

VATTENFALL EUROPE: WISSEN 01/05

DATEN, FAKTEN, EINBLICKE IN DIE ENERGIEWIRTSCHAFT

# HÖCHSTSPANNUNGSNETZE: FREILEITUNG ODER KABEL?

Eine Analyse der Vattenfall Europe AG mit dem  
Beispiel des 380-kV-Kabelprojekts in Berlin

---

# VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

Sie halten die erste Ausgabe von „Vattenfall Europe: WISSEN“ in den Händen. Mit dieser Publikation möchten wir Ihnen zu verschiedenen Aspekten der Energieversorgung Informationen und Fakten in kompakter Form zur Verfügung stellen. Energieversorgung ist eine facettenreiche und spannende Tätigkeit in einem dynamischen und sich immer weiter integrierenden europäischen Marktumfeld, in dem sich Vattenfall Europe als drittgrößtes deutsches Strom- und größtes deutsches Fernwärmeunternehmen auf allen Marktstufen engagiert. Mit „WISSEN“ stellen wir uns einem immer komplexer werdenden Dialog zwischen Politik, Gesellschaft und Öffentlichkeit.



Strom und Gas benötigen Leitungen, um vom Kunden genutzt werden zu können. Beim Strom kommt erschwerend hinzu, dass es bis heute keine Möglichkeit gibt, diesen in nennenswertem Umfang zu speichern. Das bedeutet erstens: Es muss stets so viel Strom erzeugt werden, wie gerade verbraucht wird, und zweitens: Die Leitungsnetze müssen so ausgelegt sein, dass auch der höchste zu erwartende Strombedarf sicher und zuverlässig transportiert werden kann. „Kein Netz“, wie wir es zuweilen bei unseren Handys im „Funkloch“ erleben, ist für die Stromversorgung undenkbar.

Die stetige Verfügbarkeit der „leitungsgebundenen“ Energien Strom und Gas ist für uns in Deutschland eine Selbstverständlichkeit geworden. Dies ist einerseits ein begrüßenswertes Zeichen für den anhaltend hohen Grad der Zuverlässigkeit der Stromversorgung hierzulande. Andererseits mag man darüber zuweilen vergessen, dass diese Zuverlässigkeit das Ergebnis der engagierten Arbeit vieler Menschen der Strombranche und der Investitionen eben dieser Branche ist. Dieses Maß an Zuverlässigkeit gibt es nicht umsonst. Im Herbst 2003 führten die großflächigen Stromausfälle im Nordosten der USA, aber auch in Teilen Nord- und Südeuropas vor Augen, was das Fehlen der „Selbstverständlichkeit Strom“ bedeuten kann. In der Diskussion um Standortfaktoren ist deshalb auch zu fragen, was uns als Wirtschaft, als Verbraucher, als Gesellschaft eine zuverlässige Stromversorgung wert ist.

Zentraler Baustein einer verlässlichen Stromversorgung sind die Übertragungsnetze. Über sie erfolgt der überregionale Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des gesamten elektrischen Versorgungssystems und des internationalen Stromhandels. In zunehmendem Maße kommt der Transport des vor allem in Windkraftanlagen regenerativ erzeugten Stroms von den verbrauchsfernen Erzeugungsstandorten im Nordosten Deutschlands zu den Verbrauchsschwerpunkten in Süddeutschland hinzu. Auch für den wachsenden grenzüberschreitenden Stromhandel im europäischen Binnenmarkt bedarf es zusätzlicher Kapazitäten. Ohne einen rechtzeitigen Ausbau der Übertragungsnetze ist weder die im Sinne des Klimaschutzes gewünschte verstärkte Nutzung der Windenergie noch die Aufrechterhaltung eines sicheren und stabilen Netzbetriebs möglich.

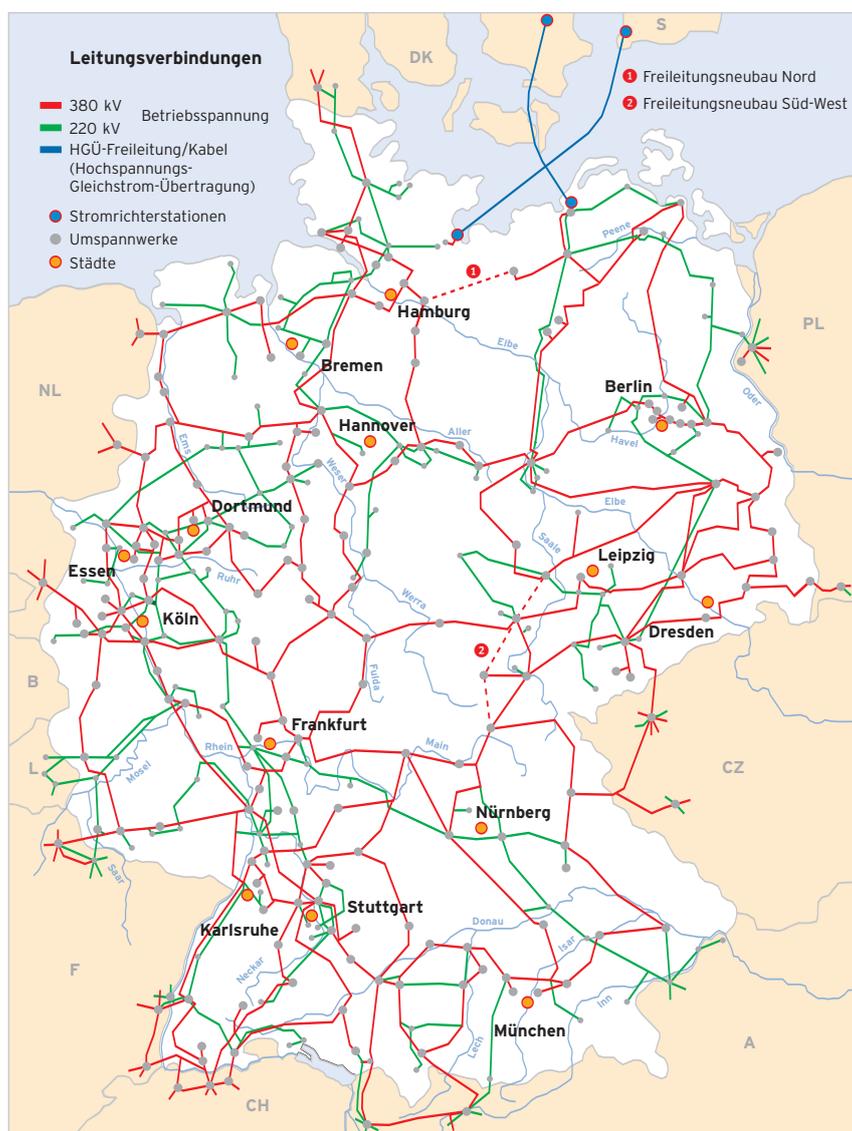
Allein Vattenfall Europe investiert deshalb in dreistelliger Millionenhöhe in die Netzinfrastruktur. Beim Bau einer neuen Übertragungsleitung begegnet uns als Unternehmen vielfach die Forderung, die Leitung als Kabel statt als Freileitung auszuführen. Im Folgenden legen wir Ihnen, sehr geehrte Leserinnen und Leser, in Bezug auf beide Ausführungsvarianten Fakten zu Kosten, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit vor. Anhand eines Beispiels möchten wir Ihnen zeigen, unter welchen Bedingungen der Einsatz von Kabeln im Übertragungsnetz möglich ist.

