

Hochtemperatur Supraleiter AmpaCity Betriebserfahrungen

Innogy SE, Neue Technologien, Grid & Infrastructure, März 2020

Dipl.-Ing. Marius Stiller

ZIEHL VII

A nighttime aerial view of a city, likely Vienna, showing a dense urban landscape with numerous illuminated buildings. A prominent Ferris wheel is visible in the lower right quadrant, and a tall, slender skyscraper stands out in the center. The city lights create a vibrant, glowing effect against the dark sky.

1

Projekt AmpaCity

2

Erfahrungen von der
ersten Inbetriebnahme

3

Betriebserfahrungen

4

Systemoptimierung und
Ausblick



Projekt AmpaCity



Meilensteine des AmpaCity-Projekts

In rund 25 Jahren haben Hochtemperatur-Superleiter den Weg von der nobelpreiswürdigen Idee von Dr. Georg Bednorz zur Weltpremiere in Essen zurückgelegt.

PROJEKTSTART



2011



DETAILPLANUNG

- Festlegung des Trassenverlaufs
- Herstellung von Prototypen (Fa. Nexans)
- Laboruntersuchungen



2013

- Fertigung des HTS-Kabels
- Installation des Systems ins bestehende Netz



INBETRIEBNAHME

2014



- Feldtest, Monitoring, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

2015

2016

Quelle: innogy SE

Projektpartner:

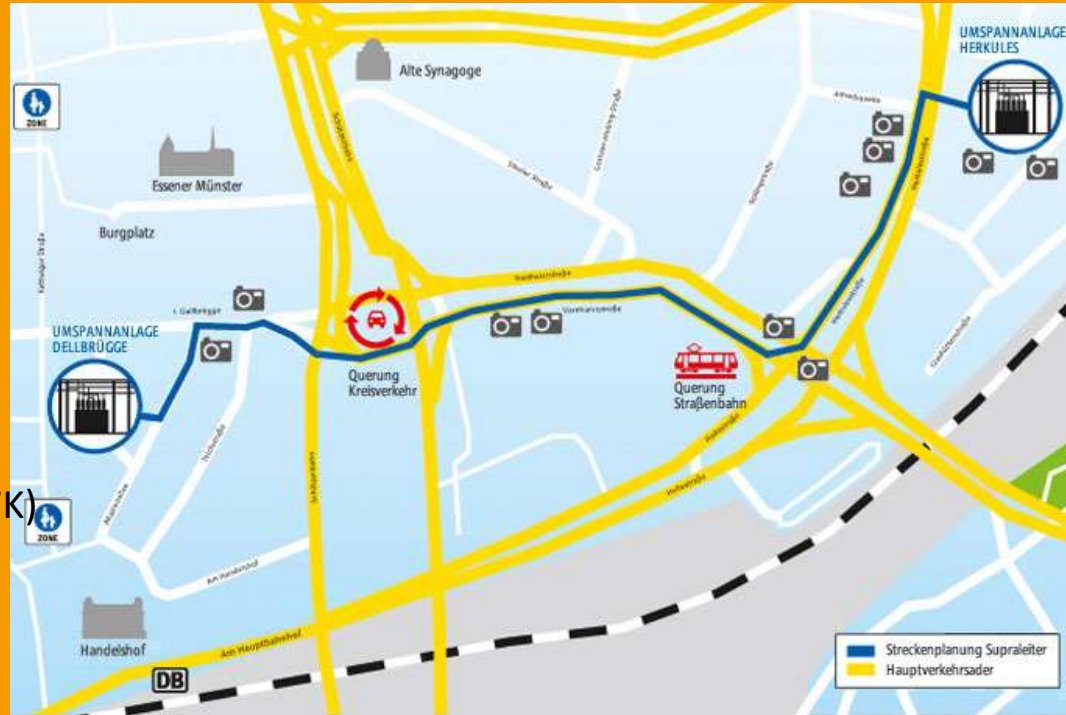
- Nexans
- Messer
- KIT (Karlsruher Institut für Technologie)
- PTJ (Bundesforschungsministerium)



Daten und Fakten:

Ort: Essen, Deutschland

- Kabellänge: 1.000 m
- Spannung: 10.000 V
- Leistung: 40 MVA
- Eine Verbindungsmuffe
- Kälteleistung: 4 kW @ 67 K
- Vakuumpumpen: 5 kW
- Kühltemperatur: - 206°C (67K)
- Kryostatvakuum: 10^{-5} mbar
- Inbetriebnahme: 02/2014

