



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

„AmpaCity“

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



VDE / IHK Forum Technische Innovationen

Köln, 10. September 2015

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



Kurze Vorstellung RWE Deutschland

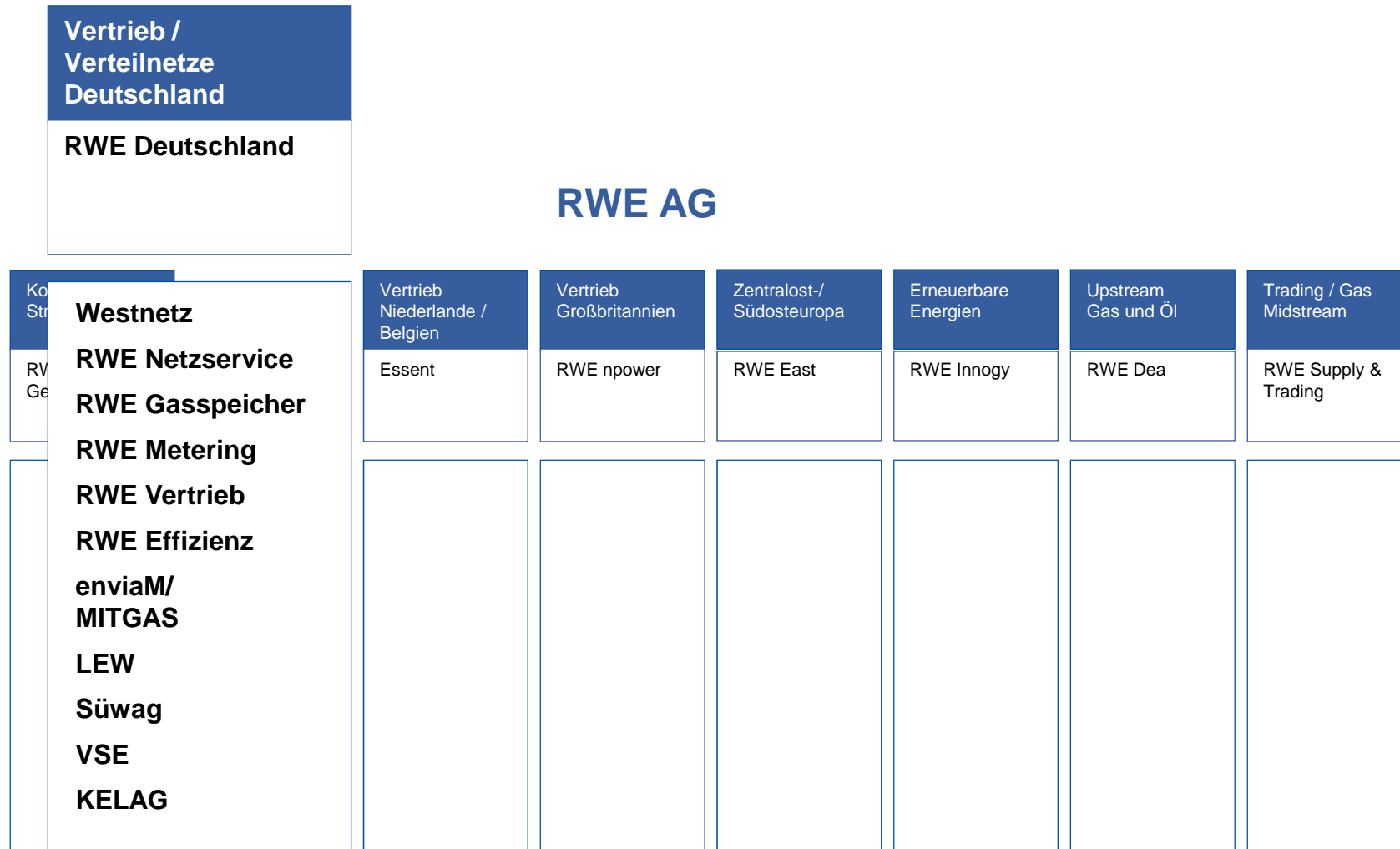
Wir spielen eine starke Rolle im RWE-Konzern

RWE AG

Konventionelle Stromerzeugung	Vertrieb / Verteilnetze Deutschland	Vertrieb Niederlande / Belgien	Vertrieb Großbritannien	Zentralost-/ Südosteuropa	Erneuerbare Energien	Upstream Gas und Öl	Trading / Gas Midstream
RWE Generation	RWE Deutschland	Essent	RWE npower	RWE East	RWE Innogy	RWE Dea	RWE Supply & Trading
	Westnetz RWE Netzservice RWE Gasspeicher RWE Metering RWE Vertrieb RWE Effizienz enviaM/ MITGAS LEW Süwag VSE KELAG						

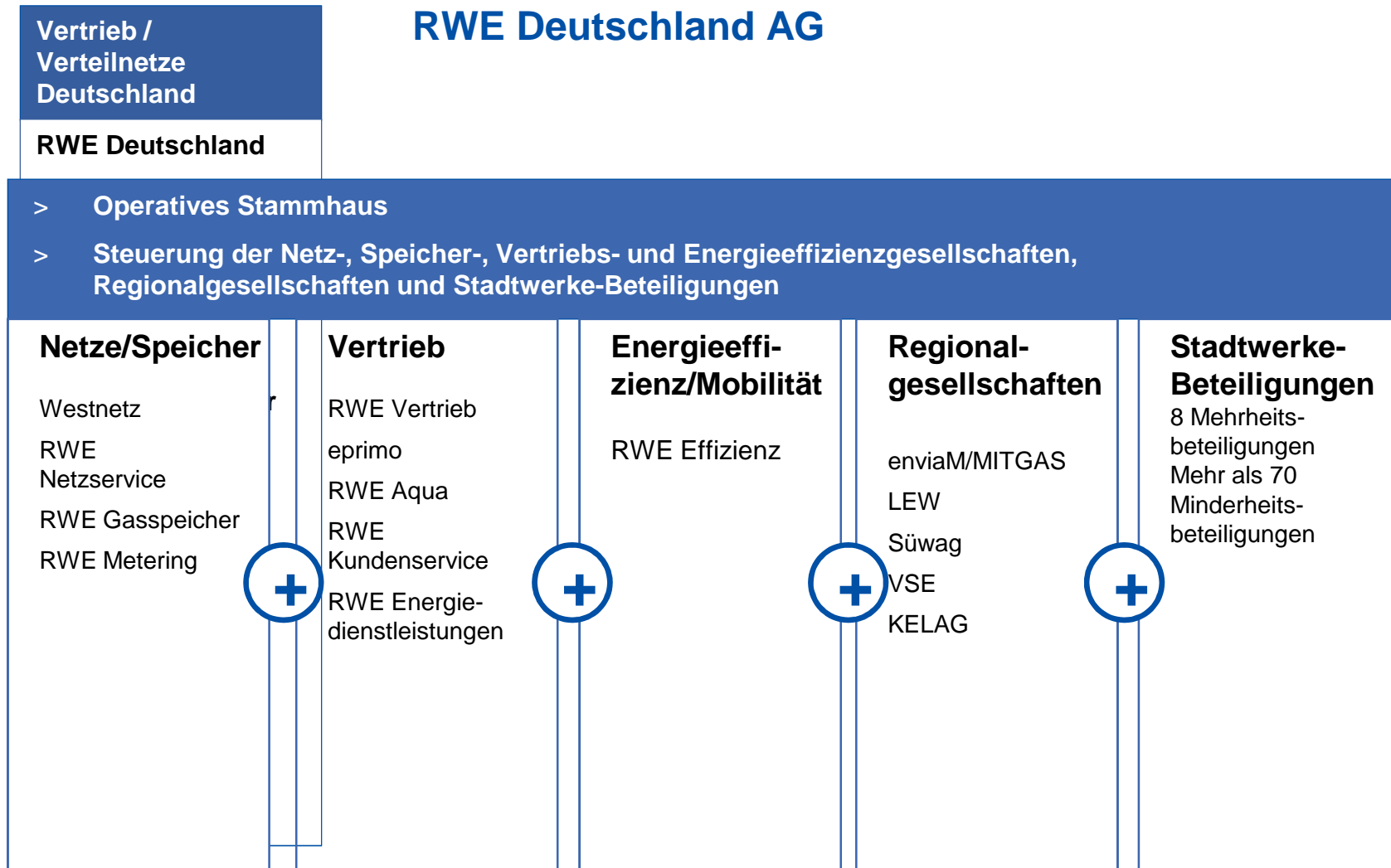
Kurze Vorstellung RWE Deutschland

Wir spielen eine starke Rolle im RWE-Konzern



Kurze Vorstellung RWE Deutschland

Wir bündeln Kompetenzen unter einem Dach



Kurze Vorstellung RWE Deutschland

Wir sind ein führender Energieversorger am Markt

Vertrieb /
Verteilnetze
Deutschland

RWE Deutschland

Westnetz

RWE Netzservice

RWE Gasspeicher

RWE Metering

RWE Vertrieb

RWE Effizienz

enviaM/
MITGAS

LEW

Süwag

VSE

KELAG

RWE Deutschland AG

Kennzahlen

Umsatz	25,7 Mrd. €
Investitionen	1,0 Mrd. €
Mitarbeiter	19.708
Auszubildende	1.482

Netzlänge

Strom	330.000 km
Gas	48.000 km
Wasser	9.100 km

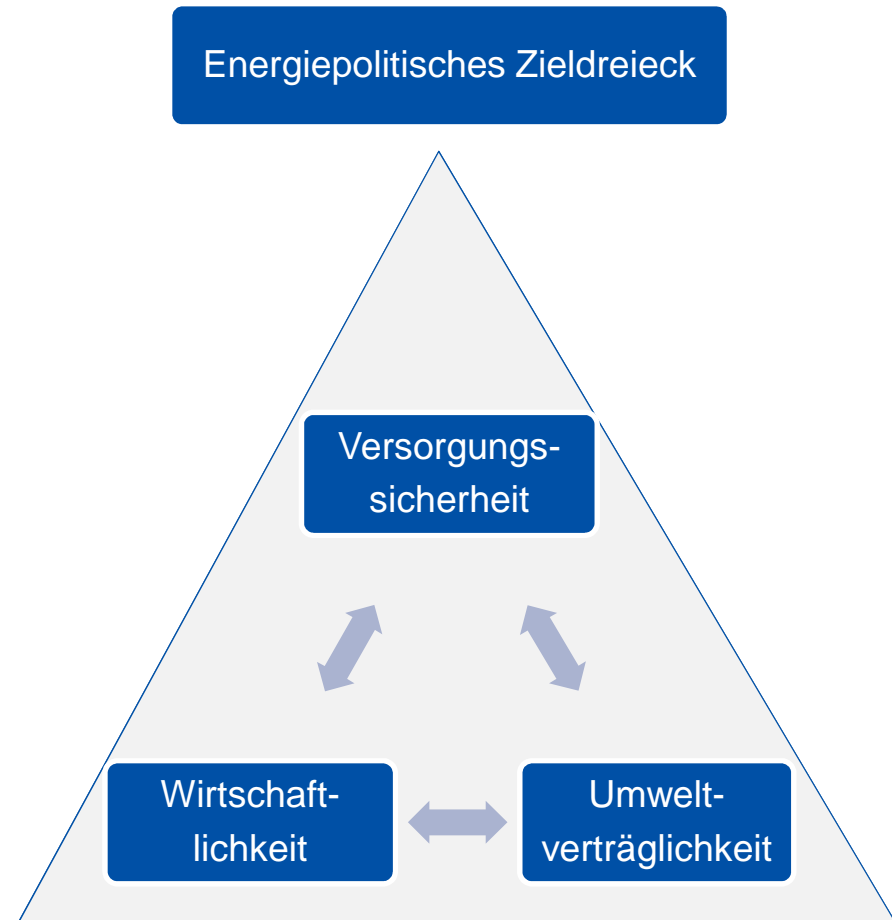
Liefermengen (Netz)