A handwritten signature in blue ink that reads "Klaus Rauscher". The signature is fluid and cursive.

Dr. Klaus Rauscher  
Vorsitzender des Vorstandes der Vattenfall Europe AG

# ÜBERTRAGUNGSNETZE

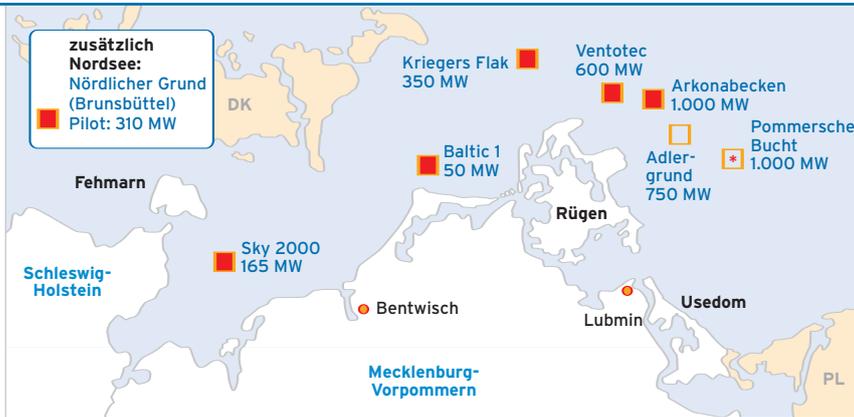
SICHERHEIT DER GESAMTEN STROMVERSORGUNG UND PLATTFORM  
DES INTERNATIONALEN STROMHANDELS



Deutsches Höchstspannungsnetz.

Ziel des europäischen Binnenmarktes für Strom ist eine preisgünstige, sichere und umweltgerechte Stromversorgung. Ein Element hierfür ist ein ungehinderter europaweiter Stromhandel. Für diesen werden die Transportkapazitäten der Übertragungsnetze genutzt. Aufgabe der Netzbetreiber ist es, die Nachfrage nach Transportkapazitäten für die Übertragung von Elektrizität zu befriedigen. Seit Beginn der Liberalisierung im Jahre 1998 ist diese Nachfrage ständig gestiegen.

Überschreitet die Nachfrage die vorhandenen Kapazitäten, führt dies zu Einschränkungen des Handels und zur Gefährdung der Versorgungssicherheit. Um dies zu vermeiden, bedarf es zusätzlicher Übertragungskapazitäten. Der Ausbau der Übertragungsnetze in Deutschland ist darüber hinaus durch den Ferntransport von Strom aus regenerativen Energien bedingt. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verpflichtet die Netzbetreiber zur vorrangigen Aufnahme und zur Weiterleitung dieses Stroms. Die größte Quelle für die Stromerzeugung aus regenerativen Energien in Deutschland ist der Wind. Im Jahr 2004 waren rund 16.500 Megawatt (MW) Windkraftleistung installiert, das entspricht etwa der gesamten installierten Kraftwerksleistung von Vattenfall Europe. Windenergieanlagen sind an die Standorte mit der höchsten Windausbeute gebunden, die geografisch bedingt im Flachland und auf See größer als im Gebirge ist. Infolgedessen sind Windanlagen im Norden und Osten Deutschlands konzentriert.



- Ablehnung durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (12.04.)
- \* Einspruch gegen BSH-Ablehnung

**Summe Ost- und Nordsee: ~ 4.200 MW**

Offshore-Windparks Ostsee, Anschlussanträge bei Vattenfall Europe Transmission.

An windstarken Tagen müssen große Mengen dieses Stroms aus dem windreichen, aber verbrauchsarmen Norden Deutschlands in die Verbrauchsschwerpunkte im Süden transportiert werden.

Grundsätzlich werden Kraftwerke möglichst verbrauchsnahe errichtet. Übertragungsnetze sichern dann durch die „Vernetzung“ der einzelnen Kraftwerke und Stromverbraucher sowie benachbarter Netze die Versorgungssicherheit.