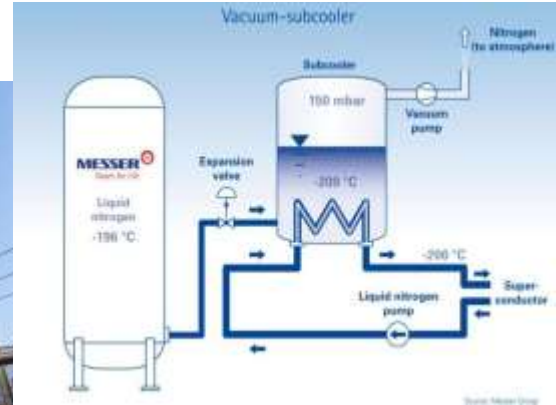
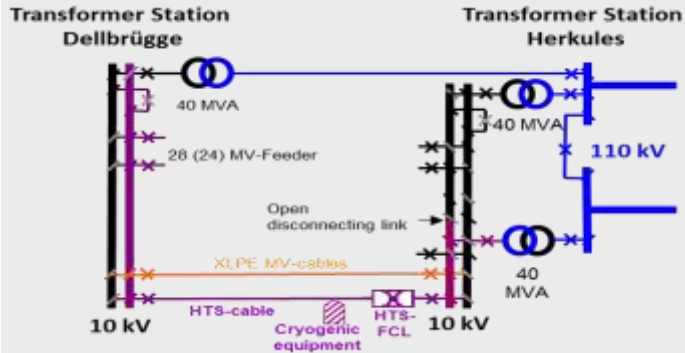


Längstes HTS-
Supraleiterkabel der Welt



Netzanbindung und Komponenten des Systems

Single-line Bild der Anbindung

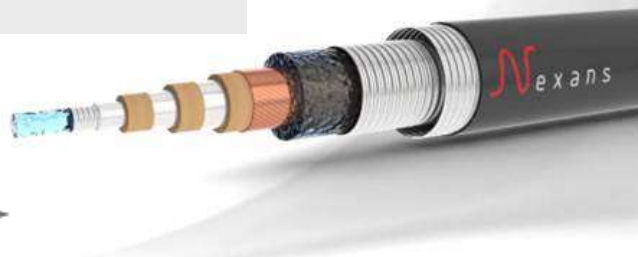


Fehlstrombegrenzer



ZIEHL VII, März 2020

Kabelverschluss

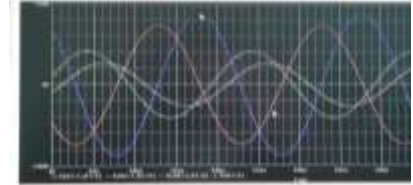




Funktionsfähigkeit des HTS-Systems bereits nach erster Zuschaltung gegeben, jedoch einige Optimierungen des Systems notwendig:

Symmetrierung der Erdkapazitäten

- Unsymmetrische Erdkapazitäten des HTS-Kabels durch nachträglichen Einbau von Kondensatoren symmetriert



Optimierung der Kühlanlage

- Modifizierung der Vakuumpumpen des Wärmetauschers nach Einfrierungen von feuchter Luft
- Weitere kleinere Optimierungen an der Kühlanlage (Zusätzen des Filters)



