AMPACITY
Intelligente Netze für die Stadt

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

AmpaCity

Energieverteilung von Morgen mit Hochtemperatur-Supraleiterkabeln und Strombegrenzern für Zentren mit hoher Lastdichte

VDE Bezirk Köln e.V. - Stützpunkt Koblenz
09. Januar 2014, Hochschule Koblenz

Dr.-Ing. Frank Merschel (VDE)
RWE Deutschland AG, Essen, Neue Technologien

VORWEG GEHEN

Inhalt

AMPACITY
Intelligente Netze für die Stadt

- Übersicht
- Ausgangssituation
- Grundlagen
- Stand der Technik und Innovation
- Machbarkeitsstudie der RWE Deutschland
- Pilotstrecke „AmpaCity“ in der Innenstadt von Essen
- Komponenten des HTS-Systems
- Trassenplanung und -bau
- Installation und Inbetriebnahme des Systems
- Ausblick
- Zusammenfassung

Ausgangssituation

Hohe Energiedichten in Ballungsgebieten erfordern hohe Spannungsebenen

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

→ **„Doppelgarage statt Turnhalle“**

> **“Klassische Technik” in Großstadtnetzen**
- überlagertes Hochspannungsnetz
- Transformatorstationen Hochspannung/Mittelspannung
- Mittel- und Niederspannungsnetz zur Weiterverteilung der Energie

> **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 2020

> **Konventionelle Kabel und innerstädtische Transformatorstationen**
- geringe technische und wirtschaftliche Optimierungspotenziale, eingeschränkte Möglichkeiten für die Neukonzeption von Netzstrukturen
- beanspruchen wegen hoher Spannungsebenen viel Platz und Volumen und belegen hochpreisige Standorte

Hochspannungsnetz im Bereich Essen/Mülheim

- 380-kV-Umspannanlage
- 220-kV-Umspannanlage
- 110/10-kV-Anlage
- Zielgebiet für supraleitende Kabel
- 110-kV-Kabel
- 110-kV-Freileitung

Grundlage: Ist-Netz (2010)

- 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

Grundlage: Zielnetz 2020

Innenstadtring mit ***supraleitenden*** Mittelspannungskabeln?

Was zeichnet Supraleiter aus?

Übliche metallische Leiterwerkstoffe (Kupfer, Aluminium)

- haben einen elektrischen **Widerstand** (Ohm´scher Widerstand)
- haben **Verluste**, die mit steigendem Strom quadratisch zunehmen
- werden durch diese „Stromwärmeverluste“ stark **erwärmt**
- haben somit - je nach Querschnitt - eine begrenzte **Übertragungsfähigkeit**

Beispiel für Hochspannungskabel mit Kupferleitern

Supraleitende Werkstoffe dagegen

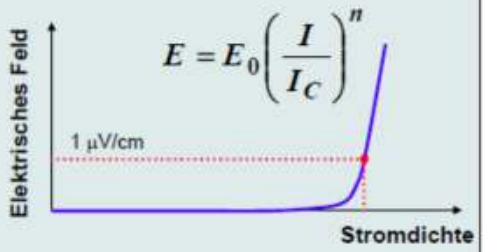
- haben (fast) **keinen elektrischen Widerstand** - allerdings nur im supraleitenden Zustand bei sehr **niedrigen Temperaturen**
- ermöglichen um Größenordnungen **höhere Strombelastungen** bei geringeren Abmessungen als metallische Leiterwerkstoffe

Höchste Stromdichten

Stromdichten im Supraleiter:

100 - 10000 A/mm²

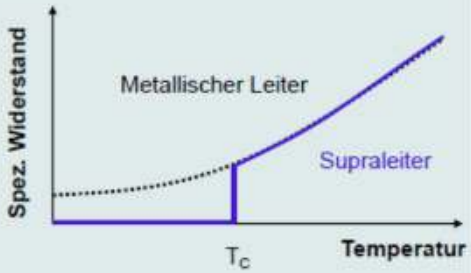
(Stromdichte im Kupfer: 1 - 5 A/mm²)



Bei vernachlässigbarem Widerstand

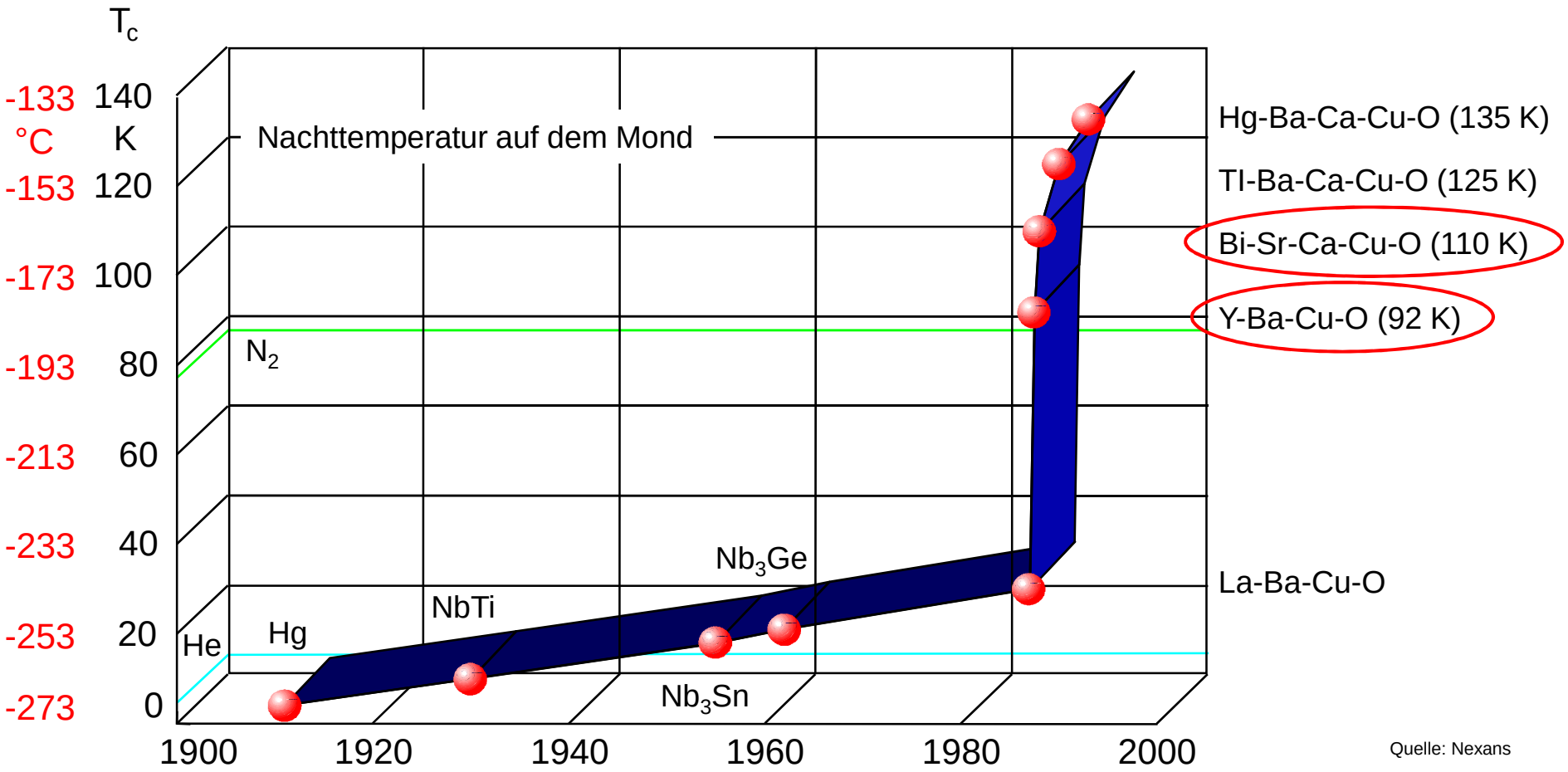
Gleichstromwiderstand von Supraleitern ist nahezu Null unterhalb der kritischen Werte

(Spez. Widerstand Kupfer: 0,0175 Ω mm²/m)



Stand der Technik und Innovation

Entwicklung der supraleitenden Materialien



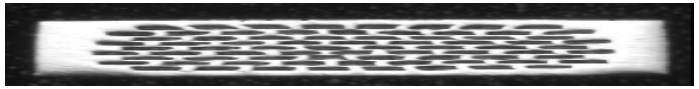
Quelle: Nexans

Hochtemperatur Supraleiter (HTS) können mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden

Supraleitende Drähte für Kabelanwendungen

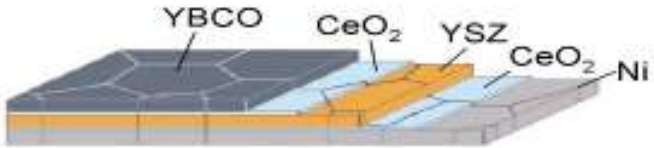
> **$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi-2223) - "BISCCO"**

- Material der ersten Generation (1G)
- In Kilometerlängen verfügbar
- Ein Draht trägt bis zu 180 A AC
- Wurde im LIPA Entwicklungsprojekt verwendet – Drahtgeometrie: 4,3 mm breit und 0,4 mm dick



> **$YBa_2Cu_3O_7$ (Y-123) - "YBCO"**

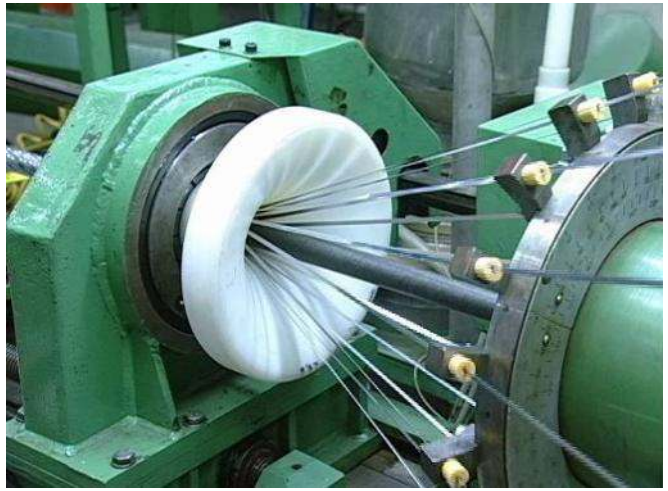
- Material der zweiten Generation (2G)
- Grundsätzlich verschiedener Herstellungsprozess
- Zukünftig deutlich kostengünstiger herzustellen als 1-G-Material



