

Ist die Verkabelung das Ei des Kolumbus?



Alessandro Magri
Ing. ETH
Nexans Suisse SA

Projektleiter Hochspannungskabelanlagen
alessandro.magri@nexans.com



Traktanden

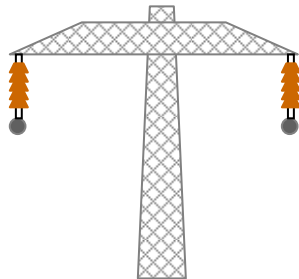
- 1. Einleitung**
- 2. Aktuelle Technik**
- 3. Beispiele in der Schweiz**
- 4. Thermische Dimensionierung**
- 5. Internationale Beispiele**

Eine Stromleitung besteht aus einem Leiter und einer Isolierung

Isolationsmedium

Freileitung

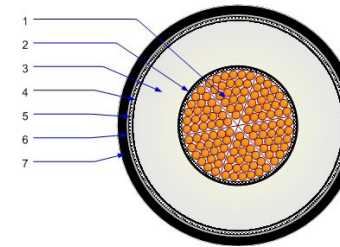
Isolationsmedium: LUFT (Gas)



3 m Isolationsabstand bei 380 kV
(E-Feld undefiniert)

Kabel

Isolationsmedium: XLPE (Feststoff)



3 cm Isolationsdicke bei 380 kV
(E-Feld definiert)

Thermisches Verhalten

Die entstehende Wärme wird direkt an die Umgebung (Luft) abgegeben. Der Leiter kann bei sehr hoher Temperatur betrieben werden.

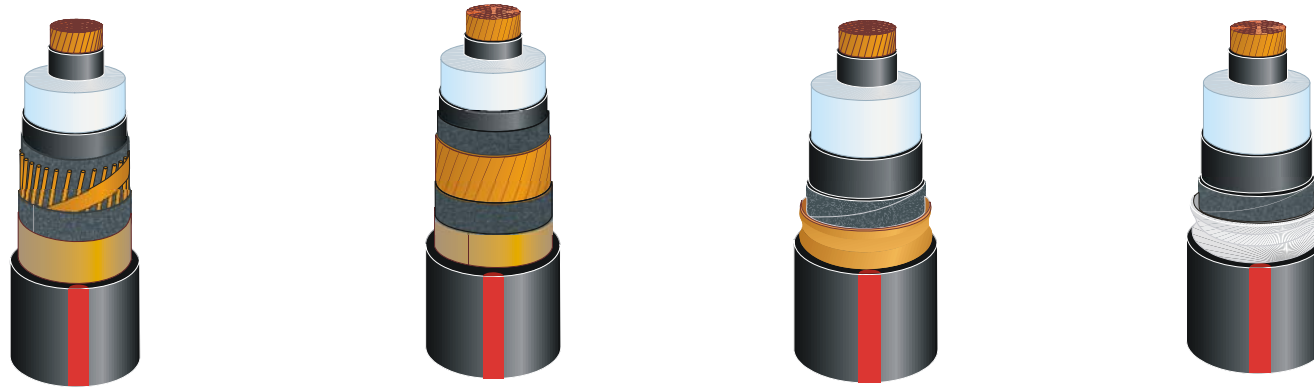
Die entstehende Wärme muss mehrere Schichten durchdringen. Kunststoffisolierte Kabel können bei höchstens 90° C Leitertemperatur betrieben werden.

- u 1892 Erstes 3 kV Netz in Paris
- u 1918 Erstes 66 kV Masskabel für SBB
- u 1928 Erstes 132 kV Ölkabel für SBB
- u 1948 Erste 18-kV-PE-Kabel
- u 1959 Typenprüfung 420-kV-Ölkabel
- u 1970 Erste XLPE-Niederspannungskabel
- u 1990 Typenprüfung 420-kV-XLPE-Kabel

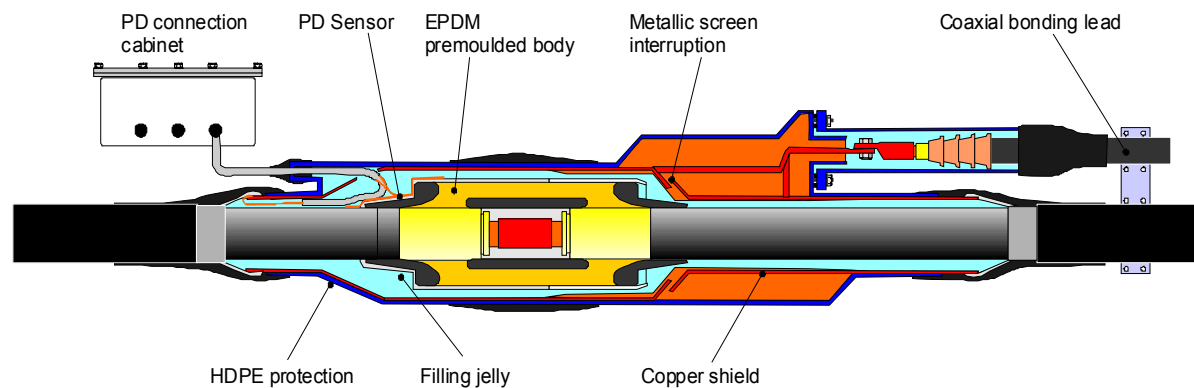
Traktanden

1. Einleitung
- 2. Aktuelle Technik**
3. Beispiele in der Schweiz
4. Thermische Dimensionierung
5. Internationale Beispiele

