



Workshop

Zukünftige urbane Verteilungsnetze

Mittwoch, 20.09.2017

Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

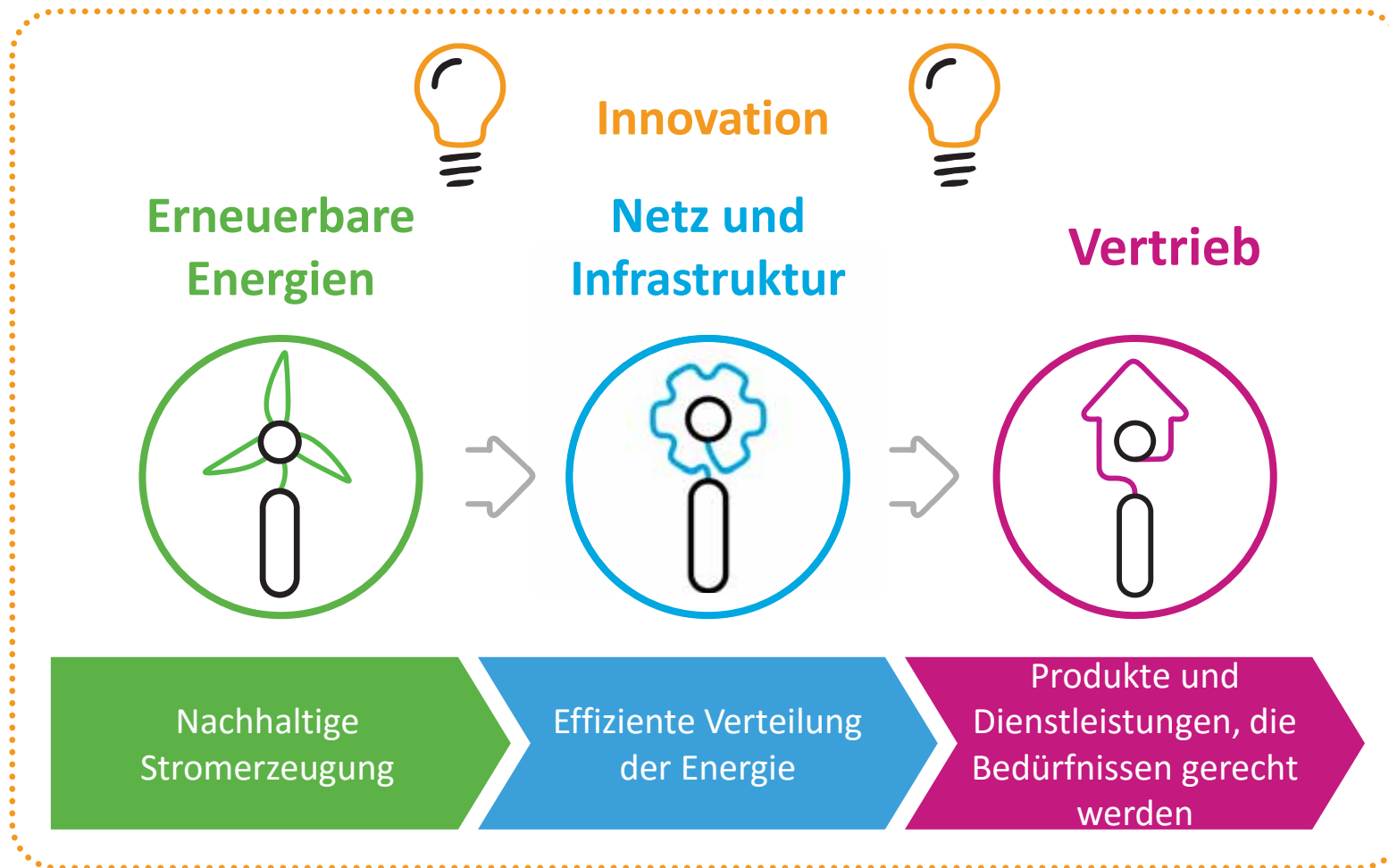
Supraleiterkabel

eine Alternative für dicht
besiedelte Gebiete

Dr.-Ing. Frank Merschel (VDE)

innogy SE, Essen; Neue Technologien und Projekte

Wir produzieren, wir verteilen, wir liefern verlässlich und nachhaltig – und wir sind innovativ, um uns Tag für Tag zu verbessern



Vorbemerkungen



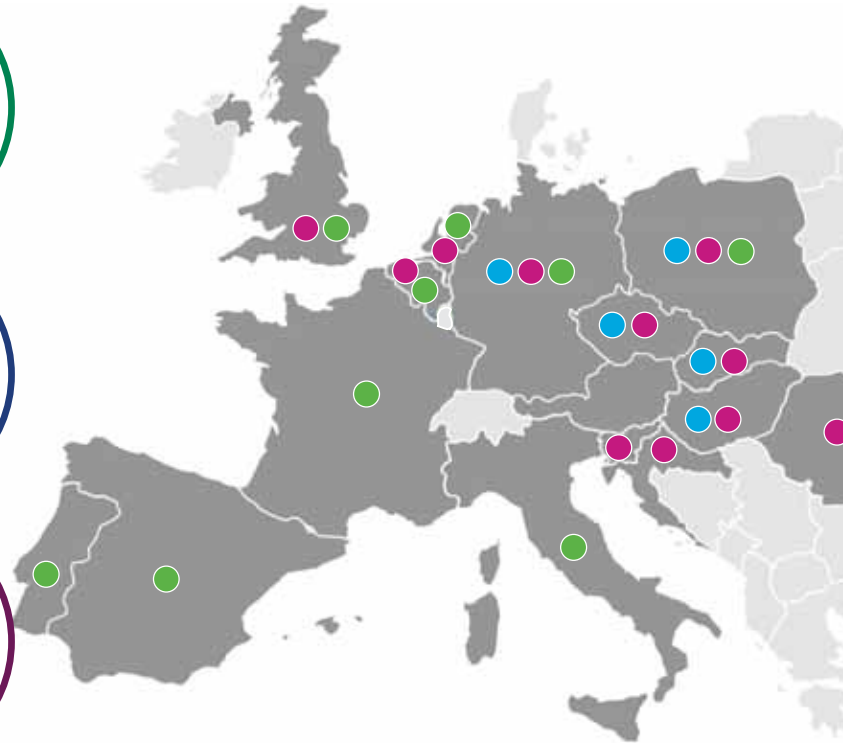
... wir sind ein führendes europäisches Energieunternehmen.



