

# Drehstrom- Erdkabel

Chancen und Herausforderungen  
bei 380-kV-Erdkabeln im Drehstromnetz



# Das Netzgebiet von TenneT

Das Netzgebiet von TenneT in Deutschland reicht von der Nordsee bis zu den Alpen, von der dänischen bis zur österreichischen Landesgrenze.

Die Energiewende stellt das Stromnetz vor neue Herausforderungen: Große Mengen an Windenergie müssen über weite Strecken vom Norden Deutschlands in die Verbrauchszentren im Süden und Westen des Landes transportiert werden. Deshalb investiert TenneT mehr als je zuvor in die Ertüchtigung bestehender Stromleitungen und den Bau neuer Leitungen. Hierfür stehen grundsätzlich zwei Technologien zur Verfügung: Freileitungen und Erdkabel. Darüber hinaus muss zwischen Wechselstrom (AC – Alternating Current) und Gleichstrom (DC – Direct Current) unterschieden werden. Dies gilt insbesondere, wenn Erdkabel zum Einsatz kommen sollen.

## **Gleich- oder Drehstrom (Wechselstrom)\***

Gleichstromverbindungen werden eingesetzt, um elektrische Energie verlustarm über weite Strecken von Punkt zu Punkt zu übertragen. Insbesondere für den zunehmenden Nord-Süd-Transport bietet sich die Gleichstromtechnik an und wird so auch zu einer Entlastung des bestehenden Drehstromnetzes beitragen. Der Einsatz von Erdkabeln in der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) ist weltweit gut erprobt. Ein Beispiel hierfür ist die rund 65 Kilometer lange HGÜ-Erdkabelverbindung zwischen Frankreich und Spanien mit einer Spannung von 320 Kilovolt (kV). In Deutschland werden Offshore-Windparks vorwiegend per HGÜ über See- und Erdkabel angebunden. TenneT hat zu diesem Zweck mehrere tausend Kilometer in der Nordsee installiert und auch an Land bereits mehr als 1.000 Kilometer HGÜ-Erdkabel in Schleswig-Holstein und Niedersachsen unterirdisch verlegt. Diese Erfahrungen werden auch in die Planungen und den Bau der großen Onshore-Verbindungen einfließen.

## **Verhalten im vermaschten Drehstromnetz**

Anders als HGÜ-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, ist das Drehstromnetz eng „vermascht“. Das heißt, jeder

Netzknoten (Umspannwerk und/oder Schaltanlage) ist mit mehreren anderen Netzknoten verbunden. Die einzelnen Leitungen sind die Verbindungsstränge und über die Netzknoten somit auch mit mehreren anderen Leitungen verknüpft. Dieses eng vermaschte Netz mit den vielfachen Wechselwirkungen der einzelnen Netzkomponenten ist die Grundlage für die hohe Zuverlässigkeit unserer Stromversorgung.

Bislang gibt es nur wenige Erfahrungswerte, wie sich Erdkabelabschnitte in diesem Zusammenspiel verhalten, insbesondere was Störungen und ihre Behebung betrifft. Daher hat der Gesetzgeber 2009 im Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) und Ende 2015 im Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG) Pilotprojekte für Teilverkabelungen im 380-kV-Drehstrombereich festgelegt. Ein Ziel dieser Pilotprojekte ist es, praktische Erfahrung zu sammeln, wie sich Erdkabel im Drehstromnetz auf das elektrische Übertragungssystem auswirken, um damit mehr Planungssicherheit für zukünftige Projekte zu gewinnen. Wie verhalten sich Erdkabel langfristig im Zusammenspiel mit den oberirdisch verlaufenden Freileitungsabschnitten? Wie häufig fallen Erdkabel aus? Wie lange dauert ihre Reparatur?

Bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Reparatur von Kabelfehlern mit etwa drei Wochen erheblich länger dauert als bei Freileitungen. Das führt zu einer deutlich geringeren Verfügbarkeit der Kabeltrasse im Vergleich zur Freileitung. Mit Blick auf die Versorgungssicherheit sollten daher zunächst die bisherigen Erfahrungen im Netzbetrieb mit einem maßvollen Einsatz zusätzlicher Erdkabelabschnitte abgesichert werden, bevor in großem Maßstab weitere Übertragungsstrecken verkabelt werden.

Im Folgenden werden wichtige Netzkomponenten und typische Betriebszustände in der Netzführung näher beleuchtet, um mögliche Auswirkungen der Erdverkabelung im Höchstspannungs-Drehstromnetz vorzustellen.

\* Wechselstrom und Drehstrom: Im Haushalt und für kleinere Leistungen wird Einphasen-Wechselstrom verwendet. Zur Übertragung großer Energiemengen wird dreiphasiger Wechselstrom genutzt, der als Drehstrom bezeichnet wird. In dieser Broschüre wird daher nachfolgend ausschließlich die Bezeichnung Drehstrom verwendet.

## Leitungsbauprojekte in Deutschland

- 1 Brunsbüttel – Dänemark (Energinet.dk)
- 2 Audorf – Kassö (Energinet.dk)
- 3 Audorf – Hamburg/Nord
- 4 Kreis Segeberg – Lübeck – Göhl/Siems
- 5 Hamburg/Nord – Dollern
- 6 Halbemond – Emden/Ost
- 7 Emden/Ost – Conneforde
- 8 Wilhelmshaven – Conneforde
- 9 Dollern – Eilsfleth/West
- 10 Dörpen West – Niederrhein (Amprion)
- 11 Conneforde – Cloppenburg – Merzen (Amprion)
- 12 Ganderkesee – Sankt Hülfe (Amprion)
- 13 Stade – Landesbergen
- 14 Walle – Wolmirstedt (50Hertz)
- 15 Walle – Mecklar
- 16 Vieselbach (50Hertz) – Mecklar
- 17 Mecklar – Bergrheinfeld/West\*
- 18 Grafenrheinfeld – Kupferzell (TransnetBW)
- 19 Raitersaich – Ludersheim – Sittling – Altheim – Isar
- 20 Redwitz – Schwandorf
- 21 Oberbachern – Ottenhofen
- 22 Altheim – St. Peter (APG)
- 23 Pirach – Tann
- 24 St. Peter – Pleinting

## Onshore Gleichstromverbindungen (HGÜ) in Planung

SuedLink – Bestehend aus zwei Vorhaben:

- 1 Brunsbüttel – Großgartach;
  - 2 Wilster – Bergrheinfeld/West
- Planungsziel ist die Umsetzung der beiden SuedLink-Vorhaben auf einer Stammstrecke.