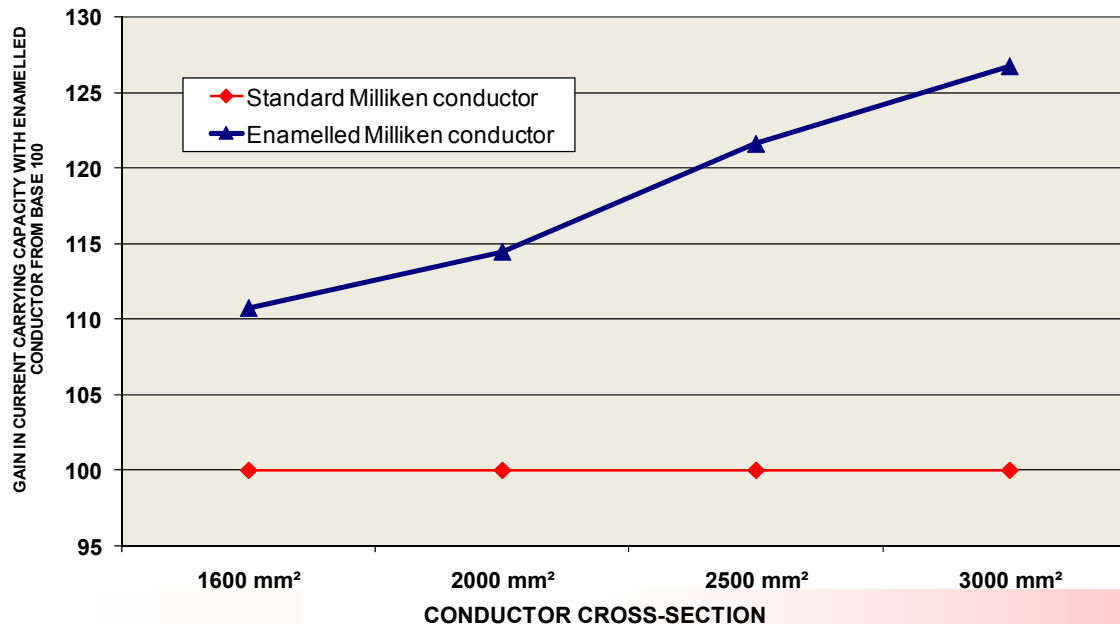
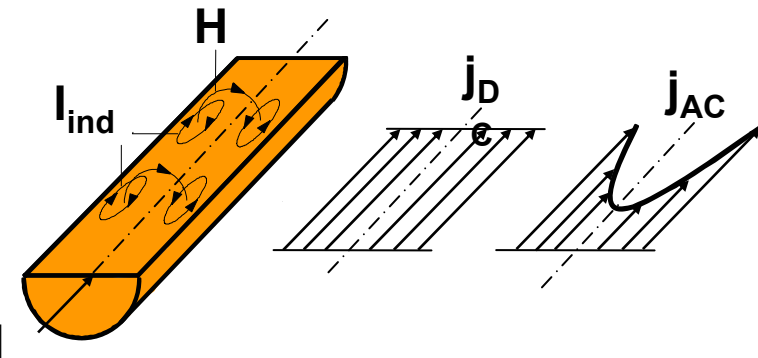
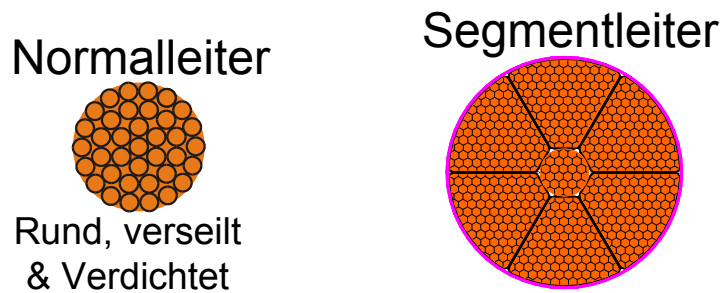
Verschiedene Kabelkonstruktionen sind verfügbar.



Kabel und Zubehör bis 550 kV und 2500 mm² sind „aus dem Regal“ verfügbar.



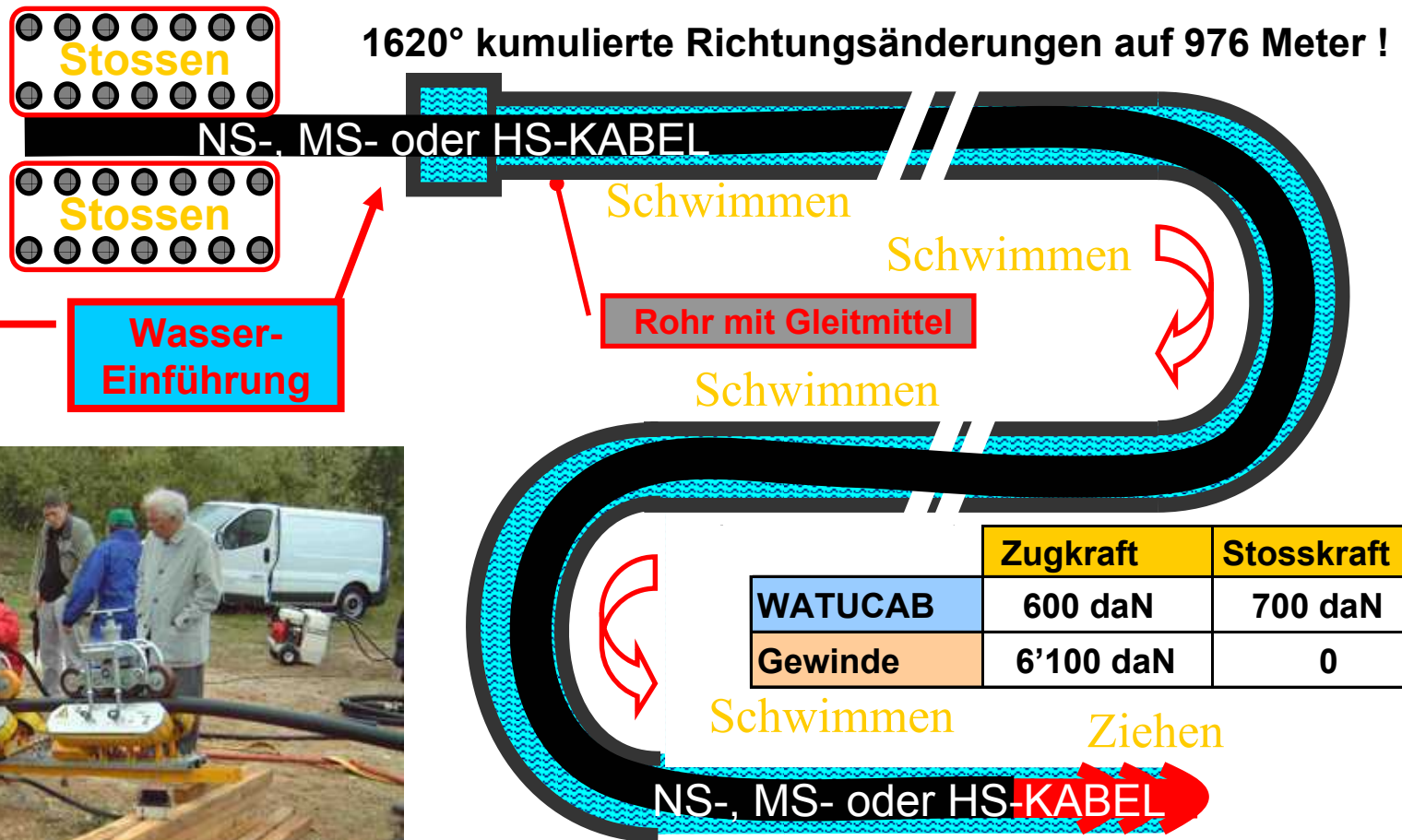
Isolierte Leiterdrahnte erlauben eine Reduktion des „Skin (Haut) und Proximity (Näh)e Effekt“.