Für einen zielgerichteten Transport großer Energiemengen über große Entfernungen – wie es die Nutzung der Windenergie erfordert – sind die Übertragungsnetze bisher nicht ausgelegt. Durch deren Erweiterung werden zusätzliche Transportkapazitäten geschaffen, die vor allem den zukünftigen Ausbau der Windenergie berücksichtigen. Bislang gibt es ausschließlich Windparks auf dem Festland, so genannte Onshore-Anlagen. Da die für Windkraftanlagen ausgewiesenen Flächen an Land bereits weitestgehend genutzt werden, ist ein wesentlicher Zubau nur noch auf See („Offshore-Anlagen“) zu erwarten. Unabhängig davon, wie oft und wie stark der Wind tatsächlich weht und Strom erzeugt werden kann, muss der Ausbau des Netzes so erfolgen, dass die gesamte mögliche Strommenge sicher transportiert werden kann. Maßgeblich für die Auslegung des Netzes ist die installierte Leistung der Windenergieanlagen.

Bei der Stromübertragung entstehen physikalisch bedingte Verluste. Die wirtschaftlichste Lösung zur Übertragung großer Mengen elektrischer Energie über weite Entfernungen (über 50 Kilometer) und mit den geringstmöglichen Transportverlusten ist die Höchstspannung mit 380 Kilovolt (kV). Dazu können Freileitungen oder unterirdische Kabelanlagen errichtet werden. Beide Technologien kommen bei Vattenfall Europe zum Einsatz. Freileitungen haben sich seit Jahrzehnten bewährt. Für die Nutzung von Erdkabeln im Übertragungsnetz gibt es indessen nur begrenzte Erfahrungen. Freileitungen und Kabel unterscheiden sich wesentlich in Bezug auf Errichtung, Kosten, Versorgungssicherheit und Auswirkungen auf die Umwelt.

## RECHTSQUELLEN

### Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Das Energiewirtschaftsgesetz bildet die gesetzliche Grundlage für die deutsche Energiewirtschaft. Es verfolgt den Zweck, eine „möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas“ sicherzustellen. Netzbetreiber haben danach den Zugang zu ihrem Netz jedermann diskriminierungsfrei zu gewähren.

Mit dem im Sommer 2005 novellierten EnWG hat eine Regulierungsbehörde (Bundesnetzagentur (BNetzA)) für die „Netze“ ihre Arbeit aufgenommen. Die Regulierung dient den Zielen „der Sicherstellung eines wirksamen und unverfälschten Wettbewerbs bei der Versorgung mit Elektrizität und Gas und der Sicherung eines langfristig angelegten leistungsfähigen und zuverlässigen Betriebs von Energieversorgungsnetzen“.

### Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz regelt die Förderung der Stromerzeugung aus regenerativen Quellen wie z. B. Wind, Sonne und Biomasse. Es räumt regenerativ erzeugtem Strom gegenüber konventionell erzeugter Energie einen Vorrang ein und garantiert den Betreibern regenerativer Anlagen einen festgelegten Erlös pro Kilowattstunde. Netzbetreiber sind verpflichtet, Anlagen, die dem EEG entsprechen, unverzüglich an ihr Netz anzuschließen, den gesamten erzeugten Strom vorrangig aufzunehmen und zu transportieren sowie bei Bedarf ihr Netz unverzüglich auszubauen.

# ERRICHTUNG VON FREILEITUNGEN UND KABELANLAGEN

Freileitungen bestehen aus bis zu 60 Meter hohen Stahlgittermasten, deren Fundamenten sowie stromführenden Leiterseilen, die mittels Isolatoren an den Masten befestigt sind. Da die Leiterseile durchhängen, müssen sie einen bestimmten Sicherheitsabstand zum Erdboden aufweisen. Bei einer Höhe bis zu ca. 60 Metern beträgt der mittlere Mastabstand (je nach Geländeprofil) 400 bis 600 Meter.

An den Standorten der Masten werden Fundamente im Erdreich errichtet, der Mast selbst gestellt und ausgerüstet. Schließlich werden die Leiterseile eingehängt.

Kabelanlagen bestehen aus einem Kabelgraben oder -tunnel, den Verbindungsbauwerken zwischen zwei Kabelstücken (so genannte Muffenbauwerke), Kompensations- und Kühleinrichtungen und Kabelendverschlüssen an den jeweiligen Enden der Kabelstrecke bzw. beim Übergang in eine Kompensations- oder Schaltanlage. Kompensationseinrichtungen müssen etwa alle 25 bis 30 Kilometer errichtet werden, um die Übertragungsfähigkeit der Kabelanlage aus physikalischen Gründen sicherzustellen: Aufgrund ihres Aufbaus wirken Kabelanlagen wie ein lang gestreckter Kondensator. Ohne Gegenmaßnahmen würde die Spannung auf unzulässige Werte ansteigen und die Stabilität des Netzes gefährden. Zur Sicherstellung der Spannungshaltung und Stabilität bedarf es entsprechender Einrichtungen, die die Spannungserhöhung abbauen – „kompensieren“ – können.

Im klassischen Tiefbau werden Kabelgräben oder -tunnel errichtet. Unter Einhaltung vorgeschriebener Kabelzugkräfte und Kabelbiegeradien werden dann die Kabelstücke (technisch bedingt ca. 700 Meter lang) verlegt und mit dem jeweils nächsten Kabelstück verbunden.

Die stromdurchflossenen Leiter erwärmen sich bei Betrieb. Da aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens die Wärmeableitung vergleichsweise schlecht ist, müssen Kabel teilweise zusätzlich gekühlt werden. Dies kann bei Verlegung in Rohren mit Wasser oder in einem Tunnel mit Zwangsbelüftung realisiert werden.