SuedÖstLink:

- 3 Wolmirstedt – Isar (HGÜ)

—●— 380-kV-Leitung / Umspannwerk

- - ● - - 380-kV-Leitung / Umspannwerk in Planung

→ 380-kV-Interkonnektor

—●— 220-kV-Leitung / Umspannwerk

→ 220-kV-Interkonnektor

→ Gleichstrom-Interkonnektor

- - → Gleichstrom-Interkonnektor im Bau

— Offshore-Netzanbindung

- - - Offshore-Netzanbindung in Planung oder im Bau

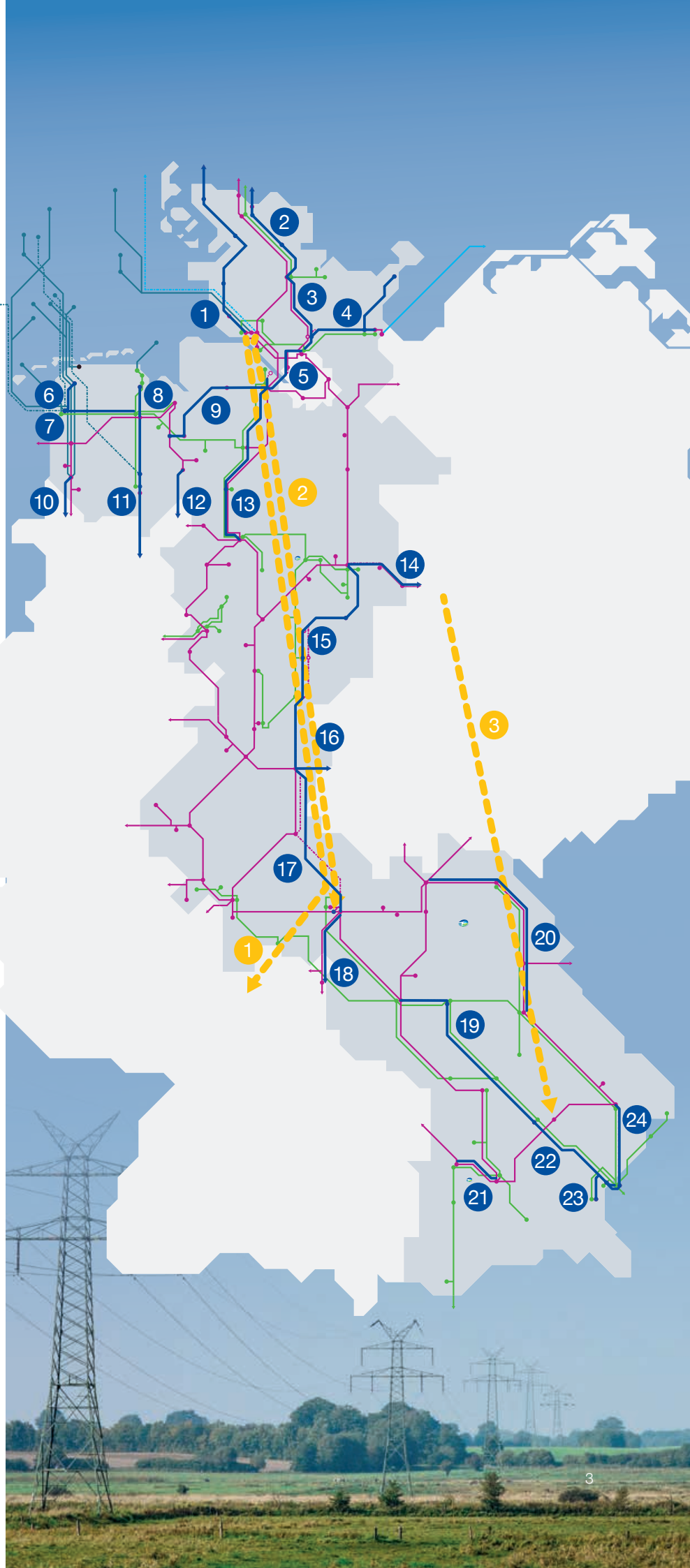
● Offshore-Konverterstation / Umspannwerk

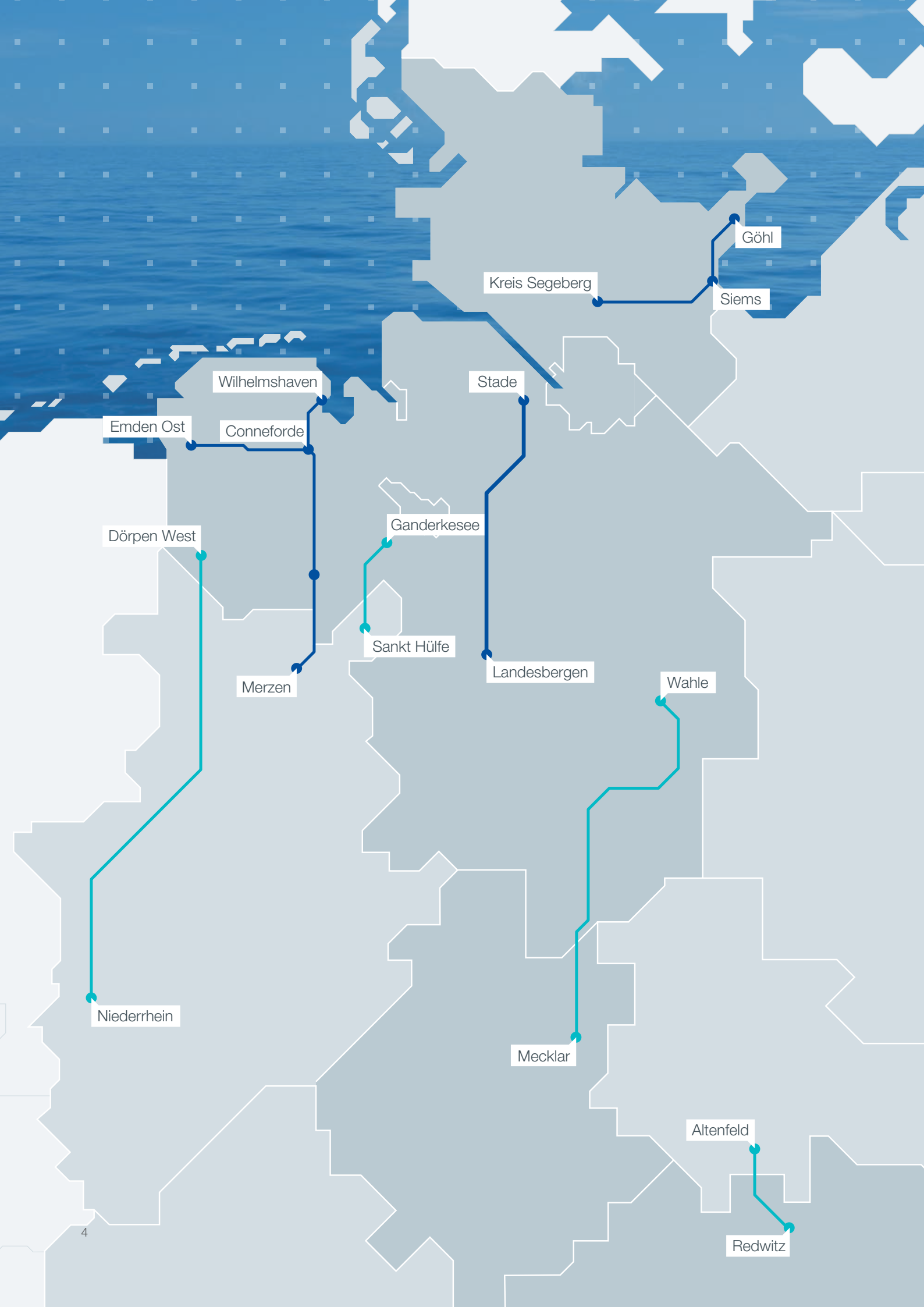
\* Leitung wird bezüglich alternativer Netzlösungen überprüft.