Strom	150 TWh
Gas	90 TWh
Wasser	150 Mio. m ³

Kurze Vorstellung RWE Deutschland

Wir sind Mitgestalter der Energiewende

- > Herausforderungen an Verteilnetze weiter steigend
- > Komplexität in den Verteilnetzen stetig wachsend
- > Trend zur weiteren Flexibilisierung der Verteilnetze unter Einbeziehung von Nutzer-Flexibilitäten
- > Kunden werden aktive Partner der Energiemärkte
- > Weiterer Einzug von IKT, damit auch Herausforderung an Ausbildung
- > Vielzahl von Lösungsansätzen auch branchenübergreifend in Erprobung



Kurze Vorstellung RWE Deutschland

„Smart Grids“ - die Energiewende findet im Verteilnetz bereits statt

„Smart Operator“ (Rheinland-Pfalz u. Bayern)



- > Dezentrale IKT-Lösung als Antwort auf dezentrale Energieerzeugung
- > Projekte mit bis zu 200 Haushalten in Kisselbach und Wincheringen sowie Schwabmünchen



Hochtemperatur-Leiteseil (Hunsrück)

„Smart Country“ (Eifel)

- 1 Biogasanlage
- 2 Biogasspeicher als Stromspeicher
- 3 Blockheizkraftwerk
- 4 Fotovoltaikanlage
- 5 Moderne Spannungsregler
- 6 Windkraftanlage





- Übersicht
- Ausgangssituation und Motivation
- 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
- Betrieb
- Ausblick
- Zusammenfassung

Energieversorgung im Wandel

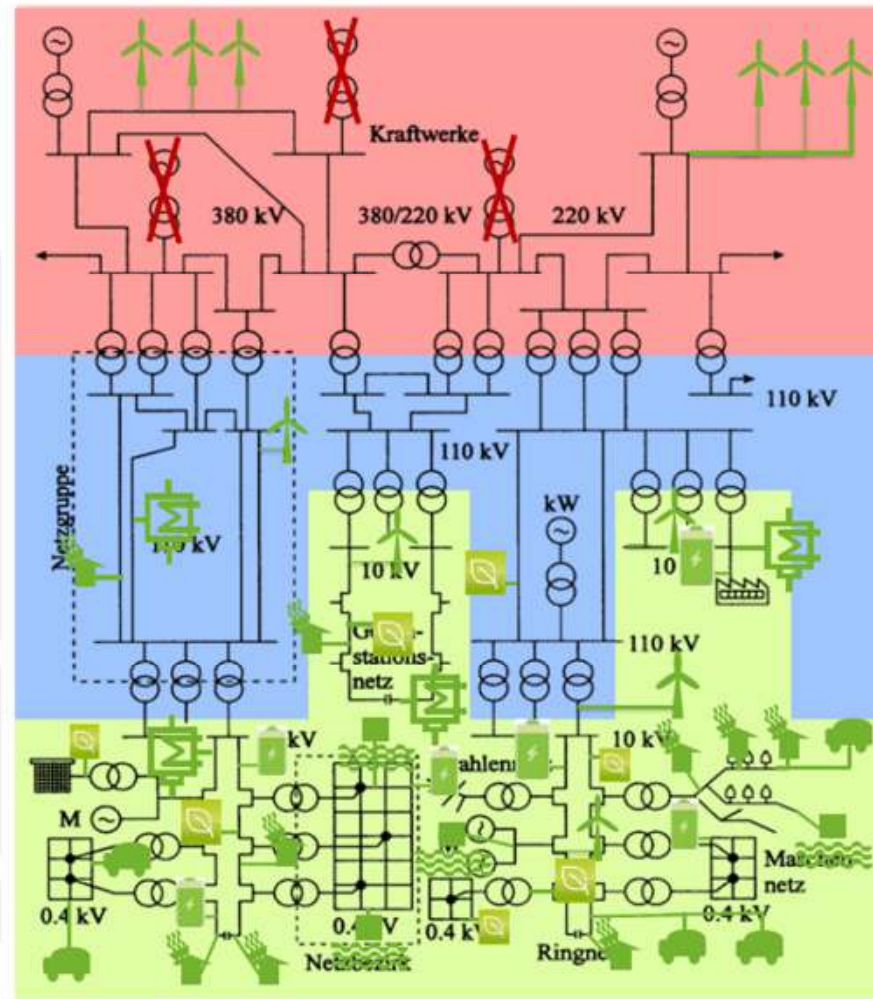
Veränderte Einspeisung

- Windkraft
- Photovoltaik
- Kernenergie-Ausstieg
- Blockheizkraftwerke
- Biomasse

Neue elektr. Verbraucher

- Elektrofahrzeuge
- Wärmepumpen

Elektr. Speicher



Forderungen nach

- regenerativen Energien
- höherer Energieeffizienz

Dies betrifft

- die Energieproduktion
- die effiziente Verteilung der Energie

Das bedeutet für Netzbetreiber:

- neue Wege
- neue Konzepte
- neue Lösungen

→ **Innovative Technologien**

- z. B. Supraleitung

Quelle: Prof. M. Zdrallek, Bergische Universität Wuppertal;
1. Wuppertaler Energie-Forum, 20. Januar 2012

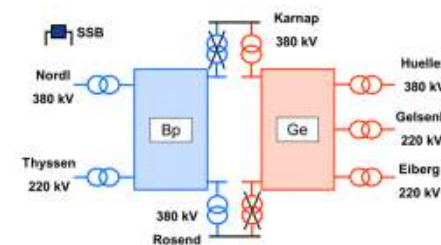
Wir beschäftigen uns schon länger mit Supraleitern Curl10

- > **Erfahrungen bereits seit mehr als fünfzehn Jahren**
 - Feldtest supraleitender 10-kV-Kurzschlussstrombegrenzer 2004/2005
 - Überlegungen zur Kupplung von 110-kV-Netzgruppen mit SSB → Einsparung Netzkuppeltrafo



10 MVA, 3-phasig, resistiv

- > **Schlankere Netze durch Einsatz supraleitender Kabel?**
 - Gleiche Leistung auf niedrigerer Spannungsebene
 - Erste Prototypen schon vor vierzig Jahren



- > **Neue Anforderungen an Verteilungsnetze**
 - Optimierung klassischer Betriebsmittel vs.
 - Entwicklung und Netzerprobung neuer Betriebsmittel bis zur Praxisreife



Supraleitendes 60-kV-Kabel
Prototyp 1978

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 Vorteile und bieten nur eingeschränkte Möglichkeiten für Trassen
- beanspruchen wegen hoher Spannungen belegen hochpreisige Standorte

> Alternative?

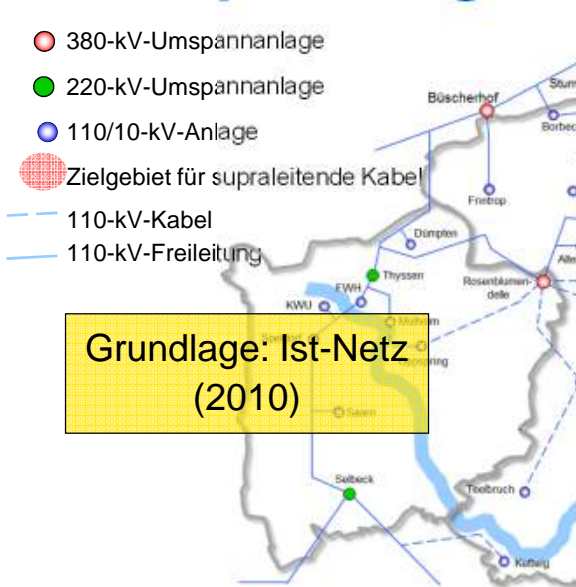
- Supraleitende Betriebsmittel?

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“

Hochspannungsnetz im Bereich Essen/Mülheim



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

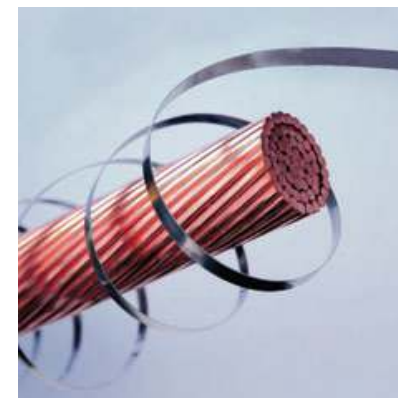
Innenstadtrichtung
supraleitenden
Mittelspannungskabeln?



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**
- somit - je nach Querschnitt - eine begrenzte **Übertragungsfähigkeit**



Kupferleiter und Supraleiterband mit gleichem Stromtragevermögen.

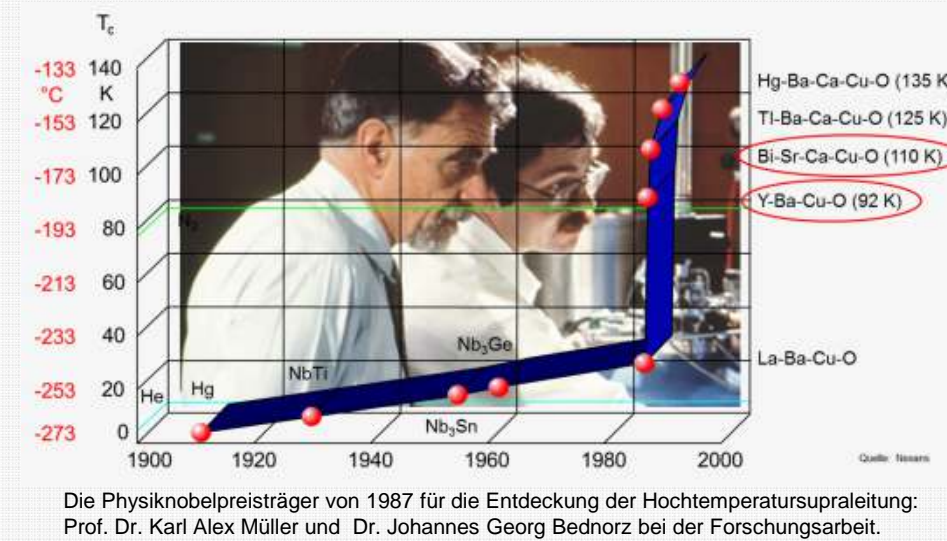
Supraleitende Werkstoffe dagegen

- 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

Flexible Supraleiterbänder mit hoher Stromtragfähigkeit

- für **energietechnische** und industrielle Anwendungen werden heute kommerziell hergestellt.

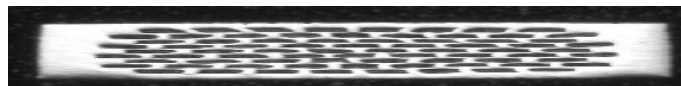
Höchste Stromdichten (100 ... 10.000 A/mm²)
Vernachlässigbarer Widerstand



Supraleitende Drähte für Kabelanwendungen

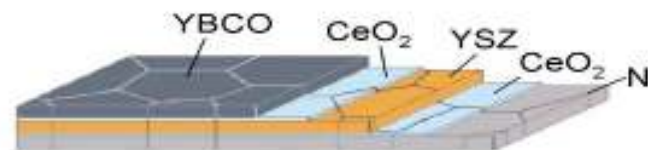
> $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (Bi-2223) - "BISCCO"

- 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



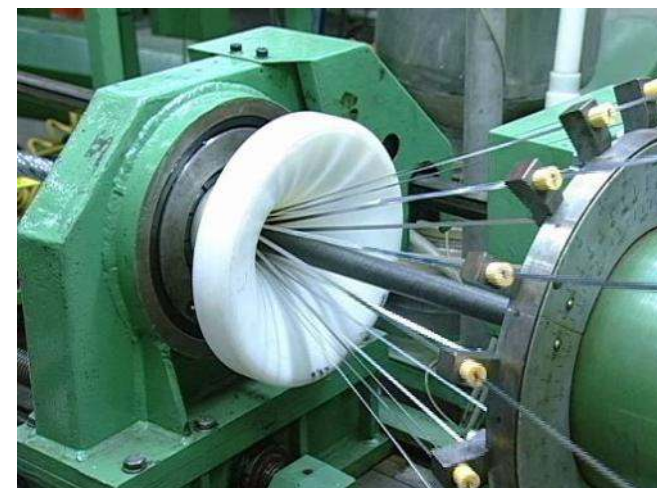
> $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (Y-123) - "YBCO"