Technologie von isolierten Leiterdrahnten ist vorhanden und erprobt:

- Die Thermische Belastbarkeit ist 12 -20% grösser als bei herkömmlicher Konstruktion.
- Bei gleichem Querschnitt sind die Verluste deutlich kleiner

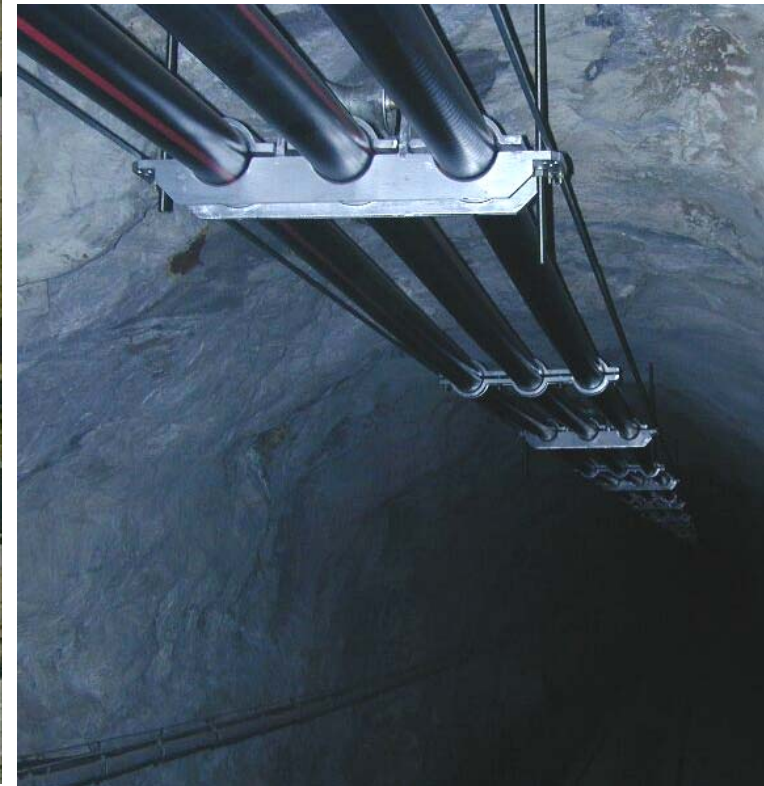
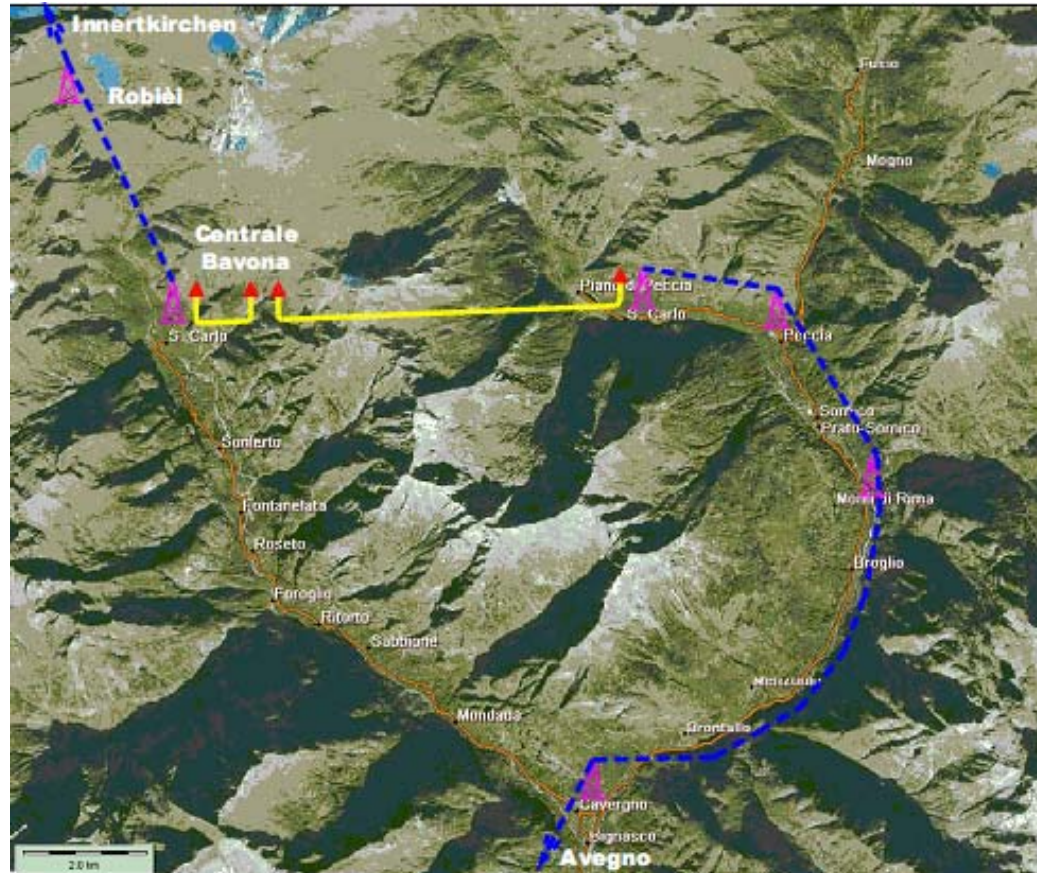
Beispiel: Wasserstoss Verlegetechnik



Traktanden

1. Einleitung
2. Aktuelle Technik
- 3. Beispiele in der Schweiz**
4. Thermische Dimensionierung
5. Internationale Beispiele

