

# KURZ & KNAPP: ERDKABEL UND FREILEITUNG

Quelle: BDS/Kristoffer Born



**BÜRGERDIALOG  
STROMNETZ**

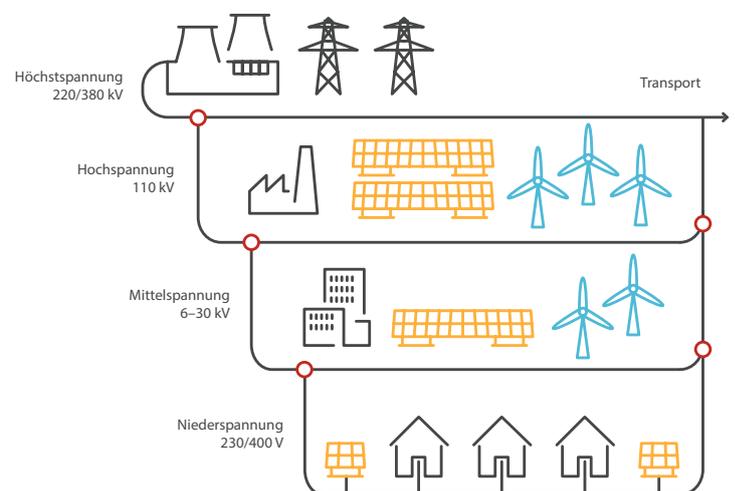
## TECHNIKOPTIONEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Unter welchen Voraussetzungen können Erdkabel auch auf Langstrecken zur Stromübertragung eingesetzt werden? Welche Vorteile bieten Erdkabel gegenüber Freileitungen und welche Nachteile gibt es? Wir stellen die Übertragungstechniken im Detail vor.

### DAS STROMNETZ

Unser Stromnetz ist gut ausgebaut und weit verzweigt. Unterteilt wird es in das Übertragungsnetz (Hoch- und Höchstspannung), das große Strommengen über weite Strecken transportieren kann, und das Verteilnetz (Nieder- und Mittelspannung), das den Strom bis in unsere Häuser bringt. Je nach Anforderung kommen dabei unterschiedliche Übertragungstechniken zum Einsatz.

Übertragen wird in Deutschland der sogenannte Drehstrom, weil er leicht auf verschiedene Spannungsebenen umzuwandeln und technisch einfacher zu handhaben ist. Drehstrom ist eine besondere Form des Wechselstroms, der in einem Generator in drei Spulen mit einem leichten zeitlichen Versatz erzeugt und mit drei Leitern abgeführt wird. Drehstrom ist demnach ein dreifacher, phasenverschobener Wechselstrom. Während Gleichstrom weder seine Richtung noch seine Stärke ändert, ändert der Wechselstrom in regelmä-



**Spannungsebenen:** Das Stromnetz besteht aus unterschiedlichen Spannungsebenen, die miteinander verknüpft ein möglichst sicheres Gesamtsystem bilden. Die Höchstspannungsebene ist für den Stromtransport über größere Entfernungen bestimmt. Die Hochspannungsebene ist für den regionalen Stromtransport vorgesehen. Größere Energieerzeuger können direkt einspeisen und größere Verbraucher direkt abnehmen. Die Mittelspannungsebene verbindet Dörfer. Auf der Niederspannungsebene wird der Strom schließlich bis in die Haushalte verteilt.

Biger Frequenz seine Fließrichtung – und zwar 100 Mal pro Sekunde, so dass sich eine Frequenz von 50 Hertz ergibt.