Je nach Geländeprofil beträgt der mittlere Mastabstand bei Freileitungen bis zu 600 Meter.



# KOSTEN

## FÜR EINE PREISGÜNSTIGE STROMVERSORGUNG

Die Kosten je Kilometer belaufen sich bei Freileitungen auf etwa 0,7 bis 0,8 Millionen EUR, in schwierigen Lagen auf 0,8 bis 0,9 Millionen EUR. Für ein Kabel gleicher Übertragungsfähigkeit und Länge sind je Kilometer etwa fünf bis sechs Millionen EUR aufzuwenden. Dieser gravierende Kostenunterschied liegt zum einen im Preis der Kabel selbst, zum anderen im Errichten der vergleichsweise vielen verschiedenen Anlagenteile (Muffen, Endverschlüsse, Kompensationsanlagen, Kühlanlagen usw.). Hinzu kommt, dass der bauliche Aufwand bei Kabeltrassen aufgrund der notwendigen Erdarbeiten größer ist als bei Freileitungen.

Freileitungen können zwischen 80 und 120 Jahre genutzt werden. Die Lebensdauer von Kabeln beträgt rund 40 Jahre. Kabel sind gegenüber Freileitungen bei gleicher Übertragungsfähigkeit in der Investition bis zum Zehnfachen teurer. Da die Lebensdauer von Erdkabeln nur die Hälfte bis zu einem Drittel der Freileitungen beträgt, würden die Investitionen also bis zu dreimal häufiger anfallen.

Betriebskosten bei Freileitungen entstehen durch Inspektionen, Trassenfreihaltung und Korrosionsschutz. Auch Kabelanlagen müssen regelmäßig inspiziert und messtechnisch überprüft und die Trasse muss freigehalten werden. Die Betriebskosten von Freileitung und Kabel sind im Wesentlichen vergleichbar.

Die beim Transport von Elektroenergie entstehenden Verluste sind beim Erdkabel geringer als bei Freileitungen. Ihre Größe ist vor allem von den jeweiligen zu transportierenden Strommengen abhängig.

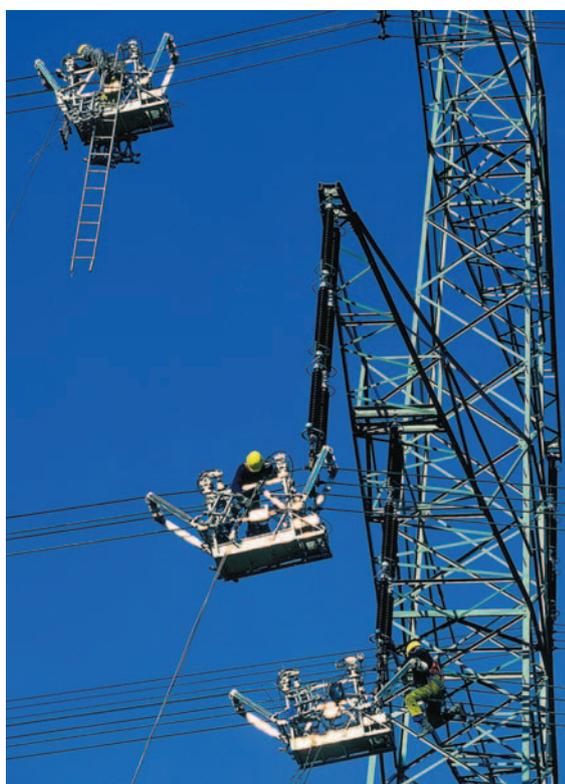


Kabelanlagen werden mit hohem finanziellen und maschinellen Aufwand errichtet.

# VERSORGUNGSSICHERHEIT

FÜR EINE SICHERE STROMVERSORGUNG

Wartungs- und Reparaturarbeiten an Freileitungen sind schnell und zuverlässig möglich.



Freileitungen sind relativ häufig wetterbedingten Störungen ausgesetzt. Allerdings hinterlassen diese meist keine aufwändig zu beseitigenden Schäden. Ein Fehler wird schon durch eine – vom Kunden nicht zu bemerkende – sehr kurze Unterbrechung und im Regelfall automatische Wiedereinschaltung behoben. Selbst bei größeren Störungen mit mechanischen Schäden an der Leitung kann die Versorgung innerhalb weniger Stunden wiederhergestellt werden, da Freileitungen gut zugänglich sind und Schäden sehr schnell gefunden und behoben werden können.

Störungen an Kabelanlagen sind aufgrund der unterirdischen Bauweise seltener, haben aber erheblich stärkere Auswirkungen. Kommt es z. B. zur mechanischen Beschädigung der Isolierung, muss das betroffene Teilstück vollständig ersetzt werden. Das Auffinden der schadhaften Stelle ist aufwändig und langwierig. Erst dann können Erdarbeiten, Montage, Spannungsprüfung und Wiedereinschaltung erfolgen. Die Reparaturzeit kann mitunter mehrere Wochen dauern. In dieser Zeit ist die Versorgungssicherheit eingeschränkt.

# UMWELTAUSWIRKUNGEN

FÜR EINE UMWELTGERECHTE STROMVERSORGUNG



Infrastrukturen lassen sich durch Überspannung bei Freileitungen gut überqueren.

Die Umweltverträglichkeit von Freileitungen und Kabelanlagen wird am Einfluss auf den Menschen sowie auf Flora und Fauna gemessen. Eine Freileitung benötigt eine Trassenbreite von rund 70 Metern. Diese ist von hochwachsenden Pflanzen freizuhalten, die eine Gefahr für den sicheren Betrieb darstellen könnten. Der Bau selbst ist im Wesentlichen auf die Maststandorte begrenzt und der Boden wird im unmittelbaren Bereich um die Mastfundamente (Fläche ca. 40–70 Quadratmeter) beeinflusst. Die Errichtung nimmt maximal die Hälfte der Zeit in Anspruch, die für den Bau entsprechender Kabelanlagen nötig ist. Dadurch verkürzen sich die Beeinträchtigungen von Tier- und Pflanzenwelt sowie von Forst- und Landwirtschaft erheblich.