220 kV, 500mm² XLPE Kabel. Trasselänge ca. 6 km



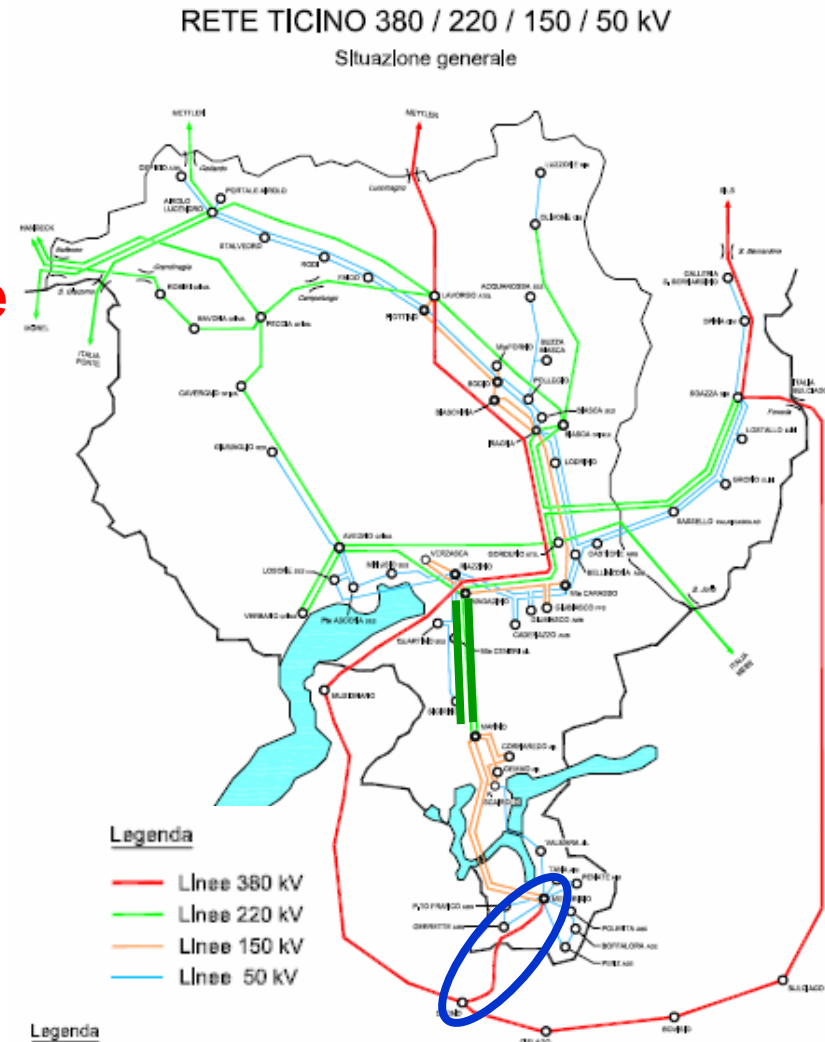
Beispiel einer 380-kV-Kabelverbindung

AET: Mendrisio Cagno 380 kV



Ausgangslage:

- **Versorgungssicherheit für die Region südlich vom Monte Ceneri verbessern**
- **Grenzüberschreitende Verbindung zwischen der Schweiz und Italien, die als «Merchant line» betrieben werden kann.**



Kabeltyp: XAluWT T-Sc 1x630 mm² Cu rm 380 kV

-Isolationsdicke 26 mm

-Gesamtdurchmesser 124 mm

-Gewicht ca. 17 Kg/m

Übertragungsleistung Kabelanlage: 560 MVA

Gesamtlänge: 9.1 km (4.7 Km CH; 4.4 Km IT)

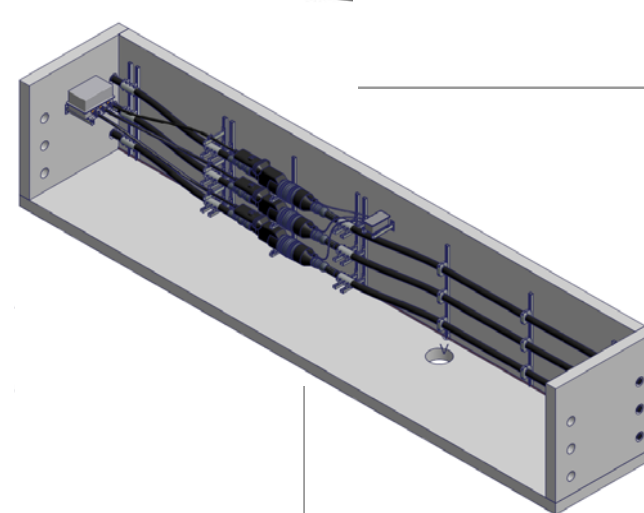
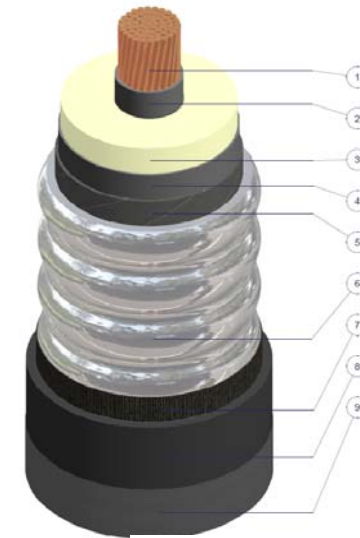
14 Muffenkammern

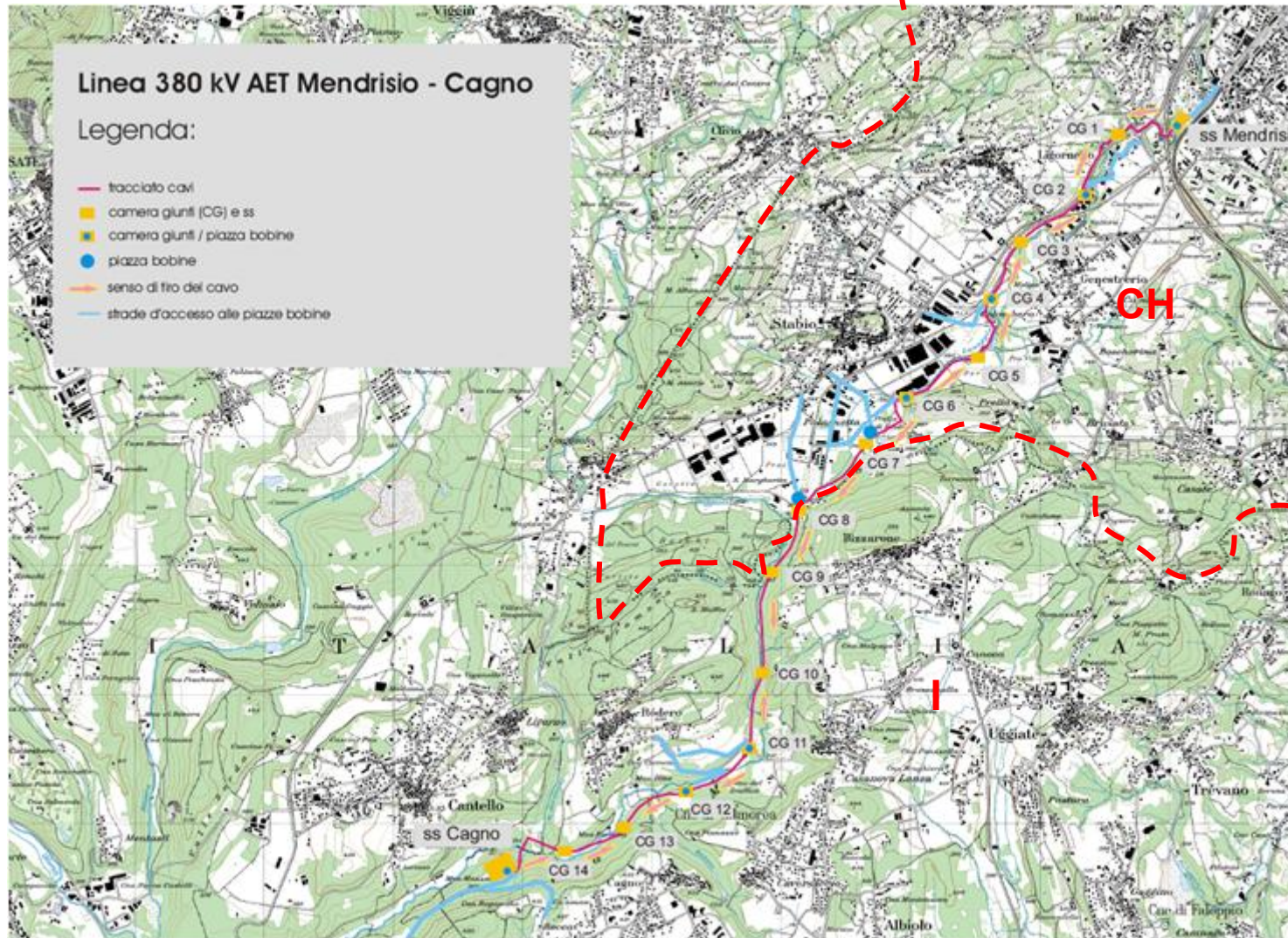
45 Einzellängen (zwischen 570 m und 700 m)