Quelle: Nexans

Stand der Technik und Innovation

Die Kabel werden auf konventionellen Verseilmaschinen hergestellt



Quelle: Nexans

Thermische Isolierung – der Kryostat

- Kryostatdesign
  - Zwei ineinander liegende längs geschweisste Edelstahlwellrohre
  - Superisolierung (Aluminium bedampfte Folie) im Zwischenraum
  - Abstandhalter mit geringen thermischen Verlusten
  - Vakuumzwischenraum (10^{-5} mbar)
  - PE-Außenmantel (optional)
- Herstellung auf Nexans-UNIWEMA Maschinen
- Qualitätskontrolle
  - Helium Lecktest mit hoher Empfindlichkeit zur Gewährleistung eines langzeitstabilen Vakuums

Quelle: Nexans

Stand der Technik und Innovation

Weltweit wurden bereits einige Pilotprojekte realisiert – meist nur kurze Längen und über relativ kurze Zeit

- Die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit ist aufgrund der hohen Investitionskosten zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht gegeben
- Der Einsatz ist bisher nur über kurze Distanzen demonstriert worden
- Bislang wurde weltweit noch kein Mittelspannungs-HTS-Kabel zur Verbindung von zwei Umspannanlagen eingesetzt

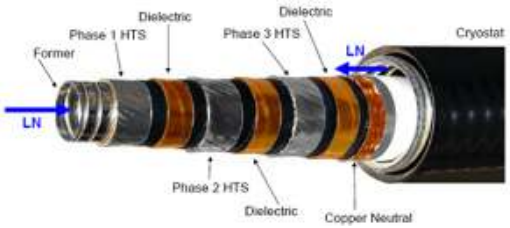
Übersicht über bisher beendete Projekte auf dem Gebiet supraleitender Kabel (Auszug):

Hersteller	Ort/Land/Jahr	Typ	Daten	HTS
Furukawa	Yokosuka, JP, 2004	CD	77 kV, 1 kA, 500 m, 1-ph.	Bi 2233
Innopower	Yunnan, CN, 2004	WD	35 kV, 2 kA, 33 m, 3-ph.	Bi 2223
Sumitomo	Albany, US, 2006	CD	34.5 kV, 800 A, 350 m, 3-ph.	Bi 2223
Ultera	Columbus, US, 2006	Triax	13.2 kV, 3 kA, 200 m, 3-ph.	Bi 2223
Sumitomo	Gochang, KR, 2006	CD	22.9 kV, 1.25 kA, 100 m, 3-ph.	Bi 2223
LS Cable	Gochang, KR, 2007	CD	22.9 kV, 1.26 kA, 100 m, 3-ph.	Bi 2223
Sumitomo	Albany, US, 2007	CD	34.5 kV, 800 A, 30 m, 3-ph.	YBCO
Nexans	Hannover, D, 2007	CD	138 kV, 1.8 kA, 30 m, 1-ph.	YBCO
Nexans	Long Island, US, 2008	CD	138 kV, 2.4 kA, 600 m, 3-ph.	Bi 2223
Nexans	Spain, 2008	CD	10 kV, 1 kA, 30 m, 1-ph	YBCO
Nexans	Spain 2009	CD	24 kV, 3.2 kA, 30 m, 1-ph	Bi 2223

Stand der Technik und Innovation

Zwei Beispiele für Pilotprojekte (USA)

Ultera/nkt: 13,2-kV-Kabel, Columbus, Ohio



Nexans: 138-kV-Kabel, Long Island, New York

Vor dem möglichen Probeeinsatz einer längeren HTS-Strecke im realen Dauerbetrieb: Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie

> **Auftraggeber**
- RWE Deutschland AG

> **Federführung**
- Karlsruher Institut für Technologie
  Institut für technische Physik

> **Berechnungen**
- Leibniz Universität Hannover
  Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik

> **Technologie**
- Nexans Deutschland
- Nexans SuperConductors

Machbarkeitsstudie – Headlines

Moderne Technik auf einen Blick

> **Erhöhung der Leistungsdichte und Effizienz** durch Einsatz von HTS*)-Kabeln

> **Vermeidung einer höheren Spannungsebene** (für Ballungsgebiete relevant)

> **Vermeidung von radialem Wärmefluss** und damit

- keine Bodenaustrocknung
- kein Übertragungsengpass in Kreuzungsbereichen

> **Keine äußeren Magnetfelder im Normalbetrieb**

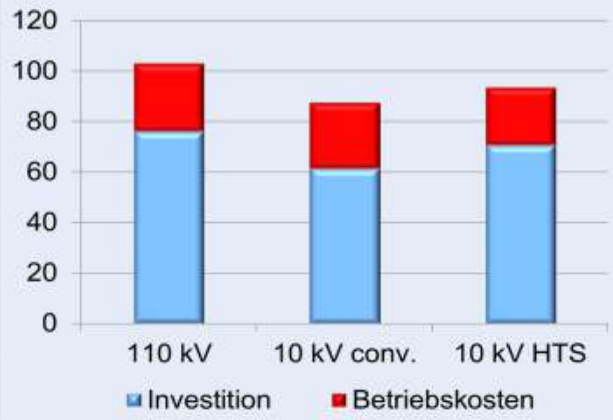
- durch die koaxiale, vollständig geschirmte Anordnung der drei Leiter

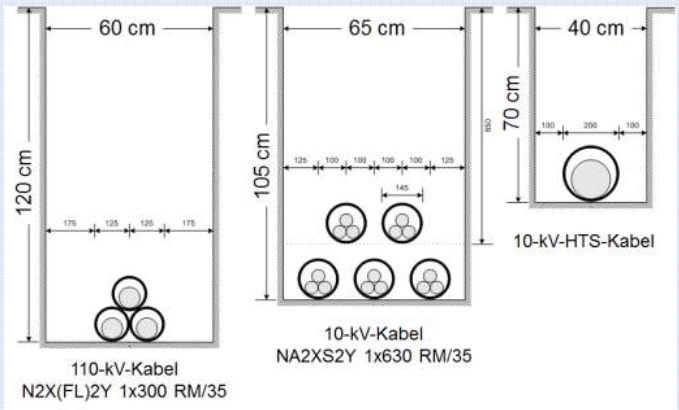
> **Geringerer Raumbedarf bei Anlagen und Trassenbreite** und dadurch

- einfachere Legung durch weniger Erdarbeiten
- Platzeinsparungen in Innenstädten (110 kV UA)

> **Höhere Betriebssicherheit** durch Kurzschluss-strom begrenzende Eigenschaften

> **Langfristige Kosteneinsparungspotenziale**

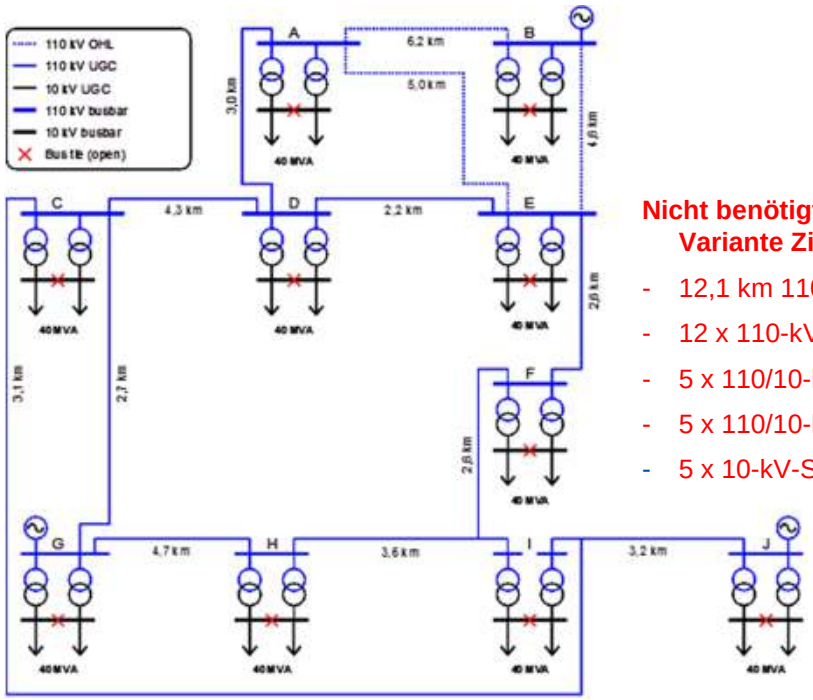




*) HTS: **H**och**T**emperatur**S**upraleitung

Machbarkeitsstudie – Zielnetze

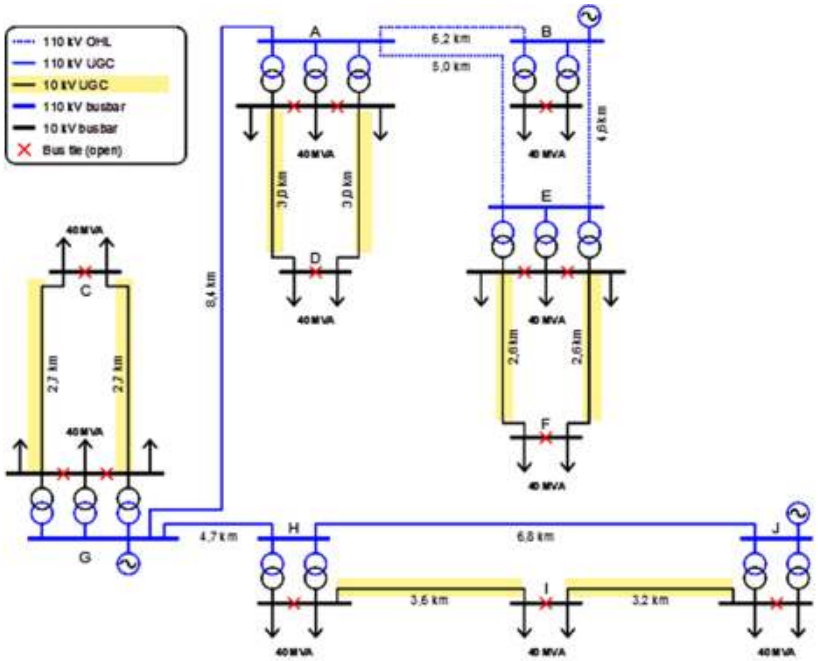
Variante Zielnetz A:
Ausbau mit „klassischer“ Hochspannungs-technik