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



Quelle: Nexans

Die Kabel werden auf konventionellen Verseilmaschinen hergestellt



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



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

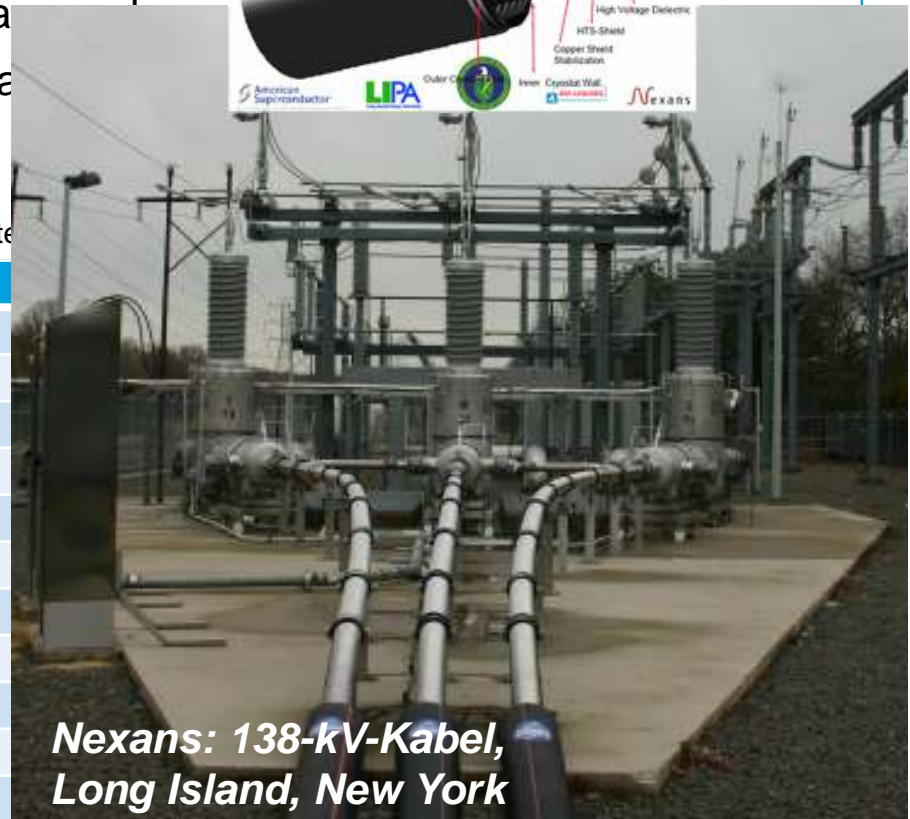
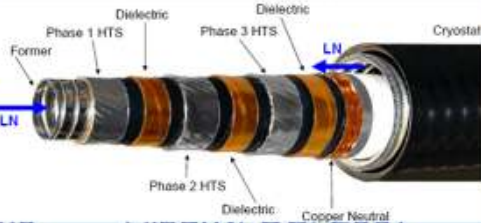
Weltweit wurden bereits einige Pilotprojekte realisiert – meist nur kurze Längen und über relativ kurze Zeit

- > Die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit ist aufgrund () zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht gegeben
- > Der Einsatz ist bisher nur über kurze Distanzen
- > Bislang wurde weltweit noch kein Mittelspannungsnetz zwischen zwei Umspannanlagen eingesetzt



Übersicht über bisher beendete Projekte auf dem Gebiet supraleitender Kabel

Hersteller	Ort/Land/Jahr	Typ
Furukawa	Yokosuka, JF, 2004	CD
Innospower	Yulinan, CN, 2004	WD
Sumitomo		CD
→ Ultra		Triax
Sumitomo		CD
LS Cable		CD
Sumitomo		CD
Nexans	Hannover, D, 2007	CD
→ Nexans	Long Island, US, 2008	CD
Nexans	Spain, 2008	CD
Nexans	Spain 2009	CD



Vor dem möglichen Probereinsatz 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

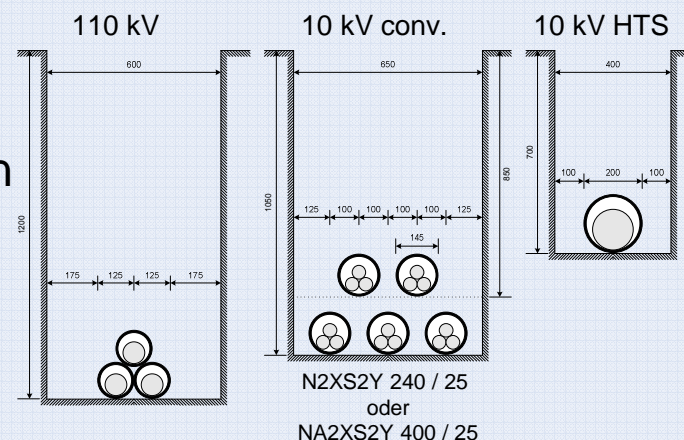
- Nexans Deutschland
- Nexans SuperConductors



**Unabdingbare Voraussetzung:
Supraleitende Betriebsmittel
müssen in bestehende Netze
integrierbar sein und mit
konventioneller Technik
harmonieren.**

Moderne Technik auf einen Blick

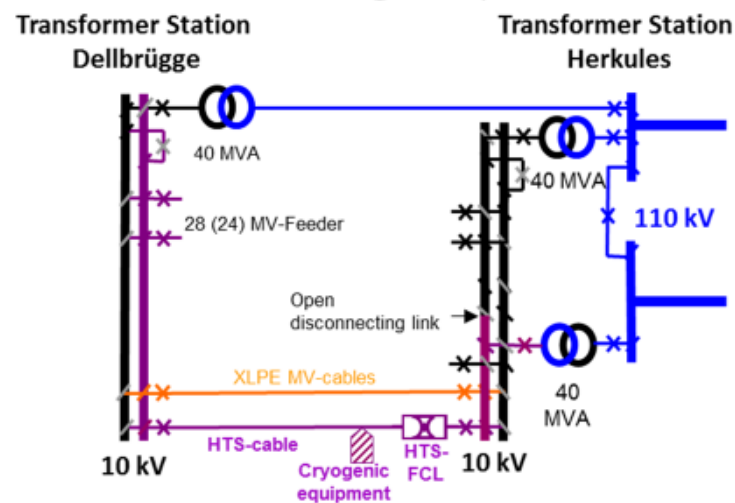
- > **Erhöhung der Leistungsdichte und Effizienz** durch Einsatz von HTS^{*)}-Kabeln
- > **Vermeidung einer höheren Spannungsebene** (für Ballungsgebiete relevant)
- > **Vermeidung von radialem Wärmefluss**, damit:
 - keine Bodenaustrocknung
 - kein Übertragungsengpass in Kreuzungsbereichen
- > **Keine 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 Kurzschlussstrom begrenzende Eigenschaften
- > **Langfristige Kosteneinsparungspotenziale**



^{*)} HTS: HochTemperaturSupraleitung

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

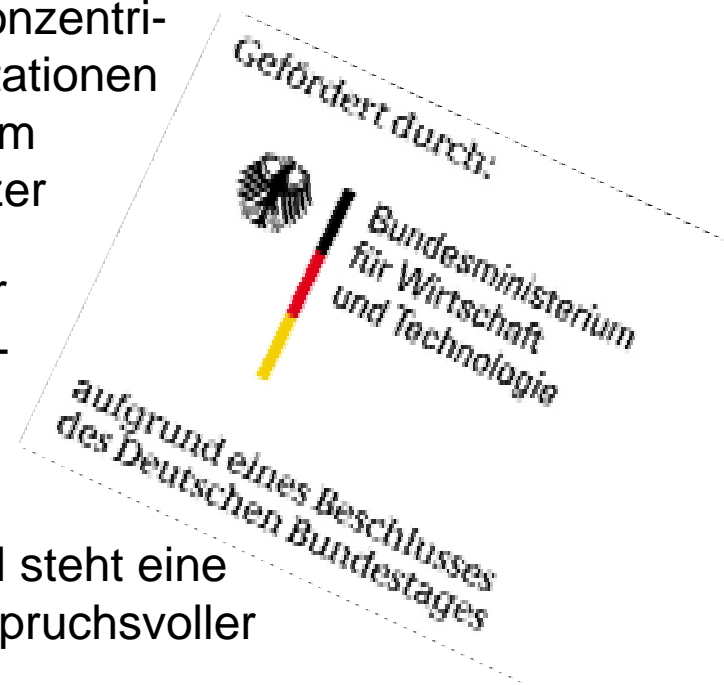
Inbetriebnahme: Anfang 2014

Kabeleinbau: 3./4. Quartal 2013

Laufzeit: 4 Jahre

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

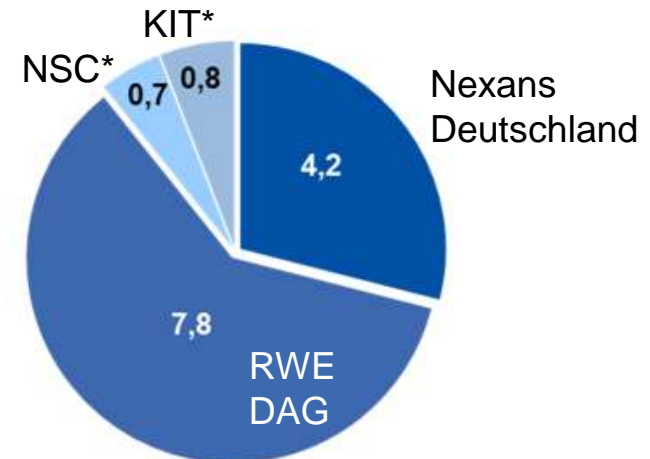
- **Weltweit erstmalige Anwendung** / Demonstration eines ca. 1 km langen HTS-Kabelsystems mit kompaktem konzentrischen Design zur Verbindung von zwei Umspannstationen unter realer Netzbelastung in Kombination mit einem ebenfalls supraleitenden Kurzschlussstrombegrenzer
- Das Projekt stellt potenziell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



Die Gesamtkosten des Projekts belaufen sich auf rund 13,5 Millionen Euro

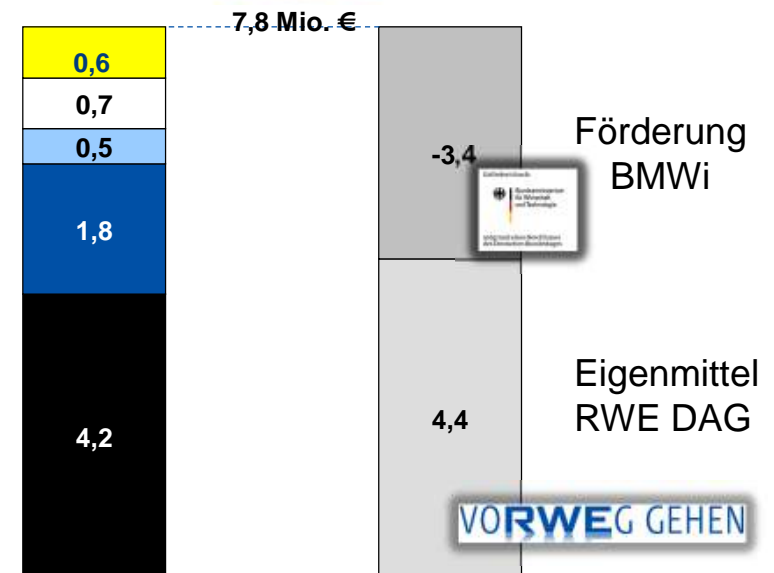
- RWE DAG trägt mit rund 60 % den größten Anteil der Kosten
- Der RWE Anteil von 7,8 Mio. € wird durch Fördermittel des Bundes auf 4,4 Mio. € reduziert
- Projektspezifischer Entwicklungsaufwand liegt bei 2,8 Mio. € und wird von der Nexans-Gruppe getragen

Zahlenangaben in Mio. €



- Kabel, Endverschlüsse
- Strombegrenzer
- Kühlanlage
- Tiefbau, IH&Wartung
- Personalkosten

* NSC: Nexans SuperConductors
KIT: Karlsruher Institut für Technologie



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

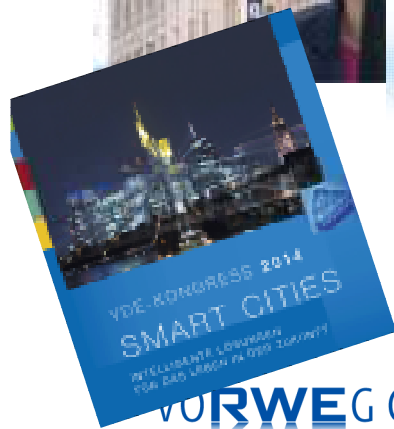
- Abschluss der Typprüfung bei Nexans
- Erster Spatenstich in Essen
- Besuch „wichtiger“ Personen oder Gruppen
- Inbetriebnahme
- ...



