Elektra Baselland Liestal	Liestal

Herger	Stefan	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Herren	Jürg	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Herzog	Bruno	Siemens Schweiz AG	Zürich
Hoffmann	Christian	BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH	Sulz
Hosner	Jürg	LEONI Studer AG	Däniken
Howald	Markus	Onyx Energie Netze	Langenthal
Huber	Christof	Stadtwerk Winterthur	Winterthur
Hügli	Reto	Hochschule Luzern - Technik & Architektur	Horw
Hug	Urs	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Imhof	Felix	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Isenegger	Andreas	EBM Netz AG	Münchenstein
Islami	Ekrem	TRANSCO	Sedrun
Jeker	Dominik	EBM Netz AG	Münchenstein
Jenni	Werner		Windisch
Joss	Stefan	Bundesamt für Umwelt	Bern
Kaltenrieder	Beat	LEONI Studer AG	Däniken
Keel	Tobias	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Kiser	Erwin	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Klein	Thomas	Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG	Winterbach
Klingler	Alex	CFW EMV-Consulting AG	Heiden
Knab	Hans-Josef	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Kneubühler	Hans	VSLR	Fischbach
Köppl	Georg	Köppl Power Experts	Wettingen
Kraus	Jürgen	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Kronig	Heinz	Dr. H. Kronig & Partner AG	Zermatt
Kuhn	Marcel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Kunz	Paul	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
L'Eplattenier	Robert	Gasenzer AG	Hinwil
Lang	Ernst	Lebag Leitungs- und Elektrobau AG	Lenzburg
Lauper	Heinz	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Lindhorst	Thomas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Lobsiger	Thomas	LEONI Studer AG	Däniken
Lörtscher	Manfred	Loits GmbH	Wettswil am Albis
Luternauer	Hansruedi	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Märki	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Marchetto	Luca	Brugg Kabel AG	Brugg
Marro	Anton	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Marthaler	Hanspeter	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Marty	Dario	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Maurer	Christoph	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE	Aarau
Meier	Andreas	Brugg Kabel AG	Brugg
Mele	Adamo	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Metzger	Fridolin	Axpo AG - Netze	Laufenburg
Meyer	Markus	Axpo AG - Netze	Baden
Miesch	Markus	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Miletic	Dragan	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Müller	Stephan	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Muller	Pierre		Lausanne
Nafzger	Martin	Axpo AG - Netze	Baden
Neuhold	Stephan	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Nievergelt	Doris	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Novotny	Radomir	electrosuisse	Fehraltorf
Oberholzer	Patrick	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Paulmair	Wolfgang	Vorarlberger Illwerke AG	Schruns
Peter	Daniel	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern

Pochon	Antoine	Alpiq Réseau SA	Lausanne
Prinz	Hanspeter	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Pronini	Roberto	Azienda Elettrica Ticinese	Bellinzona
Reber	Heinz	Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden	Stans
Rethmeier	Kay	OMICRON electronics GmbH	Klaus
Ritter	Luigi		Mettmenstetten
Rohs	Arian	AEW Energie AG	Aarau
Saugy	Thierry	Brugg Kabel AG	Brugg
Schäfer	Georg	EBM Netz AG	Münchenstein
Schenk	Christoph	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Schluchter	Samuel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Schmid	Werner	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Sorg	Rolf	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Spiller	Corsin	Kraftwerke Hinterrhein AG	Thusis
Stocker	Walter	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Storf	Günther	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Strobach	Michael	Energie Wasser Bern	Bern
Sturm	Christian	OMICRON electronics GmbH	Klaus
Suter	Elisabeth	Bundesamt für Umwelt	Bern
Thommen	Andreas	Industrielle Werke Basel	Basel
Tomaschett	Tobias	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Tschanz	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Vogelsang	Ruben	Brugg Kabel AG	Brugg
Waishar	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Walser	Markus	SN Energie AG	St. Gallen
Weber	Martin	Axpo AG - Netze	Baden
Weber	Daniel	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Weber	Hans-Jürg	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Weber	Marc	Services Industriels de Genève	Genève 2
Weibel	Martin	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Weidmann	Matthias	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Weishaupt	Heinz	PFISTERER SEFAG AG	Malters
Wenger	Hanspeter	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Wey	Josef	Brugg Kabel AG	Brugg
Wicht	Patrik	Nexans Suisse SA	Cortailod
Willig	Thomas	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG	Däniken
Wyss	Sascha	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Zellweger	Rudolf	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Ziegler	Roland	Axpo AG - Netze	Baden
Ziegler	Michael	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Zierhut	Stefan	Colenco Power Engineering AG	Dättwil
Zimmermann	Hanspeter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich

Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Firmen

Gianella	Simone		Fribourg
Jenni	Werner		Windisch
Muller	Pierre		Lausanne
Ritter	Luigi		Mettmenstetten
Doser	Bernhard	ABB Schweiz AG	Wettingen
Fierz	Dorothea	AC-Trade, Energie & Telekommunikation	Rüschlikon
Castelli	Giovanni	AEW Energie AG	Aarau
Rohs	Arian	AEW Energie AG	Aarau
Büttler	Roland	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Guillod	Charles	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Keel	Tobias	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Weibel	Martin	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Wyss	Sascha	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Pochon	Antoine	Alpiq Réseau SA	Lausanne
Prinz	Hanspeter	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Tomaschett	Tobias	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Berger	Stefan	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Gautschi	David	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Lindhorst	Thomas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Miesch	Markus	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Schenk	Christoph	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Waishar	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Häusermann	Heinz	Arnold AG, Energie & Telecom	Fehraltorf
Wenger	Hanspeter	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Borer	Gilbert	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Kunz	Paul	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Marro	Anton	Arnold AG, Energie & Telecom	Ostermundigen
Metzger	Fridolin	Axpo AG - Netze	Laufenburg
Meyer	Markus	Axpo AG - Netze	Baden
Nafzger	Martin	Axpo AG - Netze	Baden
Weber	Martin	Axpo AG - Netze	Baden
Ziegler	Roland	Axpo AG - Netze	Baden
Pronini	Roberto	Azienda Elettrica Ticinese	Bellinzona
Bawart	Manfred J.	BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH	Sulz
Hoffmann	Christian	BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH	Sulz
Freudiger	Thomas	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Stocker	Walter	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Fuhr	Jitka	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Avila	André	Brugg Kabel AG	Brugg
Brunner	Roland	Brugg Kabel AG	Brugg
Burger	Markus	Brugg Kabel AG	Brugg
Frei	Patrick	Brugg Kabel AG	Brugg
Marchetto	Luca	Brugg Kabel AG	Brugg
Meier	Andreas	Brugg Kabel AG	Brugg
Saugy	Thierry	Brugg Kabel AG	Brugg
Vogelsang	Ruben	Brugg Kabel AG	Brugg
Wey	Josef	Brugg Kabel AG	Brugg
Gogel	Cornelia	Bundesamt für Energie	Bern
Suter	Elisabeth	Bundesamt für Umwelt	Bern
Joss	Stefan	Bundesamt für Umwelt	Bern
Hug	Urs	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Kiser	Erwin	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern

Lauper	Heinz	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Weber	Daniel	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Helbling	Peter	CFW EMV-Consulting AG	Heiden
Klingler	Alex	CFW EMV-Consulting AG	Heiden
Zierhut	Stefan	Colenco Power Engineering AG	Dättwil
Kronig	Heinz	Dr. H. Kronig & Partner AG	Zermatt
Aegerter	Christian	EBM Netz AG	Münchenstein
Isenegger	Andreas	EBM Netz AG	Münchenstein
Jeker	Dominik	EBM Netz AG	Münchenstein
Schäfer	Georg	EBM Netz AG	Münchenstein
Marty	Dario	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Schmid	Werner	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Ziegler	Michael	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Adili	Sedat	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Fröhlich	Klaus	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Weber	Hans-Jürg	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Novotny	Radomir	electrosuisse	Fehraltorf
Henn	Nils	Elektra Baselland Liestal	Liestal
Ausborn	Andreas	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Cesare	Leucio	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Habegger	Peter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Herren	Jürg	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Luternauer	Hansruedi	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Nievergelt	Doris	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Zimmermann	Hanspeter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Marthaler	Hanspeter	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Oberholzer	Patrick	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Baumann	Josef	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Strobach	Michael	Energie Wasser Bern	Bern
Bränlich	Reinhold	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Der Houhanessian	Vahe	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Egger	Brigitte	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Fehlmann	Pascal	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Gobeli	Mario	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Heizmann	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Chez-le-Bart
Knab	Hans-Josef	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Mele	Adamo	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Neuhold	Stephan	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Storf	Günther	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Weidmann	Matthias	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Zellweger	Rudolf	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
L'Eplattenier	Robert	Gasenzer AG	Hinwil
Gamlin	Michael	Haefely Test AG	Basel
Hügli	Reto	Hochschule Luzern - Technik & Architektur	Horw
Camponovo	Flavio	Indeltra SA	Bellinzona
Galliker	Patrick	Industrielle Werke Basel	Basel
Thommen	Andreas	Industrielle Werke Basel	Basel
Märki	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Peter	Daniel	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Tschanz	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Reber	Heinz	Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden	Stans
Willig	Thomas	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG	Däniken
Köppl	Georg	Köppl Power Experts	Wettingen
Spiller	Corsin	Kraftwerke Hinterrhein AG	Thusis
Aschwanden	Thomas	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen

Imhof	Felix	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Kuhn	Marcel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Schluchter	Samuel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Bolliger	Alain	LDIC AG	Rheinfelden
Lang	Ernst	Lebag Leitungs- und Elektrobau AG	Lenzburg
Hosner	Jürg	LEONI Studer AG	Däniken
Kaltenrieder	Beat	LEONI Studer AG	Däniken
Lobsiger	Thomas	LEONI Studer AG	Däniken
Lörtscher	Manfred	Loits GmbH	Wettswil am Albis
Egli	Stefan	Monosuisse AG	Emmenbrücke
Blaser	Philippe	Nexans Suisse SA	Cortailod
Fehlbaum	Jean	Nexans Suisse SA	Cortailod
Wicht	Patrik	Nexans Suisse SA	Cortailod
Rethmeier	Kay	OMICRON electronics GmbH	Klaus
Sturm	Christian	OMICRON electronics GmbH	Klaus
Howald	Markus	Onyx Energie Netze	Langenthal
Bionda	Filippo	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Gnos	René	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Kraus	Jürgen	Pfisterer Ixosil AG	Altdorf
Klein	Thomas	Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG	Winterbach
Bachmann	Walter	PFISTERER SEFAG AG	Malters
Weishaupt	Heinz	PFISTERER SEFAG AG	Malters
Herger	Stefan	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Müller	Stephan	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Sorg	Rolf	pkag Paul Keller Ingenieure AG	Dübendorf
Favre	Fabrice	Schweizerische Bundesbahnen, Infrastruktur Energie	Zollikofen
Aeberhard	Martin	Schweizerische Bundesbahnen, Infrastruktur Energie	Zollikofen
Borcard	Olivier	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Chollet	Damian	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Weber	Marc	Services Industriels de Genève	Genève 2
Herzog	Bruno	Siemens Schweiz AG	Zürich
Blanchard	Pierre-André	Siemens Suisse SA	Renens
Walser	Markus	SN Energie AG	St. Gallen
Huber	Christof	Stadtwerk Winterthur	Winterthur
Bieri	Norbert	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Miletic	Dragan	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Islami	Ekrem	TRANSCO	Sedrun
Brakelmann	Heinrich	Universität Duisburg-Essen/Campus Duisburg	Duisburg
Maurer	Christoph	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE	Aarau
Bitschnau	Emil	Vorarlberger Illwerke AG	Schruns
Paulmair	Wolfgang	Vorarlberger Illwerke AG	Schruns
Kneubühler	Hans	VSLR	Fischbach