Nicht benötigte Betriebsmittel bei Variante Zielnetz B:

- 12,1 km 110-kV-Kabelsystem
- 12 x 110-kV-Leitungsschaltfelder
- 5 x 110/10-kV-Transformatoren
- 5 x 110/10-kV-Schaltgeräte
- 5 x 10-kV-Schaltgeräte

Variante Zielnetz B:
Aufbau eines HTS-Mittelspannungsringes



Zusätzlich benötigte Betriebsmittel bei Variante Zielnetz B:

+ 23,4 km HTS-Kabelsystem
+ 16 x 10-kV-Leitungsschaltfelder
+ 3 x 10-kV-Kupplungsfelder

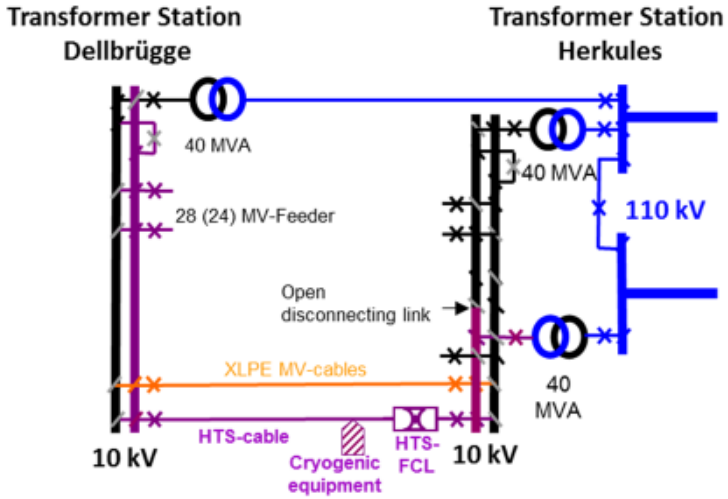
Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

Positive Ergebnisse der Machbarkeitsstudie: Grundlage für BMWi-Förderprojekt „AmpaCity“ in der Innenstadt von Essen

> **Entwicklung und Fertigung eines HTS-Kabelsystems durch Nexans unter wissenschaftlicher Begleitung durch das Karlsruhe Institut für Technologie**

> **Integration in das Verteilnetz und Erprobung im Feldversuch unter realen Betriebsbedingungen**

- Untersuchung der technischen Eignung supraleitender Technologien (Kabel und Strombegrenzer) im Verteilnetzbereich
- Bewertung der Investition in ein 10-kV-HTS-Kabel mit integriertem SSB als Alternative zu einer 110-kV-Kabelanlage
- Ermittlung technischer Vorteile im Betrieb durch ein Demoprojekt
- Abschätzung weiterer Einsatzpotenziale



Einsatz eines Hochtemperatur-Supraleiter-Kabelsystems in der Essener Innenstadt

Projektstart:	September 2011	Inbetriebnahme:	Anfang 2014
Kabeleinbau:	3./4. Quartal 2013	Laufzeit:	4 Jahre

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

Der Innovationscharakter des Projekts ist ausschlaggebend für die Förderung durch das BMWi

- **Weltweit erstmalige Anwendung** / Demonstration eines ca. 1 km langen HTS-Kabelsystems mit kompaktem konzentrischen Design zur Verbindung von zwei Umspannstationen unter realer Netzbelastung in Kombination mit einem ebenfalls supraleitenden Kurzschlussstrombegrenzer

- Das Projekt stellt potenziell eine **Initialzündung** für den Aufbau weiterer Produktionskapazitäten im Bereich der HTS-Materialien, Kühlanlagen und HTS-Kabeltechnik dar (Kostensenkungspotenziale)

- Nach Validierung der Eignung supraleitender Kabel steht eine **zukunftsweisende Technologie** zur Erfüllung anspruchsvoller Versorgungsaufgaben zur Verfügung

- Mit Erreichen der gesteckten Innovationsziele kann mittel- bis langfristig die gesamte **Stromversorgung in großen Ballungsräumen** mit sehr hohen Energiedichten durch den Wegfall der 110/10-kV-Umspannanlagen vereinfacht werden

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

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
- …

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

Öffentlichkeitsarbeit

> **Weitere wichtige Instrumente**

- Projektbroschüre, -flyer
- Website einschließlich Projektvideos
- Anzeigen in der Presse und Fachmedien
- Präsenz auf Messen
- Vorträge vor Fachöffentlichkeit und auf Tagungen

VDE KONGRESS 2012 STUTTGART

cigré INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS

Internationaler ETG-Kongress
5. - 6. November 2013 Berlin

Internationaler ETG-Kongress 2013

VORWEG GEHEN · nexans · KIT · Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie · PtJ

Pilotstrecke „AmpaCity“ - Meilensteine

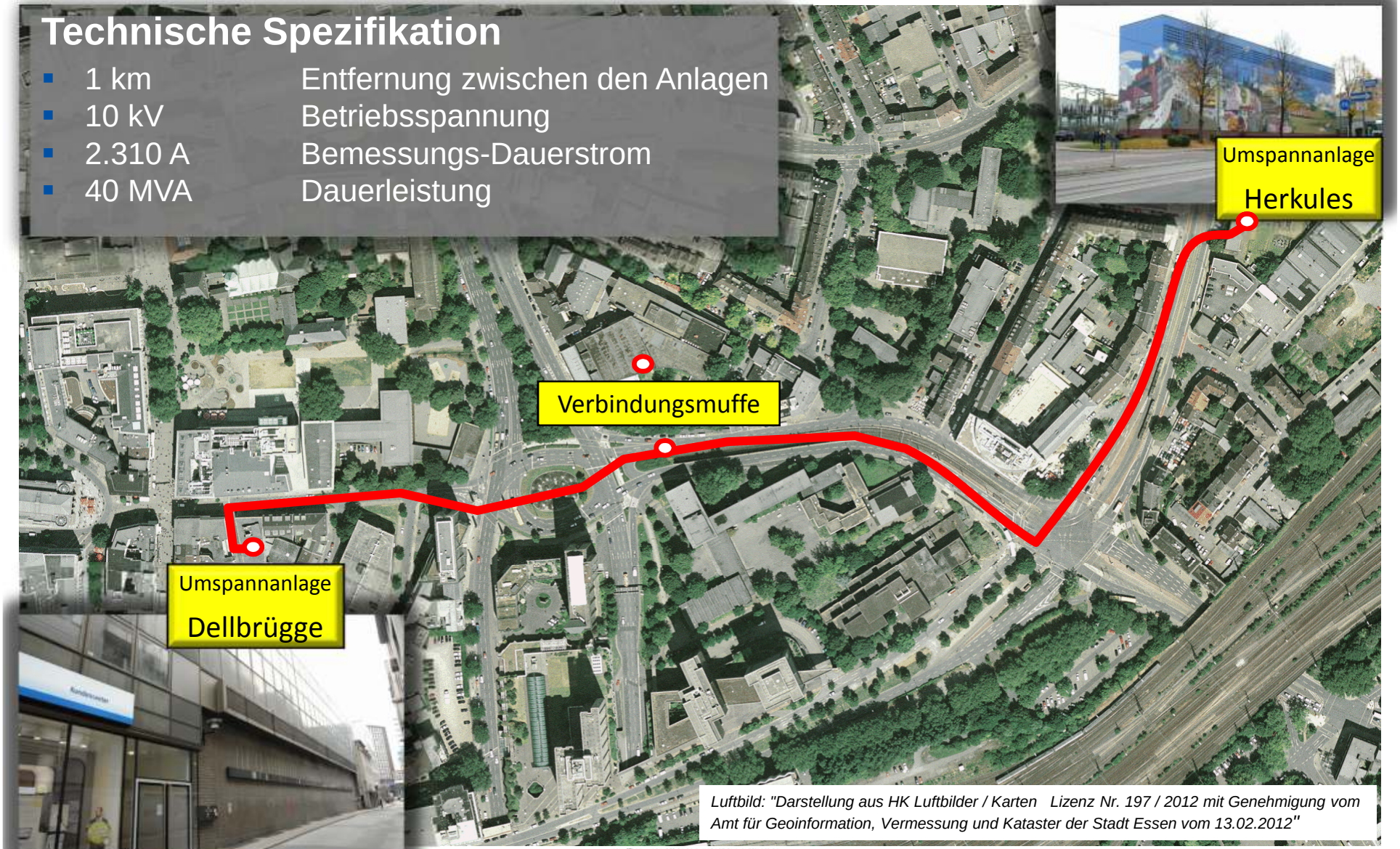
- ✓ Einreichung des Förderantrages an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) am 19.04.2011 und 15.07.2011
- ✓ Eingang des Zuwendungsbescheids des BMWi bei den Konsortialpartnern am 05.09.2011; Zuwendung in beantragter Höhe von 43 % bewilligt
- ✓ Fertigung Prototyp in zweiter Jahreshälfte 2012
- ✓ Abschluss der Typprüfung Anfang 2013
- ✓ Beginn Fertigung Kabelsystem im 1. Quartal 2013
- ✓ Erster Spatenstich in Essen am 09. April 2013
- ✓ Installation des Gesamtsystems im 3. und 4. Quartal 2013
- ✓ Prüfung und erster Inbetriebnahmetest im Dezember 2013