Diese schematische Darstellung der Netzausbauprojekte gibt nicht den tatsächlichen Verlauf der geplanten Vorhaben wieder.

Für die Angaben aus dieser Karte übernimmt TenneT keinerlei Haftung oder Gewähr.

September 2019





Göhl

Kreis Segeberg

Siems

Stade

Wilhelmshaven

Emden Ost

Conneforde

Dörpen West

Ganderkesee

Sankt Hülfe

Landesbergen

Merzen

Wahle

Niederrhein

Mecklar

Altenfeld

Redwitz

# Drehstrom-Erdkabel

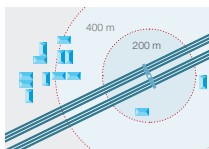
## Gesetzliche Vorgaben für den Einsatz

Der Einsatz von Erdkabeln im 380-kV-Drehstrombereich ist zunächst von den rechtlichen Rahmenbedingungen für das jeweilige Projekt abhängig. Sehen diese eine Erdverkabelungsoption vor, wird bei jedem Projekt im Einzelfall und am konkreten Ort analysiert, welche Option die bessere ist. Am Ende entscheidet darüber die jeweilige Genehmigungsbehörde.

Im Rahmen des Energieleitungsausbaugesetzes (EnLAG) wurden 2009 deutschlandweit vier Pilotprojekte für den 380-kV-Drehstrombereich definiert.

Im Rahmen dieser Pilotprojekte kann der Einsatz von Erdkabeln überprüft werden, wenn die gesetzlich geltenden Mindestabstände von 200 bzw. 400 Metern zu Wohngebäuden (§§ 34, 35 Baugesetzbuch) beim Bau von Freileitungen nicht eingehalten werden können.

Mit Änderung des Bundesbedarfsplangesetzes (BBPlG) vom 21. Dezember 2015 wurden weitere fünf Pilotprojekte festgelegt sowie weitere Kriterien eingeführt, die die Optionen für den abschnittsweisen Erdkabeleinsatz erweitern.



- Weniger als 400 Meter Abstand zur nächsten geschlossenen Siedlungslage
- Weniger als 200 Meter Abstand zu Wohngebäuden im Außenbereich



- Verstoß gegen artenschutzrechtliche Verbotstatbestände
- Erhebliche Beeinträchtigungen der Schutz- und Erhaltungsziele von FFH- und Vogelschutzgebieten



- Querung einer Bundeswasserstraße mit mindestens 300 m Breite

\* Verbindung seit 2015 als Freileitung in Betrieb

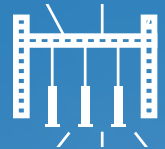
### EnLAG-Pilotprojekte (Stand Februar 2016):

- Altenfeld – Redwitz\*
- Walle – Mecklar
- Ganderkesee – Sankt Hülfe
- Dörpen West – Niederrhein

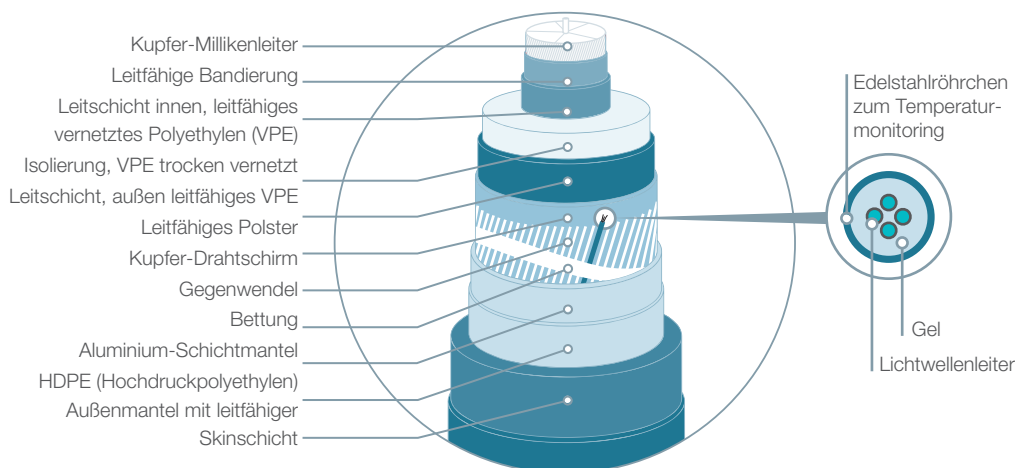
### BBPlG-Pilotprojekte (380-kV-Drehstrom – Stand Februar 2016):

- Ostküstenleitung: Kreis Segeberg über Lübeck nach Göhl und Siems
- Wilhelmshaven – Conneforde
- Conneforde – Cloppenburg – Merzen
- Stade – Landesbergen
- Emden Ost – Conneforde