Öffentlichkeitsarbeit

> Weitere wichtige Instrumente

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



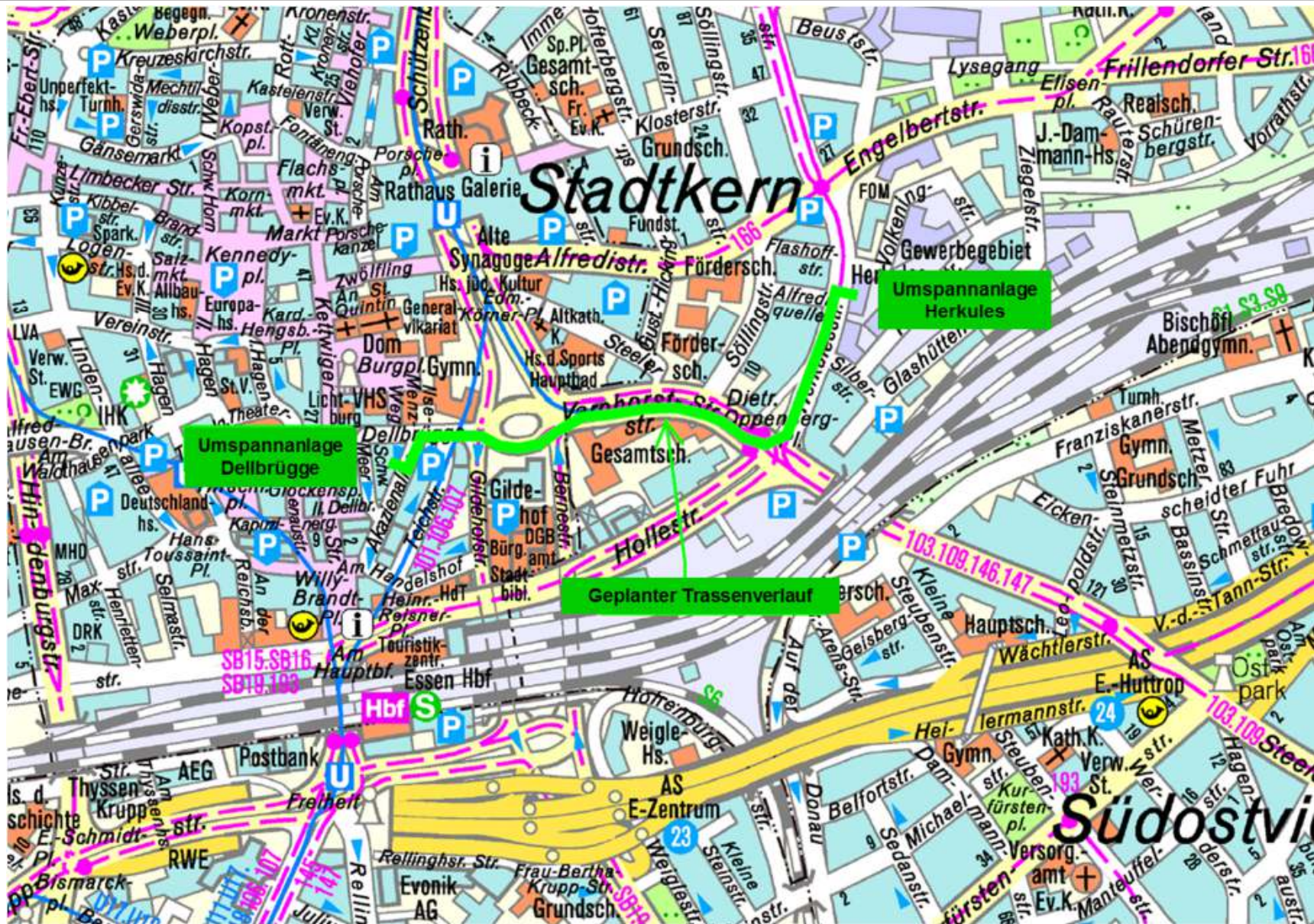
- ✓ Einreichung des Förderantrages an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) am 19.04.2011 und 15.07.2011
- ✓ Eingang des Zuwendungsbescheids des BMWi bei 05.09.2011; Zuwendung in beantragter Höhe von 4
- ✓ Fertigung Prototyp in zweiter Jahreshälfte 2012
- ✓ Abschluss der Typprüfung 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
- ✓ „Offizielle“ Inbetriebnahme am 30. April 2014



Testbetrieb 2014 bis 2015/2016

Auswertung der Ergebnisse und Festlegung weiterer Schritte Anfang 2016

Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen



Pilotstrecke „AmpaCity“ in Essen

Technische Spezifikation

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



Umspannanlage
Herkules



Verbindungs-
muffe

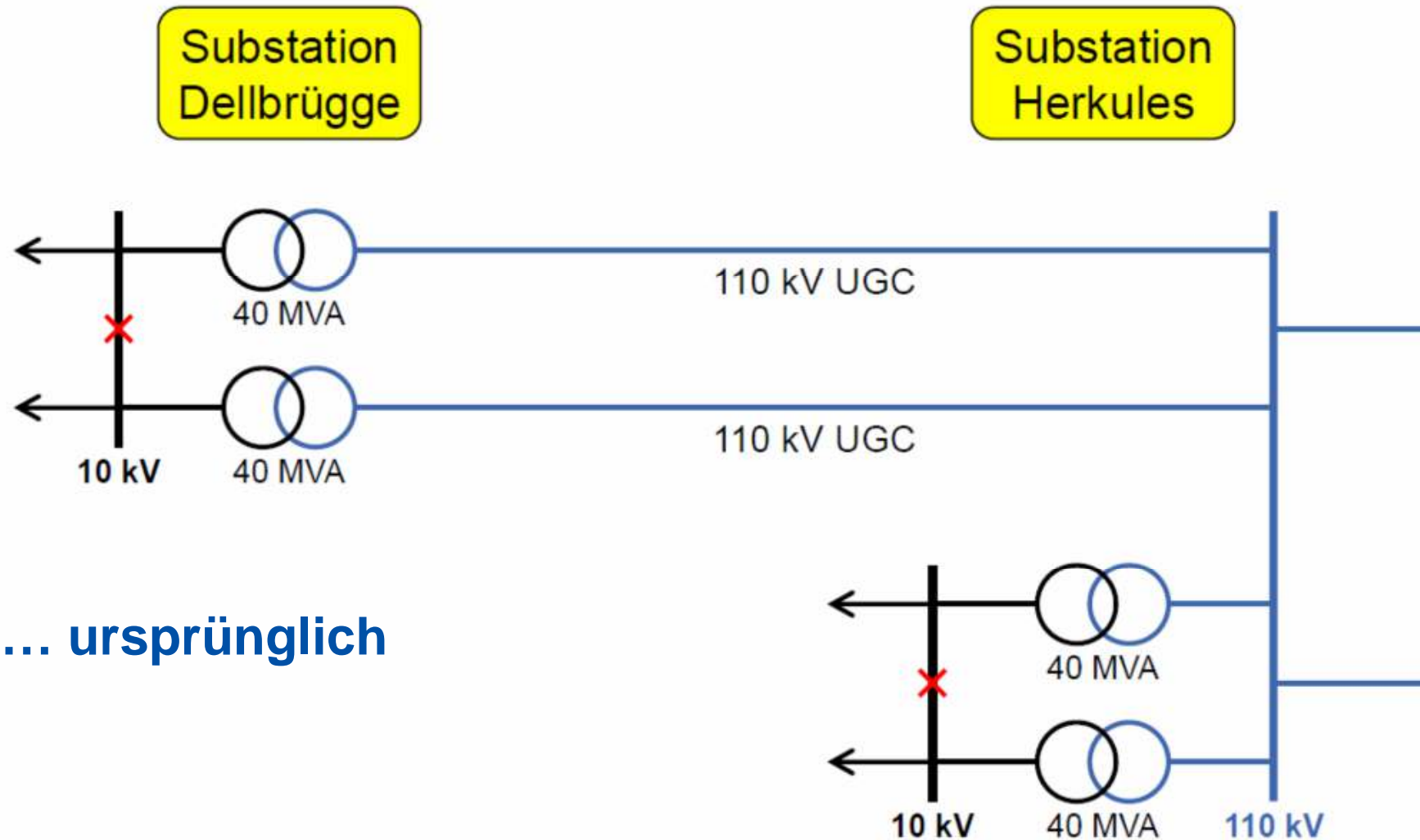


Umspannanlage
Dellbrücke



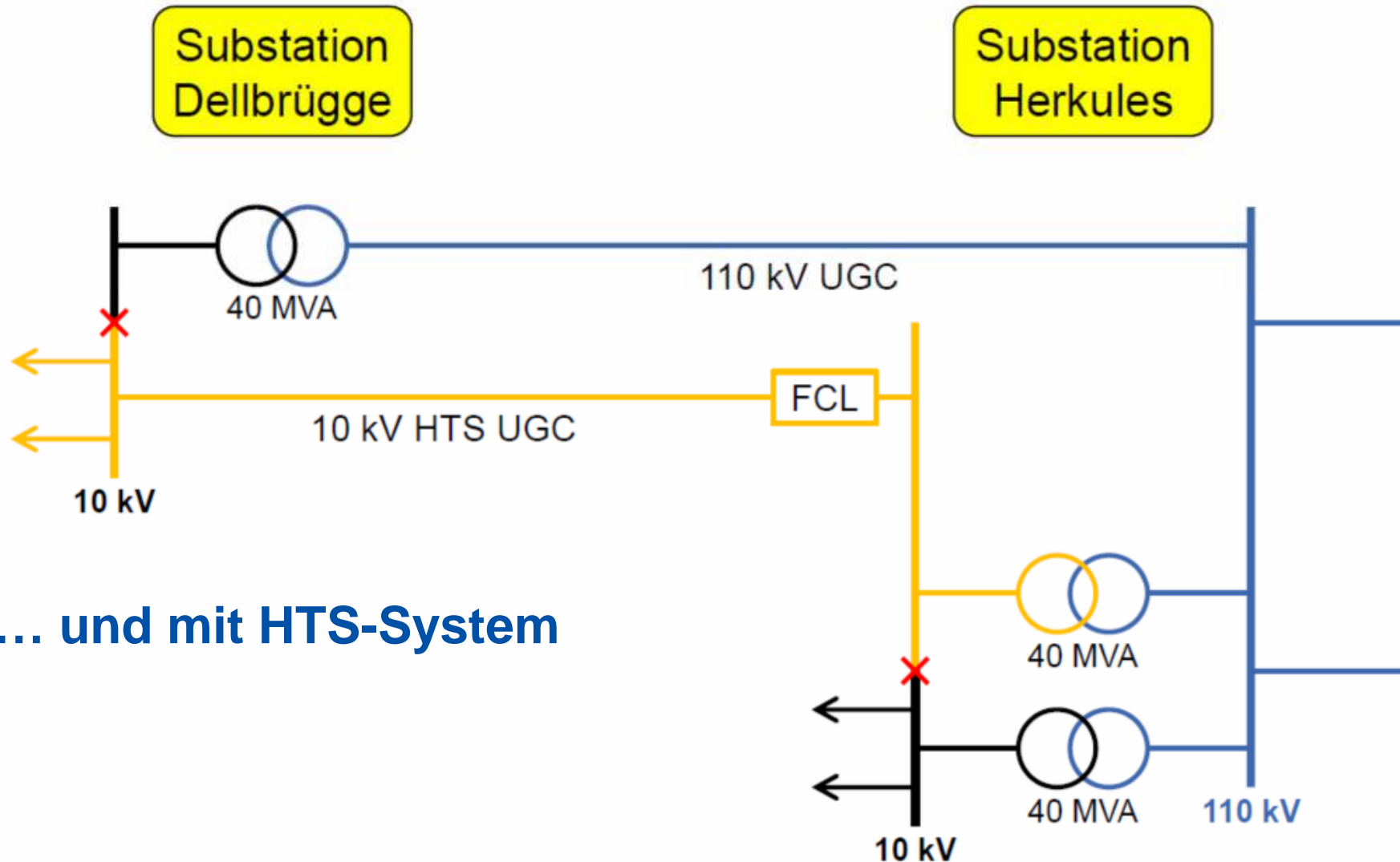
Luftbild: "Darstellung aus HK Luftbilder / Karten Lizenz Nr. 197 / 2012 mit Genehmigung vom Amt für Geoinformation, Vermessung und Kataster der Stadt Essen vom 13.02.2012"

