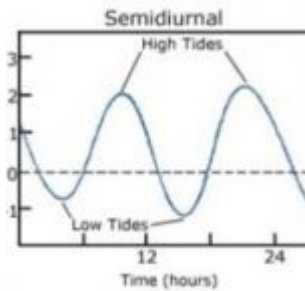


Hybride und andere Stromtrassen



Diese Lücke kann nicht allein durch regenerative Energien vor Ort geschlossen werden. Große Windparks entstehen vor allem in Nord- und Ostdeutschland und auf See. Der dort erzeugte Strom muss zum Verbraucher transportiert werden, wobei das bestehende Netz bereits jetzt an seine Grenzen stößt. Insgesamt müssen in den nächsten Jahren allein 7.500 Kilometer im sogenannten Übertragungsnetz optimiert oder neu gebaut werden.

Während früher der Strom vom Kraftwerk über die Übertragungsleitungen und die Verteilernetze zum Verbraucher floss, müssen die Netze heute den Stromtransport auch „im Gegenverkehr“ bewältigen, da der Strom nicht nur „von oben nach unten“ sondern auch (u. a. wegen der Solarkollektoren) „von unten nach oben“ fließt. Um also Erzeugung und Verbrauch jederzeit aufeinander abzustimmen, muss der Stromtransport „intelligenter“ bzw. „smarter“ werden.

In diesem Blog werden eine Reihe bekannter und weniger bekannter Probleme beim Netzausbau zusammengestellt.

Spannungsebenen

Wechselstrom wird auf unterschiedlichen Spannungsebenen transportiert:

–Zum Bereich der *Niederspannung* gehören die etwa 230 Volt, die im Haushalt an der Steckdose anliegen. Auf dieser Spannungsebene wird die Stromenergie über kurze Strecken verteilt.

–Die *Mittelspannung* beginnt bei ca. 1.000 Volt. Sie dient der Verteilung über Strecken von einigen Kilometern bis um die 100 km, vor allem in ländlichen Gebieten.

–Bei Spannungen größer als 60.000 (=60 Kilovolt) spricht man von *Hochspannung*. Das üblicherweise mit 110 Kilovolt (kV) betriebene Hochspannungsnetz sorgt für die Grobverteilung von Energie in verschiedene Regionen und Ballungszentren sowie Industriestandorte.

–Das *Höchstspannungsnetz* wird meist mit 380 kV, zum Teil auch mit 220 kV betrieben. Höhere Spannungen sind ebenfalls möglich. Auf dieser Spannungsebene wird die Energie über weite Strecken großräumig übertragen. Daher wird es auch *Übertragungsnetz* genannt. Große Energieerzeuger (zum Beispiel Kraftwerke und Windparks) sind so mit den Lastzentren verbunden. Über das Höchstspannungsnetz sind auch die Netze angrenzender Länder mit dem

deutschen Stromnetz verbunden.

Gleichstrom wird im Übertragungsnetz nur in sehr hohen Spannungsebenen und über große Entfernungen transportiert. Man spricht dabei von *Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)*.



Vernetzte Landschaft

Freileitungen

Weltweit werden, seit den 1920er- Jahren, Freileitungen zur Übertragung von Strom in der Höchstspannungsebene eingesetzt. Sie können hohe Leistungen übertragen, da die Wärme, welche durch den Stromfluss entsteht, leicht an die umgebende Luft abgegeben werden kann. Das kann man sich zunutze machen, indem man im Winter, wenn der Stromverbrauch ohnehin erhöht ist, die Freileitungen auch höher belastet.

Der Strom kann entweder als *Wechselstrom* oder als *Gleichstrom* übertragen werden. Bei der Übertragung von Wechselstrom teilt sich die elektrische Leistung auf in *Wirkleistung* und *Blindleistung*. Nur die Wirkleistung kann von angeschlossenen Verbrauchern genutzt werden -zum Beispiel um Haushaltsgeräte zu betreiben. Die nicht nutzbare Blindleistung muss vor allem auf längeren Strecken kompensiert werden. Die *Wechselstromübertragung* ist in Deutschland sehr verbreitet, da sich die *Spannung* sehr effizient verändern lässt.