42 Muffen; 3 GIS EV; 3 FL EV

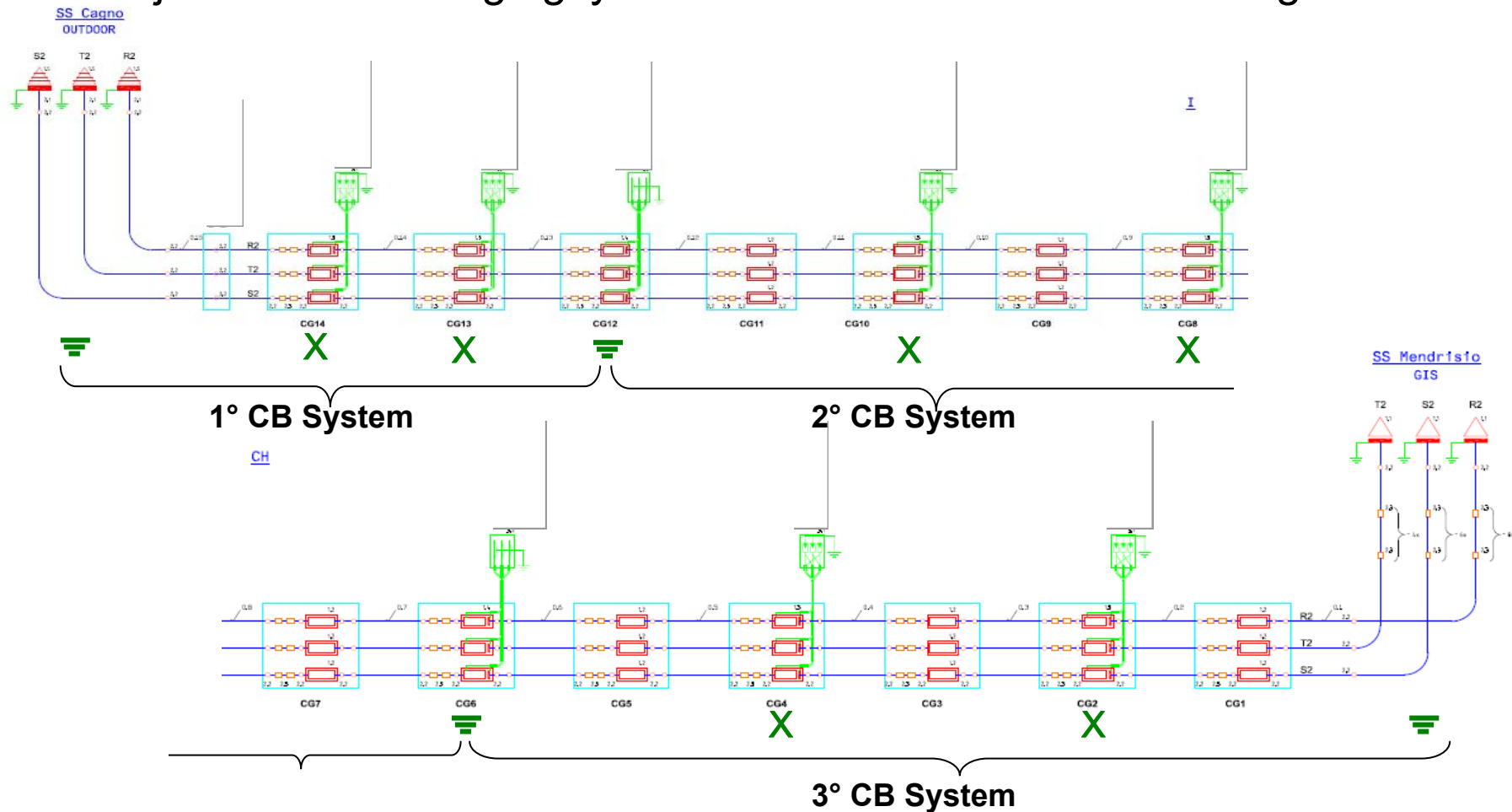
Rohrblock für 6 Kabel und 4 LWL-Rohre

Muffenkammergröße: 13x2x2 m





Die Kabelanlage ist in 3 Crossbonding-Abschnitte geteilt. Zwischen jedem Crossbondingsystem sind die Kabelschirme starr geerdet.



Die Hochspannungsprüfung wurde mit TE-Messungen durchgeführt. Für diesen Zweck wurden in jeder Muffe Sensoren eingebaut.