- Testbetrieb 2014 bis 2015/2016
- Auswertung der Ergebnisse und Festlegung weiterer Schritte Anfang 2016

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

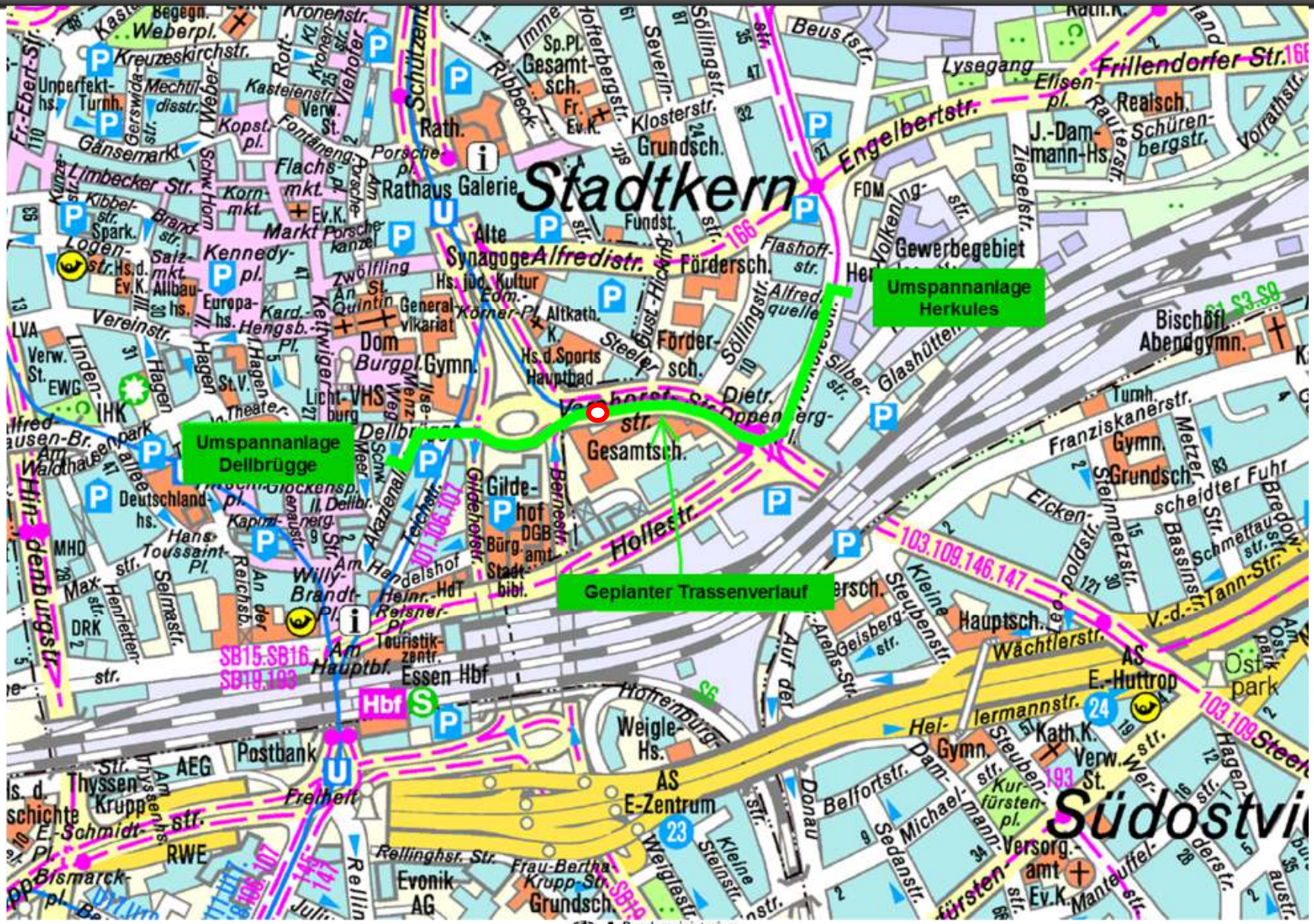
Technische Spezifikation

- 1 km — Entfernung zwischen den Anlagen
- 10 kV — Betriebsspannung
- 2.310 A — Bemessungs-Dauerstrom
- 40 MVA — Dauerleistung



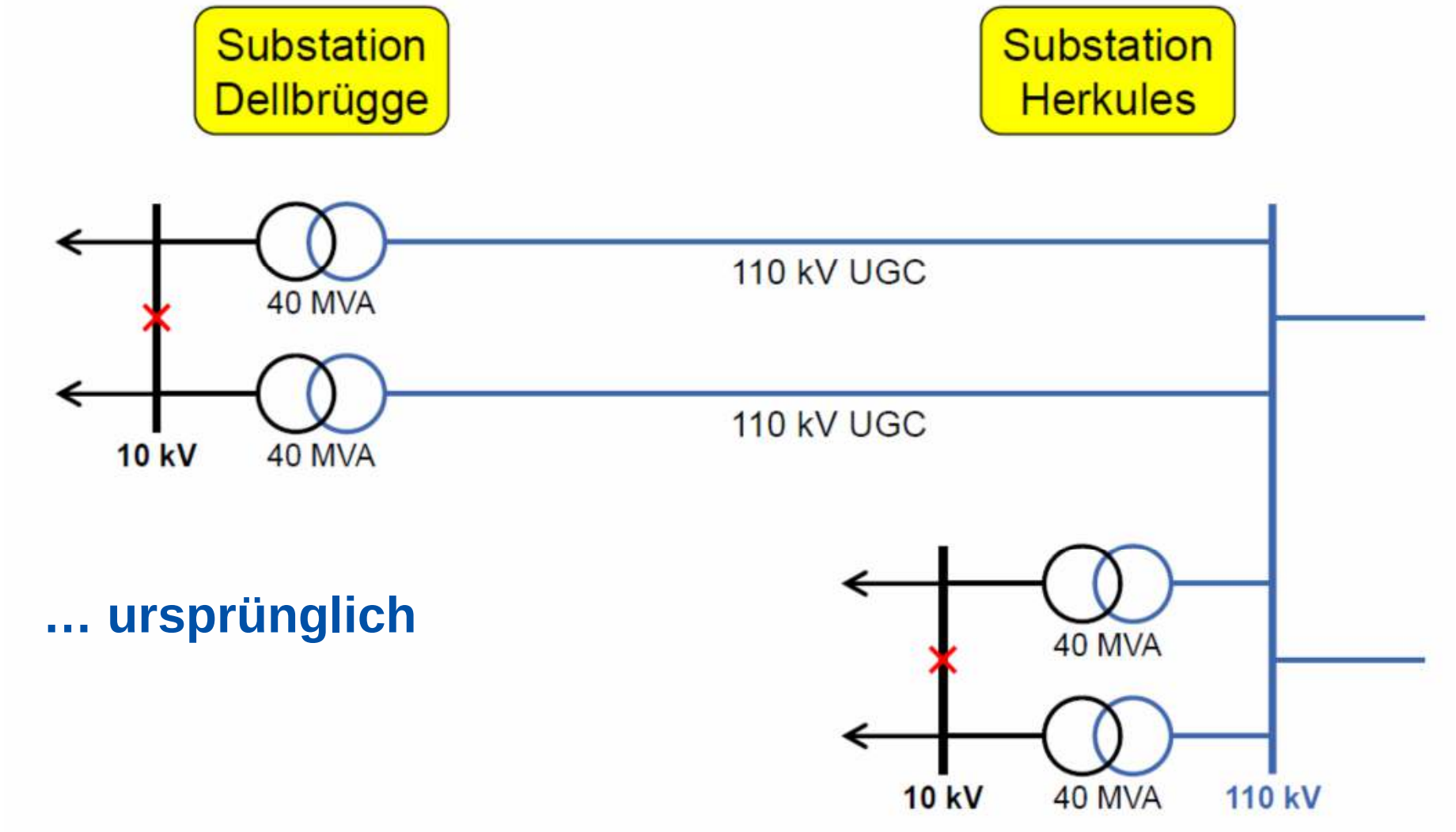
Luftbild: "Darstellung aus HK Luftbilder / Karten Lizenz Nr. 197 / 2012 mit Genehmigung vom Amt für Geoinformation, Vermessung und Kataster der Stadt Essen vom 13.02.2012"