Elektrische Konfiguration



... ursprünglich

Elektrische Konfiguration



... und mit HTS-System

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

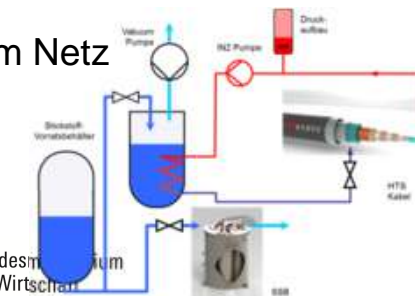


> Strombegrenzer

- Schutz des HTS-Kabels bei Kurzschlüssen im Netz

> Kühlanlage

- Bereitstellung Kühlleistung für Kabelsystem und Strombegrenzer





Kabel

> Besonders kompakte Bauform

- durch konzentrischen Aufbau

> Aufbauelemente

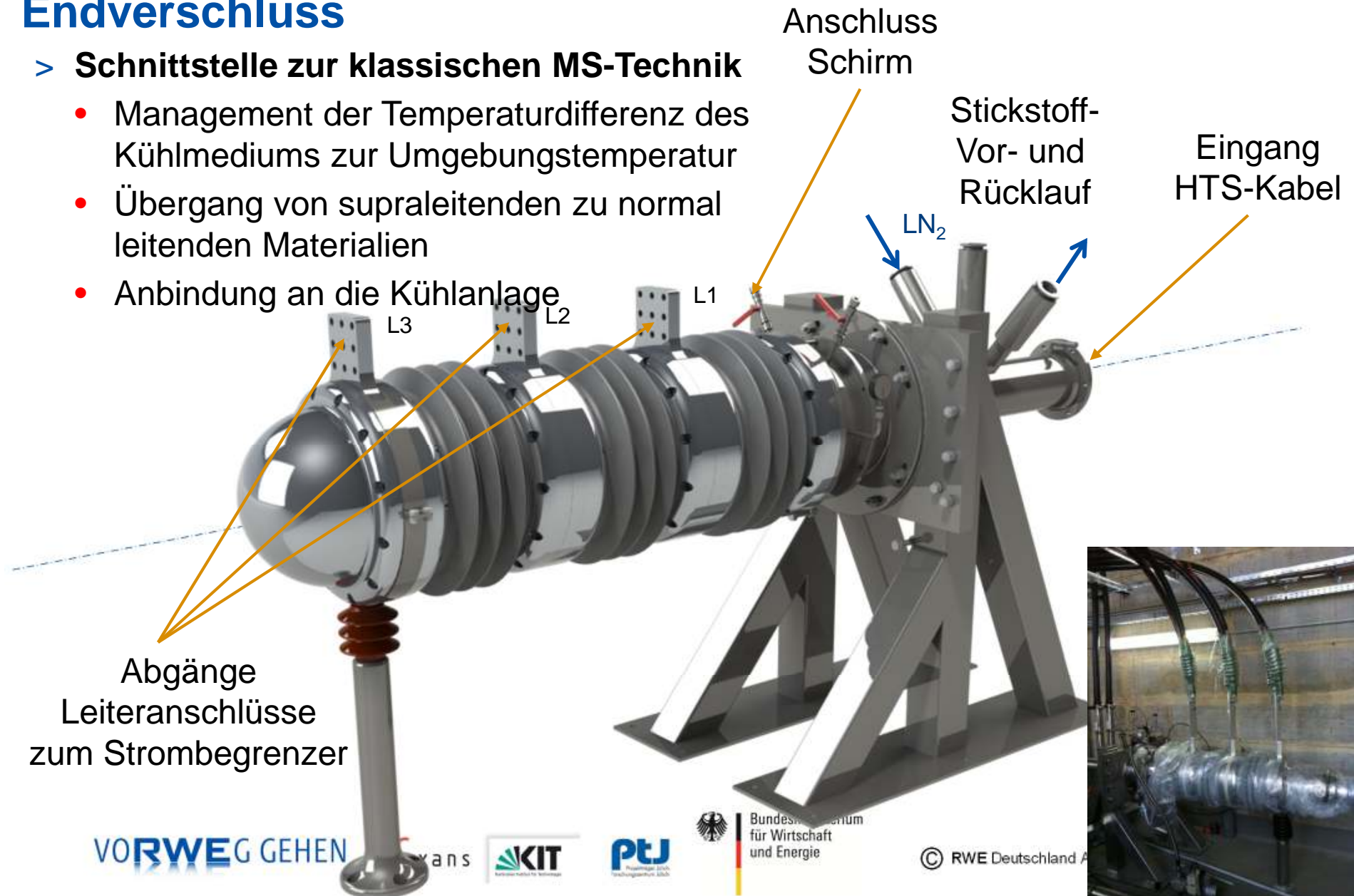
- Stickstoffrücklauf
- Rücklaufleitung der Stickstoffkühlung
- Supraleiterschicht (Leiter L3)
- Isolierung
- Supraleiterschicht (Leiter L2)
- Isolierung
- Supraleiterschicht (Leiter L1)
- Isolierung
- Kupferschirmung
- Stickstoffvorlauf
- Kryostat



Endverschluss

> Schnittstelle zur klassischen MS-Technik

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



Verbindungsstufe

- > **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



Typprüfung

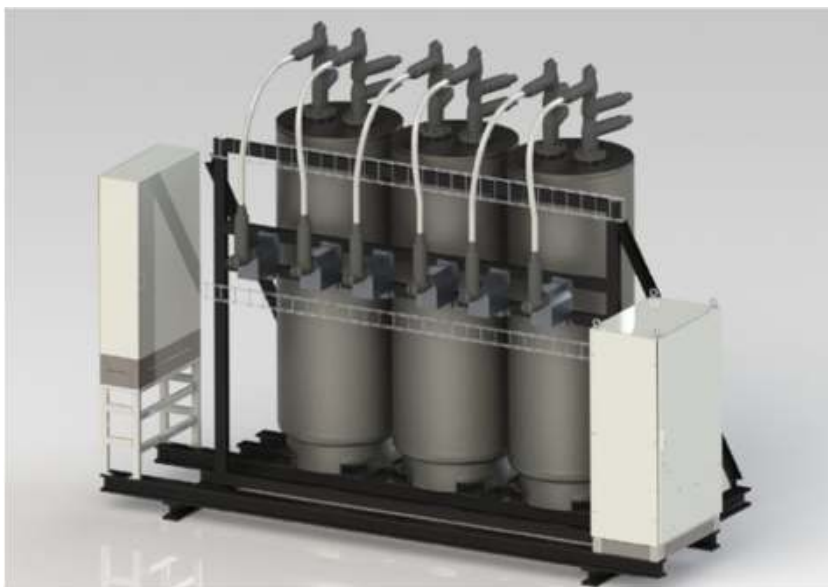
- > **Qualifizierung des Systems für die Installation in Essen**
 - Versuchsaufbau: zwei Kabelsektionen (ges. 25 m), zwei Endverschlüsse, eine Verbindungsmuffe
 - Prüfung in Anlehnung an DIN VDE 0276 und einschlägige IEC-Entwürfe
 - Erfolgreicher Abschluss im März 2013
→ Beginn der Komponentenproduktion



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



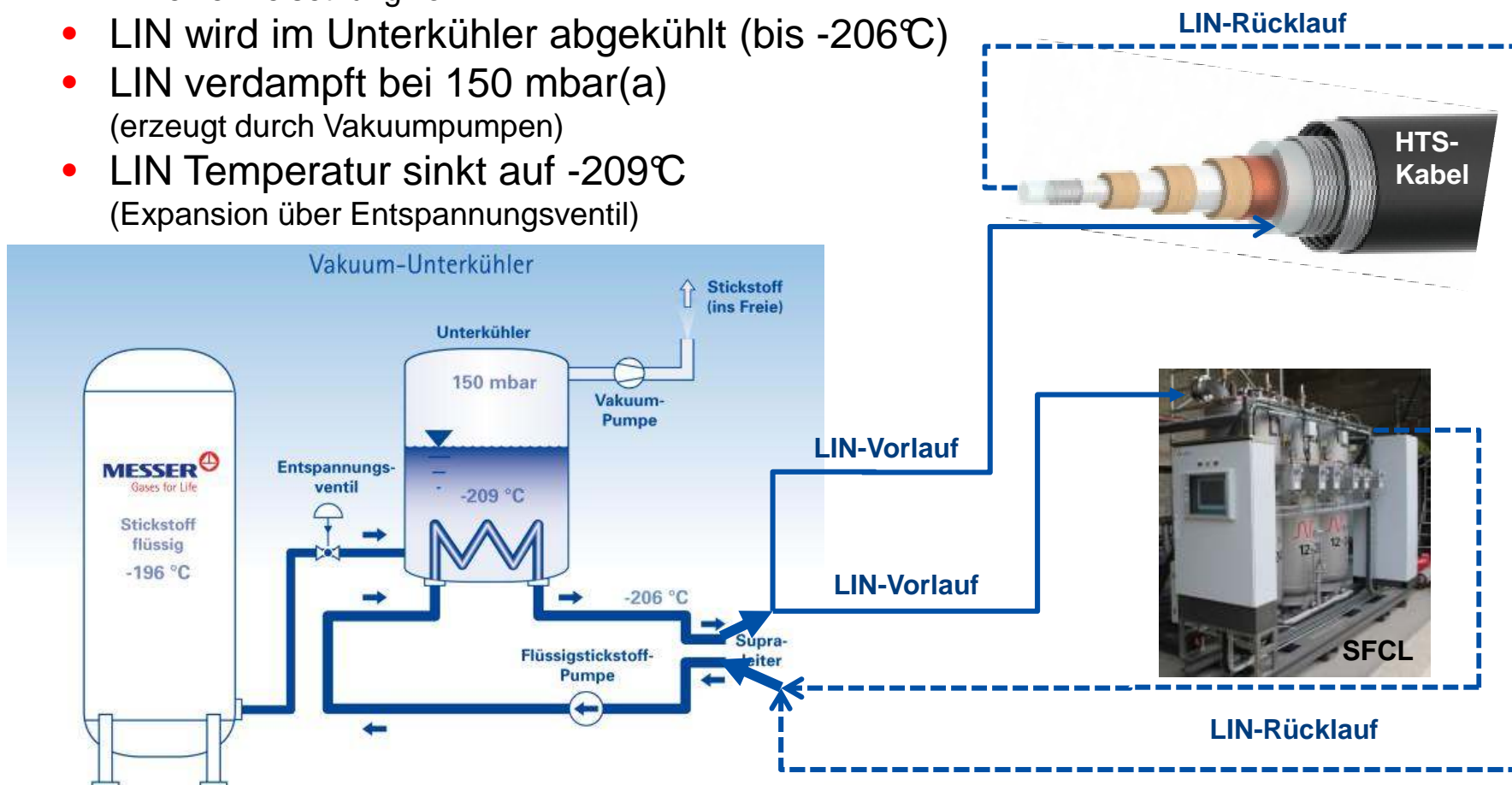
Parameter	Wert
Nennleistung	40 MVA
Nennspannung	10 kV
Betriebsstrom	2,3 kA
Blitzstoß-Prüfspannung	75 kV
Stehwechselspannung	28 kV
Prospektiver unbegrenzter Peakstrom	50 kA
Prospektiver unbegrenzter symmetrischer Strom	20 kA
Begrenzter Peakstrom	< 13 kA
Begrenzter symm. Strom	< 5 kA
Begrenzungszeit	100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



Kühlanlage (in cityferner Umspannstation)

