

Himmel und Erde – Freileitungen und Erdkabel

Wie soll der Strom der Zukunft übertragen werden?

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien erfordert einen Um- und Ausbau der Stromnetze. Doch die Errichtung von Freileitungen stößt vor Ort immer wieder auf Widerstand. Bürger fordern verstärkt die unterirdische Verlegung als Erdkabel.



Einsatz von Freileitungen und Erdkabeln auf den unterschiedlichen Spannungsebenen

Die Freileitungstechnik hat auf hohen Spannungsebenen viele Vorteile. Große Strommengen können leicht über weite Entfernungen transportiert werden. Die Luft kühlt die Metallleitungen. Sie weisen eine sehr lange Lebensdauer auf, Wartung und Reparatur sind wenig aufwändig. Bei vergleichbarem Leiterquerschnitt kann mehr Strom durch Freileitungen übertragen werden als durch ein Erdkabel.

Die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten von Erdkabeln und Freileitungen muss differenziert nach der Spannungsebene erfolgen.

Nieder- und Mittelspannungsebene (bis 60 kV)

Auf der Nieder- und der Mittelspannungsebene sind Erdkabel Stand der Technik. Leitungen werden auf dieser Spannungsebene in Deutschland aus Akzeptanzgründen meist als Erdkabel verlegt. Die Kosten für Erdkabel und Freileitungen sind vergleichbar.

¹ Drehstrom ist dreiphasiger Wechselstrom

² Genauer: VPE-HGÜ-Kabel; VPE = vernetztes Polyethylen.

³ Ölkabel gibt es schon länger. Bisher nur bis 320 kV verfügbar.

³ Rathke, Hofmann (2011)

Können Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) großflächig eingesetzt werden?

Strom kann als Wechselstrom/Drehstrom¹ (englisch: alternating current, AC) oder als Gleichstrom (englisch: direct current, DC) übertragen werden. Mit Ausnahme von Seekabeln, die zum Teil als Gleichstromleitung verlegt werden, wird in Deutschland bisher nur die Drehstromtechnik verwendet. Beide Techniken haben Vor- und Nachteile. Bürger fordern häufig die Verlegung von HGÜ-Leitungen. Unter anderem weil das magnetische Feld von Gleichstrom im Vergleich zu Drehstrom geringere biologische Wirkungen erzeugt. Auch die Stromverluste, die jedes Stromkabel in Abhängigkeit von seiner Länge aufweist, sind bei HGÜ deutlich geringer.

Die Wahl der HGÜ-Technik bedeutet aber nicht automatisch eine Verlegung als Erdkabel. Denn die Entscheidung über die Art der Stromübertragung (Gleichstrom/Drehstrom) ist unabhängig von der Wahl der Übertragungstechnik (Freileitung/Erdkabel). HGÜ-Kabel² werden weltweit erst seit 2002 und bisher nur auf wenigen Strecken eingesetzt. Dementsprechend fehlen noch Betriebserfahrungen und Erkenntnisse über Langzeiteffekte³. Zukünftig können HGÜ-Leitungen für den Ferntransport von Strom in einem so genannten europäischen Overlay-Netz größere Bedeutung erhalten.

Hochspannungsebene (110 kV)

Auf der Hochspannungsebene sind Erdkabel ebenfalls Stand der Technik. Leitungen werden traditionell allerdings meist als Freileitung errichtet. Erdkabel sind meist teurer als Freileitungen. Die Mehrkosten im Vergleich zu Freileitungen sind stark abhängig von der lokalen Situation, z.B. dem Untergrund. Nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) von 2011 sollen neue 110-kV-Leitungen zukünftig als Erdkabel verlegt werden, solange die Gesamtkosten für Errichtung und Betrieb des Erdkabels nur maximal 2,75-mal höher sind als für eine vergleichbare Freileitung (§ 43h, EnWG).

Höchstspannungsebene (220/380 kV)

Höchstspannungsleitungen werden in Deutschland bisher fast ausschließlich als Freileitungen ausgeführt. Da es weltweit wenig Erfahrung mit 320-kV-Gleichstromkabeln (siehe Infokasten) gibt, beschränkt sich der folgende Abschnitt auf Drehstromkabel an Land. Erdkabel werden in der Höchstspannungsebene seit 1986 eingesetzt. Die weltweit längsten Kabel mit 38 km und 22 km liegen in Japan und Kopenhagen. Die europäischen Übertragungsnetzbetreiber haben sich 2011 darauf geeinigt⁴, dass der Einsatz von Erdkabeln auf Teilstrecken möglich ist.