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen



Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

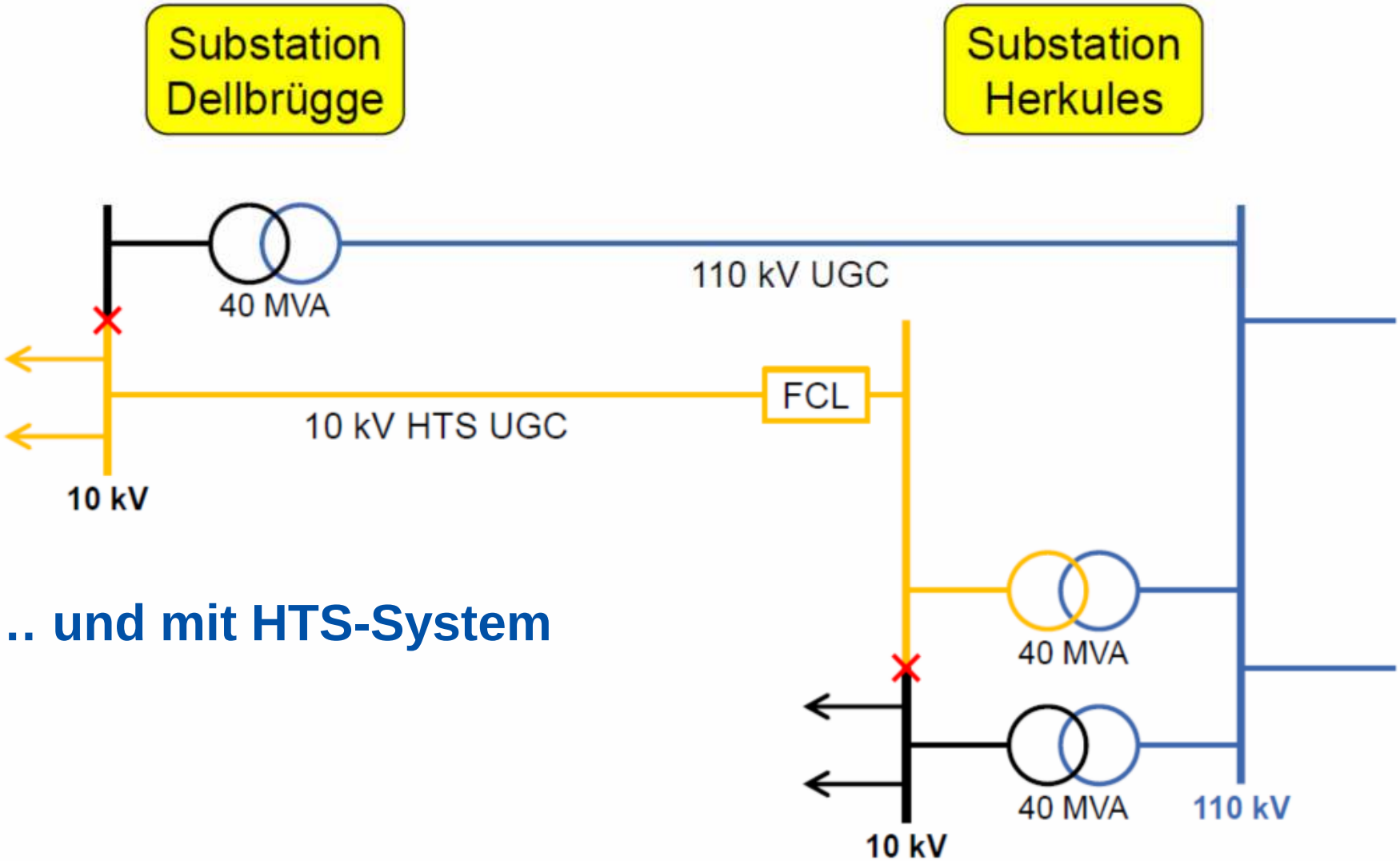
Elektrische Konfiguration



… ursprünglich

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

Elektrische Konfiguration



… und mit HTS-System

Komponenten des HTS-Systems

Überblick

> **Kabelsystem**

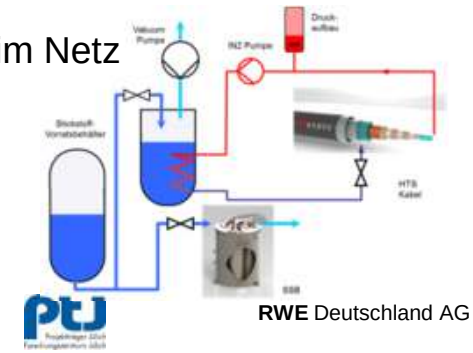
- Kabelader
  - Stromtransport und Spannungsfestigkeit
  - Transport von flüssigem Stickstoff
- Kabelkryostat
  - Thermische Isolierung der Kabelader
  - Transport von flüssigem Stickstoff
- Endverschlüsse
  - Verbindung des Kabels mit Netz / Strombegrenzer,
  - Anschluss Kühlanlage
  - Übergang zwischen Betriebs- und Umgebungstemperatur
- Muffe
  - Verbindung von einzelnen Kabellängen

> **Strombegrenzer**

- Schutz des HTS-Kabels bei Kurzschlüssen im Netz

> **Kühlanlage**

- Bereitstellung Kühlleistung für Kabelsystem und Strombegrenzer



Komponenten des HTS-Systems

Kabel

> **Besonders kompakte Bauform**
  - durch konzentrischen Aufbau

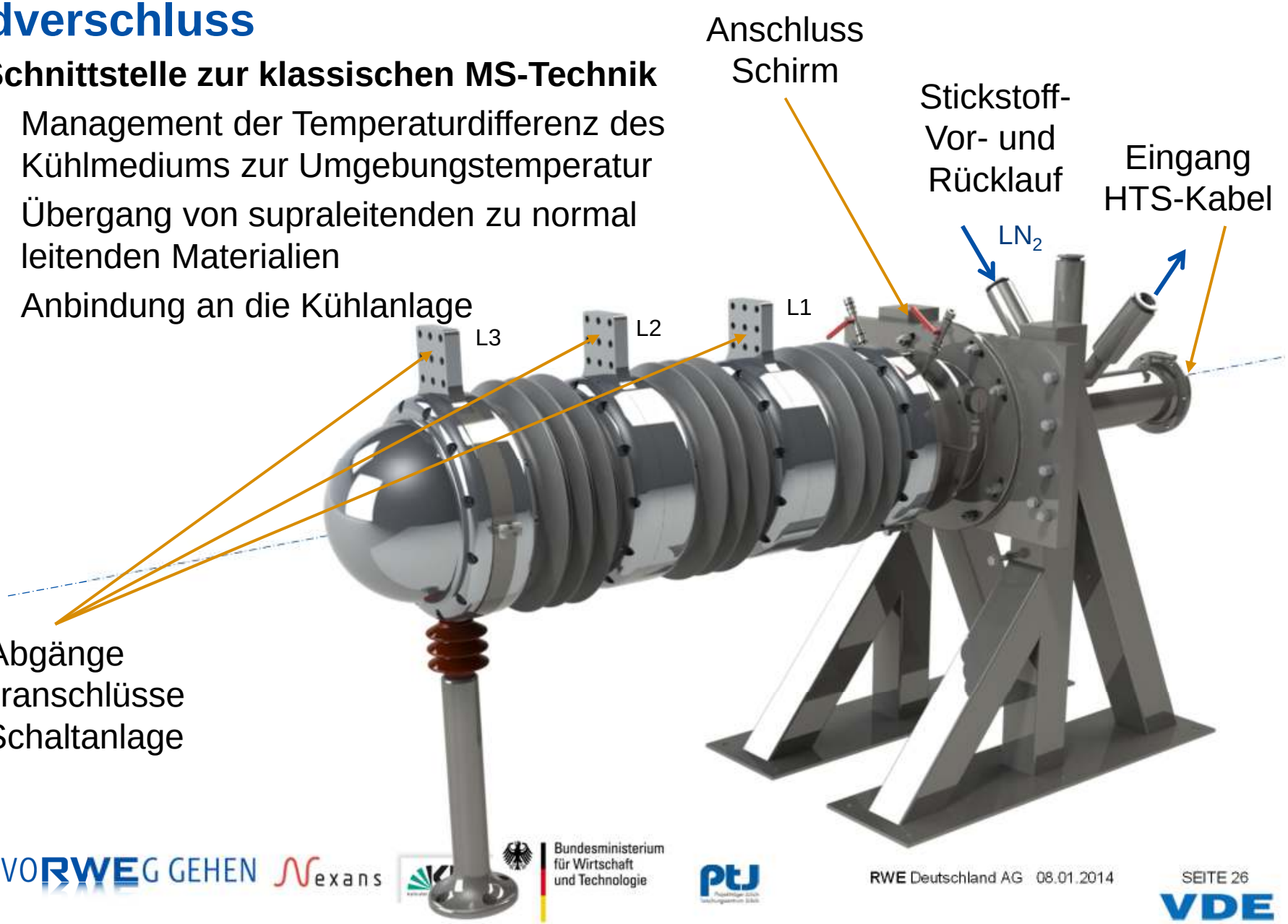
> **Aufbauelemente**
  - Stickstoffrücklauf
  - Rücklaufleitung der Stickstoffkühlung
  - Supraleiterschicht (Leiter L3)
  - Isolierung
  - Supraleiterschicht (Leiter L2)
  - Isolierung
  - Supraleiterschicht (Leiter L1)
  - Isolierung
  - Kupferschirmung
  - Stickstoffvorlauf
  - Kryostat (doppelwandiger, super-isolierter Vakuumbehälter aus ge-welltem Edelstahlrohr)

Komponenten des HTS-Systems

Endverschluss

> **Schnittstelle zur klassischen MS-Technik**

- Management der Temperaturdifferenz des Kühlmediums zur Umgebungstemperatur
- Übergang von supraleitenden zu normal leitenden Materialien
- Anbindung an die Kühlanlage

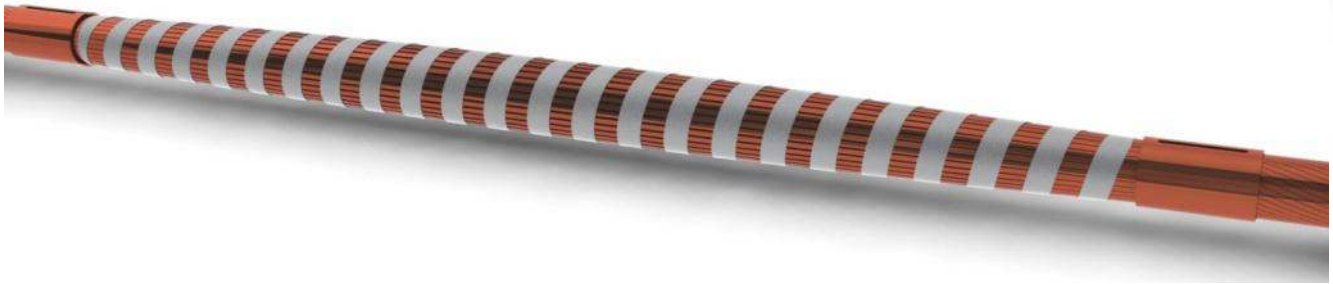


Komponenten des HTS-Systems

Verbindungsmuffe

> **Verbindung von zwei Teillängen etwa auf halber Strecke**

- Kabellänge von ca. 1 km erfordert aus Transportgründen Unterteilung in zwei Sektionen
- Elektrische Verbindung → Kabelader
- Thermische Verbindung → Kryostat