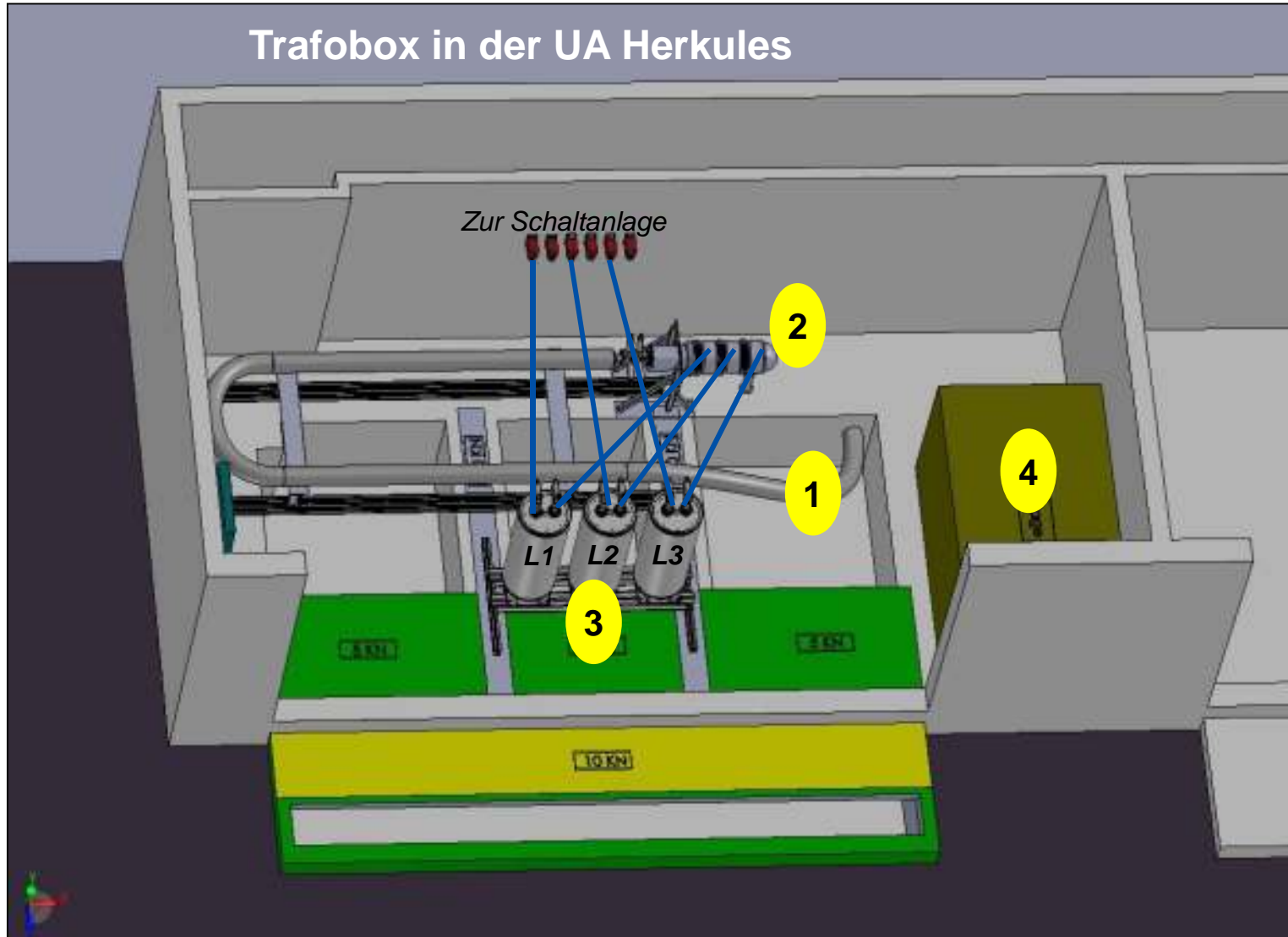
> Kältetechnische Versorgung von HTS-Kabelsystem und Strombegrenzer

- Flüssiger Stickstoff (LIN) zirkuliert als Kühlmittel im geschlossenen System
→ keine Freisetzung von LIN
- LIN wird im Unterkühler abgekühlt (bis -206°C)
- LIN verdampft bei 150 mbar(a)
(erzeugt durch Vakuumpumpen)
- LIN Temperatur sinkt auf -209°C
(Expansion über Entspannungsventil)





Trafofox in der UA Herkules

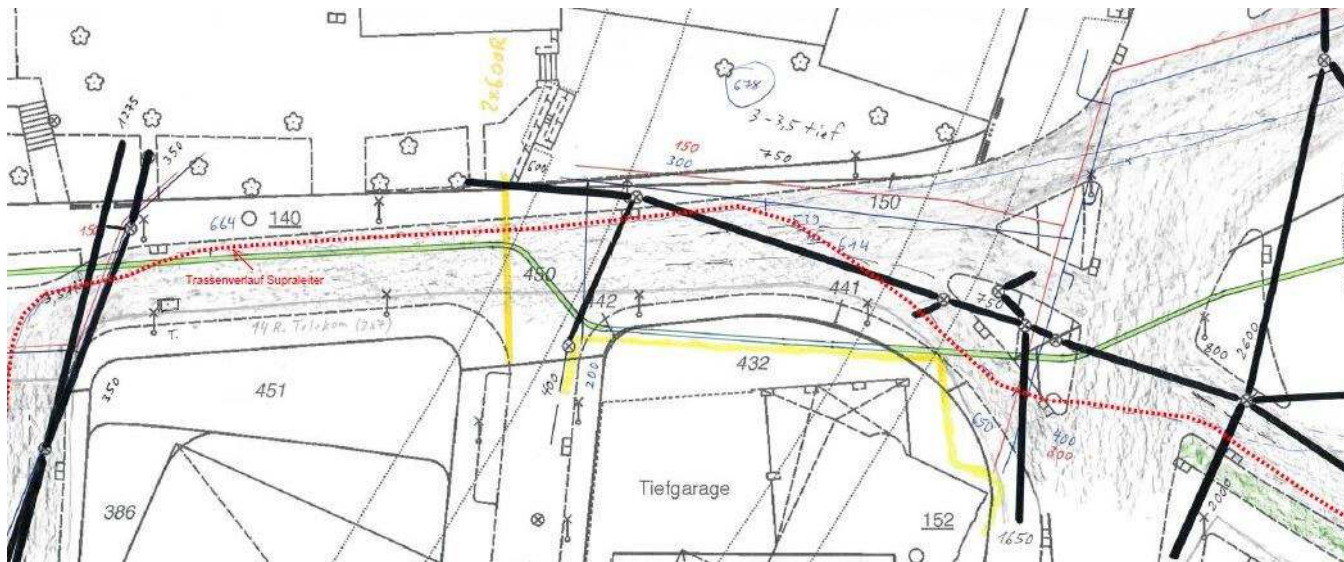


- 1 Kabel
- 2 Endverschluss
- 3 Strombegrenzer
- 4 Kühlanlage

Festlegung des Trassenverlaufs in der Innenstadt von Essen

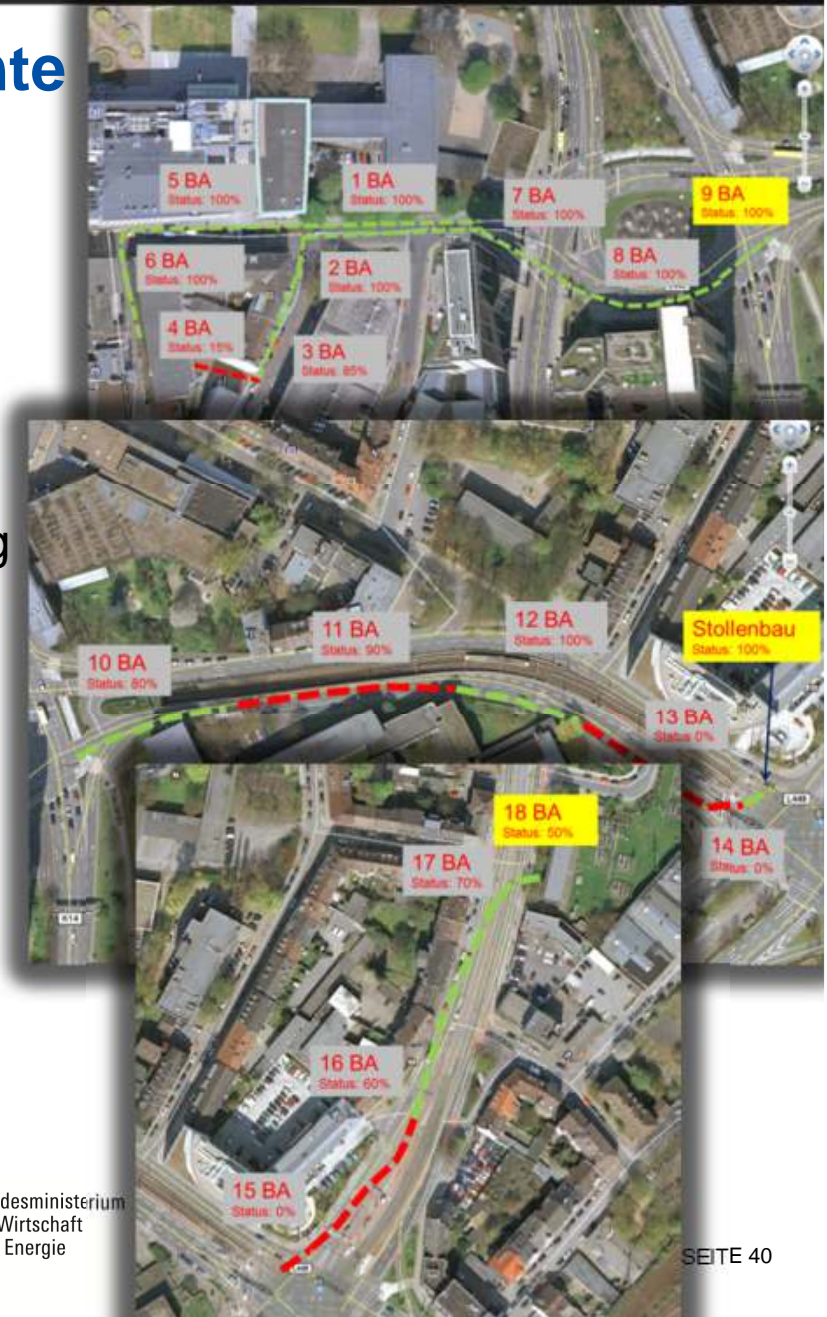
> Umfangreiche Planung erforderlich

- 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, ...)