# Freileitung und Erdkabel sicher verbinden

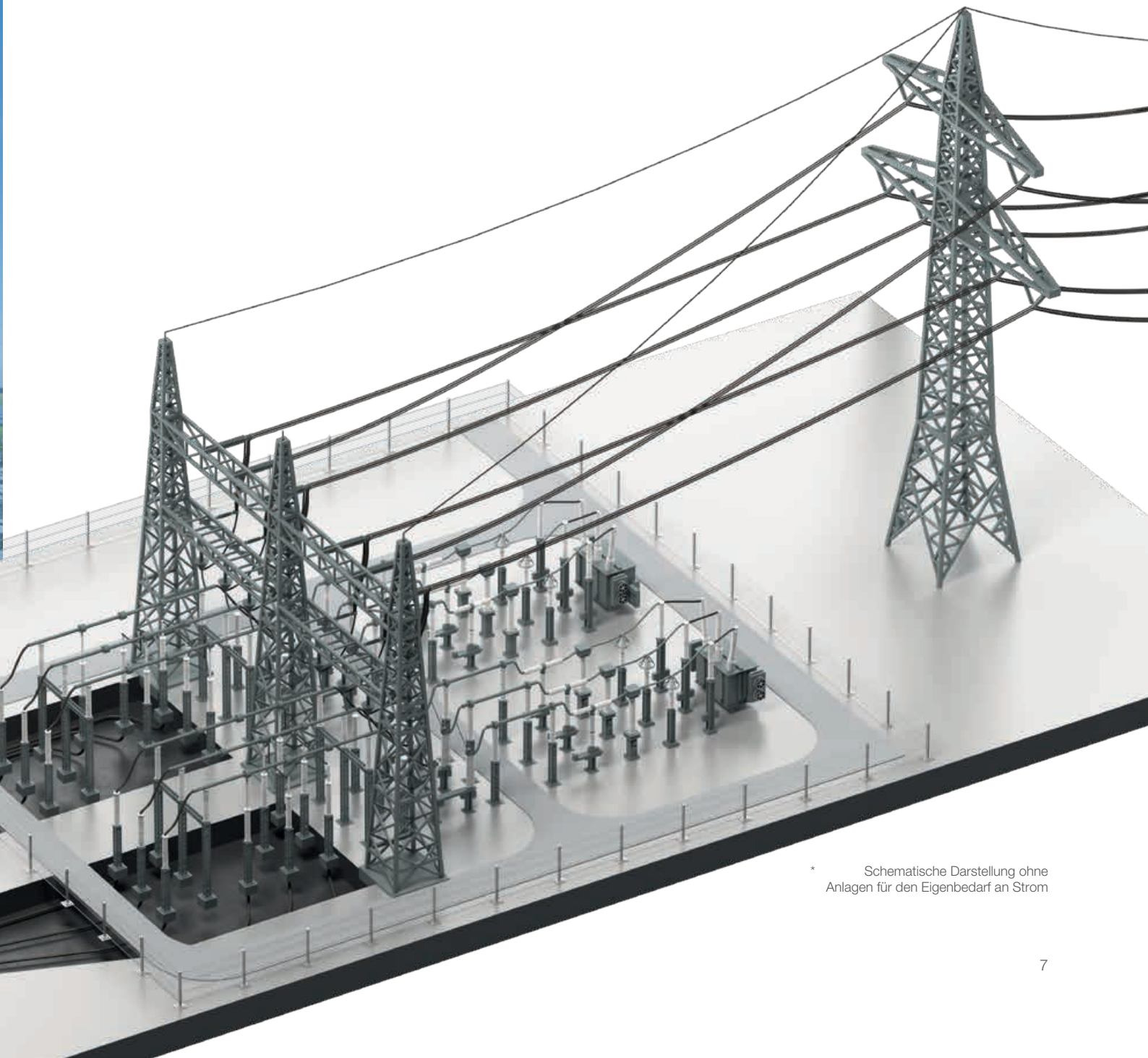


**Aufbau 380-kV-Erdkabel für Drehstromverbindungen**



## Die Kabelübergangsanlage\*

Um die Freileitung mit der unterirdischen Kabelanlage zu verbinden, sind Kabelübergangsanlagen erforderlich, die je nach Anforderungen einen Flächenbedarf von 50 x 70 bis zu 130 x 150 Meter haben.



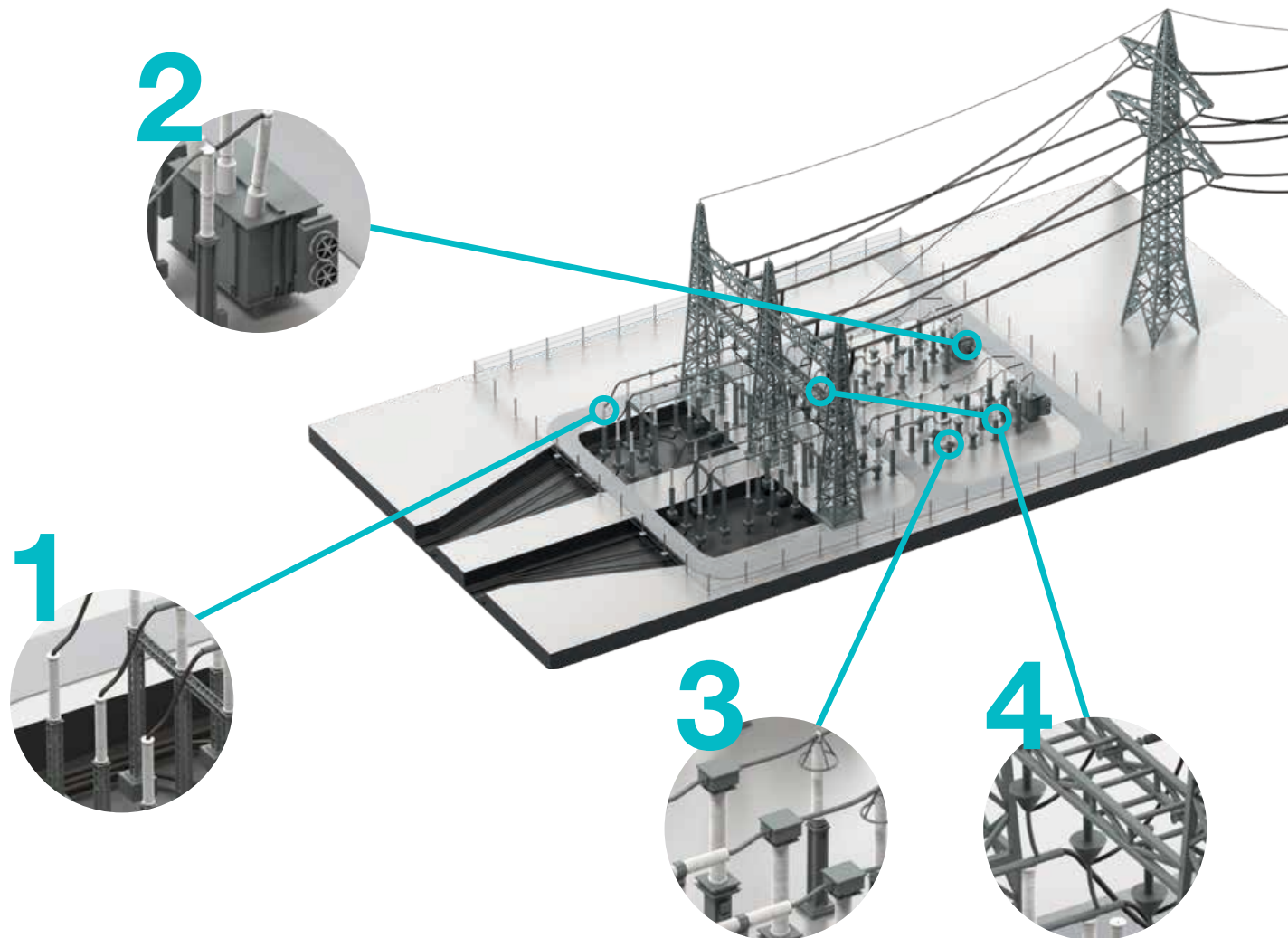
\* Schematische Darstellung ohne Anlagen für den Eigenbedarf an Strom