Komponenten des HTS-Systems

Typprüfung

> **Qualifizierung des Systems für die Installation in Essen**

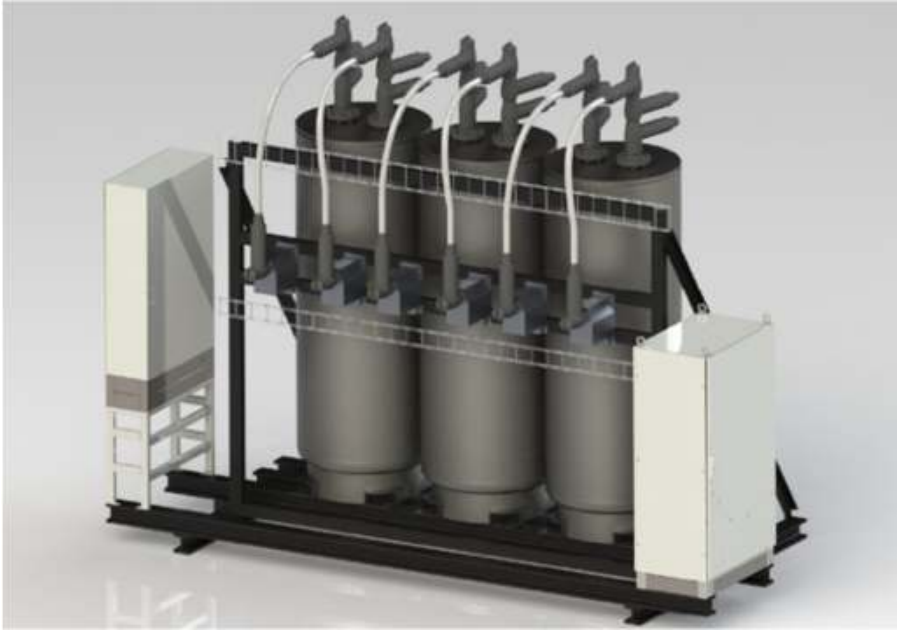
- Versuchsaufbau: zwei Kabelsektionen (ges. 25 m), zwei Endverschlüsse, eine Verbindungsmuffe
- Prüfung in Anlehnung an DIN VDE 0276 und einschlägige IEC-Entwürfe
- Erfolgreicher Abschluss im März 2013
  → Beginn der Komponentenproduktion

Komponenten des HTS-Systems

Supraleitender Kurzschlussstrombegrenzer

> **Reduziert Belastungen der Komponenten bei Kurzschlüssen und somit auch die Anforderungen**

- Schutz des Kabels vor hohen Strömen
- Schutz nachgeschalteter Betriebsmittel vor hohen Kräften und Erwärmungen
- Keine Impedanz im Nennbetrieb
  → „unsichtbar“; kein Einfluss



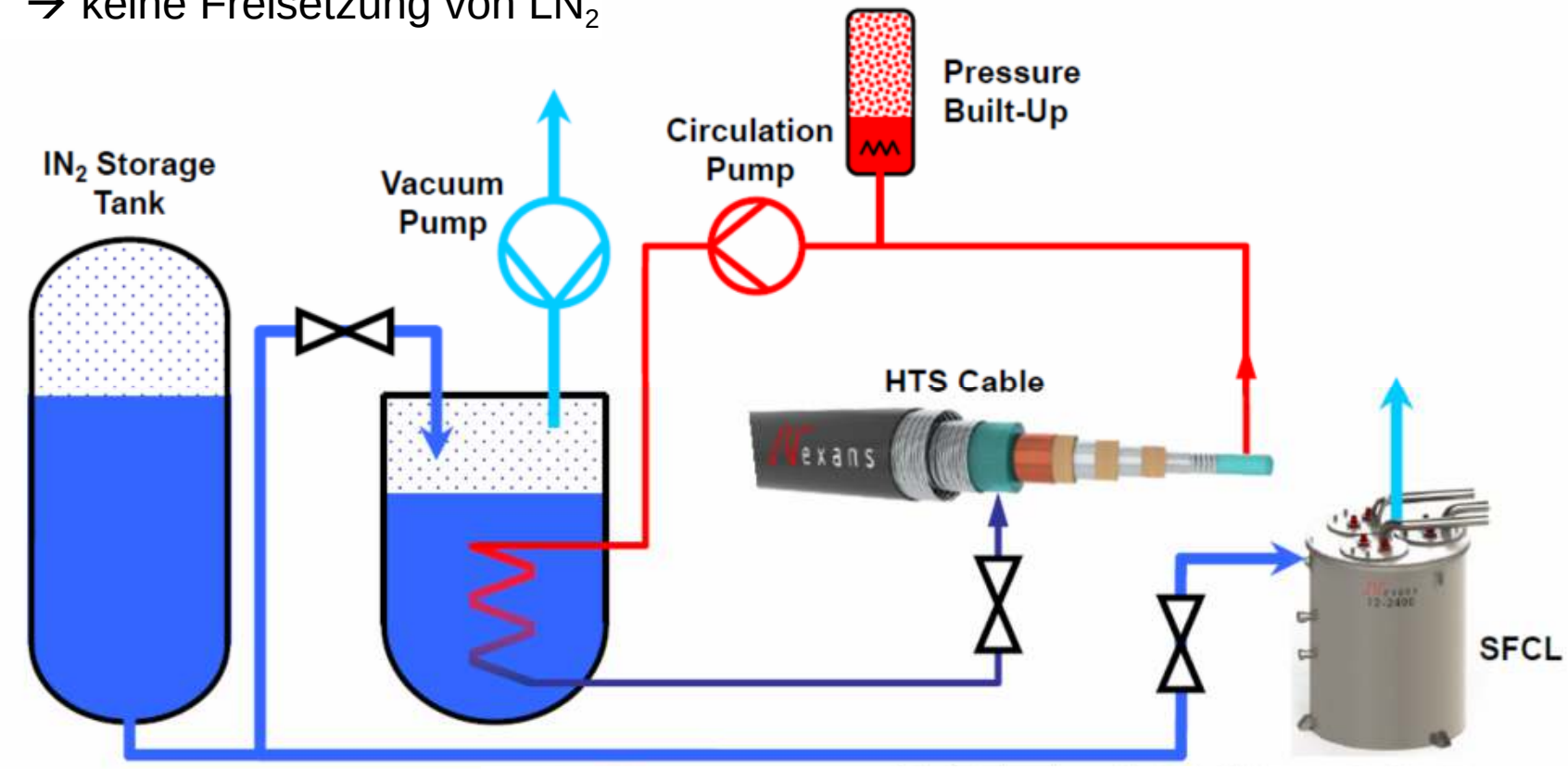
Parameter	Wert
Nennleistung	40 MVA
Nennspannung	10 kV
Betriebsstrom	2,3 kA
Blitzstoß-Prüfspannung	75 kV
Stehwechselspannung	28 kV
Prospektiver unbegrenzter Peakstrom	50 kA
Prospektiver unbegrenzter symmetrischer Strom	20 kA
Begrenzter Peakstrom	< 13 kA
Begrenzter symm. Strom	< 5 kA
Begrenzungszeit	100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

Komponenten des HTS-Systems

Kühlanlage

> **Kältetechnische Versorgung von HTS-Kabelsystem und Strombegrenzer**

- Installation in cityferner Umspannstation
- Flüssiger Stickstoff zirkuliert als Kühlmittel im geschlossenen System
  → keine Freisetzung von LN_2