#3
weltweit,
Offshore Wind¹

1,5x
Netzlänge –
Entfernung
zum Mond

#1
Kundenanzahl
in 4
Ländern²



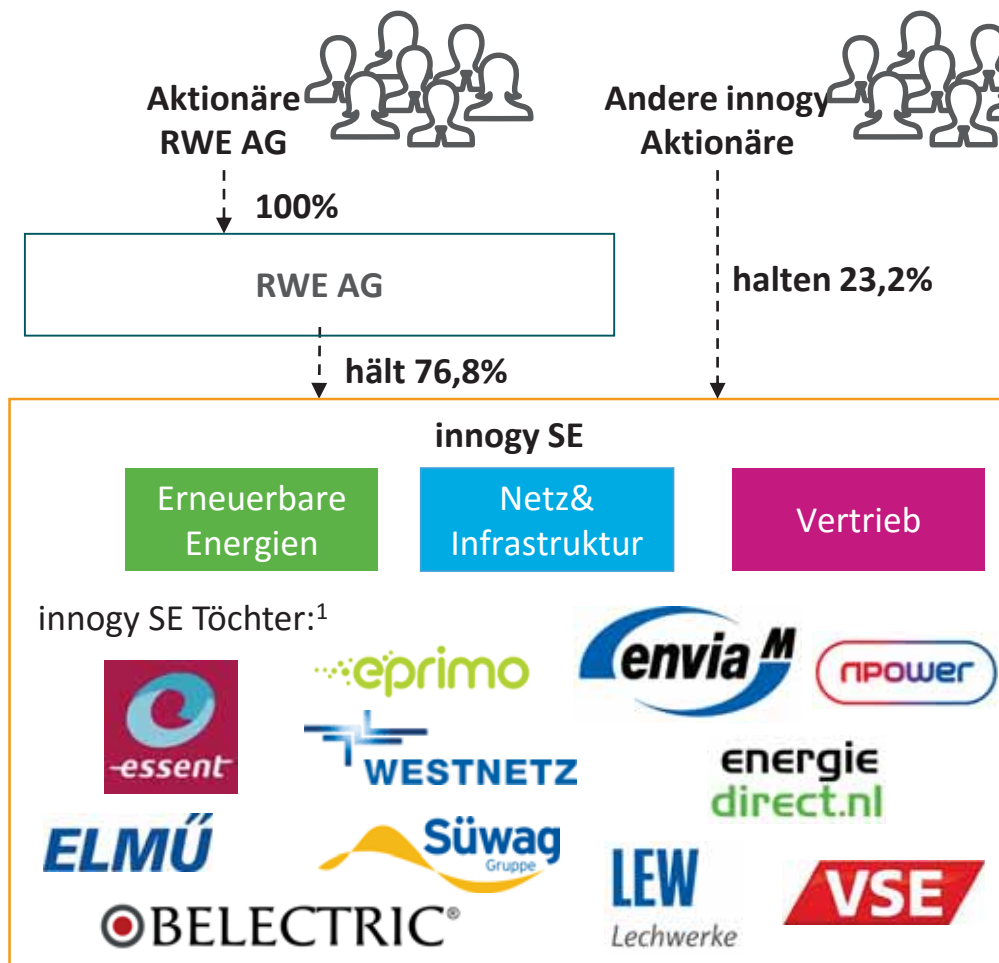
● Erneuerbare Energien ● Netz und Infrastruktur ● Vertrieb

- ✓ Fokus auf Europa – in Deutschland verankert
- ✓ ~18 Mrd. Euro Marktkapitalisierung – Deutschlands wertvollstes Energieunternehmen
- ✓ Am MDAX notiert (19.12.2016)
- ✓ ~23 Mio. Kunden in Europa
- ✓ 46 Mrd. Euro Umsatz
- ✓ ~40.000 Mitarbeiter
- ✓ ~6,5 Mrd. Euro für Investitionen 2016-2018
- ✓ Größtenteils CO₂-frei
- ✓ Keine Verpflichtungen aus der Atomenergie
- ✓ Vollständig entbundelter Netzbetrieb

¹ Nach installierter Leistung | ² Marktpositionen nach Volumen, nach Kundenanzahl

Quelle: Unternehmenseinschätzung auf Basis von Veröffentlichungen von Konkurrenzunternehmen, Berichten der Regulierungsstellen und Forschungsberichten

innogy ist ein etabliertes, unabhängiges Unternehmen, das die Stärke eines Konzerns konsolidiert



- innogy ist...**
- ✓ ein Carve-out aus der RWE AG
 - ✓ ein komplett selbstständiges Unternehmen
 - ✓ im Mehrheitsbesitz der RWE AG
 - ✓ der Finanzvorstand der RWE AG ist das einzige Mitglied aus der RWE AG im Aufsichtsrat von innogy
 - ✓ durch Konkurrenzausschlüsse gegenüber der RWE AG abgesichert
 - ✓ an der Frankfurter Börse notiert und Mitglied im deutschen MDAX Index
 - ✓ Mutterunternehmen für ein Portfolio starker Marken

¹ Beispiele, Anteilbesitz >50%
Quelle: innogy Investor Relations

Wir entwickeln zukunftsweisende Konzepte und innovative Betriebsmittel.



1 **Proaktives Verteilnetz**
Definition von Markttrollen nach Ampelphasen

2 **EiChe**
Erprobung des Speicher-
konzepts im Verteilnetz

3 **Ampacity**
Praxistest zur künftigen
Energieversorgung von
Innenstädten

4 **Dresden**
Feldtest zum intelligenten
Stromverbrauch in
Privathaushalten

5 **Smart Country**
Validierung innovativer
Netzkonzepte und
Betriebsmittel

6 **Power to Gas**
Einspeisung von H2 in das
Erdgasnetz, Flexibilität
bereitstellen

7 **GEa Lüdenscheid**
Stromerzeugung durch Druck
aus dem Gasnetz

8 **Reken**
Grid4EU
Intelligentes Netzmanagement
in Mittelspannungsnetzen

9 **Metropol-E**
Erprobung von Lade- und
Flottenmanagementsystemen

10 **Smart Operator**
Autonome Steuerung der
Niederspannungsnetze



AmpaCity - Supraleiter im Stadtnetz

Netzintegration eines supraleitenden 10-kV-Kabelsystems in der Innenstadt von Essen



1

Grundlagen, Stand der Technik und Innovation

2

Ausgangssituation und Motivation

3

Pilotstrecke „AmpaCity“ in der Innenstadt von Essen

4

Komponenten des HTS-Systems

5

Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

6

Inbetriebnahme und Betrieb

7

Ausblick



„Schnelle Züge, schnelle Chips –
Die wichtigsten Anwendungsgebiete
der Hochtemperatur-Supraleitung“

Energieübertragung

Die heutigen Hochspannungsleitungen verlieren bei Übertragungsstrecken von etwa 200 Kilometern 15 Prozent der eingespeisten Energie, bei Fernleitungen um 1000 Kilometer steigen die Verluste gar auf 40 Prozent. Verlustlose Supraleitungen bieten also ein **enormes Sparpotential**.

Dazu wären **allerdings** Kabel erforderlich, die auch bei Hochsommerhitze noch supraleitend sind, also keine Kühlung mehr benötigen. Denn stickstoffgekühlte Untergrundleitungen kämen

zu teuer – und wären **zu gefährlich**: Beim Zusammenbruch des Kühlkreislaufes würde sich die elektrische Energie in den Leitungen sofort in Wärme verwandeln, mit **katastrophalen Folgen**.

Quelle: highTech, Nr. 1, Januar 1988

Supraleitung als Zukunftsmusik?

Tagung über die Zukunfts-Perspektiven der Supraleitung: „Heiße Ware“, kühl eingeschätzt



Die neuen Supraleiter sind noch vorwiegend von akademischem Interesse.

... wirtschaftliche Bedeutung hat diese „heiße Ware“ noch nicht, und daß sich dies in absehbarer Zeit ändern wird, ist wenig wahrscheinlich.

hat diese „heiße Ware“ noch nicht, und daß sich dies in absehbarer Zeit ändern wird, ist wenig

... immense Schwierigkeit, das glasartige, spröde Material zu verarbeiten ...