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



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



Voraussetzung für die Installation waren bauliche Aktionen 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



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

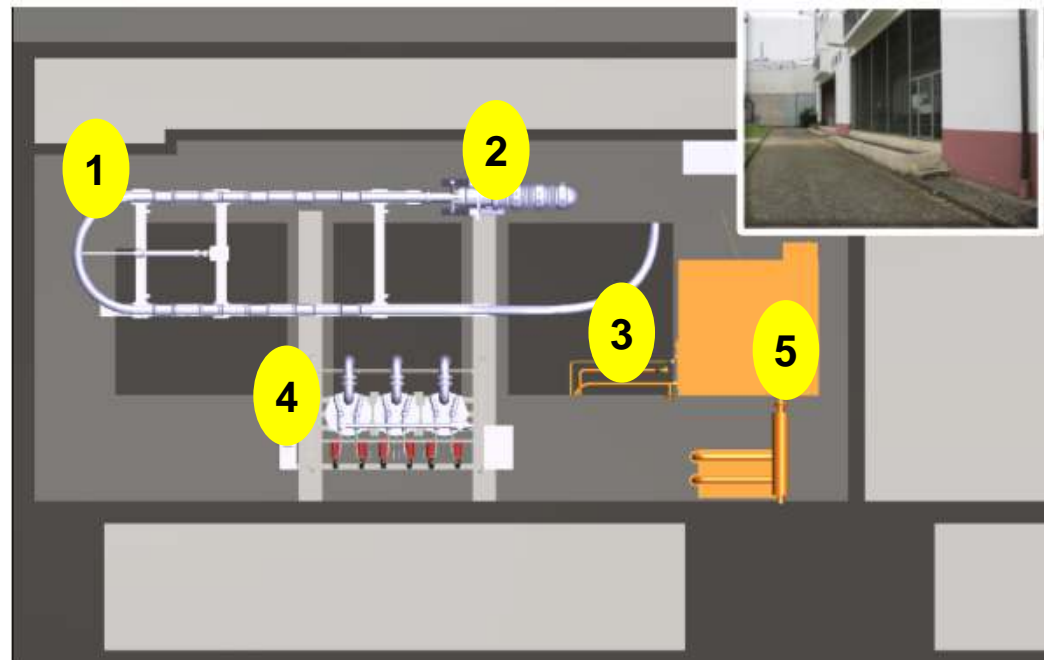


> Strombegrenzer

- Installation (4) und Verbindung mit dem HTS-Kabel

> Kühlanlage

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



Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> Kabelanlage

- Anlieferung und Einzug des Kabels



Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> Kabelanlage

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



Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> Kühlanlage

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



Einbau der Systemkomponenten September - November 2013

> Kabelanlage

- Einrichtung der Muffengrube (Varnhorststraße)

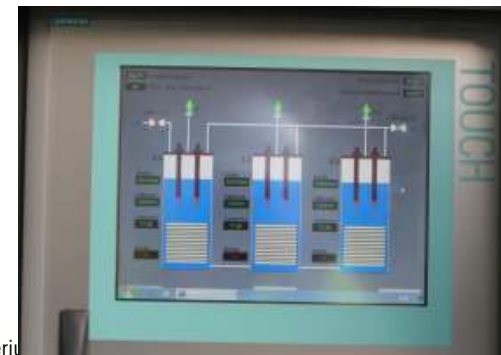
> Strombegrenzer

- Einbau (UA Herkules)



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
- > **Alle Teilprüfungen erfolgreich absolviert**
 - Einbindung des HTS-Kabels in das 10-kV-Netz



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

- Prüfung vor Inbetriebnahme wie bei konventionellen Kabeln, 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
- Einschaltung im März 2014
- „Offizielle Inbetriebnahme“ am 30. April 2014

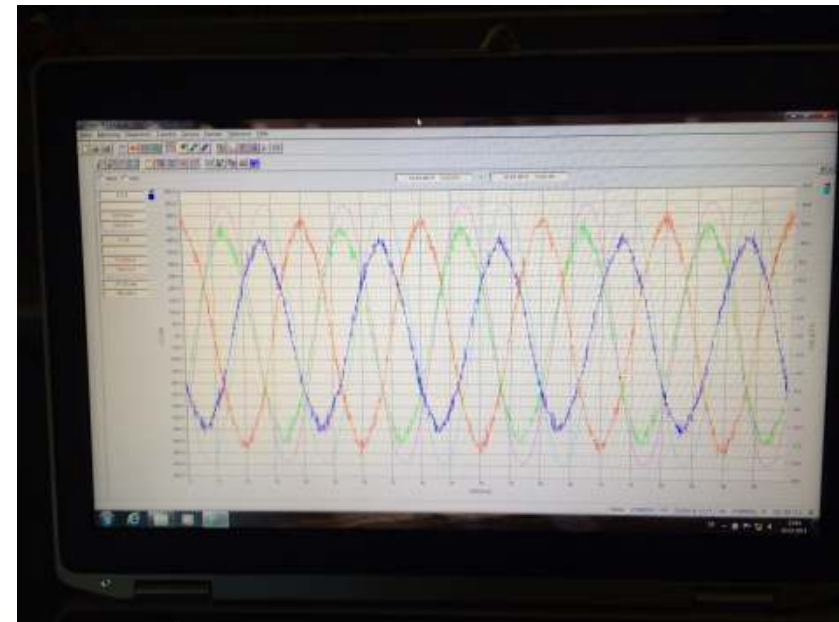


Inbetriebnahme - Vorbereitung

> 10. März 2014

- Messungen
- Probeweise Aufschaltung von Blindleistung
- Verbindung beider Anlagen

Schalthandlungen an dieser Anlage dürfen nur durchgeführt werden auf Anweisung oder mit Zustimmung der Schaltleitung.



Inbetriebnahme - Offizielle Feier am 30. April 2014

Essen, 30. April 2014, RWE Deutschland

Weltpremiere in Essen: RWE integriert erstmalig Supraleiterkabel in bestehendes Stromnetz

- Energieunternehmen testet gemeinsam mit Partnern die innerstädtische Stromversorgung der Zukunft
- Fördermittel vom BMWi ermöglichen Pilotprojekt AmpaCity
- Ministerpräsidentin Hannelore Kraft: Hohe Bedeutung für Energieland NRW



RWE hat am heutigen Mittwoch, 30. April, das weltweit längste Supraleiterkabel offiziell in das Essener Stromnetz integriert und damit erstmalig in den realen Betrieb genommen. Von links: Dr. Joachim Schneider, Technikvorstand der RWE Deutschland AG, Dr. Arndt Neuhaus, Vorstandsvorsitzender der RWE Deutschland AG, Peter Terium, Vorstandsvorsitzender der RWE AG, Reinhard Paß, Oberbürgermeister der Stadt Essen, Dr. Johannes Georg Bednorz, Physiknobelpreisträger 1987, Dr. Hans-Christoph Wirth, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Hannelore Kraft, Ministerpräsidentin des Landes Nordrhein-Westfalen, Christof Barklage, Vorsitzender der Geschäftsführung Nexans Deutschland GmbH, Prof. h.c. Dr. Joachim Knebel, Bereichsleiter Karlsruher Institut für Technologie

Seit Inbetriebnahme problemlose Funktion des Systems, aber einige Optimierungen im laufenden Betrieb

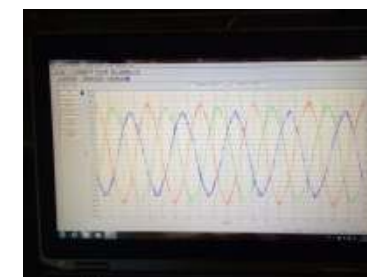
- > **Symmetrierung der Erdkapazitäten**
 - Unsymmetrische Erdkapazitäten des AmpaCity-Kabels durch nachträglichen Einbau von Kondensatoren kompensiert



- > **Optimierung Kühlanlage**
 - Ertüchtigung der Vakuumpumpen nach Einfrierungen von feuchter Luft; weitere kleinere Optimierungen



- > **Optimierung Systemüberwachung**
 - Erhöhung der Ansprechzeiten nach KU für unterbrechungsfreien Betrieb



Einige Zahlen

- > **Seit der Inbetriebnahme vor rund 1 ½ Jahren ...**
 - wurden rund 70 Millionen Kilowattstunden mit dem AmpaCity-Kabel übertragen
 - besuchten über 100 Gruppen mit insgesamt fast 3.000 Teilnehmern die Umspannanlage Herkules,
 - von interessierten Laien
 - bis zu „hochkarätigen“ Fachbesuchergruppen
 - national und international (z. B. USA, China, Australien, Korea, ...)



Betrieb des weltweit längsten Supraleiterkabels liefert erste technologische Erkenntnisse

- > **RWE zieht nach 180 Tagen Zwischenbilanz bei AmpaCity in Essen**
 - BMWi-gefördertes Vorzeigeprojekt hat Erwartungen übertroffen

- > **Offizieller Besuch vom BMWi anlässlich der Feierstunde**
 - Staatssekretär Uwe Beckmeyer am 27. Oktober 2014 zu Gast bei AmpaCity

„Der Betrieb verläuft bisher reibungslos. Wir haben wertvolle technologische Erkenntnisse gesammelt, die uns dabei geholfen haben, das Gesamtsystem des Supraleiters weiter zu optimieren“, sagte Dr. Joachim Schneider, Technikvorstand der RWE Deutschland.



Zogen nach 180 Tagen eine erste Zwischenbilanz im Projekt AmpaCity: Jürgen Reichardt, Leiter Regionalzentrum Ruhr-Niederrhein, Prof. Dr. Mathias Noe, Institutsleiter am Karlsruher Institut für Technologie, Dr. Johannes Georg Bednorz, Nobelpreisträger für Physik, Dr. Joachim Schneider, Technikvorstand RWE Deutschland, Uwe Beckmeyer, Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie, Reinhard Paß, Oberbürgermeister der Stadt Essen und Frank Schmidt, Geschäftsführer Nexans Superconductors GmbH (von links nach rechts).

KlimaExpo.NRW zeichnet AmpaCity aus

> AmpaCity offiziell qualifiziertes Projekt der KlimaExpo.NRW

- NRW-Wirtschaftsminister Garrelt Duin übergab die Urkunde an Dr. Arnd Neuhaus, Vorstandsvorsitzender RWE Deutschland
- Wirtschaftsminister würdigt AmpaCity als Musterbeispiel für die Zukunft der Stromversorgung in Ballungsgebieten



„Wir freuen uns sehr, Teil der KlimaExpo.NRW zu sein. Diese Urkunde wird die öffentliche Aufmerksamkeit auf AmpaCity noch einmal erhöhen“, bedankt sich Dr. Arndt Neuhaus, Vorstandsvorsitzender der RWE Deutschland.

Vor dem Supraleiter in der Essener Innenstadt (von links nach rechts): Dr. Joachim Schneider, Technikvorstand der RWE Deutschland, Reinhard Paß, Oberbürgermeister der Stadt Essen, Garrelt Duin, Wirtschaftsminister des Landes Nordrhein-Westfalen, Dr. Heinrich Dornbusch, vorsitzender Geschäftsführer der KlimaExpo.NRW, Dr. Arndt Neuhaus, Vorstandsvorsitzender der RWE Deutschland, Frank Schmidt, Geschäftsführer Nexans Superconductors und Carola Geiß-Netthöfel, Regionaldirektorin beim Regionalverband Ruhr.



Supraleiter von Klima-Expo ausgezeichnet

Ein Stromkabel, das etwa fünf Mal so viel Strom überträgt, wie ein herkömmliches Mittelspannungskabel – darum geht es beim Modellprojekt AmpaCity. Das Vorzeigeprojekt des RWE-Konzerns ist gestern als Fortschrittsmotor für die widerstandsfreie Leitung von Strom von der KlimaExpo.NRW ausgezeichnet worden. Das Supraleiterkabel ver-

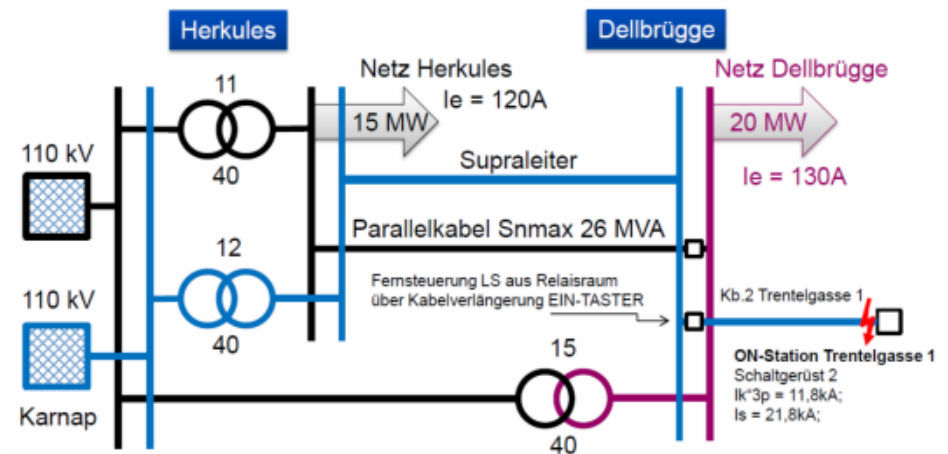
läuft unterirdisch den Umspannungsdellbrügge. Da auf der einen Seite eine klassische Transformatorenstation, auf der anderen ein Supraleiterkabel, das widerstandsfrei leitet. Wenn das

Dr. Joachim Schneider, Technikvorstand der RWE Deutschland: „AmpaCity zählt zu den herausragenden innovativen Projekten, die RWE mit großer Energie und Leidenschaft umsetzt. Auszeichnungen wie diese zeigen uns, dass wir auf dem richtigen Weg sind.“

Kurz- und Erdschlussversuche

- Um Erkenntnisse zum Kurzschlussverhalten des Hochtemperatur-Supraleiters zu gewinnen, wurde das HTS-System am 23.06.2015 verschiedenen Kurz- und Erdschlusszenarien ausgesetzt, um das Betriebsverhalten unter diesen Bedingungen zu studieren.
- Für die Versuche werden Sonderschaltungen aufgebaut, um negative Beeinflussung von Kunden oder anderen Netzen auszuschließen. Die Kurzschlussdauer ist durch die Schutztechnik des Supraleiters auf max. 150ms begrenzt.
- Um den Erdschlussstrom zu begrenzen, wurde zur Speisung des Netzes Dellbrücke der Trafo 15 in der Station Dellbrücke eingeschaltet.