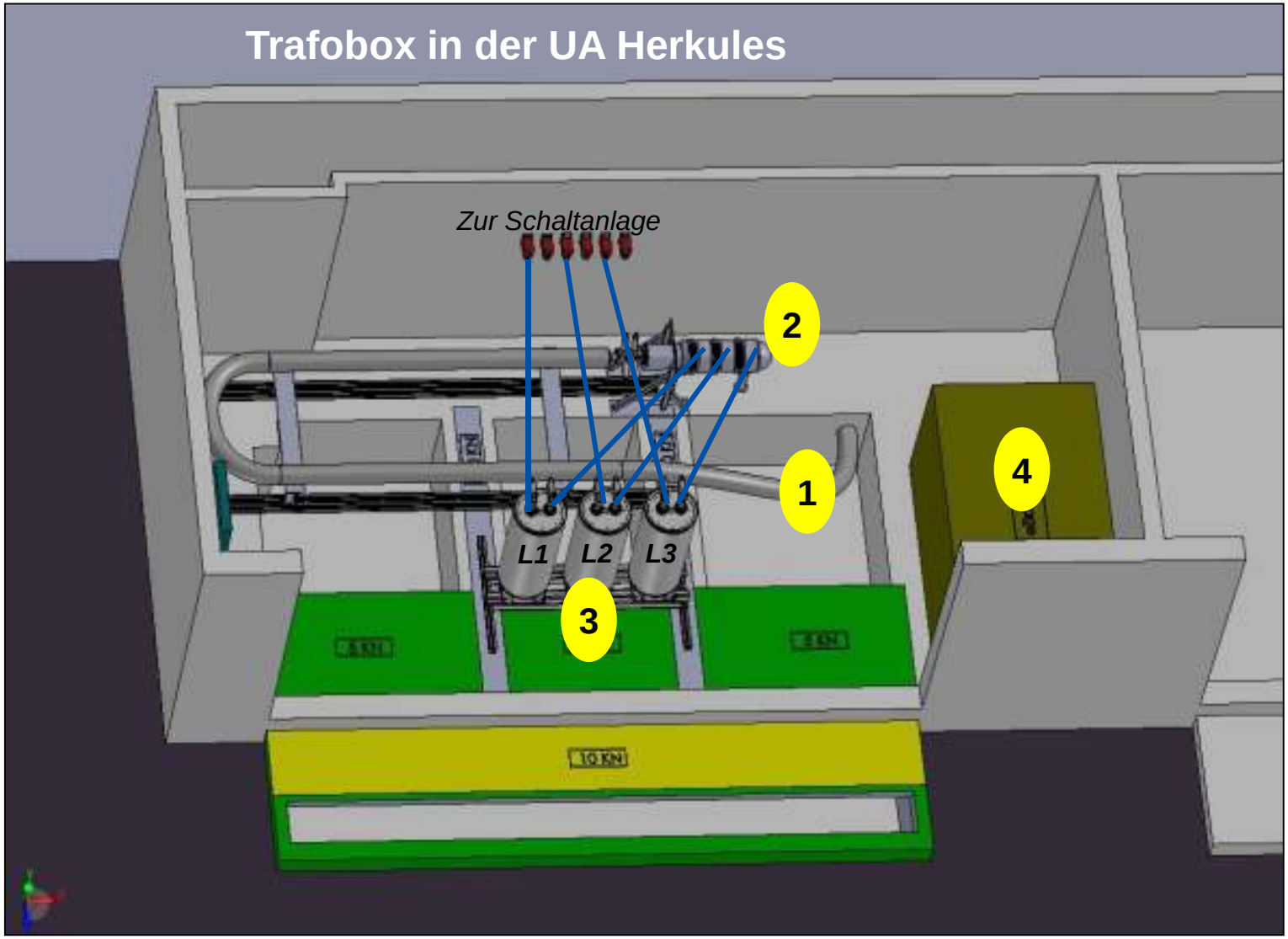
Komponenten – Anordnung vor Ort

1 Kabel

2 Endver-
schluss

3 Strombe-
grenzer

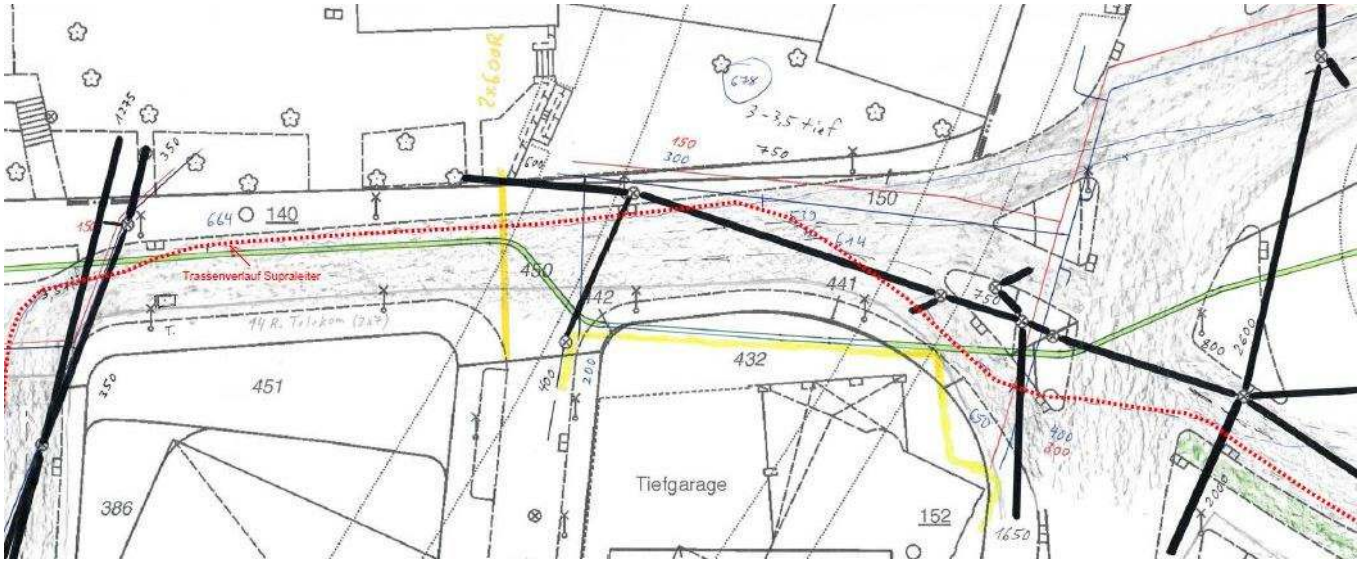
4 Kühlanlage



Festlegung des Trassenverlaufs in der Innenstadt von Essen

> **Umfangreiche Planung erforderlich**

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



Trassenplanung und -bau

Tiefbau als wesentliche Komponente der Projektumsetzung

> **Reduzierung des Aufwands und der Beeinträchtigungen**
- Vorteil: geringerer Platzbedarf des HTS-Systems
- Aufteilung in Bauabschnitte
- Legung von Leerrohren, später Kabeleinzug

> **Erfolgreiche Realisierung**
- Enge Kooperation mit Behörden und weiteren Beteiligten
- Auswahl von Verfahren und Dienstleistern
- Optimierte Verkehrsführung
- Einhaltung aller Auflagen
- Arbeitssicherheit
- Straffe Planung
- Präsenz auf den Baustellen

Trassenplanung und -bau

Anwendung verschiedener Verfahren

> **Offene Bauweise mit Leerrohren**
- Kurze Bauabschnitte, hohe Effizienz
- Legung zusätzlicher Leerrohre

> **Stollenbauverfahren**
- Bergmännischer Ausbau zur Querung mehrgleisiger Bahnanlage mit Weiche und Kreuzung
- Geringe Wahrscheinlichkeit von Boden- und Gleissetzungen

> **Rammverfahren**
- Kreuzung einer Stadtbahnlinie

Besuch vom Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

> **Herr Dr. Rösler**

- An der Baustelle in Essen am 2. August 2013

Installation und Inbetriebnahme

Voraussetzung für die Installation waren bauliche Aktionen zeitgleich mit der Produktion der Komponenten

- **Tiefbauarbeiten im Zeitraum April bis September 2013**
  - Legung von Leerrohren; komplette Oberflächen-wiederherstellung 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

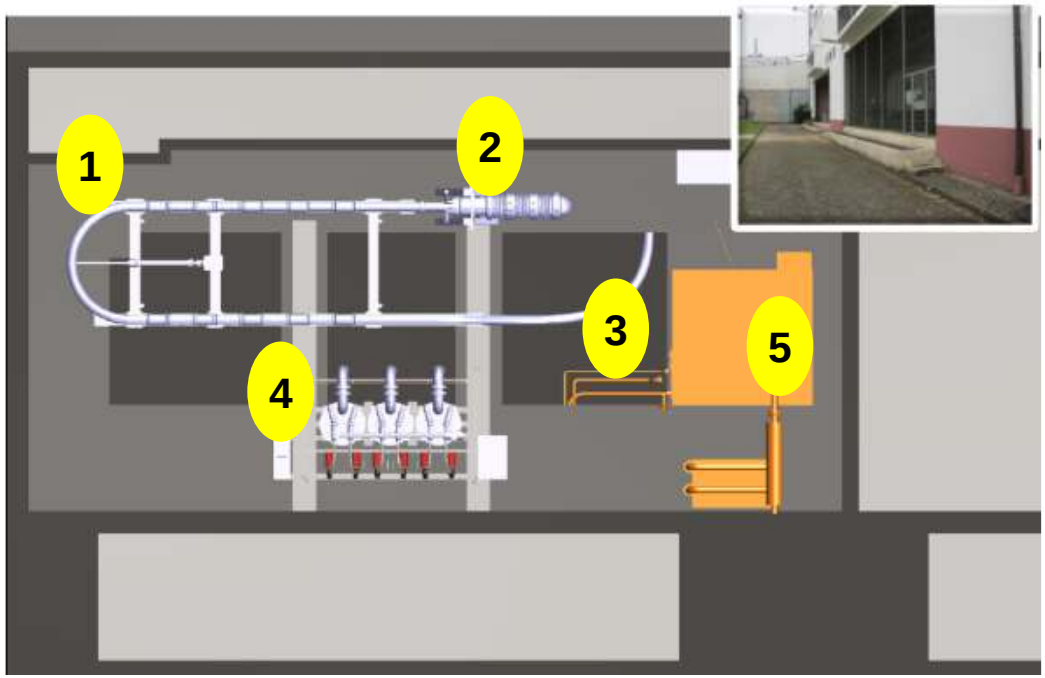
Installation und Inbetriebnahme

Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> **Kabelanlage**
- Einziehen des Kabels in vorab gelegte Leerrohre in zwei Sektionen
- Montage der Verbindungsmuffe
- Einbau der U-Bögen (1) zur Kabelaufnahme in beiden UA
- Installation der Endverschlüsse (2) und Anschluss des Kabels (3) in beiden UA

> **Strombegrenzer**
- Installation (4) und Verbindung mit dem HTS-Kabel

> **Kühlanlage**
- Einbau der Anlage (5) sowie des Stickstofftanks und Einbindung in das HTS-System



Installation und Inbetriebnahme

Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> **Kabelanlage**

- Anlieferung und Einzug des Kabels

Installation und Inbetriebnahme

Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> **Kabelanlage**

- Montage der U-Bögen (UA Dellbrügge, UA Herkules)
- Anschluss des Kabels (UA Herkules)

Installation und Inbetriebnahme

Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> **Kühlanlage**

- Aufstellung des Stickstofftanks (UA Herkules)
- Einbau der Kühlanlage (UA Herkules)

Installation und Inbetriebnahme

Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> **Kabelanlage**
- Einrichtung der Muffengrube (Varnhorststraße)

> **Strombegrenzer**
- Einbau (UA Herkules)

Installation und Inbetriebnahme

Inbetriebnahme nach Einbau aller Systemkomponenten

> **Vorbereitungen**

- Vervollständigung der **Kühlmittelkreisläufe** mit Vakuum isolierten Leitungen
- Herstellung der Verbindungen zu den entspr. **Schaltfeldern** in beiden UA
- Verbindung der **Signal- und Steuerleitungen** der HTS-Komponenten, der Kühlanlage und aller Kontrollsysteme untereinander und mit dem übergeordneten System der Netzführung

> **Erster Schritt der Inbetriebnahme**

- Validierung aller **Kontrollsysteme** für Steuerung und Überwachung als Voraussetzung für ordnungsgemäßen Betrieb
- **Spülen** des HTS-Kabels mit gasförmigem, warmem Stickstoff (Reinigung)