# Erdkabel-Anlagen in der Bauphase

Im Vergleich zu Freileitungen greifen Erdkabel kaum in das Landschaftsbild ein, denn die Kabelgräben selbst sind nach Abschluss der Bauarbeiten nahezu unsichtbar. Allerdings kommt es vor allem in der Bauphase zu umfangreicheren Eingriffen.

Weiterführende Informationen sowie Bild- und Video-material online unter: <http://tennet.eu/de/i-af90bce>





### 1 Kabeldurchführungen

Mit Kabeldurchführungen werden die Freileitungseile über die Sammelschiene mit den unterirdisch verlegten Kabeln verbunden. Isolatoren sorgen hierbei für den notwendigen Abstand, um elektrische Überschläge zu vermeiden. Im Inneren des Isolators befinden sich sogenannte Feldsteuerelemente aus elastischen Gummiwerkstoffen. Der äußere Isolator besteht nach TenneT-Spezifikation aus glasfaserverstärktem Epoxidharz mit Silikonkautschukschirmen. Die Höhe des Isolators beträgt etwa 4,2 Meter.

### 2 Blindstromkompensation

Abhängig von der Länge des Kabelabschnitts und der Beschaffenheit des angrenzenden Stromnetzes muss ggf. eine Kompensation des kapazitiven Blindstroms\* erfolgen. Dies ist erforderlich, um die Übertragungsverluste zu minimieren und das Netz sicher betreiben zu können. Hierzu werden an den Blindleistungsbedarf angepasste induktive Drosseln mit der Kabelanlage verschaltet. Für die Drossel muss ein zusätzliches Schaltfeld errichtet werden. Die Gesamtanlage braucht dementsprechend mehr Platz als eine einfache Kabelübergangsanlage.

### 3 Strom- und Spannungswandler

Für Netzbetrieb und Schutztechnik sind Strom- und Spannungswandler eingebaut. Die Schutzgeräte nutzen die Messsignale von Strom und Spannung, um bei Bedarf Schalthandlungen in den Schaltanlagen zu initiieren.

### 4 Überspannungsschutz

Bei Gewitter werden atmosphärische Überspannungen infolge eines Blitzeinschlags mit Ableitern begrenzt. Dies sichert die Langlebigkeit der Kabelanlage. Darüber hinaus leiten Blitzschutzmasten in der Nähe der Kabeldurchführungen die Blitzeinschläge direkt in die Erdungsanlage ab.

\* Blindstrom bzw. Blindleistung ist die Grundvoraussetzung, dass in einem Drehstromkreis überhaupt Strom fließen und transportiert werden kann. Die Blindleistung trägt nicht zur tatsächlichen Wirkleistungsübertragung bei.

### Drehstrom-Erdkabel im Profil

Üblicherweise erfordert die unterirdische Stromübertragung mit Kabeln eine Systemverdoppelung. Das heißt, zwei Freileitungssysteme mit sechs Bündelleiterseilen gehen in vier Kabelsysteme mit insgesamt zwölf einzelnen Kabelsträngen über. Während der Tiefbauarbeiten kann die benötigte Trassenbreite bei vier Kabelsystemen 40 bis 50 Meter betragen. Grundsätzlich werden die Kabel parallel nebeneinander gelegt, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten. Zur Verkürzung der Bauzeit werden zunächst Leerrohre verlegt und nach Bettung der Erdschichten die Kabel eingezogen. Um eine landwirtschaftliche Nutzung des Geländes über dem Kabelgraben zu ermöglichen, beträgt die Verlegetiefe rund 1,60 Meter. Nach Bauabschluss beträgt die Grabenbreite inklusive des Schutzstreifens 20 bis 30 Meter. Dieser Bereich muss während des gesamten Betriebs von tiefwurzelnden Gehölzen freigehalten werden, außerdem muss er im Servicefall jederzeit zugänglich sein.

### Schutz der Landschaft

Erdkabelbaustellen sind immer auch ein Eingriff in Boden und Landschaftsbild. Um ihre Auswirkungen zu minimieren, müssen die Baufirmen strenge Vorgaben einhalten. TenneT stellt dies durch eine naturschutzfachliche, bodenkundliche und archäologische Baubegleitung sicher.

### Schutz des Bodens

Wird Strom mittels Erdkabel übertragen, entsteht Wärme. Während diese bei Freileitungen einfach

in die umgebende Luft abgegeben wird, muss beim Erdkabel das umgebende Erdreich die Wärme aufnehmen. Je nach Bodenbeschaffenheit muss einer Austrocknung des Bodens vorgebeugt werden. Dies wird bei Bedarf durch ein thermisches Bettungsmaterial gewährleistet. Auch Auswirkungen auf eventuell vorhandene Drainagesysteme werden in der Planung berücksichtigt. Während der Bauphase wird der Mutterboden stets getrennt vom restlichen Aushub gelagert, um den Graben nach Abschluss der Arbeiten wieder ordnungsgemäß zu verfüllen.