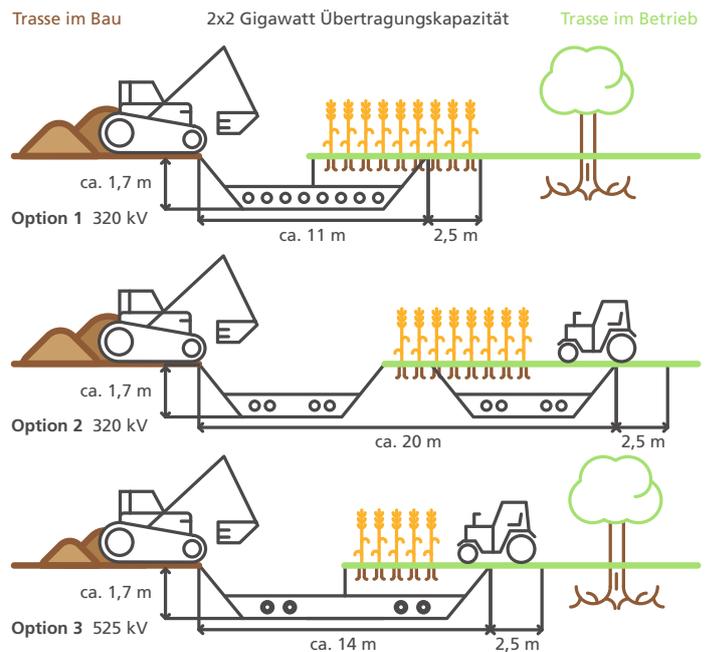
Soll Strom über sehr weite Distanzen transportiert werden, entstehen bei der Übertragung mit Drehstrom ab mehreren Hundert Kilometern Länge allerdings hohe Energieverluste. Aus diesem Grund werden die anvisierten Nord-Süd-Trassen wie SuedLink, SuedOstLink und Ultranet als Gleichstromleitungen geplant.

Auf den Nieder- und Mittelspannungsebenen der regionalen Verteilnetze ist der Aufwand für Erdkabel und Freileitungen vergleichbar, Erdkabel sind hier gängige Praxis. Auch auf der Hochspannungsebene (bis 110 kV) sind Erdkabel Stand der Technik und werden zunehmend eingesetzt. Auf den höchsten Spannungsebenen des Übertragungsnetzes (220/380 kV oder mehr) sind bis jetzt fast ausschließlich Freileitungen im Einsatz.

Das Stromnetz in Deutschland ist an vielen Stellen miteinander verknüpft – die Stromleitungen hängen wie ein Netz zusammen. Dieses sogenannte „vermaschte Netz“ bietet den großen Vorteil, dass die Versorgung beim Ausfall einer Leitung nicht unterbrochen wird, sondern von anderen Leitungen abgedeckt werden kann.

### STROMÜBERTRAGUNG ÜBER WEITE DISTANZEN

Ab etwa 400 Kilometern Länge werden die Verluste bei der Höchstspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ) zu groß. Deshalb kommt hier die Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnologie (HGÜ) zum Einsatz, mit der deutlich längere Distanzen – bis zu mehreren tausend Kilometern – überwunden werden können. Bisher wurden HGÜ-Leitungen in Deutschland nur bei der Anbindung von Offshore-Windparks an das Festland oder bei anderen Seekabeln eingesetzt. Die auf dem Festland geplanten Gleichstromtrassen verbinden in der Regel zwei Punkte miteinander und haben keine Abzweigungen. Um diese Leitungen mit dem vermaschten Drehstromnetz verbinden zu können, sind an deren Anfang und Ende Konverter erforderlich, die Drehstrom in Gleich-



**Technikooptionen bei der HGÜ mit Erdkabeln:** Um die bei den Nord-Süd-Trassen vorgesehene Übertragungskapazität von 2 x 2 Gigawatt mit Erdkabeln zu erreichen, werden unterschiedliche Technikooptionen diskutiert. Mit herkömmlichen 320-kV-Kabeln werden vermutlich 2 x 4 Kabel notwendig, die in einem oder zwei getrennten Gräben verlegt werden. Kommen 525-kV-Kabel zum Einsatz, können 2 x 2 Kabel ausreichen. Je nach Sicherheitskonzept kommen eventuell noch metallische Rückleiter und Kommunikationskabel hinzu. Während des Baus ist ausreichend Platz für eine Baustraße und für Erdzwischenlager freizuhalten. Im Betrieb ist die landwirtschaftliche Nutzung der Trassen möglich, von tiefwurzelnden Gehölzen ist sie jedoch durch einen Schutzstreifen freizuhalten.

**Wichtig:** Die tatsächliche Umsetzung kann – je nach Untergrund, Kabeltechnologie, Spannungsebene und Sicherheitskonzept – von dieser schematischen Darstellung abweichen.

strom und Gleichstrom in Drehstrom umwandeln. Zwar entstehen auch hierbei Energieverluste, aber auf langen Strecken bleibt die Gleichstromtechnik deutlich effizienter.

### FREILEITUNGEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Im Höchstspannungsbereich sind Freileitungen die am häufigsten eingesetzte Übertragungstechnologie. Aufgrund der langjährigen Erfahrungen mit dieser Technologie ist sie sehr gut beherrschbar.

### n-1-Sicherheit

Jede beliebige Stelle im Stromnetz wird immer von zwei Seiten „versorgt“. Treten Störungen auf einem Leitungsabschnitt auf, kann die Versorgung trotzdem gewährleistet werden. Der fehlerhafte Teil wird ausgeschaltet und die Stromversorgung findet „von der anderen Seite“ her statt. So können Versorgungsunterbrechungen oder gar Ausweitungen der Störung verhindert werden. Im Normalbetrieb sollen deshalb alle Leitungen maximal 60 Prozent der theoretisch möglichen Leistung übertragen. Im Notfall kann so ein benachbarter Teilabschnitt den Stromtransport komplett übernehmen.

### Blindleistung

Weil bei der Übertragung von Drehstrom ein Teil der Leistung für die Stromübertragung selbst nötig ist, kommt am Ende der Stromleitung nicht die gesamte eingespeiste Energie an. Diesen Teil bezeichnet man als Blindleistung. Aus physikalischen Gründen ist dieser Energieverlust bei Drehstromerdkabeln wesentlich höher als bei Drehstromfreileitungen. Bei HDÜ-Erdkabeln werden deshalb nach etwa 25 bis 30 Kilometern Kompensationsanlagen nötig, die die nötige Blindleistung bereitstellen. Bei einer Gleichstromübertragung – sowohl Freileitung als auch Kabel – fällt keine Blindleistung an.

Die Stahlgittermasten, an denen die Leiterseile aufgespannt werden, sind üblicherweise 50 bis 75 Meter hoch. Die Höhe der Masten ergibt sich aus der zu überspannenden Länge zwischen zwei Masten. Denn in jedem Fall muss ein bestimmter Mindestabstand zur Erde eingehalten werden. Auch die Grenzwerte für elektromagnetische Felder sind einzuhalten. Die Leiterseile sind in der Regel aus Aluminium mit einer Stahlseele. Eine Isolierung ist nicht notwendig, da die Luft als Isolator wirkt. Auch die Kühlung des Kabels ist durch den Luftstrom gewährleistet. Für eine Drehstromtrasse auf der Höchstspannungsebene wird ein etwa 70 Meter breiter Schutzstreifen erforderlich, in dem die bauliche und landwirtschaftliche Nutzung eingeschränkt ist.