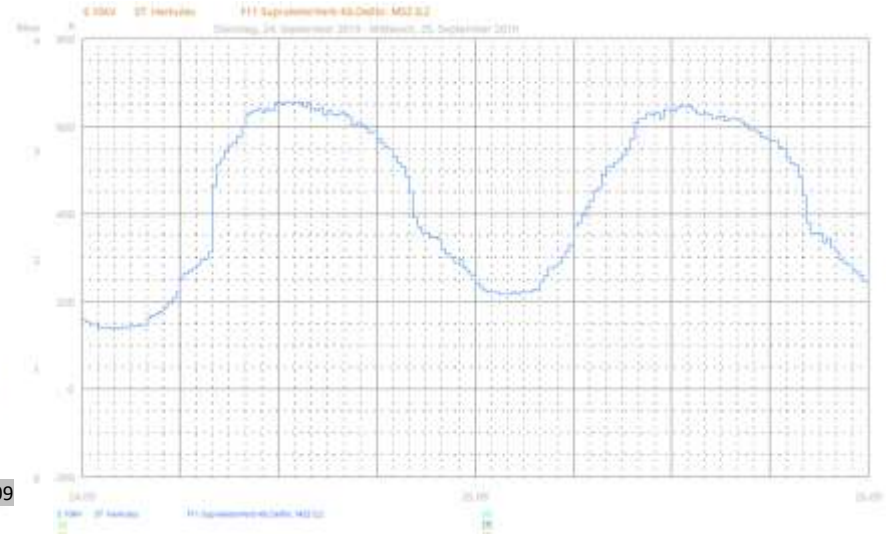
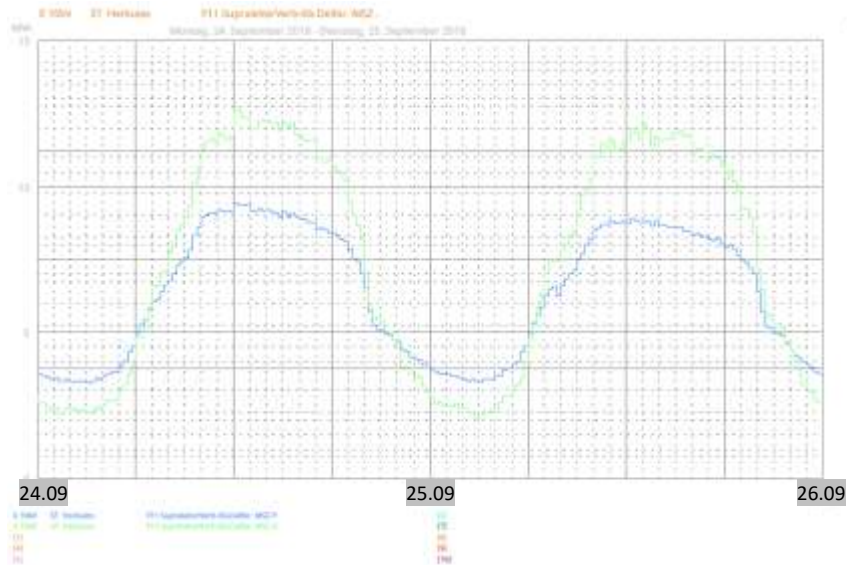
Anpassung der Systemüberwachungs- und der Schutzeinstellungen

- Erhöhung der Ansprechzeiten und der Messwerttoleranz nach KU für einen unterbrechungsfreien Betrieb