Auf längeren Strecken ist der Einsatz von Erdkabeln zur Stromübertragung noch mit technischen Einschränkungen verbunden⁵:

- Erdkabel fallen witterungsbedingt im Vergleich zu Freileitungen zwar seltener aus, dafür dauert die Fehlerbeseitigung aber länger. Denn meist muss das Erdkabel zuerst freigelegt werden, bevor das defekte Stück ausgetauscht und mit zwei Verbindungsstellen (Muffen) neu angeschlossen werden kann.
- Erdkabel wiegen bis zu 40 kg/m, daher können nur ungefähr 1.000 m Kabel auf einem LKW mit 40 t Höchstlast transportiert werden. So können an Land jeweils nur 1.000 m Erdkabel »am Stück« verlegt werden. Diese Teilstücke müssen dann mit Muffen verbunden werden, die als zusätzliche Bauteile die Zuverlässigkeit von Erdkabelsystemen reduzieren.



Abb. 2 380-kV-Kabel Berlin-Friedrichshain/Marzahn, Tunnelvariante, Foto: DUH/R. Hänlein



Abb. 1 Errichtung einer neuen 380-kV-Leitung im Amprion-Netzgebiet, Foto: DUH/N. Schrader

- Aus physikalischen Gründen kommt beim Drehstrom nicht die gesamte eingespeiste Leistung beim Verbraucher an. Ein Teil der Leistung (die so genannte »Blindleistung«) ist nicht nutzbar, aber notwendig für die Stromübertragung. Sie ist umso größer, je länger die Leitung ist. Bei Erdkabeln ist der Bedarf an Blindleistung wesentlich höher als bei Freileitungen. Deshalb sind bei Kabeln ab spätestens 25 – 30 Kilometern⁶ technische Einrichtungen (so genannte Kompensationsanlagen) notwendig, die diese Leistung bereitstellen.
- Bisher liegen noch keine Erfahrungen vor, wie sich längere Erdkabelstrecken im Stromsystem verhalten. Insbesondere die Kombination von Erdkabeln und Freileitungen in einem System führt zu einer höheren Komplexität. Außerdem müssen zwischen Kabeln und Freileitungen so genannte Kabelübergangsanlagen errichtet werden. Insgesamt erhöht das die Anfälligkeit für Fehler und schränkt die Systemsicherheit ein.⁷

Die Investitionskosten⁸ für Erdkabel im Vergleich zur Freileitung sind je nach Untergrund, Trassenlänge, Übertragungsleistung und lokalen Bedingungen ca. 3–13-fach höher für Drehstrom und zwischen 2–15-fach für Gleichstrom.

Studien zur Kalkulation der Gesamtkosten berücksich-

4 Entsoe/Europacable (2011)

5 Rathke, Hofmann (2011), IZES, BET, PowerEngS (2011), Entsoe/Europacable (2011), TU Ilmenau (2011)

6 Rathke, Hofmann (2011)

7 ETG (2010)

8 Rathke, Hofmann (2011) (AC: 2,8 – 7,3; DC: 2,2 – 15,2), Entsoe/Europacable (2011) (AC: 5 – 10, DC: keine Angabe), TU Ilmenau (2011) (AC: 9 – 13; DC: keine Angabe)