Supraleitung ist ein denkbarer Zustand, der nicht nur bei Erwärkung zusammenbricht, sondern auch in einem allzu starken Magnetfeld oder dann, wenn ein allzu großer Strom fließt. Diese

An eine Verarbeitung zu technisch brauchbaren Drähten – aus physikalischen Gründen müßten sie aus feinen, einzeln in Röhrchen eingezogenen Filamenten bestehen – ist vorerst nicht zu denken.

Quelle: Archiv ZEIT Online



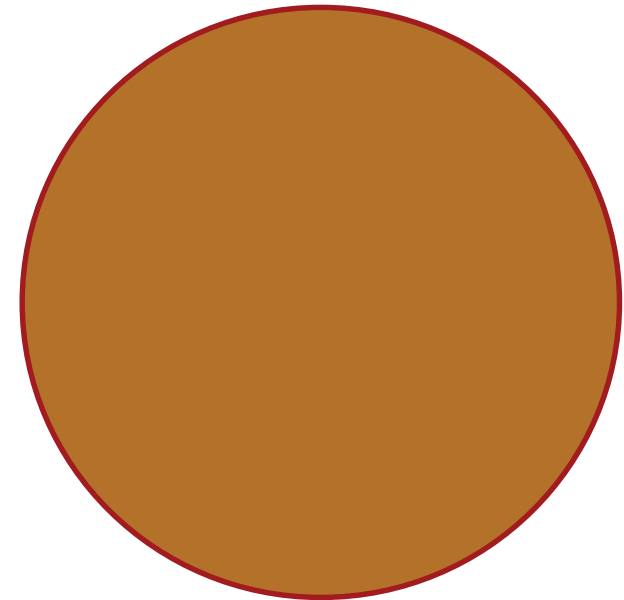
Supraleiter – Rohmaterial und Drähte



•
HTS-Anteil



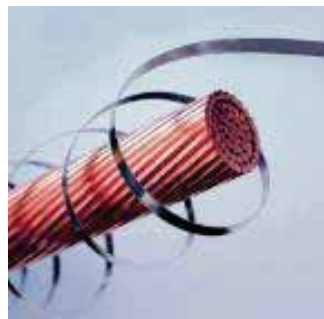
Supraleiterdraht



Kupferdraht

Quelle: Nexans

Kupferleiter und
Supraleiterband
mit gleichem
Stromtragevermögen



Hohe Energiedichten in Ballungsgebieten erfordern hohe Spannungsebenen.



“Klassische Technik” in Großstadtnetzen

- überlagertes Hochspannungsnetz
- Transformatorstationen Hochspannung/Mittelspannung
- Mittel- und Niederspannungsnetz zur Weiterverteilung der Energie



Konventionelle Kabel und innerstädtische Transformatorstationen

- haben geringe technische und wirtschaftliche Optimierungspotenziale und bieten nur eingeschränkte Möglichkeiten für die Neukonzeption von Netzstrukturen
- beanspruchen wegen hoher Spannungsebenen viel Platz und Volumen und belegen hochpreisige Standorte

Alternative?

- Supraleitende Betriebsmittel?

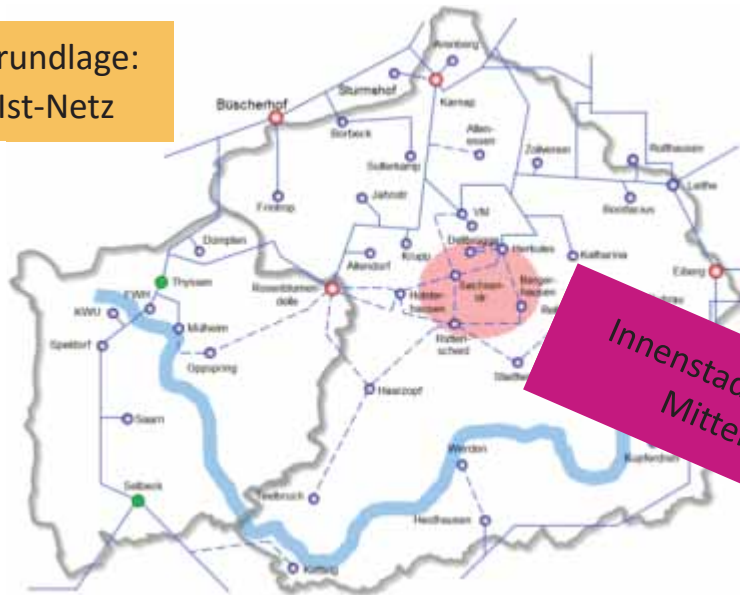
Vorteile Supraleitung

- Geringerer Raumbedarf bei Anlagen und Trassen
- Geringerer Installationsaufwand
- Keine elektromagnetische Beeinflussung
- Wegfall von Umspannanlagen HS/MS
- Möglichkeiten für neue Netzstrukturen

→ „Doppelgarage statt Turnhalle“

Das Hochspannungsnetz im Bereich Essen/Mülheim

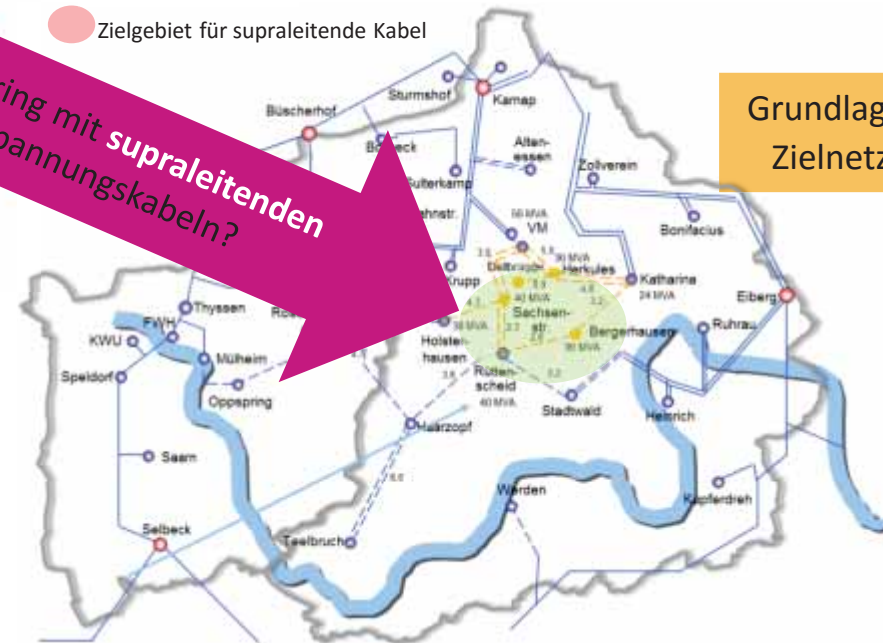
Grundlage:
Ist-Netz



- Einspeisepunkte ins supraleitende 10-kV-Netz
- 380-kV-Umspannanlage
- 220-kV-Umspannanlage
- 110/10-kV-Anlage
- 10-kV-Schwerpunktstation
- 10-kV-Kabel supraleitend
- 110-kV-Kabel
- 110-kV-Freileitung
- Zielgebiet für supraleitende Kabel

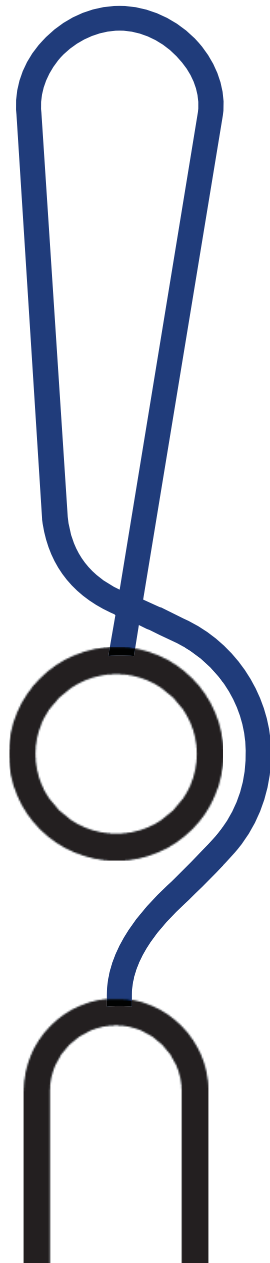
Innenstadtring mit **supraleitenden** Mittelspannungskabeln?