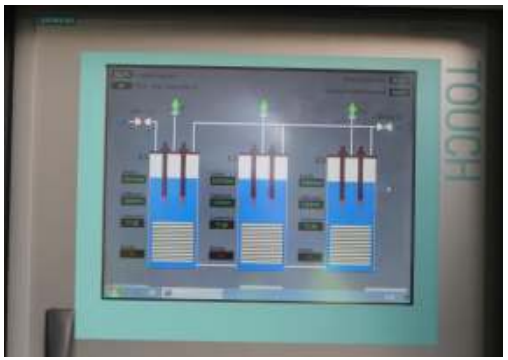
> **Kaltfahren des Systems**

- Nach Reinigung Absenkung der Vorlauftemperatur des Stickstoffs, Abkühlung des Kabels bis zur **Verflüssigung** des Stickstoffs
- Füllung mit Flüssigstickstoff und weitere Abkühlung bis zur Erreichung einer mittleren **Betriebstemperatur** von ca. -200 °C bei unterkühltem Stickstoff (mehrere Tage)
- Parallel dazu Abkühlung des Strombegrenzers auf Betriebstemperatur

Inbetriebnahme - Vorbereitung

> **Befüllung des Stickstofftanks**

- Füllung mit flüssigem Stickstoff



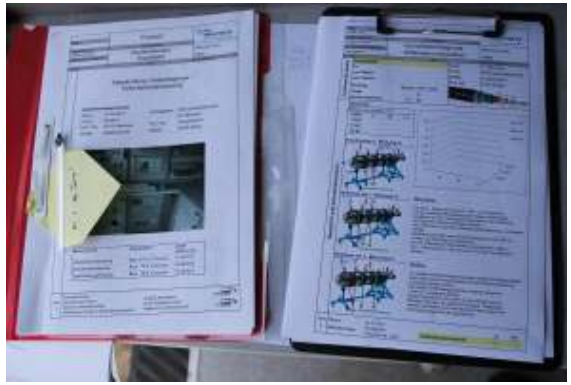
Inbetriebnahme - Vorbereitung

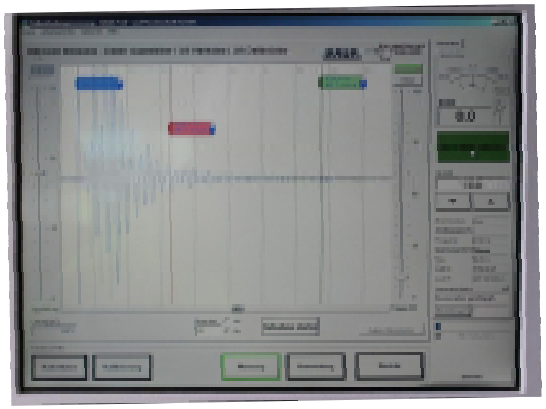
> **Kabelprüfung in Anlehnung an Vorschriften in DIN VDE 0276-620 und IEC-Entwürfen**

- Spannungsprüfung
- Verlustfaktormessung
- Teilentladungsmessung

Inbetriebnahme - Vorbereitung

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





Installation und Inbetriebnahme

Komplette Integration des HTS-Kabelsystems in das vorhandene Verteilungsnetz in der Innenstadt von Essen

> **Nach Erreichen eines eingeschwungenen Zustands der Betriebstemperatur**

- Prüfung vor Inbetriebnahme wie bei konventionellen Kabeln Mitte Dezember, in Anlehnung an Vorschrift in DIN VDE 0276 (Kabelmesswagen zur Spannungsprüfung mit erhöhtem Pegel, Prüfung auf Teilentladungsfreiheit)
- Nach erfolgreicher Durchführung der Prüfung Zuschaltung des HTS-Systems in das Mittelspannungsnetz und Aufnahme des regulären Betriebs
- Erster Inbetriebnahmetest Ende Dezember 2013
- „Offizielle“ Inbetriebnahme voraussichtlich im Januar 2014

Installation und Inbetriebnahme

„Bilderstrecke“

Installation und Inbetriebnahme

„Bilderstrecke“

Installation und Inbetriebnahme

„Bilderstrecke“

Installation und Inbetriebnahme

„Bilderstrecke“

Feldversuch im Rahmen des Förderprojekts „AmpaCity“ für die Dauer von zwei Jahren

> **Basis für die Entscheidung zum weiteren Ausbau von Trassen mit HTS-Systemen**

- Umfassende technische und wirtschaftliche Bewertung nach Abschluss des Feldversuchs
- Mögliches Szenario für RWE Deutschland: Ausbau eines „HTS-Cityrings“ mit einer Länge von rund 20 km zur vollständigen Versorgung der Innenstadt, mit entsprechendem Rückbau von 110-kV-Anlagen
- Bedeutende Signalwirkung für die zukünftige Gestaltung von Stromverteilungs-netzen 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
- HTS-Technologie ist auch schon kurzfristig wirtschaftlich einsetzbar, wenn positive Sekundäreffekte hinzu kommen

Zusammenfassung

Die HTS-Technologie hat großes Zukunftspotenzial und ist ein wichtiger Baustein zur Realisierung künftiger effizienter Netzstrukturen

> **Die Machbarkeitsstudie der RWE Deutschland zeigte u. a.:**
- Einsatz supraleitender Mittelspannungskabelsysteme ermöglicht Entfall von Umspannanlagen in Ballungsgebieten
- Einfachere (“smarte”) Netzstrukturen bei geringerem Trassen- und Raumbedarf durch Netzausbau mit HTS-Kabeln

> **Auf Basis der Studie wird erwartet, dass Supraleitung zunehmend wirtschaftlich konkurrenzfähig zu konventioneller Technik sein wird**
- Weltweit deutliche Erhöhung der Produktionskapazität supraleitender Bänder
- Automatisierung und Optimierung der Fertigung, Mengeneffekte bei Kühlanlagen
- Deutliche Reduzierung des Entwicklungsaufwands bei Serienfertigung
- Optimierte Randbedingungen und Verfahren bei Kabellegung

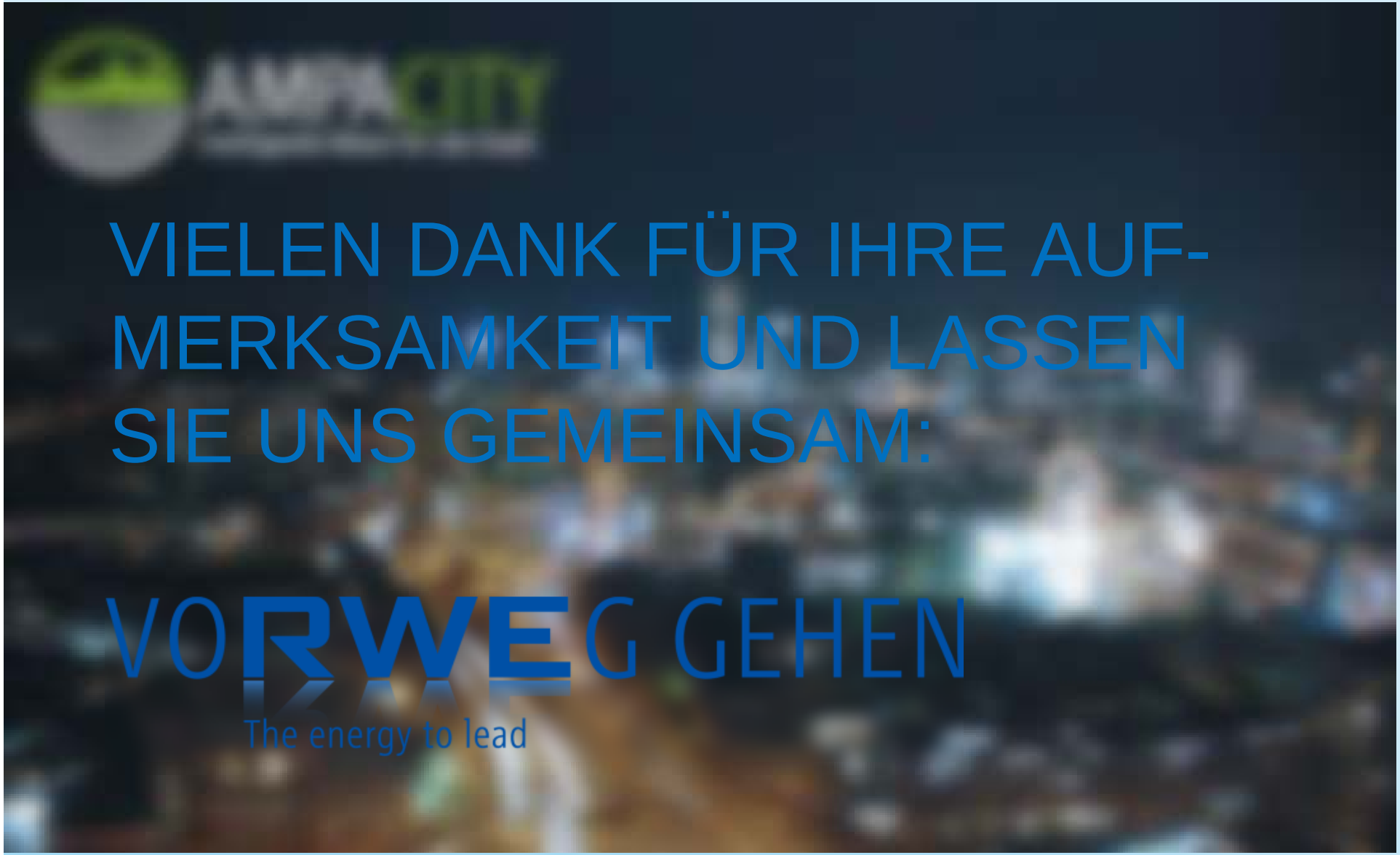
> **Erprobung des supraleitenden Kabels im Praxiseinsatz bei RWE**
- Feldtest bis Anfang 2016 soll Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit bestätigen

Kontakt

Dr. Frank Merschel

RWE Deutschland AG
Neue Technologien/Projekte
Kruppstraße 5, 45128 Essen
T intern 70-29389
T extern +49 201 12-29389
F extern +49 201 12-12 29389
M +49 152 5470 5666
mailto: frank.merschel@rwe.com

Notizen



mit zukunftsweisenden Technologien