Referentenadressen

Aschwanden, Dr.	Thomas	KWO Kraftwerke Oberhasli AG Postfach CH-3862 Innertkirchen	ast@kwo.ch Tel.: +41 33 982 20 52 dir.: +41 33 982 20 82 Fax: +41 33 982 20 06
Brakelmann Prof. Dr.-Ing. habil.	Heinrich	Universität Duisburg-Essen Bismarckstrasse 81 D-47048 Duisburg	heinrich.brakelmann@uni-due.de Tel.: +49 203 379-3375 Fax: +49 203 379-3373
Burger	Markus	Brugg Kabel AG Klosterzelgstrasse 28 CH-5201 Brugg	burger.markus@brugg.com Tel.: +41 56 460 33 33 dir.: +41 56 460 33 32 Fax: +41 56 460 37 78
Fehlbaum	Jean	Nexans Suisse SA 2, rue de la Fabrique CH-2016 Cortaillod	jean.fehlbaum@nexans.com Tel.: +41 32 843 55 55 dir.: +41 32 843 53 69 Fax: +41 32 843 54 43
Heizmann, Dr.	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen FKH r. du Littoral 58c 2025 Chez-le-Bart	heizmann@fkh.ch Tel.: +41 32 725 24 85 Fax: +41 32 835 11 30
Hosner	Jürg	LEONI Studer AG Herrenmattstrasse 20 CH-4658 Däniken	juerg.hosner@leoni-studer.ch Tel.: +41 62 288 82 82 dir.: +41 62 288 84 59 Fax: +41 62 288 83 83
Klein, Dr.	Thomas	Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG Rosenstrasse 44 D-73650 Winterbach	thomas.klein@pfisterer.de Tel.: +49 7181 7005-390 Fax: +49 7181 7005-492
Pronini, Dr.	Roberto	Azienda Elettrica Ticinese AET Viale Officina 10 CH-6501 Bellinzona	roberto.pronini@aet.ch Tel.: +41 91 822 27 11 Fax: +41 91 825 46 57
Rethmeier, Dr.	Kay	OMICRON electronics GmbH Engineering services Oberes Ried 1 A-6833 Klaus	kay.rethmeier@omicron.at Tel.: +43 5523 507-0 dir.: +43 5523 507-394 Fax: +43 5523 507-7362
Storf	Günther	Fachkommission für Hochspannungsfragen FKH Voltastrasse 9 CH-8044 Zürich	storf@fkh.ch Tel.: +41 44 253 62 62 dir.: +41 44 253 62 67 Fax: +41 44 253 62 60
Vogelsang, Dr.	Ruben	Brugg Kabel AG Klosterzelgstrasse 28 CH-5201 Brugg	vogelsang.ruben@brugg.com dir.: +41 56 460 33 07 Fax: +41 56 460 32 98

Internetseite für nachträgliche Informationen zur Fachtagung

Internetseite: <http://213.3.5.195/>

Benutzername: ft2009

Passwort:
(wird anlässlich der Tagung angegeben)

Die Gross-/Kleinschreibung muss bei der Eingabe des Benutzernamens und des Passwortes berücksichtigt werden.

Bei der Benutzung des Microsoft Internet-Explorers Version 7.0 muss die Freigabe zum Download aus Web-Seiten vor dem Aufruf des FKH-Fileservers erfolgen, sonst tritt ein Fehler auf. Bei allen anderen Versionen und Browsern kann der Download auch bei Rückfrage des Browsers noch bestätigt werden.