9 Einjährige Beschleunigung des Netzausbau für die Teilkabelvariante durch höhere Akzeptanz: IZES, BET, PowerEngS (2011)

10 Rathke, Hofmann (2011), ETG (2011)

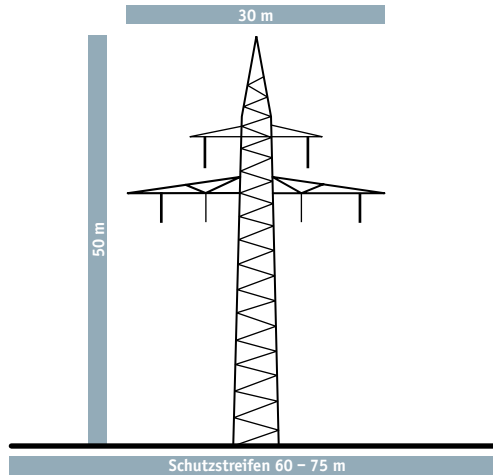
tigen unterschiedliche Aspekte. Unter bestimmten Voraussetzungen (wenige kurze Teilkabelabschnitte, vermiedene Kosten durch eine schnellere Inbetriebnahme der Leitung bei Netzengpass) sind die Gesamtkosten für eine Freileitung und ein Erdkabel vergleichbar⁹. Andere Studien¹⁰ beziehen neben den Investitionskosten die Betriebskosten und teilweise auch Stromverluste ein und kommen auf der Basis unterschiedlicher Rahmenbedingungen (Länge der Strecke, Übertragungsleistung etc.) auf Mehrkosten zwischen Faktor 2 und 9 für Gleichstrom und zwischen Faktor 3 und 5 für Drehstrom. Ab etwa 130 bis 280 km Trassenlänge kann die Übertragung mit Gleichstrom günstiger werden als mit Drehstrom. Hier besteht noch Untersuchungsbedarf.

Gesetzlicher Rahmen:

Das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) schafft die Möglichkeit, auf vier konkreten Strecken 380-kV-Leitungen teilweise unterirdisch zu verlegen (»Erdkabelpiloten«)¹¹, wenn Mindestabstände zur Wohnbebauung nicht eingehalten werden können. Die Mehrkosten dafür werden auf alle Stromkunden umgelegt.

Das neue Verfahren nach Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) und das Energiewirtschaftsgesetz (§ 12e Abs. 3, EnWG) ermöglichen im Rahmen des Bundesbedarfsplans für so genannte »Stromautobahnen« ein einzelnes HGÜ-Erdkabelpilotprojekt auf einem Teilabschnitt.

Freileitung 380 kV – Höchstspannung (Drehstrom)



Übertragungskapazität je nach Beseilung 3.600 MW – 6.000 MW. Unter günstigen Umweltbedingungen ist mit Hilfe von Leiterseilmonitoring eine höhere Übertragungskapazität realisierbar.

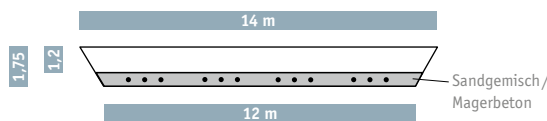
In der Praxis wird aus Sicherheitsgründen, falls eine Leitung ausfällt, nicht die volle Übertragungskapazität angesetzt. Üblich sind 3.150 MW, egal ob Freileitung oder Erdkabel.

Erdkabel 380 kV – Höchstspannung (Drehstrom)

maßstabgetreu im Vergleich zur Freileitung



Vergrößerung 1:5 im Vergleich zur Freileitung



© DUH

Übertragungskapazität bei 4 Kabelsystemen mit je 3 VPE-Kabeln je nach Verlegung 4.400 bis 5.200 MW

Bei Erdkabeln gibt es Schutzstreifen von 2 m Breite auf jeder Seite.



Abb. 3 Übergabestation Erdkabel/Freileitung (400 kV) am Flughafen von Madrid, Foto: Europacable

Blick über die Grenzen: Dänemark – Wind im Erdkabel

Im Windenergie- und Tourismusland Dänemark legt man großen Wert darauf, das Landschaftsbild zu schonen. Deshalb engagiert sich der staatliche, dänische Netzbetreiber Energinet.dk in Zusammenarbeit mit dem dänischen Energieministerium seit Jahren für die Verlegung von unterirdischen Stromkabeln. Auf der Basis von sechs verschiedenen Alternativen wurde ein Aktionsplan (»Cable Action Plan«) entwickelt. Die Dänische Politik einigte sich auf eine Variante, nach der im 132-kV- und 150-kV-Netz sämtliche Leitungen (sowohl bestehende als auch neue) bis zum Jahr 2030 unterirdisch verlegt werden.