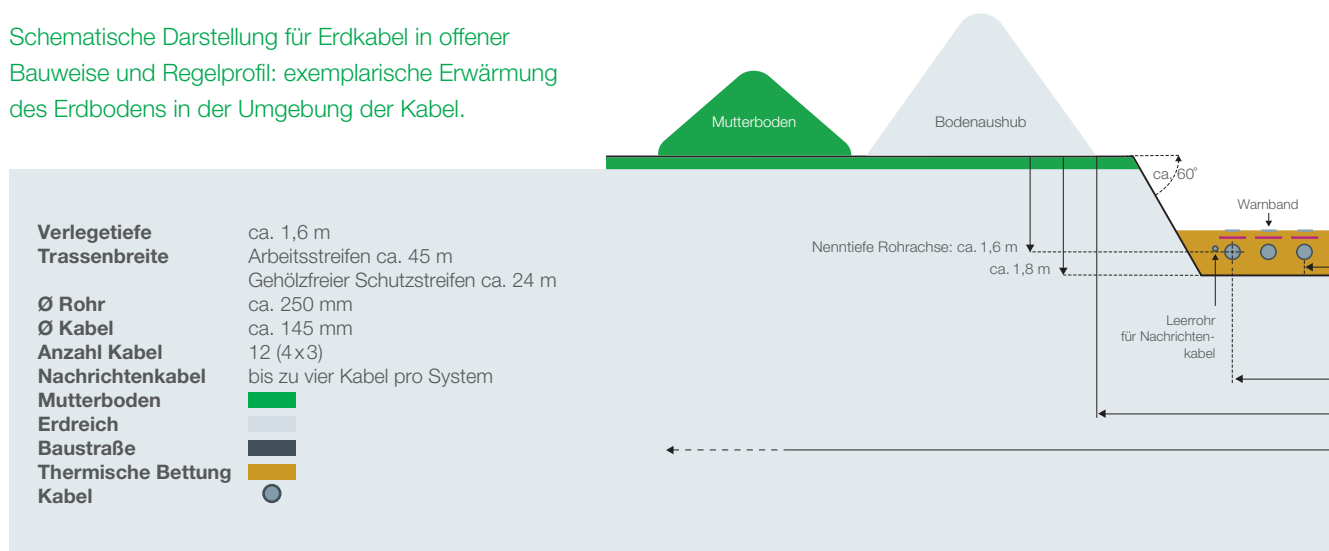
### Elektrische und magnetische Felder

Wird Strom über Erdkabel oder Freileitungen übertragen, entstehen elektrische und magnetische Felder. Bei Erdkabeln werden die elektrischen Felder durch den Kabelschirm der einzelnen Kabel und das umgebende Erdreich abgeschirmt. Durch die spezielle Anordnung und Verlegetiefe der Erdkabel wird sicher gestellt, dass die geltenden Grenzwerte für das magnetische Feld deutlich unterschritten werden. Beim Betrieb mit Erdkabeln nimmt das Magnetfeld mit zunehmendem seitlichen Abstand zur Trasse im Vergleich zu Freileitungen sogar stärker ab.

### Temperaturkontrolle

Grundsätzlich sind die Kabelanlagen so dimensioniert, dass die Änderung der Bodentemperatur an der Erdoberfläche unter allen Betriebsbedingungen gering bleibt. Ein Temperatur-Monitoringsystem wird eingesetzt, um die tatsächliche Auslastung einer Kabeltrasse darzustellen. Durch Temperaturmessung können

Schematische Darstellung für Erdkabel in offener Bauweise und Regelprofil: exemplarische Erwärmung des Erdbodens in der Umgebung der Kabel.



sogenannte Hotspots entlang der Trasse identifiziert werden. Sind diese identifiziert, kann durch eine Anpassung der Betriebsströme die temperaturbedingte Alterung der Kabel reduziert werden. Darüber hinaus kann das Monitoring-System bei niedrigen Umgebungstemperaturen eine temporär höhere Übertragungsleistung ermöglichen, ohne die zulässigen Grenztemperaturen zu überschreiten.

### Muffen und Muffengruben

Höchstspannungskabel können aus Transportgründen in der Regel nur in Teilstücken von rund 1.000 Metern Länge zur Kabeltrasse geliefert werden. Dies liegt zum einen am Gewicht der Kabeltrommeln und zum anderen an der begrenzten Gesamthöhe des Transports mit Blick auf die Unterquerung von Brücken. Daher müssen die Kabelstränge regelmäßig mit Kabelmuffen verbunden werden. Diese sind ebenfalls direkt erdverlegt und so untereinander verschachtelt, dass auch im Muffenabschnitt die normale Kabelgrabenbreite nicht überschritten wird.

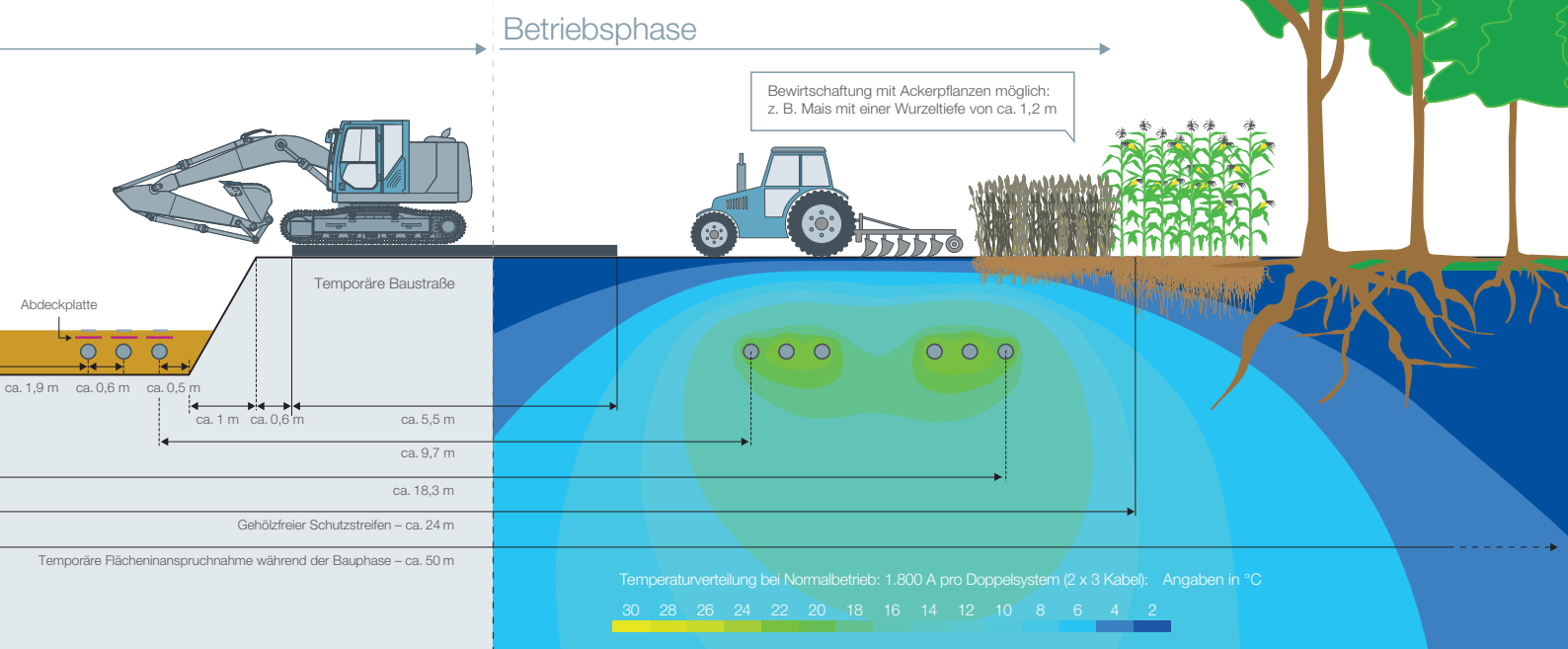
Die Kabelschirme sind in regelmäßigen Abständen untereinander ausgekreuzt, um die Übertragungsverluste zu minimieren (sog. Cross-Bonding). Hierzu sind Cross-Bonding-Kästen in der Nähe der Muffen installiert, die für den Service von oben stets zugänglich bleiben müssen. Diese Cross-Bonding-Kästen, die in der Regel mit Anfahrtschutzbügeln gesichert werden, sind nach Abschluss der Bauarbeiten der einzige sichtbare Teil der Kabelgräben.