Andere Infrastrukturen (Straßen, Bahnstrecken, Wasserwege usw.) können durch Überspannung relativ einfach gekreuzt werden. Auch bei laufendem Straßen- oder Eisenbahnverkehr sind Baumaßnahmen an Freileitungen durchführbar – Gerüste schützen vor Beeinträchtigungen während des Errichtens der Freileitung.

Die Errichtung von Freileitungen wirkt sich auf das Landschaftsbild aus. Während des Betriebs ist ein Bewuchs der Trasse auch unterhalb der Leitung bei Einhaltung der Sicherheitsabstände möglich. Vielerorts haben sich die Flächen unter Freileitungen zu besonderen Biotopen entwickelt. Darüber hinaus können die Maste Nistplätze für bedrohte Vogelarten bieten. Neben der naturnahen Nutzung der Flächen innerhalb einer Freileitungstrasse kann diese auch anderweitig genutzt werden, z. B. für Lagerhallen. »



Für Kabeltrassen müssen vielerorts Tunnelanlagen gebaut werden.

Eine Erdkabeltrasse ist bis zu 15 Meter breit. Davon entfallen rund zehn Meter auf den Kabelgraben, die übrigen Meter auf die notwendigen Begleitwege.

Beim Errichten wird die gesamte Vegetation entlang der Kabeltrasse entfernt. Für den Kabelgraben oder -tunnel, die Muffenbauwerke und die Kompensationsanlagen müssen große Mengen an Erdreich bewegt und transportiert werden. Die Kabelverlegung selbst erfolgt mit schweren Maschinen. Andere Infrastrukturen können nur mit speziellen Bauwerken gekreuzt werden. Bei deren Errichtung kann oft die zu kreuzende Trasse nicht genutzt werden.

Eine Wiederaufforstung bzw. Rekultivierung oder landwirtschaftliche Nutzung ist nur eingeschränkt möglich, da während der gesamten Betriebszeit die Trasse zugänglich sein und von tief wurzelnden Gehölzen freigehalten werden muss. Die Überbauung eines Kabelgrabens ist generell ausgeschlossen. Beim Betrieb der Kabelanlage entsteht Wärme, die zur Austrocknung des Bodens führen kann. Bisher gibt es noch keine ausreichenden Langzeiterfahrungen zur Wirkung einer Kabeltrasse auf die Pflanzenwelt.

## ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

Bei Erzeugung, Transport, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie entstehen elektrische und magnetische Felder in der Nähe von Freileitungen, Kabelanlagen, Netzstationen und Umspannwerken. Diese Felder nehmen mit der Entfernung von der Quelle schnell ab. Elektrische Felder werden von Gebäuden, Bäumen, Büschen und auch metallischen Hüllen in Erdkabeln abgeschirmt. Magnetische Felder dagegen durchdringen fast ungehindert die meisten Materialien. Wissenschaftliche Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder unter Freileitungen lassen keine endgültige Aussage zu.

Im Übertragungsnetzbereich aller Energieversorgungsunternehmen wurden alle sensiblen Stellen erfasst und untersucht. Dies betrifft Orte, an denen sich Menschen nicht nur vorübergehend aufhalten, beispielsweise Wohnhäuser, Krankenhäuser, Sportplätze, Kindertagesstätten und Schulen. Es konnte festgestellt werden, dass die in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) festgelegten Vorsorge- und Grenzwerte an diesen Orten deutlich unterschritten werden. Die Wirkung der durch den Betrieb elektrischer Anlagen erzeugten elektrischen und magnetischen Felder wird international und in der Bundesrepublik seit 1977 von Elektrotechnikern, Medizinern und Biologen mit großem wissenschaftlichen und finanziellen Aufwand untersucht. Vattenfall Europe verfolgt die Diskussion über die Verträglichkeit elektromagnetischer Felder sehr aufmerksam und unterstützt Forschungen auf diesem Gebiet, wobei die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte und Vorschriften entscheidend ist. Bei der Errichtung neuer Anlagen sorgen die Unternehmen durch vielfältige Maßnahmen dafür, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten und in der Regel auch erheblich unterschritten werden.

# FALLBEISPIEL: ERRICHTUNG DER 380-KV- KABELVERBINDUNG IN BERLIN

## POLITISCHES UMFELD

Die politische Teilung Berlins machte den Westteil der Stadt zu einer „Strominsel“. Am 4. März 1952 wurden die letzten Leitungsverbindungen zwischen den Stadthälften und zum Umland getrennt. Die Bewag als Versorgungsunternehmen für den Westteil Berlins war gezwungen, die Energieversorgung fortan in einem so genannten Inselnetz sicherzustellen. Der gesamte Strombedarf des Westteils einschließlich der notwendigen Reserven musste dort erzeugt bzw. vorgehalten und die Netze entsprechend ausgelegt werden.

## ANSCHLUSS VON BERLIN (WEST) AN DAS ÜBERREGIONALE VERBUNDNETZ

In den späten 1980er Jahren wurden mit der damaligen DDR Verhandlungen über den Bau einer 380-kV-Leitung von Helmstedt nach Berlin aufgenommen, um den Westteil der Stadt an das westeuropäische Verbundnetz anzuschließen. Damit sollte die Sicherheit der Stromversorgung erhöht und zugleich wirtschaftlicher gestaltet werden. Infolge der Wiedervereinigung wurde aus diesem „politischen Projekt“ eine der heute drei Verbindungen zwischen dem ost- und dem westdeutschen Höchstspannungsnetz. Mit der Inbetriebnahme der Leitung vom Umspannwerk „Wolmirstedt“ bei Magdeburg bis zum Bewag-

Umspannwerk „Teufelsbruch“ am westlichen Stadtrand Berlins endete 1994 das Inseldasein der Energieversorgung im Westteil der Stadt.