Kurzschlussversuche Ampacity –
Sonderschaltung



Kurz- und Erdschlussversuche

> Folgende Versuche wurden durchgeführt:

- Kurzschlussversuch dreipolig, hinter HH-Sicherung ON-Trafo Trentelgasse 1
- Kurzschlussversuch dreipolig, vor HH-Sicherung ON-Trafo Trentelgasse 1
- Kurzschlussversuch zweipolig, vor HH-Sicherung ON-Trafo Trentelgasse 1
- Erdschlussversuch einpolig, Dauer 5 min, Erdschlussstrom < 20 A
- Erdkurzschlussversuch einpolig, durch Einwirkung der KE-Anlage im unmittelbaren Anschluss an den Erdschlussversuch



Kurz- und Erdschlussversuche



Einspeisung UA Trentelgasse



Trafofox UA Herkules

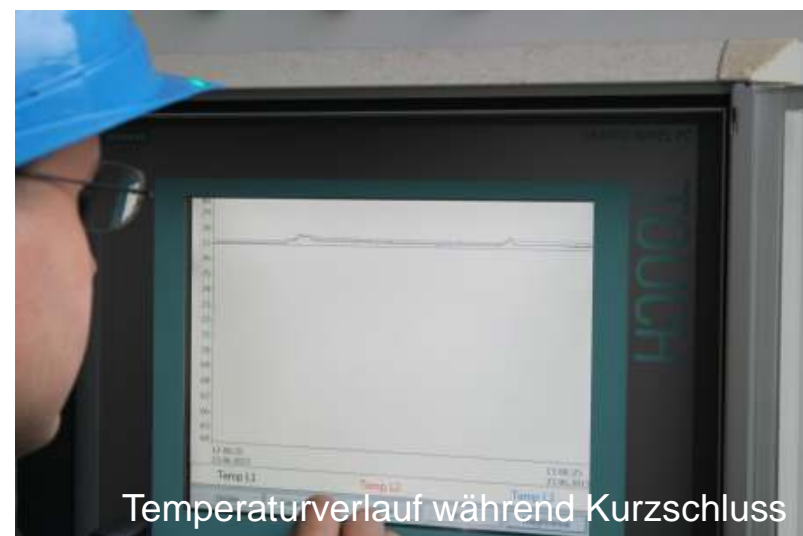


Stickstoff wird abgeblasen

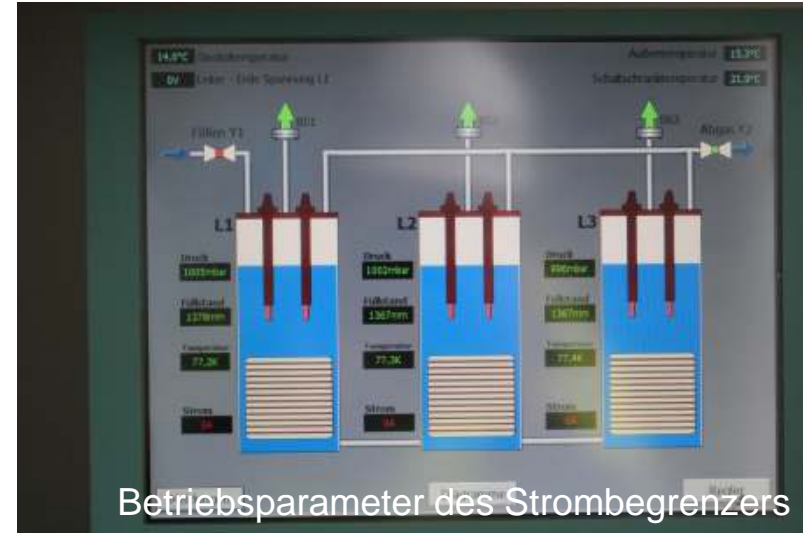


Stickstoff wird abgeblasen

Kurz- und Erdschlussversuche



Kurz- und Erdschlussversuche



Kurz- und Erdschlussversuche

> Zusammenfassung der Ergebnisse

- Alle geprüften Kurzschlusszenarien erwartungsgemäß abgelaufen
- Einwandfreie Funktion/Reaktion, sowohl des Kurzschlussstrombegrenzers als auch der Schutzsysteme
- Keinerlei Schäden, weder an HTS-System noch an weiteren Primär- bzw. Sekundärkomponenten

> Fazit

- Das HTS-System beherrscht nicht nur sicher den ungestörten (Dauer-) Betrieb, sondern auch relevante Betriebssituationen im gestörten Betrieb im praktischen Netzeinsatz.

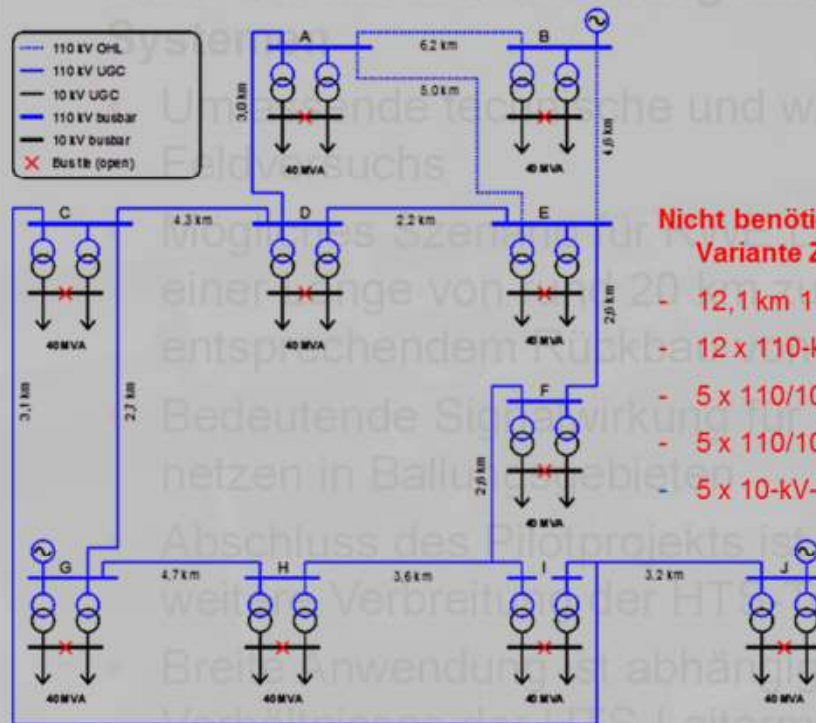
Feldversuch im Rahmen des Förderprojekts „AmpaCity“ für die Dauer von zwei Jahren

> 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 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
- HTS-Technologie ist auch schon kurzfristig wirtschaftlich einsetzbar, wenn positive Sekundäreffekte hinzu kommen

Variante Zielnetz A:

Ausbau mit „klassischer“ Hochspannungstechnik

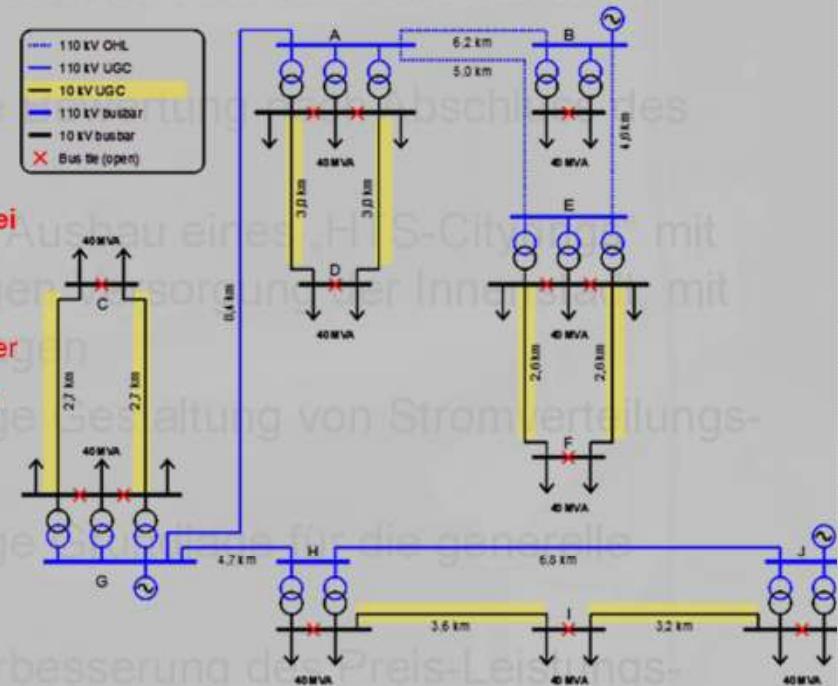


Nicht benötigte Betriebsmittel bei Variante Zielnetz B:

- 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

RWE und Nexans vereinbaren exklusive Zusammenarbeit

> Kooperation mit Nexans







- Vereinbarung gemeinsamer Aktivitäten zur Vermarktung von HTS-Systemen
- Informationsveranstaltung für Stadtwerke am 3. September 2015 in Essen

„Wir haben gezeigt, dass es sich bei supraleitenden Systemen um eine innovative Technologie handelt, die die Praxistauglichkeit im täglichen Einsatz in verschiedenen Projekten unter Beweis gestellt hat. Auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten kann die Supraleitung eine Alternative zum konventionellen Netzausbau sein. RWE und Nexans verzahnen die notwendigen Kompetenzen und Erfahrungen, um Kunden von der individuellen Machbarkeitsstudie bis hin zum Supraleiter-Gesamtsystem ein passgenaues Lösungsportfolio zu bieten“, sagt Klaus Engelbertz, Geschäftsführer der RWE Netzservice GmbH.

Leistungsportfolio (I/II)

Thema Arbeitspaket	A Machbarkeit	B Netz	C Bau / bauliche Infrastruktur	D Kabel	E Kühlung
Leistung	 <p>Konzept / Machbarkeitsstudie erarbeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> – Supraleiter vs. konventionelle Technik – Erstellung Business Case und Empfehlungen aussprechen – Kosten vs. Nutzen 	 <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
Zuständigkeit	<p>VORWEG GEHEN</p>	<p>VORWEG GEHEN</p>	<p>VORWEG GEHEN</p>		

Leistungsportfolio (II/II)

Thema Arbeitspaket	F Strombegrenzer	G Verbindungstechnik und Endverschluss	H Schulung & Über- greifende Themen
Leistung	 <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 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			

HTS-Technologie: großes Zukunftspotenzial und wichtiger Baustein zur Realisierung künftiger effizienter Netzstrukturen

- > **Machbarkeitsstudie der RWE Deutschland als Basis für das Projekt AmpaCity**
 - Einsatz supraleitender Mittelspannungskabelsysteme ermöglicht Entfall von Umspannanlagen in Ballungsgebieten
- > **Pilotstrecke in Essen verbindet zwei Umspannanlagen in der Innenstadt**
 - Tief- und Hochbauarbeiten parallel zur Produktion der Systemkomponenten
 - Durchführung der Arbeiten im Zeit- und Budgetrahmen
- > **Vorliegende Betriebserfahrungen sind sehr positiv**
 - Seit mehr als anderthalb Jahren Betrieb ohne Probleme
 - Kleinere Optimierungsmaßnahmen im laufenden Betrieb
- > **Feldtest des HTS-Systems bis Anfang 2016**
 - Nachweis der Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit
 - Basis für Entscheidungen zur Planung und Realisierung weiterer Projekte

→ **Vom „F&E-Stadium“ zur realen Netzkomponente**



VIELEN DANK FÜR IHRE AUF-
MERKSAMKEIT UND LASSEN
SIE UNS GEMEINSAM:

VORWEG GEHEN

The energy to lead

mit zukunftsweisenden Technologien

VORWEG GEHEN