Grundlage:
Zielnetz



Neue Randbedingungen durch Strukturwandel

- Im Ruhrgebiet starker Rückgang der Schwerindustrie
- Anforderungen an Leistung und räumliche Aufteilung der Netze verändert
- Netz-Neubewertung und Konzeption für optimiertes Zielnetz



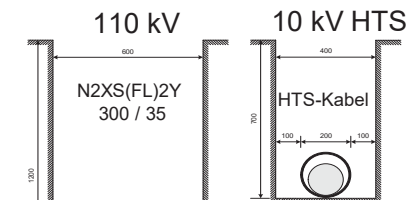
PILOTSTRECKE

„AmpaCity“ in der Innenstadt
von Essen

Grundlage für einen möglichen Feldversuch ist eine umfassende Machbarkeitsstudie.

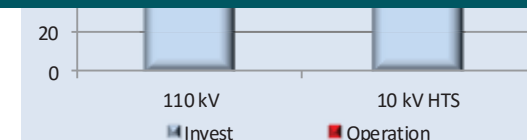


- **Erhöhung der Leistungsdichte und Effizienz** durch Einsatz von HTS^{*)}-Kabeln
- **Vermeidung einer höheren Spannungsebene** (für Ballungsgebiete relevant)
- **Vermeidung von radialem Wärmefluss**, damit:
 - keine Bodenaustrocknung
 - kein Übertragungsengpass in Kreuzungsbereichen
- **Keine äußeren Magnetfelder im Normalbetrieb**
 - durch die koaxiale, vollständig geschirmte Anordnung der drei Leiter
- **Geringerer Raumbedarf bei Anlagen und Trassenbreite** und dadurch
 - einfachere Legung durch weniger Erdarbeiten
 - Platzeinsparungen in Innenstädten (110-kV-U)
- **Höhere Betriebssicherheit** durch Kurzschlussstrom begrenzende Eigenschaften
- **Langfristige Kosteneinsparungspotenziale**



Unabdingbare Voraussetzung:
Supraleitende Betriebsmittel müssen

- > in bestehende Netze **integrierbar** sein
- > und mit **konventioneller Technik** harmonieren.



^{*)} HTS: HochTemperaturSupraleitung

Trassenverlauf



Pilotstrecke "AmpaCity" in Essen

Akzeptanz in der Bevölkerung und in der Politik erfordert Diskussion in der Öffentlichkeit.



Kritische Öffentlichkeit gegenüber moderner Technik

- Auch Projekte für die Energiewende müssen offen erläutert werden
- Fokus auf lokaler Information in Essen, aber auch intensive überregionale Information (national und international)