## ENTSCHEIDUNG FÜR EINE KABELANLAGE

Für den innerstädtischen Teil der Verbundleitung vom Umspannwerk „Teufelsbruch“ zum Umspannwerk „Reuter“ wurde bereits 1988 beim Senat von Berlin als zuständiger Aufsichtsinstanz der Bau einer Freileitung beantragt. Trotz einer rund zweijährigen Planungsphase mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung lehnte der Senat den Antrag im Herbst 1989 ab und verlangte stattdessen den Bau einer Kabelanlage.

Für diese sieben Kilometer lange Verbindung sollten zwei 380-kV-Ölkabel mit direkter Wasserkühlung eingesetzt werden. Die geforderte Übertragungsfähigkeit konnte jedoch nur durch eine zusätzliche Kühlung der Kabel gewährleistet werden. Die Kabel mussten in Rohre eingezogen werden, die anschließend mit Wasser gefüllt wurden. Das Wasser wird in einem geschlossenen Kühlkreislauf umgepumpt und in einer Kühlstation rückgekühlt. Trotz der zusätzlichen Kühlung erreichen die 380-kV-Ölkabel nur eine Übertragungsfähigkeit von ca. 30 bis 40 Prozent einer entsprechenden Freileitung. »

Schematische Darstellung der 380-kV-Diagonalverbindung in Berlin.



## DATEN UND FAKTEN

### Tunnelanlagen zwischen den Umspannwerken Mitte und Marzahn

Zeitraum: 1992–2000

(Voruntersuchung/Projektplanung, Genehmigungsverfahren bis Inbetriebnahme)

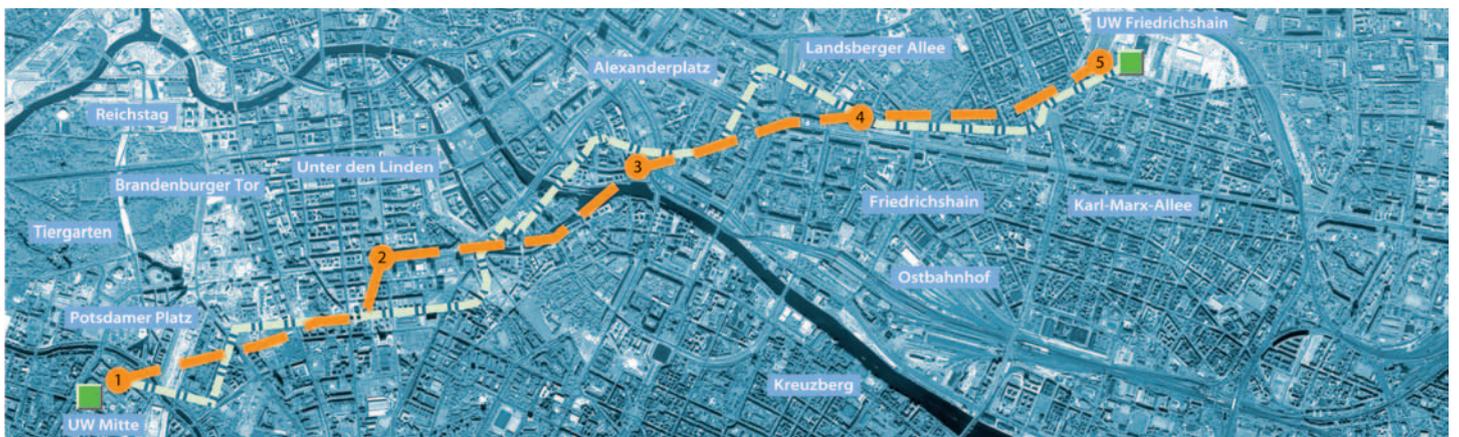
Bodenaushub: ca. 170.000 km<sup>3</sup>

Gesamtlänge: 12 km

Kabellänge: 24 System-km

Verbindungsstellen: 78

Endverschlüsse: 24



Trassenverlauf durch das Stadtzentrum von Berlin.

- Tunneltrasse
- Trasse im konventionellen Tiefbau
- Schachtbauwerk
- Umspannwerk

## INTEGRATION IN DAS VERBUNDNETZ

Eine nach der Wiedervereinigung durchgeführte Untersuchung über die zukünftige Stromversorgung Berlins ergab, dass eine 380-kV-Kabelverbindung durch die Stadt kostengünstiger sei als ein Freileitungsring um die Stadt, wie er seit den 1960er/70er Jahren in vielen Großstädten weltweit zum leistungsfähigen Ausbau der elektrischen Energieversorgung errichtet worden war. Dementsprechend wurde das bestehende 380-kV-Netz Berlins zu einer vollständigen Diagonalverbindung quer durch die Stadt ausgebaut. Damit wurde eine zweiseitige Anbindung an das Verbundnetz ermöglicht und so die Versorgungssicherheit Berlins maßgeblich erhöht.

Die Ausführung als Kabelverbindung ergab sich aus dem zwölf Kilometer langen Trassenverlauf quer durch das Stadtzentrum Berlins. Der Einsatz von 380-kV-Erdkabeln verursachte Mehrkosten in Höhe von ca. 200 Millionen EUR.

## DREI AUSBAUSTUFEN

Die 380-kV-Diagonalverbindung entstand in drei Stufen.