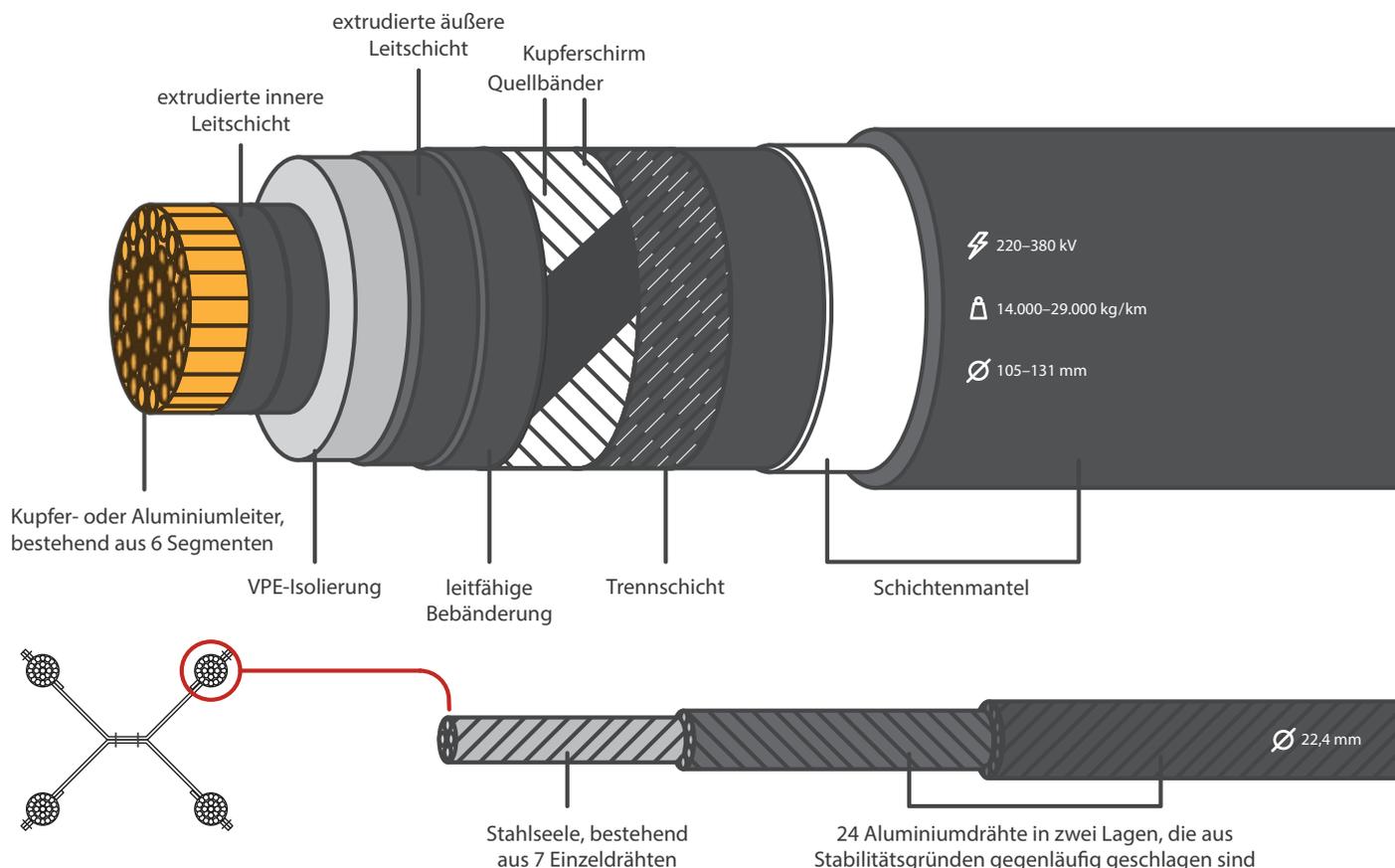
Weltweit finden sich etwa 90 HGÜ-Freileitungen, die über große Entfernungen in dünn besiedelten Räumen Strom übertragen (u. a. in Kanada und China). Die Trassen ähneln einer HDÜ-Freileitung mit gleicher Spannung. Eine reine HGÜ-Freileitung ist in Deutschland bisher nicht geplant, dafür aber eine Hybridleitung. Beim Projekt Ultratnet soll erstmals auf Masten einer bestehenden HDÜ-Leitung ein System durch ein Gleichstromsystem ersetzt werden.

### ERDKABEL IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Bisher gibt es in Deutschland wenig Erfahrung mit Erdkabeln im Übertragungsnetz – weder mit Drehstrom noch

mit Gleichstrom. Die Stromübertragung mittels Erdkabel ist auf dieser Spannungsebene technisch aufwändiger als mit Freileitungen. Im Drehstromnetz wird die Technologie in Pilotprojekten an ausgewählten, kürzeren Abschnitten getestet. Gleichstromkabel hingegen sind technisch einfacher, da hier die Blindleistung keine Rolle spielt und es keine unmittelbaren Auswirkungen auf das vermaschte Drehstromnetz gibt.

Der grundsätzliche Aufbau einer Erdkabeltrasse ist bei Gleich- und Drehstrom weitgehend derselbe. Die Verlegung der Kabel erfolgt in etwa 1,70 Meter Tiefe, zu meist in einem offenen Graben (= offene Bauweise). Die Kabel können direkt in die Erde oder in ein isolierend wirkendes Kunststoffrohr verlegt werden. Zwischen den Kabeln müssen technisch vorgegebene Abstände eingehalten werden. Für eine optimale Wärmeableitung vom Kabel kann es auch notwendig werden, dieses in einem speziellen Füllmaterial zu verlegen (sogenannter „Flüssigboden“). Um die Belastungen für das Schutzgut Boden so gering wie möglich zu halten, werden die unterschiedlichen Bodenschichten einzeln ausgehoben und gelagert. Verdichtungen durch schweres Gerät oder unsachgemäße Lagerung der entnommenen Bodenschichten sollten vermieden werden. Wird der Graben wieder geschlossen, werden die Bodenschichten wieder einzeln rückverfüllt.