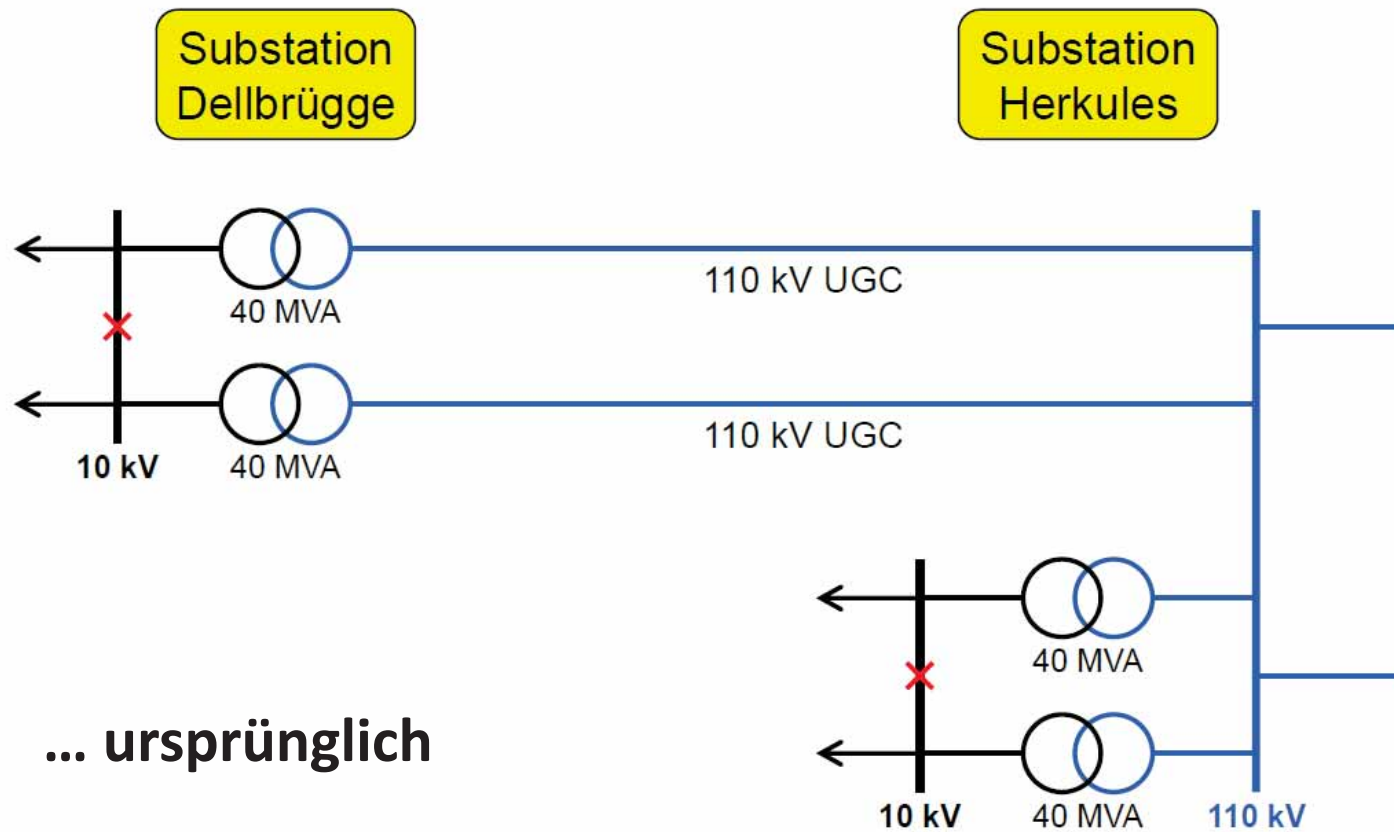


Pressegespräche zu besonderen Anlässen sind ein wichtiger Baustein

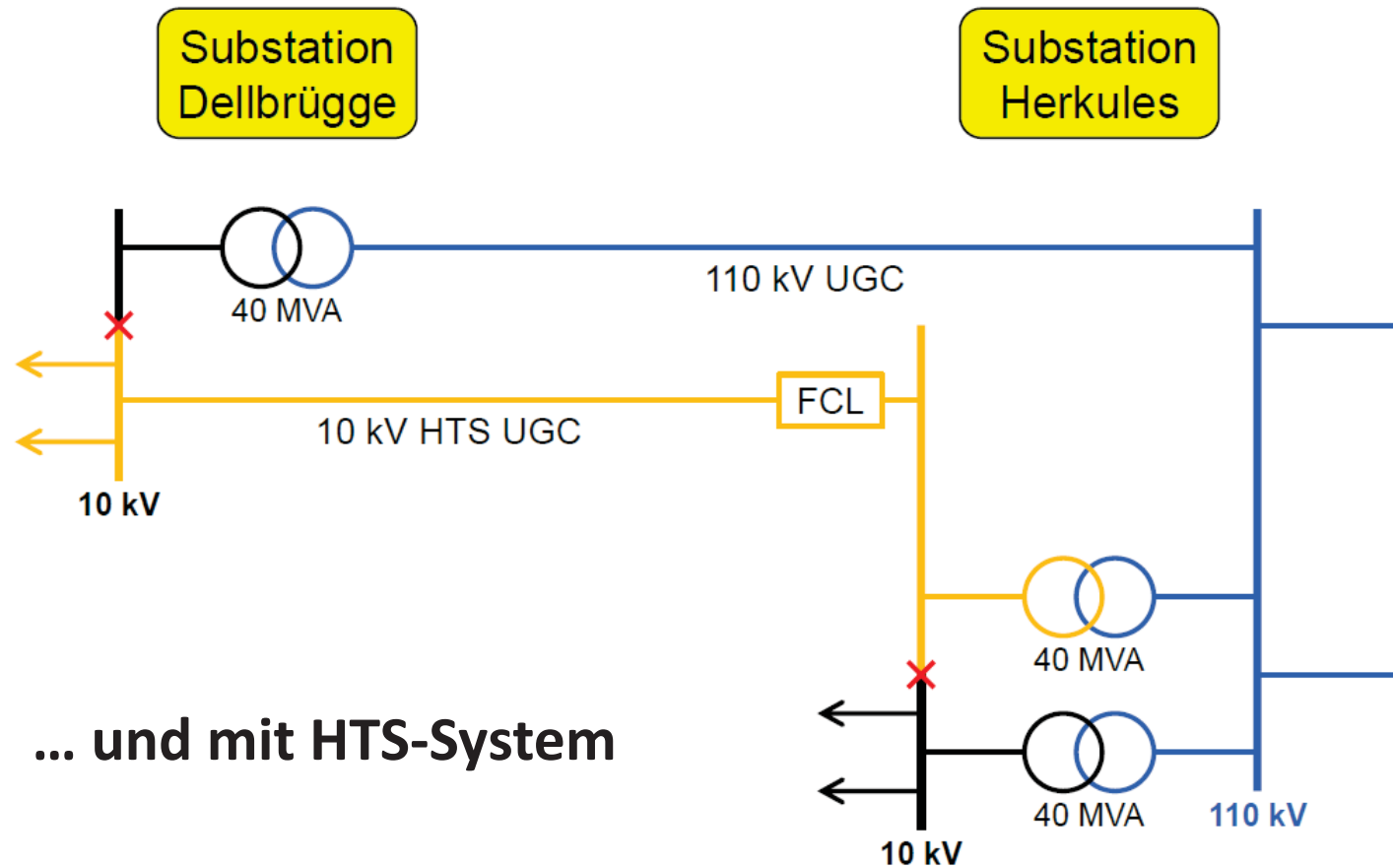
- Abschluss der Typprüfung bei Nexans
- Erster Spatenstich in Essen
- Besuch „wichtiger“ Personen oder Gruppen
- Inbetriebnahme
- ...



Elektrische Konfiguration



Elektrische Konfiguration



... und mit HTS-System



KOMPONENTEN

des HTS-Systems

Dies sind die Komponenten der Anlage



▪ Kabelsystem

- Kabelader
 - Stromtransport und Spannungsfestigkeit
 - Transport von flüssigem Stickstoff



▪ Kabelkryostat

- Thermische Isolierung der Kabelader
- Transport von flüssigem Stickstoff



▪ Endverschlüsse

- Verbindung des Kabels mit Netz / Strombegrenzer, Anschluss Kühlanlage
- Übergang zwischen Betriebs- und Umgebungstemperatur



▪ Muffe

- Verbindung von einzelnen Kabellängen



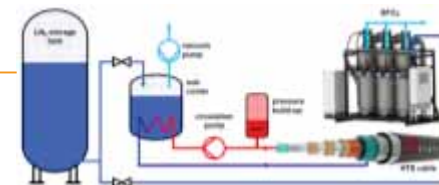
▪ Kurzschlussstrombegrenzer

- Schutz des HTS-Kabels bei Kurzschlüssen im Netz

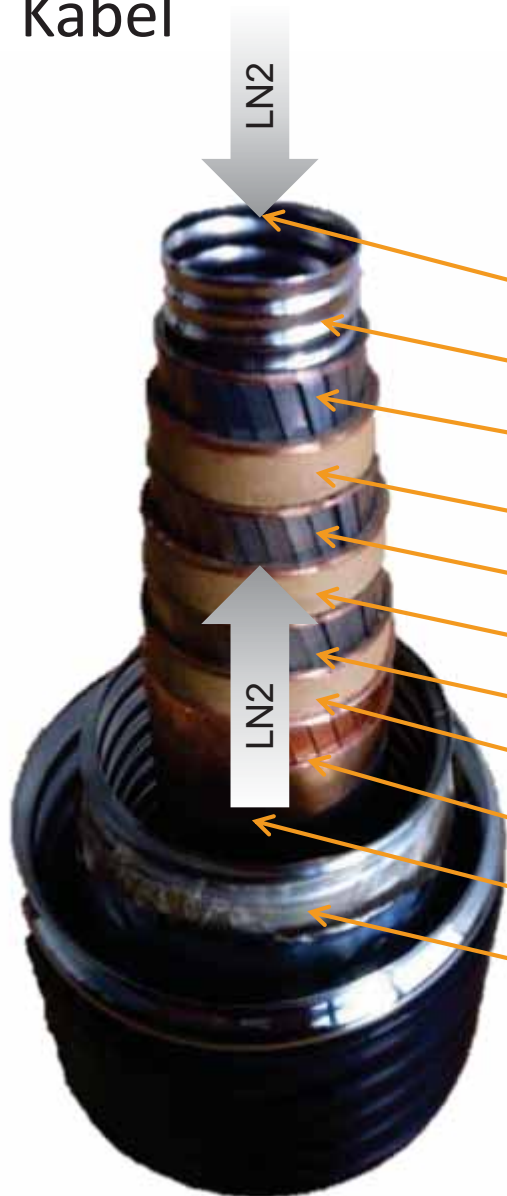


▪ Kühlanlage

- Bereitstellung Kühlleistung für Kabelsystem und Strombegrenzer



Kabel



Besonders kompakte Bauform

durch konzentrischen Aufbau

Aufbauelemente

- Stickstoffrücklauf
- Rücklaufleitung der Stickstoffkühlung
- Supraleiterschicht (Leiter L3)
- Isolierung
- Supraleiterschicht (Leiter L2)
- Isolierung
- Supraleiterschicht (Leiter L1)
- Isolierung
- Kupferschirmung
- Stickstoffvorlauf
- Kryostat



Mit der Typprüfung wurde die Funktion des Systems nachgewiesen.