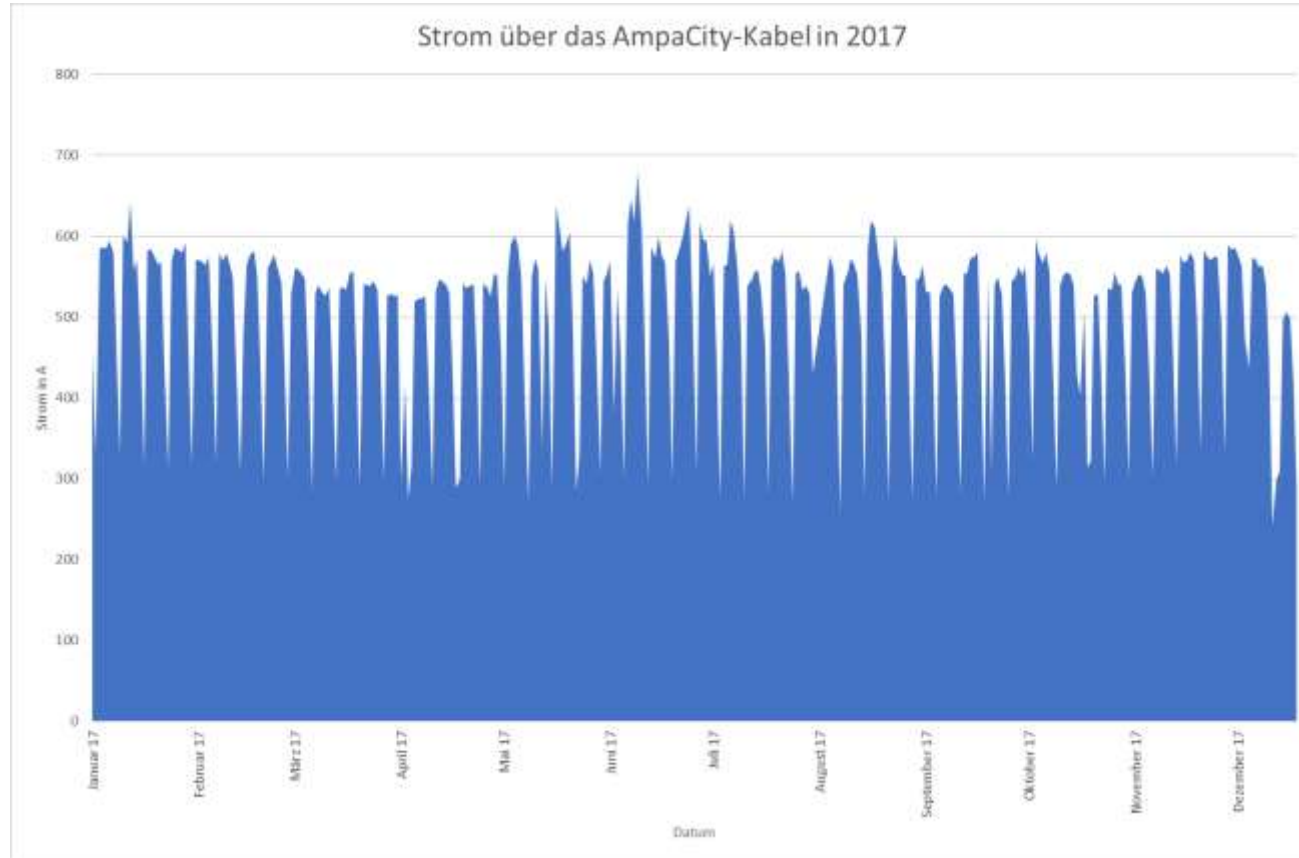


- Wir sind Weltmeister: AmpaCity ist das einzige Supraleiterkabel der Welt, welches sich durchgehend im Netzbetrieb befindet
- 6 Jahre bzw. mehr als 52.000 Betriebsstunden
- Seit Einschaltung wurden über 700 Millionen kWh übertragen
- über 4.000 Tonnen CO₂ eingespart (deutscher Strommix mit 474 gCO₂/kWh)
- Rohstoffverbrauchbedingten Fußabdruck gesenkt: für die gleiche Strecke wären rd. 50 Tonnen Aluminium bzw. 34 Tonnen Kupfer für den Kabelinnenleiter benötigt
- Keine Störungen oder Netzausfälle des Kabels, Betrieb sowohl im geordneten, als auch im gestörten Netz nachgewiesen (z.B. durch Erd- oder Kurzschlüsse)
- Kein Verlust an Vakuum im Zwischenraum des Kabels

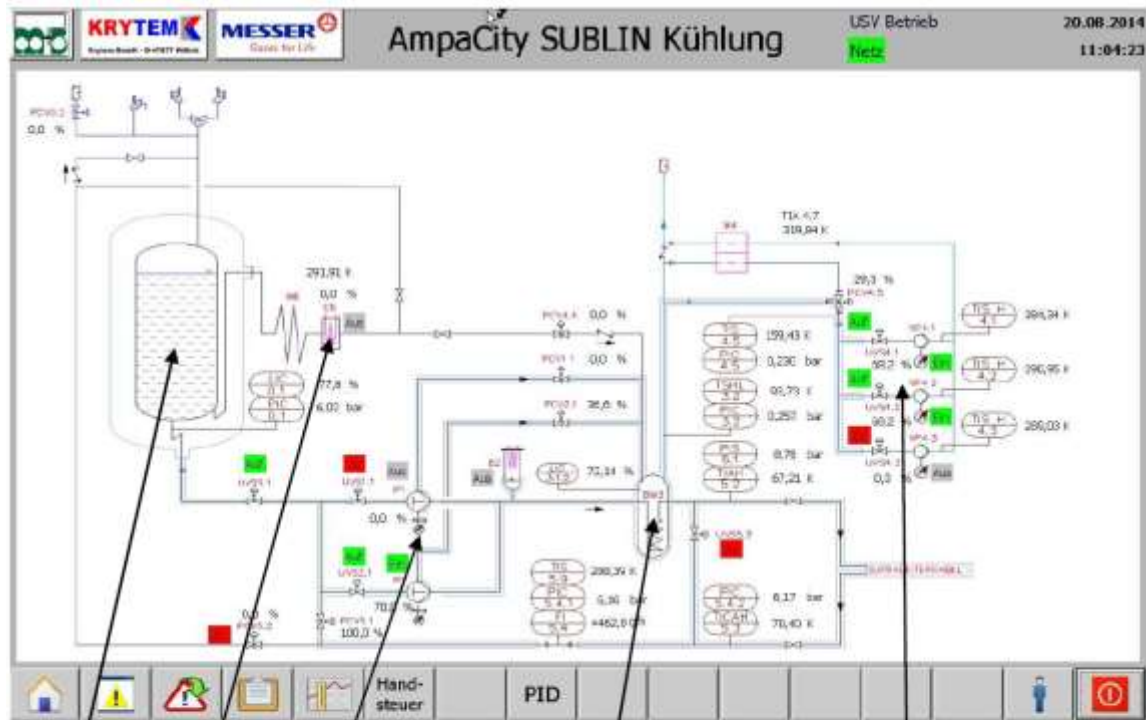
Betriebserfahrungen (2)