Quelle: Bürgerdialog Stromnetz

Ein Erdkabel für die Stromübertragung auf höchster Spannungsebene ist Hightech. Neben dem eigentlichen Leiter besteht es aus unterschiedlichen Isolier-, Abschirmungs- und Schutzschichten. Beim Freileitungskabel kann auf die Isolierung verzichtet werden – die Luft wirkt als Isolator.

In der Bauphase ist die Erdkabeltrasse breiter als in der Betriebsphase, denn neben dem Kabelgraben ist ein Streifen für Baufahrzeuge und Lagerflächen nötig. Als groben Richtwert kann man in der Bauphase etwa 40 Meter Trassenbreite annehmen (abhängig von der gewählten Technik und den örtlichen Gegebenheiten). Bei einer halboffenen oder geschlossenen Bauweise kann das Kabel mittels Pflug oder unterirdischer Bohrung verlegt werden. Da in Deutschland Verlegetechniken für Erdkabel dieser Größenordnung noch nicht erprobt sind, werden momentan verschiedene Verlegeoptionen geprüft.

Die endgültige Breite einer Erdkabeltrasse hängt von der Übertragungsleistung, der Kabelart und der Bauweise ab. Je leistungsfähiger ein Kabel ist, desto weniger Kabel braucht man, um die gleiche Menge Strom zu übertragen. Die Trassen können dann entsprechend schmaler ausfallen. Bei den Gleichstromverkabelungen in Deutschland wird derzeit getestet, ob 320-kV- oder leistungsfähigere 525-kV-Kabel zum Einsatz kommen können.

Sind die Bauarbeiten abgeschlossen, darf die Trasse begrünt werden und auch die landwirtschaftliche Nutzung ist möglich. Allerdings ist die Trasse von tiefwurzelndem Bewuchs, also insbesondere Bäumen, freizuhalten. Das Erdkabel darf zudem nicht überbaut werden, damit es für Wartungs- und Reparaturarbeiten jederzeit zugänglich ist.

#### **ERDKABEL ODER FREILEITUNG – FREIE WAHL?**

Technisch können sowohl bei Gleichstrom als auch bei Drehstrom Freileitungen oder Erdkabel zum Einsatz kommen. Freie Wahl besteht jedoch nicht: Bei welchen Leitungen eine Voll- oder Teilerdverkabelung genehmigt werden kann, ist gesetzlich geregelt. Für die geplanten Gleichstromtrassen wie SuedLink und SuedOstLink ist im Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) seit 2016 ein „Erdkabelvorrang“ festgeschrieben. Sie werden demnach als Erdkabeltrassen gebaut. Freileitungsabschnitte gibt es hier nur als Ausnahme. Bei den Drehstromleitungen ist die Freileitung nach wie vor Stand der Technik. Nur an ausgewählten Leitungen sind Erdkabelabschnitte möglich, die ebenfalls gesetzlich festgeschrieben sind.

#### **Weiterführende Informationen im Netz**

**Bundesnetzagentur**  
[www.netzausbau.de](http://www.netzausbau.de)

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**  
[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

**Aktuelle Versionen der Gesetze unter**  
[www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

**Forum Netzintegration Erneuerbare Energien**  
[www.forum-netzintegration.de](http://www.forum-netzintegration.de)

**Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)**  
[www.dena.de](http://www.dena.de)

#### **Netzbetreiber**

**TransnetBW GmbH**  
[www.transnetbw.de](http://www.transnetbw.de)

**50Hertz Transmission GmbH**  
[www.50hertz.com](http://www.50hertz.com)

**TenneT TSO GmbH**  
[www.tennet.eu](http://www.tennet.eu)

**Amprion GmbH**  
[www.amprion.net](http://www.amprion.net)

#### **Kontakt**

Bürgerdialog Stromnetz GbR  
Schlesische Straße 26  
10997 Berlin

E-Mail: [info@buergerdialo-gstromnetz.de](mailto:info@buergerdialo-gstromnetz.de)  
Tel.: 030 609871-670  
[www.buergerdialo-gstromnetz.de](http://www.buergerdialo-gstromnetz.de)  
V. i. S. d. P.: Julia Spönemann