■ Qualifizierung des Systems für die Installation in Essen

- Versuchsaufbau: zwei Kabellektionen (ges. 25 m), zwei Endverschlüsse, eine Verbindungsmuffe
- Prüfung in Anlehnung an DIN VDE 0276 und einschlägige IEC-Entwürfe
- Erfolgreicher Abschluss im März 2013
→ Beginn der Komponentenproduktion



Supraleitender Kurzschlussstrombegrenzer

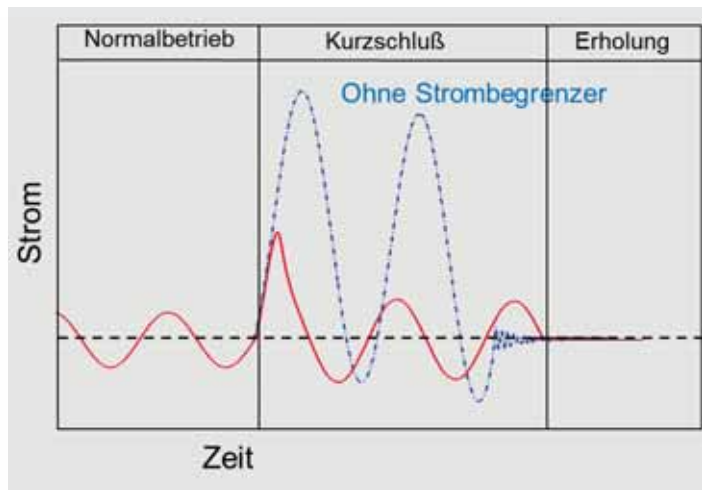


Reduzierung von Belastungen der Komponenten bei Kurzschlüssen und somit auch der Anforderungen

- Schutz des Kabels vor hohen Strömen
- Schutz nachgeschalteter Betriebsmittel vor hohen Kräften und Erwärmungen
- Keine Impedanz im Nennbetrieb
→ „unsichtbar“; kein Einfluss
- Hoher Widerstand, sobald der Strom im Kurzschlussfall einen kritischen Wert übersteigt („Quench“)
- Kühlung mit flüssigem Stickstoff



innogy SE · AmpaCity



Parameter	Wert
Nennleistung	40 MVA
Nennspannung	10 kV
Betriebsstrom	2,3 kA
Blitzstoß-Prüfspannung	75 kV
Stehwechselspannung	28 kV
Prospektiver unbegrenzter Peakstrom	50 kA
Prospektiver unbegrenzter symmetrischer Strom	20 kA
Begrenzter Peakstrom	< 13 kA
Begrenzter symm. Strom	< 5 kA
Begrenzungszeit	100 ms
Erholungszeit	< 10 min

Dr.-Ing. Frank Merschel, innogy SE, Neue Technologien

Anordnung der Komponenten vor Ort



1 Kabel

2 U-Bogen

3 Endverschluss

4 Strombegrenzer

5 Kühlanlage

6 Stickstofftank



TRASSENPLANUNG UND -BAU

Installation der Komponenten

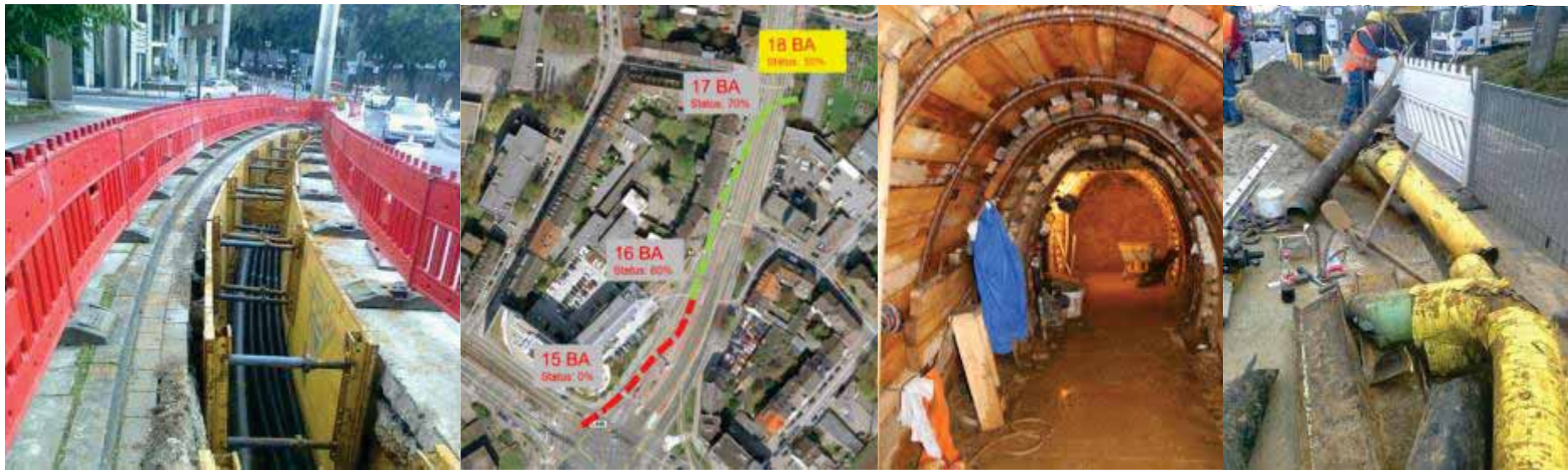
Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Festlegung des Trassenverlaufs



Umfangreiche Planung erforderlich

- Sehr hohe Dichte unterschiedlichster Ver- und Entsorgungsleitungen im innerstädtischen Bereich (Strom, Gas, Wasser, Fernwärme, Kanalisation, Telekommunikation, ...) erfordert umfangreiche Vorplanung
→ 18 Bauabschnitte
- Abstimmung mit Betreibern, u. a. Einhaltung von Schutzabständen usw.
- Planwerke und Realität → viele „Überraschungen“ (stillgelegte Leitungen, kontaminierte Böden, Trümmerschutt, Lagen- und Tiefenänderungen, ...)



innogy SE · AmpaCity

Dr.-Ing. Frank Merschel, innogy SE, Neue Technologien

Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Hoch- und Tiefbauarbeiten liefen zeitgleich mit der Produktion der Komponenten.