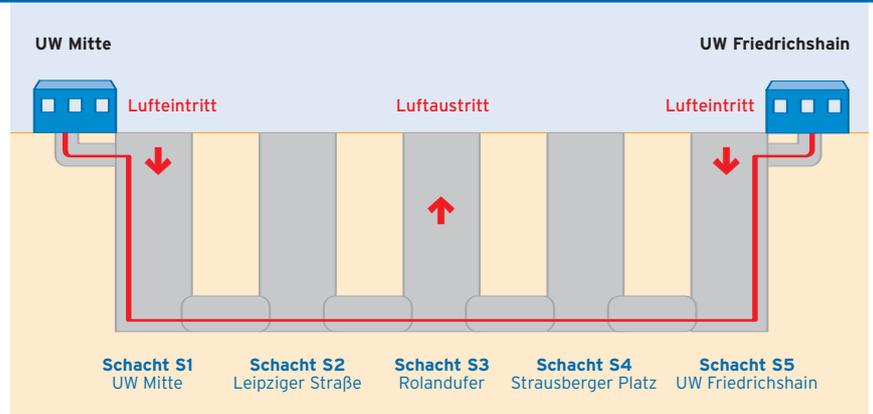
**Stufe 1:** Verbindung der ehemals getrennten Stadthälften durch zwei 380-kV-Kabelsysteme zwischen den Umspannwerken „Mitte“ im Bezirk Tiergarten und „Friedrichshain“ im Bezirk Prenzlauer Berg.

**Stufe 2:** 380-kV-Kabelverbindung vom Umspannwerk „Friedrichshain“ zum neu errichteten Umspannwerk „Marzahn“.

**Stufe 3:** 380-kV-Freileitung vom Umspannwerk „Marzahn“ zum östlich von Berlin gelegenen Umspannwerk „Neuenhagen“. Der umstrittene Neubau der Freileitung innerhalb der Stadt wurde möglich, nachdem die Bewag beim Senat, bei den Bezirksämtern und bei der betroffenen Bevölkerung Akzeptanz für den Bau schaffen konnte; unter anderem durch die Demontage von insgesamt vier alten 110-kV- und 220-kV-Leitungen mit einer Gesamttrassenlänge von ca. 33 Kilometern.

In jedem Umspannwerk entlang der Trasse wurden die erforderlichen zusätzlichen Kompensationseinrichtungen installiert, um die Spannungshaltung und die Stabilität sicherzustellen.

Prinzipdarstellung zur Zwangsbelüftung der Tunnelanlage.



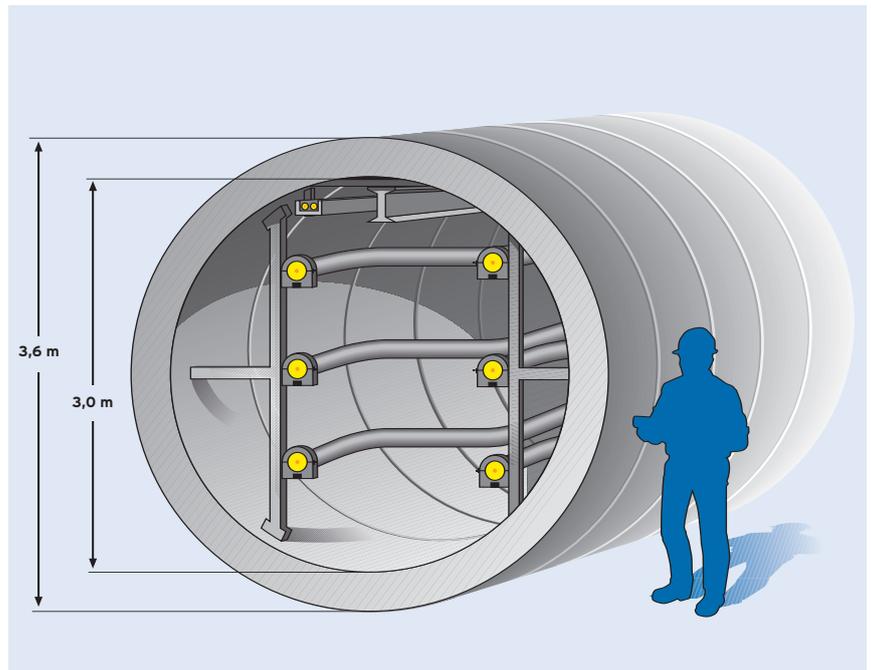
### TUNNEL QUER DURCH BERLIN

Mit einer Machbarkeitsstudie wurde geprüft, inwieweit die 380-kV-Erdkabel in einem durchgehenden Tunnelbauwerk zwischen den Umspannwerken verlegt werden könnten, um v. a. die Wartung und Störungsbeseitigung zu vereinfachen. Auf Basis geologischer Gutachten, Probebohrungen sowie Untersuchungen zur thermischen Belastung des Erdreichs wurde der Tunnel genehmigt und im Sommer 1999 nach vierjähriger Bauzeit fertig gestellt. Er verläuft in einer Tiefe von ca. 15 bis 35 Metern unter Geländeneiveau. Der Außendurchmesser liegt bei 3,6 Metern und das lichte Innenmaß bei 3,0 Metern.

Die Kabelverlegung in diesem durchgehenden Tunnel entband nicht von den genehmigungstechnischen Auflagen des Umweltschutzes. Hier war der „ökologische Punkt“ einzuhalten: In einem Abstand von 3 Metern von der Tunnelaußenwand darf die Grundwassererwärmung, ausgehend von 12 Grad Celsius, nicht mehr als 5 Grad betragen. Die durchgeführten Berechnungen ergaben, dass zur Einhaltung des „ökologischen Punktes“ die Kabelanlage mit einer Zwangslüftung betrieben werden muss. Nur so kann die entstehende Verlustwärme von ca. 3.600 Kilowatt (kW) abgeführt werden.