Meilensteine des Projektes:

2002	Absichterklärung zwischen AET und FNM
2003	Vereinbarung zwischen schweizerischen und italienischen Behörden
2005	Baubewilligung
2005	Beginn der Bauarbeiten
10.2006	Bestellung beim Kabellieferant
01.2007	Beginn der Montage
12.2007	Hochspannungsprüfung der Kabel

Traktanden

1. Einleitung
2. Aktuelle Technik
3. Beispiele in der Schweiz
- 4. Thermische Dimensionierung**
5. Internationale Beispiele



500 MVA



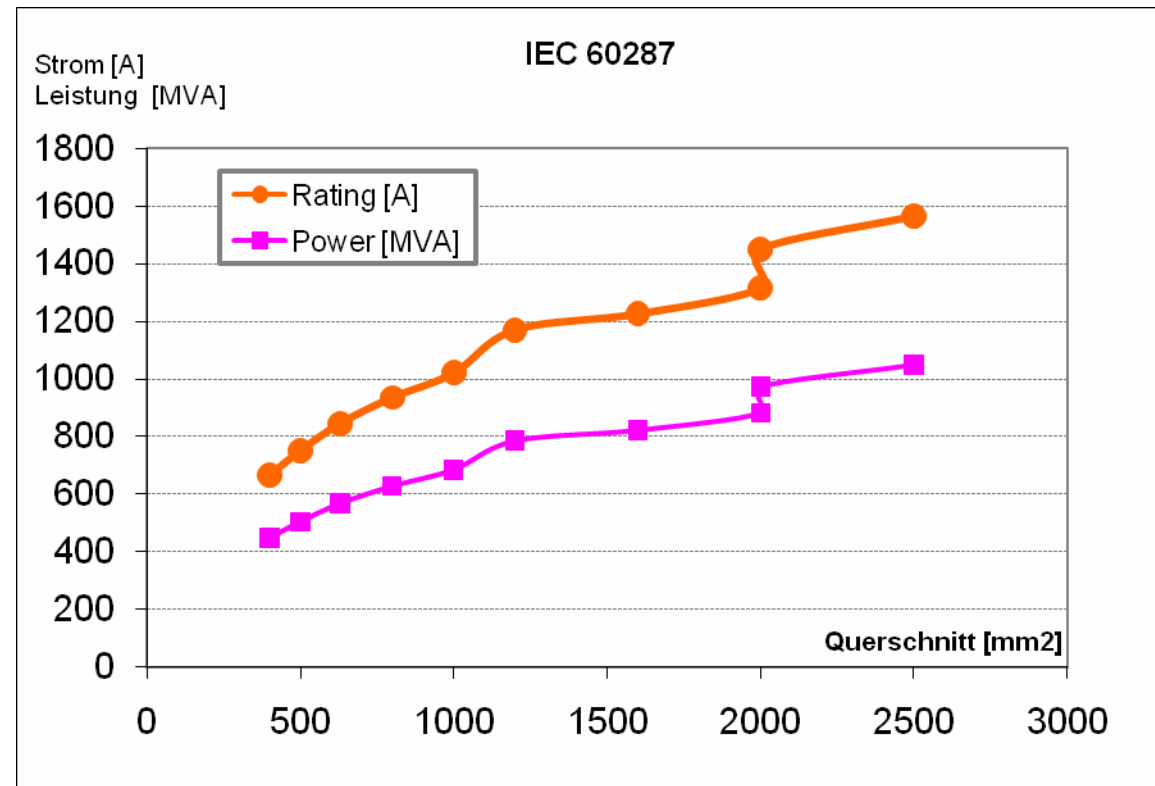
2000 MVA

Die thermische Dimensionierung ist ein massgebender Faktor für die Kosten einer neuen Kabelleitung

Die Grundlagen für die thermische Berechnung sind normiert (z. B. IEC 60287).

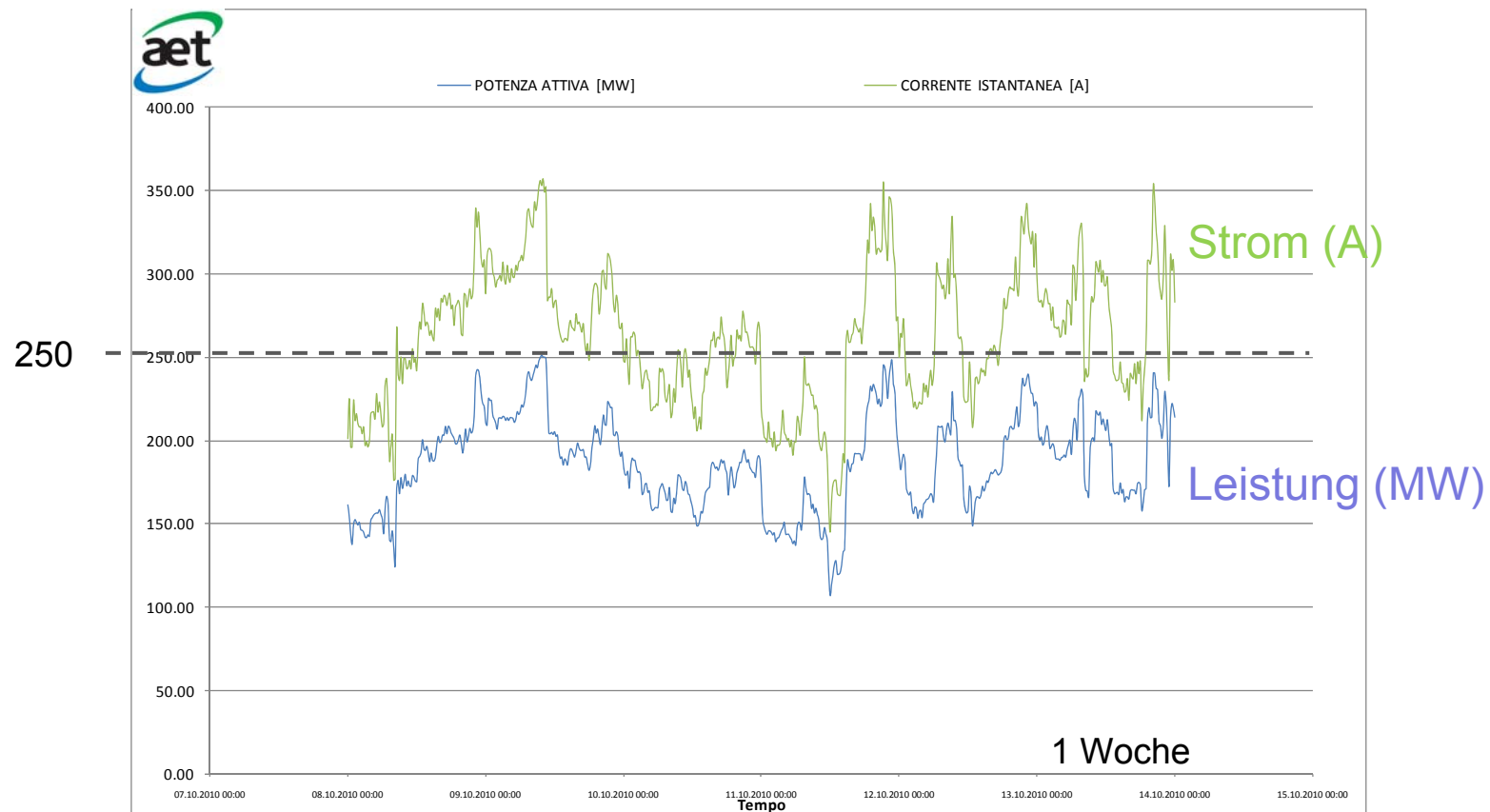
Bsp:

- 380 kV Kabel
- Im Dreieck angeordnet
- In Erde verlegt (1.1m Tiefe)
- Kabelschirme ausgekreuzt
- 90°C Leitertemperatur
- 20°C Bodentemperatur
- 1 Km/W



Die angefragten Stromwerte für das Schweizerische Übertragungsnetz erfordern oft eine Verdoppelung des Kabelsystems

Die Strombelastung der Kabelverbindung Mendrisio-Cagno liegt fast immer unterhalb von 50 % der Kabelnennleistung.



Wie hoch sind die Überlastungsmöglichkeiten in einem solchen Fall?

Freileitungen erreichen ihren thermischen Endzustand bereits innerhalb von einigen Minuten. Kabelleitungen benötigen dagegen Stunden oder Tage und sind deswegen deutlich mehr überlastbar als Freileitungen.

Thermische Simulation (Nennlast der Leitung: 520 MVA):

<u>Anfangszustand:</u>	<u>Mit Überlast</u>	<u>Erreichung der max. Leitertemperatur (90°C)</u>
175 MVA	1000 MVA	> 3 Std
175 MVA	750 MVA	> 15 Std
400 MVA	750 MVA	> 12 Std

Welche Informationen stehen heute der Leitstelle zur Verfügung?



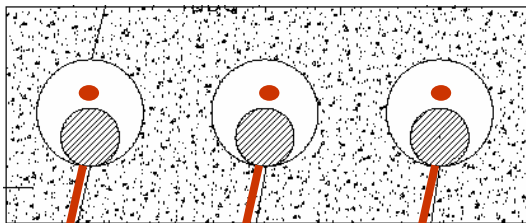
Messung der echten Kabeltemperatur



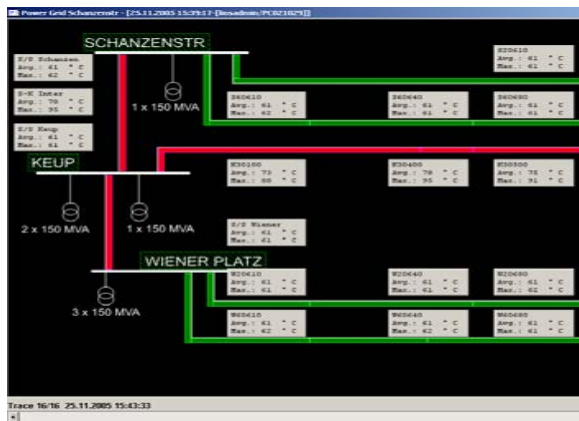
Das System erlaubt:

- 1) Die echte Leitertemperatur zu kennen.
- 2) Eine Prognose des Überlastvermögens vom Kabels.

Concrete Duct Bank, 5500 m
With 3 x 154 kV XLPE HV cable

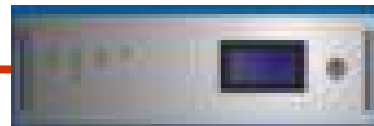


3 x 5500 m fibre optic sensor cable
Single end setup



Temperature and event data of multiple OTS controllers in proprietary protocol

LIOS OTS60P / 3 channel



PC / Visualisation



PC / Visualisation and Real Time Thermal Rating (RTTR)



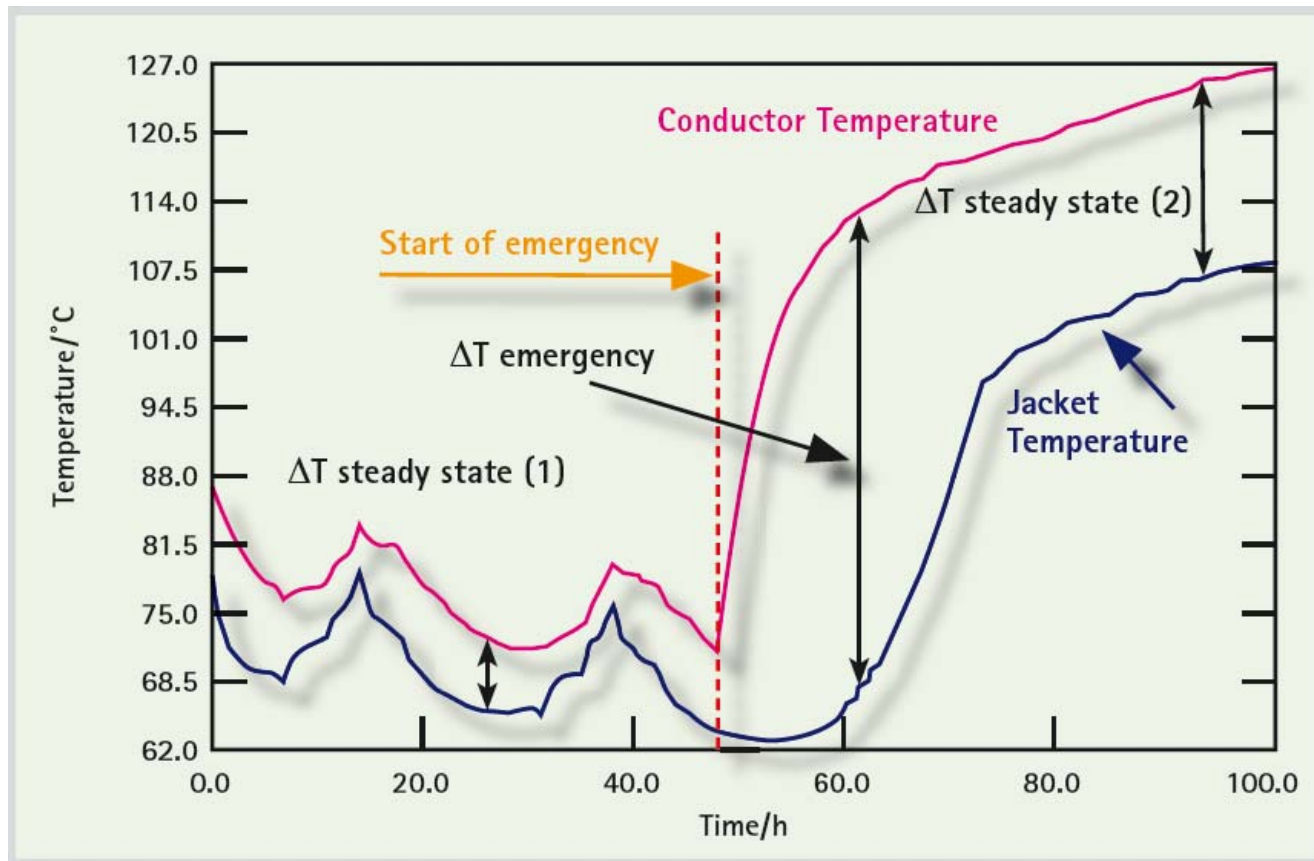
Point type measurement data like electrical current (storage in data base, visualisation and input for RTTR)