Betriebserfahrungen (3)



Betriebserfahrungen (4)



LIN Tank

Gasheizer nur Anfahrschritt

LIN Pumpen

Unterkühler
+ Supraleiter

Vakuumpumpen

Betrieb der Kälte- und Pumpanlage

- LIN-Tank wird zwischen 30% und 80% Füllstand betrieben
- Intelligente LIN-Logistik implementiert
- Anlage verbraucht im Jahr rd. 750 Tonnen Flüssigstickstoff, davon entfallen rd. 80% auf die Kühlanlage und 20% auf den Strombegrenzer
- Keine Wochenendbetankung erforderlich
- Kältebedarf zur Kompensation des Kabelkryostats-Wärmeeinfalls: rd. 1,7 kW
- Wärmeeinfall an Kabelendverschlüssen: rd. 0,1 kW
- Wärmeeintrag durch die Zirkulationspumpen: rd. 1,6 kW

Summe Verluste: 3,4 kW

Entspricht einem LIN-Bedarf von 68 kg/h

Wartung und Instandhaltungsmaßnahmen

WESTNETZ:

- Primärtechnik sowie Schutz- und Leittechnik Assets

Messer:

Wartungsvertrag für Kälteanlage (kryogene Anlage) sowie Belieferung mit Stickstoff

- Verschleißabhängige Wartung (Bedarf wird per Fernwartung festgestellt)
- Halbjährliche Wartung und Inspektion der übrigen mechanischen Komponenten sowie der Steuerung
- Entstörungsdienst
- Wartung der Tankanlage

Nexans:

- kein Wartungsvertrag



Fokus auf Systemeffizienz und die Bedürfnisse der DSO's



- Überführung in ein technisch standardisiertes und wirtschaftliches Portfolio
- Erhöhung der Skalierbarkeit des Gesamtsystems
- Neuartiges, modular anpassbares, standardisiertes, Garniturenkonzept
- Interoperabilität zu den im Netz im Einsatz befindenden Betriebsmitteln
- Erfüllung von gängigen Netzschutzstandards der Netzbetreiber
- Einhaltung einer Kurzschlussdauer von mindestens $> 1,7$ Sekunden
- Neuentwicklung von Verbindungsmuffen mit Anschlussmöglichkeit für eine Zwischenkühlung des Stickstoffs



Fokus auf Systemeffizienz und die Bedürfnisse der DSO's



- Neuartiges Konzept zur Kompensation der thermischen Längenausdehnung
- Senkung von Kälteverlusten, Erhöhung des Wirkungsgrades des Gesamtsystems
- Designveränderungen an Teilen der Zirkulationspumpen zwecks Halbierung des Wärmeeintrags
- Neuentwicklungen an der Kolbenstange und den Dichtungen, die Vermeidung von verschleißförderndem Reifansatz
- Neuentwicklung der Isolation der Pumpenköpfe und der Stickstoffanschlüsse
- Verlängerung von Wartungsintervallen von rund sechs Monaten auf über zwei Jahre
- Reduzierung von CAPEX- und OPEX-Kosten



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:
Dipl.-Ing. Marius Stiller
Innogy SE
Sparte Netz- und Infrastruktur
Neue Technologien
Tel. +49 201 12-48958
Mobil. +49 152 57938218
Marius.Stiller@innogy.com

Berechnung des Wärmeeinfalls des Kabels

Der Kältebedarf zur Kompensation des Kabelkryostat-Wärmeeinfalls (incl. Endverschlüsse) lässt sich aus der LIN-Temperaturdifferenz zwischen Kabeleintritt und Kabelaustritt sowie dem Zirkulationsmassenstrom berechnen:

$$\dot{Q} \text{ (Kältebedarf)} = \dot{m} \text{ (Massenstrom LIN-Zirkulation)} \times c_p \text{ (spezifische Wärmekapazität)} \times (T_{\text{aus}} - T_{\text{ein}}).$$

$$\dot{Q} = 0,467 \text{ kg/s} \times 2,0 \text{ kJ/kgK} \times (69,9 \text{ K} - 68,0 \text{ K}) = 1,8 \text{ kW}$$

Wert seit Jahren konstant!