Muffengruben im Bau



Cross-Bonding-Kästen in der Betriebsphase



# Erdkabel – Verhalten im Betrieb



Wenn der gesetzliche Rahmen eine Teilerdverkabelung bei einer Drehstromverbindung ermöglicht, dann spielt das Verhalten der Kabel im Betrieb eine entscheidende Rolle für die Gesamtlänge der Erdkabelabschnitte.

Der Betrieb von Übertragungsnetzen unter Einsatz von Erdkabelabschnitten, ist technisch sehr komplex. Bei den folgenden Erläuterungen muss daher auf eine vereinfachte Erläuterung verzichtet werden.

#### **Automatische Wiedereinschaltung (AWE)**

Bei kurzzeitigen Fehlern, also Stromunterbrechungen im Millisekundenbereich (z. B. durch Blitzeinschlag) dient die AWE dazu, die Isolierstrecke zwischen den stromführenden Komponenten wiederherzustellen. Dies geschieht ebenso im Millisekundenbereich. Bei gemischten Stromnetzen mit Erdkabel- und Freileitungsabschnitten spielt der Fehlerort eine wichtige Rolle. Während die AWE bei Freileitungen infolge einer Selbstheilung der Luftstrecke bei den meisten Fehlern Erfolg hat, kann eine Stromunterbrechung in einer Kabelanlage durch eine AWE nicht behoben werden. Der Fehlerort kann durch die Schutztechnik präzise bestimmt werden. Liegt er in einem Kabelabschnitt, so muss die schadhafte Stelle mit schwerem Gerät freigelegt und repariert werden. Dies führt zu einem mehrwöchigen Ausfall des Systems. Sofern der Fehlerort im Freileitungsabschnitt liegt, kann die AWE grundsätzlich angewendet werden, wenn die Kurzschlussströme in den Kabelsträngen auch bei wiederholter Beaufschlagung die Isolierung der Erdkabel nicht beschleunigt altern lassen.

#### **Grenzen des Netzausbaus mit Erdkabel**

Der Einsatz von Erdkabeln in der Nähe eines Netzknotens (Umspannwerk und/oder Schaltanlage) erhöht sukzessive die Betriebskapazität der Übertragungsstrecke. Obwohl die Blindströme der Kabelanlage in regelmäßigen Abständen mit Drosseln kompensiert werden können, gibt es weitere elektrotechnische Effekte, die mögliche Kabellängen begrenzen:

- die Resonanzfrequenzverschiebung am Netzknoten zu niedrigeren Werten
- das Systemverhalten bei schnellen Spannungsänderungen
- die Systemantwort bei transienten Überspannungen

Vereinfacht gesagt entspricht eine Kopplung von Freileitung und Erdkabel einem Schwingkreis, der eine spezifische Resonanzfrequenz besitzt. Komplexe Netze weisen oberhalb der Grundfrequenz von 50 Hertz (Hz) mehrere Resonanzfrequenzen auf.

Im Bereich einer Resonanzfrequenz steigt die Impedanz des Schwingkreises steil an, d. h. Überspannungen (z. B. infolge von Blitzeinschlag), die hier auftreten, werden nicht niederohmig gedämpft, sondern wirken sich voll auf die Netzkomponenten aus. Anregungsfrequenzen, die weiter von der Resonanzfrequenz entfernt liegen, werden hingegen gedämpft, sodass die auftretenden transienten Überspannungen den Netzbetrieb nicht gefährden.

Beim Einsatz von 380-kV-Erdkabeln im vermaschten Drehstromnetz ist zu berücksichtigen, dass die variierenden Wechselwirkungen zwischen den Netzkomponenten keine allgemeingültigen Aussagen pro oder contra Erdverkabelung zulassen. Jeder einzelne Kabelabschnitt erfordert daher eine differenzierte Betrachtung unter Berücksichtigung der Lage im Gesamtnetz.

# Erdkabel – Verhalten im Betrieb

## **Resonanzfrequenzverschiebung zu niedrigeren Werten**

Die Länge der Kabelabschnitte im jeweiligen Stromübertragungssystem (Höchstspannung) hat unmittelbar Einfluss auf dessen Resonanzfrequenz\*. Die Grafik rechter Hand zeigt: Je länger die Kabelabschnitte, desto stärker nähert sich die Resonanzfrequenz und damit das gefährliche Impedanzmaximum der Netzfrequenz. Hier ist die Erhöhung der Netzimpedanz (auf der y-Achse) über der Anregungsfrequenz (auf der x-Achse) dargestellt.

Ist die Impedanz hoch, werden schädliche Überspannungen nur wenig oder gar nicht gedämpft. Überspannungen durch die Oberschwingungen von Leistungselektronik im Netz oder infolge normaler Schaltaktionen werden jedoch nahe der Netzfrequenz gut gedämpft, solange die Impedanz niedrig ist. Um die Netzkomponenten zu schützen, muss deshalb eine übermäßige Verschiebung der Resonanzfrequenzen hin zur Netzfrequenz unbedingt vermieden werden. Die Grafik zeigt exemplarisch den Zubau einer Kabelanlage von 10, 20 und 30 Kilometer Länge für eine geplante Verbindung zwischen zwei existierenden Netzknoten. Bei Zubau eines 10 Kilometer langen Kabelabschnitts liegt die Resonanzfrequenz des Systems bei hohen 540 Hz. Mit dem Zubau von weiteren 10 Kilometer Kabelanlage sinkt die Frequenz auf circa 400 Hz, und bei 30 Kilometer Kabellänge auf kritische 210 Hz. Während die Netzimpedanz bei 50 Hz sehr niedrig ist, ist sie z. B. bei 210 Hz zwanzig mal höher. Je stärker sich die Resonanzfrequenz in Richtung 300 Hz

verschiebt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Schwingungsanregung durch Schaltaktionen und Überspannungen durch im Netz vorhandenen Oberschwingungen. Die Konsequenz aus beiden Effekten ist, dass an jedem Netzknoten ein Mindestabstand zwischen Netzfrequenz und Resonanzfrequenz gewahrt bleiben muss. Er definiert sich über den Grenzwert der Resonanzfrequenz, der nicht unterschritten werden darf. Der Grenzwert muss für jeden Netzknoten individuell berechnet werden. Ohne eine solche Berechnung können keine Aussagen über mögliche Kabellängen in der Nähe dieses Netzknotens getroffen werden.