Tiefbauarbeiten im Zeitraum April bis September 2013

- Legung von Leerrohren; komplette Oberflächenwiederherstellung Anfang September

Vorbereitende Baumaßnahmen in cityferner UA

- Tiefbauarbeiten für Installation des Stickstofftanks

Vorarbeiten für den Einbau der Komponenten und der benötigten Hilfs- und Sekundärtechnik in beiden UA

- Fundamente; Befestigungsvorrichtungen; Anschlüsse usw.
- Ausbau der Schaltfelder
- Legung von Rohrleitungen

Beginn der „eigentlichen“ Installationsarbeiten Mitte September 2013

- Einbau der Systemkomponenten in beiden UA



Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Einbau der Systemkomponenten



Kabelanlage

- Anlieferung und Einzug des Kabels



Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Einbau der Systemkomponenten



Kabelanlage (beide UA)

- Montage der U-Bögen
- Anschluss des Kabels



Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Einbau der Systemkomponenten



Kühlanlage (UA Herkules)

- Aufstellung des Stickstofftanks
- Einbau der Kühlanlage



Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Einbau der Systemkomponenten

Supraleitender Kurzschlussstrombegrenzer

- Einbau in leere Trafobox



innogy SE · AmpaCity



Dr.-Ing. Frank Merschel, innogy SE, Neue Technologien

Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Einbau der Systemkomponenten

Kabelanlage (Trassenverlauf und UA Herkules)

- Einrichtung der Muffengrube
- Container während der Montage



Trassenplanung und -bau; Installation der Komponenten

Ein Überblick über die Gesamtstrecke



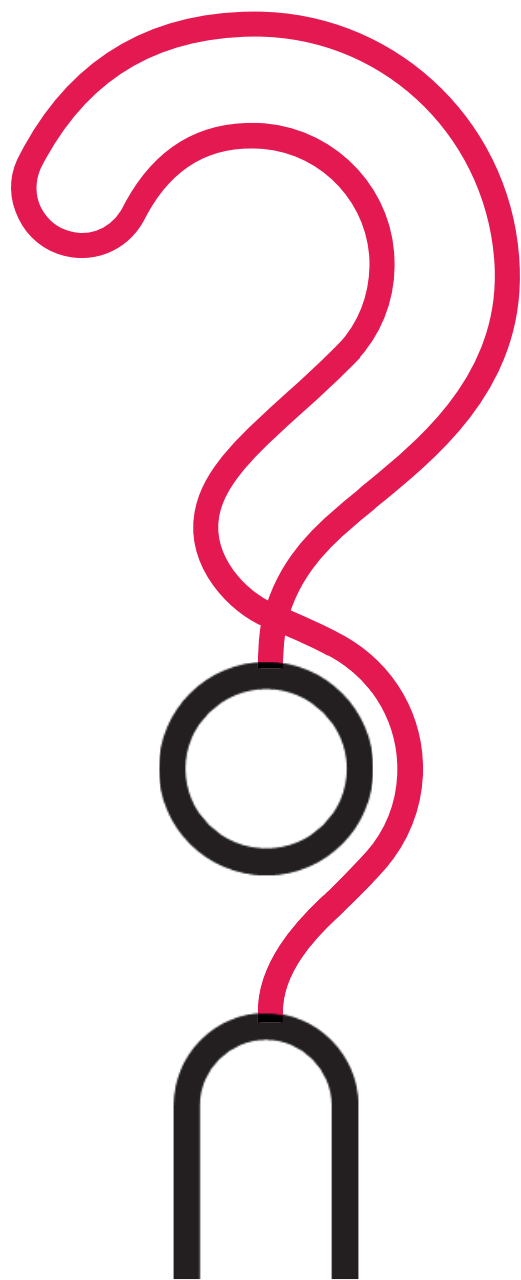
Luftbild: "Darstellung aus HK Luftbilder / Karten Lizenz Nr. 1: Geoinformation, Vermessung und Kataster der S

Amt für

innogy SE - AmpaCity

Dr.-Ing. Frank Merschel, innogy SE, Neue Technologien





INBETRIEBNAHME UND BETRIEB

des HTS-Systems

Vorbereitung der Inbetriebnahme



Befüllung des Stickstofftanks

- Füllung mit flüssigem Stickstoff



Vorbereitung der Inbetriebnahme



Kabelprüfung in Anlehnung an Vorschriften in DIN VDE 0276-620 und IEC-Entwürfen

- Spannungsprüfung
- Verlustfaktormessung
- Teilentladungsmessung

Alle Teilprüfungen erfolgreich absolviert

- Einbindung des HTS-Kabelsystems in das 10-kV-Netz in Essen



Inbetriebnahme

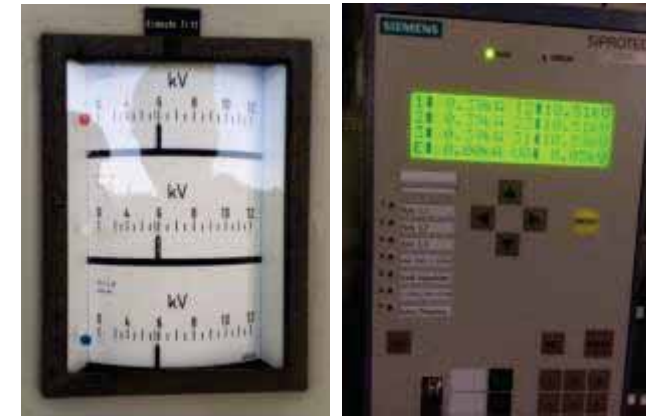


10. März 2014

- Messungen
- Probeweise Aufschaltung von
- Blindleistung
- Verbindung beider Anlagen