Ebenso strebt Dänemark an, neue 400-kV-Leitungen als Erdkabel zu verlegen; nur noch drei Projekte, die in den Jahren 2014 bis 2018 zur Realisierung anstehen, werden in Freileitungstechnik geplant. Außerdem wird bei sechs bestehenden 400-kV-Leitungen versucht, durch niedrigere Masten in neuem Design das Erscheinungsbild zu verbessern oder ausgewählte Abschnitte werden unter die Erde verlegt.

Insgesamt bleibt aber auch in Dänemark die Freileitung auf der Höchstspannungsebene die vorherrschende Verlegungsart: Zukünftig sind insgesamt 1190 km Freileitungen und 320 km Erdkabel vorgesehen¹².

¹¹ eine Verbindung von Niedersachsen nach Nordrhein-Westfalen, eine Verbindung in Niedersachsen, eine zwischen Niedersachsen und Hessen und eine zwischen Thüringen und Bayern

¹² Energinet dk (2009)



Kontakt

Deutsche Umwelthilfe e.V.
Forum Netzintegration Erneuerbare Energien
Hackescher Markt 4 / Neue Promenade 3
10178 Berlin

Ansprechpartnerin
Anne Palenberg
Tel.: 030-24 00 867-961 | Fax: 030-24 00 867-19
palenberg@duh.de | www.forum-netzintegration.de

V.i.S.d.P. Anne Palenberg
Deutsche Umwelthilfe e.V., Hackescher Markt 4 /
Neue Promenade 3, 10178 Berlin

Stand März 2013

Fazit

Erdkabel werden auf der Nieder- und der Mittelspannungsebene standardmäßig verlegt. Auf der Hochspannungsebene sind Erdkabel Stand der Technik. Neue 110-kV-Leitungen sollen künftig unter die Erde gelegt werden. Aber die praktische Umsetzung ist schwierig und noch mit Unsicherheiten behaftet.

Auf der Höchstspannungsebene sind Teilverkabelungen technisch möglich. Unwägbarkeiten bezüglich der Systemzuverlässigkeit und Mehrkosten einerseits müssen gegen verbesserte Akzeptanz und eine zu erwartende Beschleunigung der Genehmigungsverfahren und der Realisierung andererseits abgewogen werden. Gesetzlich sind Erdkabel zurzeit nur sehr begrenzt zugelassen: auf vier Pilotstrecken im Rahmen des EnLAG und zusätzlich auf einer noch zu bestimmenden »Stromautobahn«. Damit will der Gesetzgeber die Stabilität im Stromsystem absichern, die einen vorsichtigen Umgang mit 380-kV-Erdkabeln erfordert.

- Für die 110-kV-Ebene muss der Rechtsrahmen noch eindeutiger formuliert werden, damit die Erdverkabelung tatsächlich zum Standard wird.
- Auf der 380-kV-Ebene sollten Erdkabel zunächst großzügig auf Teilstrecken eingesetzt werden, um die Auswirkungen auf die Systemstabilität zu überprüfen. Eine Drehstrom-Vollverkabelung ist wegen den notwendigen und sehr teuren Anlagen zur Kompensation von Blindleistung nicht sinnvoll.

Links / Quellen zum Weiterlesen

Aktuelle Versionen der Gesetze sind unter www.gesetze-im-internet.de verfügbar.

TU [Technische Universität] Ilmenau (2011), Metastudie über Merkmale von Freileitungen und Erdkabelleitungen, im Auftrag von Swissgrid

ETG [Energietechnische Gesellschaft im VDE] (2011), Stromübertragung für den Klimaschutz-Potenziale und Perspektiven einer Kombination von Infrastrukturen

Rathke, C.; Hofmann, L. (2011), Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen, Bericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie, im Auftrag des BMU

IZES, BET, PowerEngS (2011), Ausbau elektrischer Netze mit Kabel oder Freileitung unter besonderer Berücksichtigung der Einspeisung Erneuerbarer Energien, im Auftrag des BMU, www.bmu.de

Entsoe / Europacable (2011), Machbarkeit und technische Aspekte der Teilverkabelung von Höchstspannungsleitungen, deutsche Übersetzung von Europacable, www.europacable.com

Energinet DK (2009), Cable action plan – 132 – 150 kV grids – March 2009, www.energinet.dk

ETG [Energietechnische Gesellschaft im VDE] (2010), VDE Positionspapier, Übertragung elektrischer Energie