### INNOVATIVE KABELTECHNIK

Hinsichtlich der zu verwendenden Kabel lagen Erfahrungen nur für die in Berlin und Wien bisher eingesetzten Ölkabel vor, für 380-kV-Kunststoffkabel und die dazugehörigen weiteren Einrichtungen hingegen nicht. Von der Kabelindustrie wurde daher in Anlehnung an die seit Jahren bewährten Herstellungsverfahren im 110-kV-Bereich die Entwicklung der Kunststoffkabel auch für die 380-kV-Spannungsebene vorangetrieben. Aus umwelttechnischer Sicht sind feststoffisolierte Kabel den Ölkabeln vorzuziehen. Die Aufwendungen für die erforderlichen Sekundäranlagen, wie beispielsweise die Ausrüstung der Muffenbauwerke, Öldruckhaltung und aufwändige Kühlstationen werden geringer bzw. können ganz entfallen.



Querschnitt durch die Berliner Tunnelanlage.

### Realisierte Kabelprojekte weltweit

Land	Spg.-Ebene	Anzahl Systeme	Übertrag.-leistung pro System	Trassenlänge	Verlegeart	Status
Japan (Tokio)	500 kV	3	900 [MW]	40 km	Tunnel/Brücken	Zwei Systeme seit 2000 in Betrieb
Deutschland (Berlin)	400 kV	2	1.100 [MW]	12 km	Tunnel	Seit 1999 in Betrieb
Dänemark (Kopenhagen)	400 kV 400 kV	2 2	975 [MW] 800 [MW]	22 km 14 km	Graben	Seit 1997/1999 in Betr.
Dänemark (Aalborg/Aarhus)	400 kV	2	500 [MW]	14 km (drei Abschn. Zwischenverkabelung)	Graben	Seit 2004 in Betrieb
Spanien (Madrid)	400 kV	2	600 [MW]	12 km	Tunnel	Arbeiten im Gange
Großbritannien (London)	400 kV	1 (2)	600 [MW]	20 km	Tunnel	Seit 2004 (ca. 2014)

(Quelle: European Transmission System Operators (ETSO) 1/04)

# FAZIT

## FREILEITUNGEN ODER KABEL IN HÖCHSTSPANNUNGSNETZEN

Zum Ausbau der bestehenden Übertragungsnetze können Freileitungen oder Erdkabel errichtet werden. Freileitungen mit ihrem vergleichsweise einfachen Aufbau und der erheblich längeren Lebensdauer sind gegenüber vergleichbaren Kabelanlagen deutlich kostengünstiger. Kabelanlagen können unter eng begrenzten Bedingungen und in Einzelfällen in Großstädten wirtschaftlich sein. Aus Sicht der Versorgungssicherheit sind beide technischen Lösungen vergleichbar, wobei im Fehlerfall eine Freileitung deutlich schneller wieder in Betrieb genommen werden kann als ein Kabel. Unter ökologischen Aspekten stellt eine Kabelanlage einen deutlich größeren Eingriff in die Natur dar.

### Einsatz von Freileitungen oder Kabel in Höchstspannungsnetzen im Überblick

	Freileitungen	Kabel
Errichtungskosten	0,7 bis 0,8 Millionen EUR je Kilometer, 0,8 bis 0,9 Millionen EUR je Kilometer (in schwierigen Lagen)	Fünf bis sechs Millionen EUR je Kilometer
Betriebskosten	Inspektion, Trassenfreihaltung und Korrosionsschutz	Inspektion, messtechnische Überprüfungen und Freihaltung der Trasse
Nutzungsdauer	80 bis 120 Jahre	40 Jahre
Versorgungssicherheit	Durch oberirdische Bauweise häufiger vor allem wetterbedingten Störungen ausgesetzt, Reparaturen schnell möglich	Durch unterirdische Bauweise selten Störungen, Reparaturen aber aufwändig und langwierig
Trassenbreite	Ca. 70 Meter	Ca. 15 Meter
Ökologische Aspekte und weitere Nutzung der Trasse	Bau auf Maststandorte begrenzt, Bewuchs der Trasse und Nutzung als gewerbliche Flächen unterhalb der Leitung	Entfernung der gesamten Vegetation, eingeschränkte Wiederaufforstung oder landwirtschaftliche Nutzung, Austrocknung des Bodens durch entstehende Wärme, Bebauung der Trasse nur sehr eingeschränkt möglich
Querung anderer Infrastrukturen	Gut möglich	Aufwändig

## LITERATUR

**Gerhard Wanser:** Freileitungen und Kabel in Transport- und Verteilungsnetzen, in: Informationen zur Raumordnung, Heft 6/7, 437–449, 1986

**Heinrich Brakelmann:** Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel?, Bundesverband WindEnergie e.V., 2004

**Prof. Dr. Lorenz Jarass, Dr. Gustav Obermair:** Netzeinbindung von Windenergie: Erdkabel oder Freileitung?, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 6/2005, 398–403

**VERBUND Austrian Power Grid AG:**  
Untersuchung der APG zur Frage der Verkabelung der Steiermarkleitung  
[www.verbund.at/at/apg/netzausbau/steiermark/](http://www.verbund.at/at/apg/netzausbau/steiermark/)

## BILDNACHWEIS

**Ludwig Preiß**  
**MediaDesign Loth**  
**Vattenfall Europe**

**Vattenfall Europe AG**  
Politik und Gesellschaft  
Rainer Knauber  
Chausseestraße 23  
10115 Berlin

**Tel** +49 30 81 82 24 01  
**Fax** +49 30 81 82 24 05

[www.vattenfall.de](http://www.vattenfall.de)