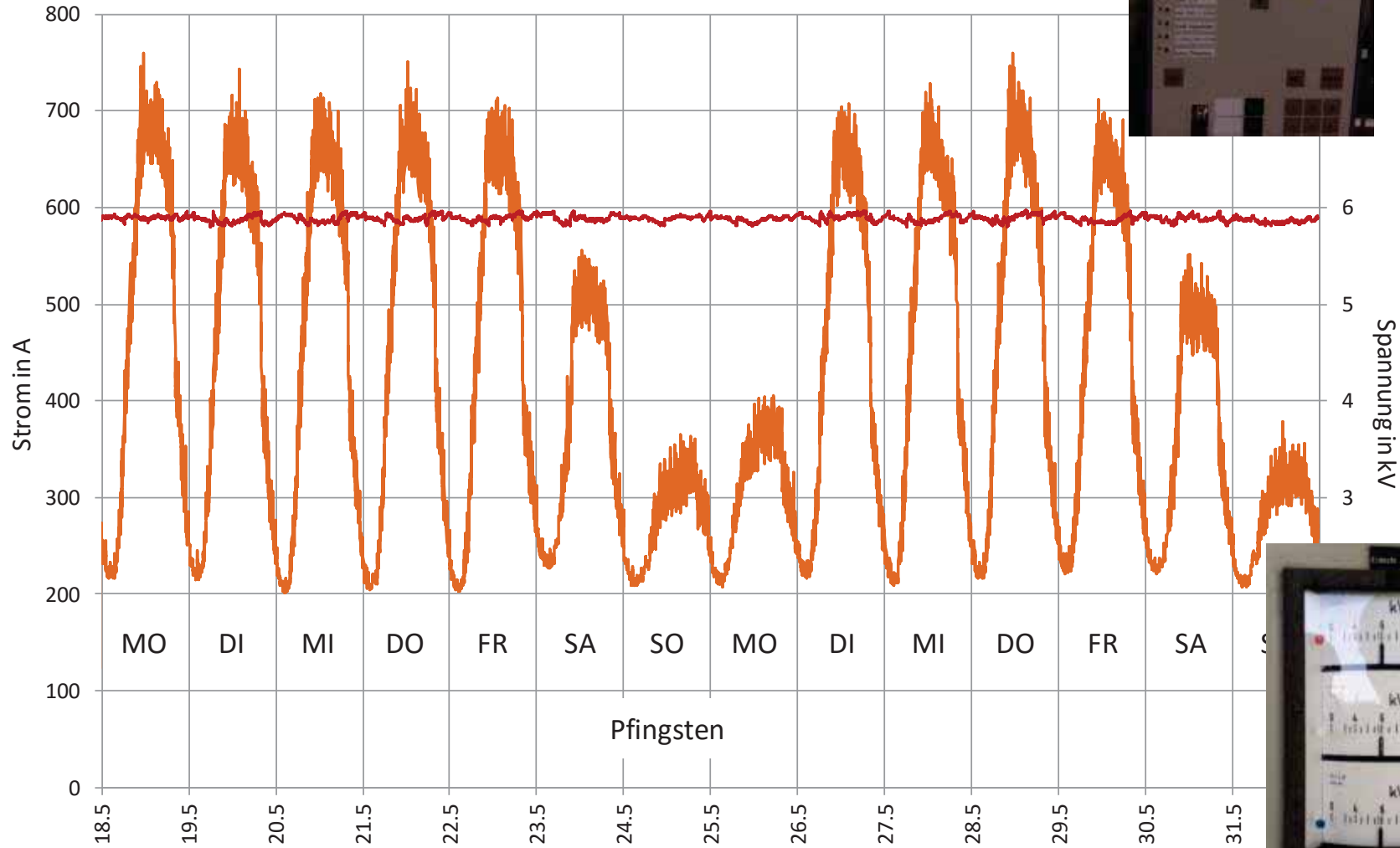
30. April 2014

- „Offizielle“ Feier zur Inbetriebnahme



Strom und Spannung im Betrieb

EIR18 Strom L1 Spannung L1-Erde



Seit Inbetriebnahme problemlose Funktion, aber einige Optimierungen im laufenden Betrieb



Symmetrierung der Erdkapazitäten

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



Optimierung der Kühlanlage

- Modifizierung der Vakuumpumpen des Wärmetauschers nach Einfrierungen von feuchter Luft
- Weitere kleinere Optimierungen



Anpassung der Systemüberwachung

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



Durchführung von Kurz- und Erdschlussversuchen

- Untersuchung des Betriebsverhaltens des HTS-Systems bei verschiedenen Szenarien
- Das System beherrscht im praktischen Netzeinsatz nicht nur sicher den ungestörten (Dauer-) Betrieb, sondern auch relevante Betriebsituationen im gestörten Betrieb



Ein wenig Statistik

Seit der Inbetriebnahme vor 38 Monaten ...

- wurden über 200 Millionen Kilowattstunden mit dem AmpaCity-Kabel übertragen
- besuchten mehr als 400 Gruppen mit insgesamt rund 5.000 Teilnehmern die Umspannanlage Herkules in Essen
 - von interessierten Laien
 - bis zu „hochkarätigen“ Fachbesuchergruppen
 - national und international (z. B. USA, China, Japan, Australien, Neuseeland, Ghana, Korea, Russland, Schweden, Kanada, Saudi-Arabien, Südafrika, ...)
- war(und ist) das Projekt Thema für Berichte in unterschiedlichen Medien



Inbetriebnahme und Betrieb des HTS-Systems

Bundesumweltministerium und BDI prämieren längstes Supraleiterkabel der Welt



IKU Innovationspreis 2015 für AmpaCity

- Technikvorstand Dr. Joachim Schneider nahm am 20. Januar 2016 stellvertretend den bedeutenden Umwelt- und Wirtschaftspreis im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) in Berlin entgegen.
- BMUB und BDI würdigen mit diesem Preis Innovationen und Projekte, die unsere Umwelt schonen und einen wichtigen Beitrag zur deutschen Energiewende leisten.



Dr. Joachim Schneider nimmt den Preis von Dr. Barbara Hendricks, Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, und Holger Lösch, Mitglied der Hauptgeschäftsführung des BDI, entgegen.



Freude über die Auszeichnung bei den Mitgliedern des Projektkonsortiums AmpaCity.

Quelle: Pressemitteilung RWE Deutschland AG, 21. Januar 2016

Dr.-Ing. Frank Merschel, innogy SE, Neue Technologien



innogy SE · AmpaCity





AUSBLICK

Feldversuch im Rahmen des Förderprojekts AmpaCity als Basis für die Entscheidung zum weiteren Ausbau

- Umfassende technische und wirtschaftliche Bewertung nach Abschluss des Feldversuchs
- Bedeutende Signalwirkung für die zukünftige Gestaltung von Stromverteilungsnetzen in Ballungsgebieten
- Abschluss des Pilotprojekts ist auch wichtige Grundlage für die generelle weitere Verbreitung der HTS-Technologie
- Breite Anwendung ist abhängig von der Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses der HTS-Leitermaterialien, der Optimierung der Kabelherstellung und der Kosten sowie der Robustheit der Kühltechnik
- Nachdem die technische Machbarkeit demonstriert wurde, ist die aktuelle Herausforderung der Nachweis der wirtschaftlichen Machbarkeit
- HTS-Technologie ist auch schon kurzfristig wirtschaftlich einsetzbar, wenn positive Sekundäreffekte hinzu kommen

Kooperation von innogy und Nexans zum Roll-Out der HTS-Technologie



Übersicht Leistungsportfolio

Thema Arbeitspaket	Machbarkeit	Netz	Bau / bauliche Infrastruktur	Kabel	Kühlung	Strombegrenzer	Garnituren	Schulung & übergreifende Themen
Leistung	<p>Konzept / Machbarkeitsstudie erarbeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> – Supraleiter vs. konventionelle Technik – Konzepterstellung – Kosten-/Nutzenanalyse – Erstellung Business Case – Entscheidungsvorlage 	<ul style="list-style-type: none"> – Beratung bei Netzintegration des Supraleiters – Zielnetzplanung – Netzanalyse, Netzsimulation und Netzberechnungen (Lastfluss-/Kurzschlussberechnungen, etc.) – Berechnung der Schutzeinstellungen – Konzeption, Planung und Koordination des Trassenverlaufs – Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> – Planung – Unterstützung Genehmigungsverfahren – Bau – Koordination / QS – Abnahme – Inbetriebnahme – Betrieb – Wartung / Instandhaltung – Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> – Planung – Unterstützung Genehmigungsverfahren – Bau – Koordination / QS – Abnahme – Inbetriebnahme – Betrieb – Wartung / Instandhaltung – Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> – Unterstützung bei der Auswahl der Lieferanten und Systemanbieter – Unterstützung Genehmigungsverfahren – Koordination von Planung / Bau – QS und Abnahme – Inbetriebnahme – Betrieb – Wartung / Instandhaltung – Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> – Planung – Bau – Koordination / QS – Abnahme – Inbetriebnahme – Betrieb – Wartung / Instandhaltung – Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> – Planung – Bau – Koordination / QS – Abnahme – Inbetriebnahme – Betrieb – Wartung / Instandhaltung – Dokumentation 	<p>Schulung</p> <p>Schulungsmaßnahmen zum Thema Betrieb</p> <ul style="list-style-type: none"> – z.B. Instandsetzungs-, Entstörungs- und Erweiterungsarbeiten für primär- und sekundärtechnische Anlagenteile <p>Übergreifende Themen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Projektleitung – QS über alle Gewerke
Zuständigkeit								



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Kontakt

Dr. Frank Merschel

innogy SE

Sparte Netz & Infrastruktur

Neue Technologien

T. +49 201 12-29389

frank.merschel@innogy.com