Temperature and event data of multiple OTS controllers in industrial standard protocols like MODBUS, DNP3 or IEC60870



SCADA / Overall Management System of Utility

Berechnung der Leitertemperatur in transientem Zustand



Traktanden

- 1. Einleitung**
- 2. Aktuelle Technik**
- 3. Beispiele in der Schweiz**
- 4. Thermische Dimensionierung**
- 5. Internationale Beispiele**

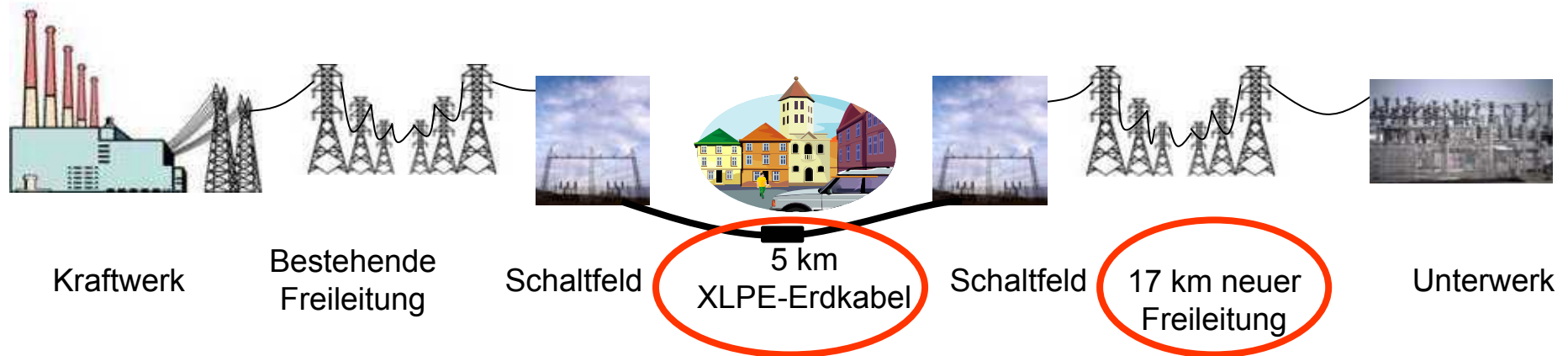


Bei längeren oder stärkeren Verbindungen ist der Bau einer Kabelanlage nur in seltenen Fällen wirtschaftlich realisierbar

In Fällen wo eine Freileitungsverbindung inakzeptabel ist (z.B. in Wohngebieten), sind Kabel die beste Lösung.



Die Kombination von Freileitung und Kabel, eine sogenannte «Teilverkabelung», kann in vielen Fällen die beste Lösung darstellen.



Kostenvergleich mit 40 Jahren Betrieb	Nur Kabel 22 km	Nur OHL 22 km	Teilweise 17km + 5km
Material-Kosten	242 M€	51 M€	94 M€
Übertragungs-Verluste	23 M€	60 M€	52 M€
GESAMTKOSTEN	265 M€	111 M€	146 M€

- **Neue Gesetzgebung**
- **Preiswertere Lösung** als eine volle Erdkablösung.
- Beschleunigung des **Bewilligungsverfahren** für die dicht bewohnten Bereiche.

Traktanden

1. Einleitung
2. Aktuelle Technik
3. Beispiele in der Schweiz
4. Thermische Dimensionierung
5. **Internationale Beispiele**

Kabelsystem

- One circuit (17km long) in a tunnel
- Total cable length : 51 km (81 drums)
- 78 joints
- 6 GIS terminations
- Cable system design, type test



Kabeltyp

- Current carrying capacity: 1800 A
- Max ambient temp. 40°C
- Short-circuit current: 63 kA for 2 sec.
- BIL: 1550 kV but test level is 1675 kV
- 2500 mm² Copper Milliken, 6 segments
- 30.4 mm (1197 mils) XLPE insulation
- Smooth Aluminum Sheath thickness 2.2 mm
- Outer diameter: 152 mm
- Weight: 39.6 kg/m



QATAR PHASE VII



- 230/400(420) kV
- Turnkey underground project included in State Grid
- Design - Engineering - Civil Works - Cable laying and jointing - AC tests
- 90 km of XLPE cable 2500 mm² Cu
- Rated capacity : 800 MVA
- Customer: KAHRAMAA
- Location : Doha
- Contract value : 97 M€
- Duration : 2006/ 2009



400 kV Interconnection of Abu Dhabi island

- 230/400 (420) kV
- Large turnkey underground project
- Engineering - type tests and long term tests - Civil works
- 37.5 km of XLPE cable 2500 m² Cu enamelled
- Rated power carrying capacity : 1 000 MVA
- Customer : Abu Dhabi Water Authority and Electricity
- Location : Abu Dhabi city
- Contract value : 33.5 M€
- Duration : from 2004 to 2006



- XLPE-Kabel ist eine moderne, zuverlässige, bewährte und umweltfreundliche Energieübertragungs-Technologie.
- Die thermische Trägheit von Kabeln ist deutlich größer als diejenige von Freileitungen. Die Dimensionierung einer Kabelleitung mit Lastfaktor (LF) = 1 macht daher wenig Sinn.
- Das Beispiel der 380-kV-Verbindung Mendrisio-Cagno zeigt, dass solche Anlagen auch in der Schweiz innert kürzester Zeit realisiert werden können.
- Internationale Beispiele zeigen auf, dass man problemlos Leistungsfähige Leitungen (1 GVA), über mehrere Km verkabeln kann.



Ist die Verkabelung das Ei des Kolumbus?