Dabei ist zu beachten, dass eine Verringerung der Resonanzfrequenz immer zu einer gefährlichen Situation führen kann, wenn kurzzeitige Spannungsänderungen auftreten. Liegt beispielsweise der tolerierte Wert der Resonanzfrequenz bei 300 Hz, so ist ein Zubau von 20 Kilometern betriebssicher möglich, eine Erweiterung auf 30 Kilometer ist aber nicht tolerabel, weil dann die Gefahr zu groß wird, dass die transienten Überspannungen nicht mehr zu beherrschen sind.

### Der Hintergrund:

Mit der Länge der Kabelabschnitte im System wächst die Wahrscheinlichkeit von Schäden an Netzkomponenten durch Überspannungen.

### Die Konsequenz:

Aussagen über Erdkabelabschnitte und deren Länge sind erst nach individueller Berechnung und Überprüfung für jeden Abschnitt und Netzknoten möglich.

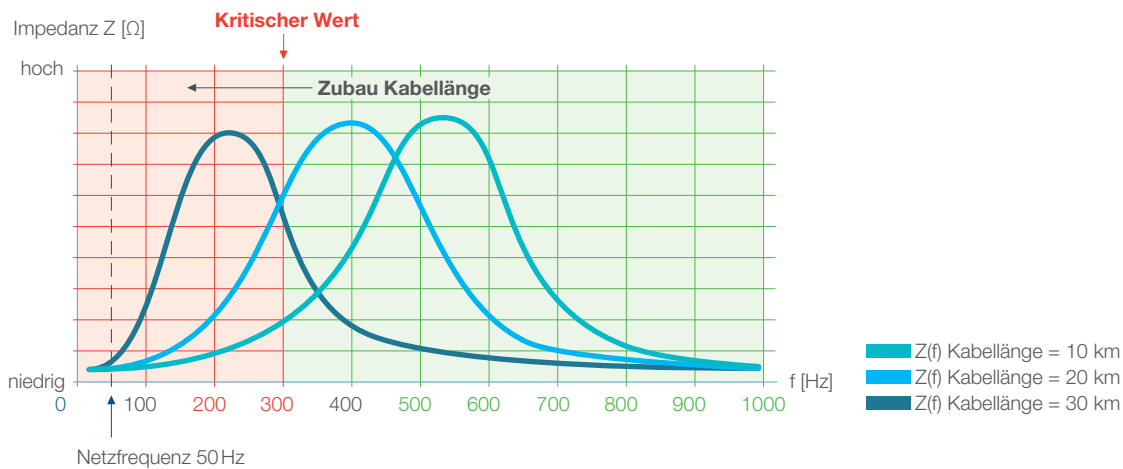
### Die Zukunft:

TenneT wird die Erfahrungen aus den Pilotprojekten nutzen, um die Möglichkeiten der Erdverkabelung mit der Netzstabilität in Einklang zu bringen.

\* Resonanzfrequenz ist die Eigenfrequenz eines Systems



## Schematische Darstellung der Resonanzpunktverschiebung bei zunehmender Kabellänge



Dies kann zu Spannungsüberhöhungen führen und in letzter Konsequenz einen Durchschlag des Betriebsmittels Erdkabel und somit dessen langfristigen Ausfall bedeuten. Dies würde die unmittelbare Gefährdung der Netzstabilität und damit eine Gefährdung der Versorgungssicherheit für ganze Regionen bedeuten. Langfristig führt der Betrieb bei einer verringerten Resonanzpunktverschiebung zu einer höheren Spannung und beschleunigt so die Alterung der Erdkabel sowie der damit verbunden Schaltanlagen und Transformatoren. Die Grafik zeigt, dass sich mit dem Zubau an Kabellänge die Resonanzfrequenz hin zu niedrigeren Werten verschiebt. An diesem Netzknoten bedeutet der Zubau von 20 Kilometer Kabeltrasse eine Verschiebung der Resonanzfrequenz auf circa 400 Hz. Damit ist die tolerable Stabilitätsgrenze eines Erdkabelsystems auf der 380-kV-Ebene fast erreicht.

## Weiterer Netzausbau mit Erdkabeln

TenneT wird die Teilverkabelung im Drehstrom-Höchstspannungsbereich mit Augenmaß weiterentwickeln. Ziel ist es, wertvolle Erfahrungen zu gewinnen, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden. Langfristig wird mehr Erdverkabelung nur dann zur Akzeptanz für den dringend notwendigen Netzausbau beitragen, wenn die Stromversorgung auf einem gleichbleibend hohen Niveau gewährleistet wird. Der Gesetzgeber hat hier eine große Chance, die Akzeptanz für neue Stromleitungen zu steigern und damit den für das Gelingen der Energiewende dringend notwendigen Netzausbau zu beschleunigen. TenneT ist sich seiner Verantwortung bewusst und wird im Rahmen der gesetzlichen und technischen Möglichkeiten Teilverkabelungen zu einer praktikablen Option weiterentwickeln.



TenneT ist einer der führenden Übertragungsnetzbetreiber in Europa. Mit rund 23.500 Kilometern Hoch- und Höchstspannungsleitungen in den Niederlanden und Deutschland bieten wir eine zuverlässige und sichere Stromversorgung für 42 Millionen Endverbraucher. Wir erzielen mit fast 5.000 Mitarbeitern einen Umsatz von 4,1 Mrd. Euro. Gleichzeitig sind wir einer der größten Investoren in nationale und grenzübergreifende Übertragungsnetze an Land und auf See, die die Energiewende ermöglichen. Als verantwortungsbewusstes, engagiertes und vernetztes Unternehmen handeln wir dabei mit Blick auf die Bedürfnisse der Gesellschaft.

TenneT TSO GmbH  
Bernecker Straße 70  
95448 Bayreuth  
Deutschland  
Telefon +49 (0)921 50740-0  
Fax +49 (0)921 50740-4095  
E-Mail [info@tennet.eu](mailto:info@tennet.eu)  
Twitter @TenneT\_DE  
Instagram @tennet\_de  
[www.tennet.eu](http://www.tennet.eu)

© TenneT TSO GmbH - Oktober 2020

Nichts aus dieser Ausgabe darf ohne ausdrückliche Zustimmung der TenneT TSO GmbH vervielfältigt oder auf irgendeine andere Weise veröffentlicht werden. Aus dem Inhalt des vorliegenden Dokuments können keine Rechte abgeleitet werden.