Gleichstrom wird im Übertragungsnetz nur in sehr hohen Spannungsebenen und über große Entfernungen transportiert. (Siehe oben). Im Gegensatz zum Wechselstrom wird bei der Gleichstrom-Übertragung *keine Blindleistung* ins Netz gespeist. Bisher wird in Deutschland Gleichstrom besonders bei der Seekabel-Anbindung an andere Länder eingesetzt oder zur Anbindung von Offshore-Windkraftanlagen, also bei der Verwendung von Stromkabeln statt Freileitungen. Künftig soll aber auch im Landesinnern Strom in hohen Spannungsebenen auf längeren Strecken vermehrt als Gleichstrom übertragen werden – allerdings vorrangig als Erdkabel. (Siehe unten).

Wird elektrische Energie über eine Freileitung übertragen, so treten in der Umgebung *elektrische* und *magnetische Felder* auf. (Wie übrigens auch bei Haartrocknern, Mikrowellen und Staubsaugern.) Das elektrische Feld ist abhängig von der Spannung und wird in *Volt pro Meter* angegeben. Das

magnetische Feld hängt von der Stromstärke ab; diese magnetische Feldstärke wird in *Tesla* bzw. *Mikrotesla* angegeben. Beide Felder nehmen mit zunehmenden Abstand ab. Elektrische Felder lassen sich leicht abschirmen und dringen kaum in den menschlichen Körper ein. Magnetische Felder können nur mit großem Aufwand abgeschirmt werden. Der Bodenabstand der Freileitungen ist so bemessen, dass daraus keinerlei Strahlenschäden entstehen.

Die genauen Kosten für den Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes sind derzeit nur schwer zu kalkulieren. Aus den *Angaben der Netzbetreiber* ergeben sich für die bestätigten Netzentwicklungspläne 2024 Summen von etwa *18 Milliarden Euro* für den Netzausbau an *Land* und etwa *15 Milliarden Euro* für den *Offshore*-Netzausbau. Darin enthalten sind jedoch noch *nicht die Mehrkosten für die Erdverkabelung* an Land.

Hybrid-Leitungen

Hybridleitungen übertragen sowohl Gleich- als auch Wechselstrom auf *einem* Mastsystem. Die Kombination von Gleich- und Wechselstrom auf *Höchstspannungsebene* ist in Deutschland noch nicht zum Einsatz gekommen, wird aber weltweit (USA, Kanada) bereits genutzt. Die *Bundesnetzagentur* hat festgelegt, dass dies beim sog. „*Ultranet*“, dem Vorhaben 2 im Bundesbedarfsplan, erstmalig der Fall sein soll. Dieser Netzteil wird federführend von *Amprion* gebaut und transportiert den Strom von Nordrhein-Westfalen nach Philippsburg in Baden-Württemberg. Dafür werden bestehende Wechselstromleitungen umgerüstet. Unter anderem müssen *neue Isolatoren* für die Leiterseile eingebaut werden.

Der Grund für den Bau von Hybridleitungen ist, dass sie den Strom besonders *flexibel* übertragen. Gleichstrom eignet sich insbesondere zur Übertragung auf langen Strecken, da die Verluste geringer sind und damit die im Norden erzeugte Energie in den Süden transportiert werden kann. Wechselstrom eignet sich besonders für kürzere Strecken. Indem das bereits bestehende Netz genutzt wird, kann häufig auf den Neubau von Leitungen verzichtet werden. Die eingesetzte Technik ist in Deutschland auf Teststrecken seit Jahren erforscht.

Da im *Ultranet* bereits eine erhebliche Anzahl von Freileitungen existieren, die zudem größtenteils genehmigt sind, hat der Gesetzgeber dort auf die *Erdverkabelung* verzichtet. Damit reduzieren sich auch die Gesamtkosten für diesen Leitungsteil ganz erheblich.

Erdkabel

In den Anfangsjahren der Energiewende (2011-12) bestand die Absicht, den im Norden Deutschlands erzeugten Strom über fünf Gleichstrom-Freileitungen in den Süden zu transportieren. Wegen der Widerstände der Bevölkerung („*Monstertrassen*“) wurde dieser Plan weitgehend aufgegeben. Derzeit besteht für die Vorhaben 1, 3, 4 und 5 (also ohne das Vorhaben 2=Ultranet) der sogenannte „*Erdkabel-Vorrang*“. Das bedeutet, dass diese vier Vorhaben „*vorrangig*“ als Erdkabel auszuführen sind. Nur in begründeten Ausnahmefällen sind dafür (auf einzelnen Teilstrecken) Freileitungen vorzusehen. Deren Masthöhen – vermutlich um die 70 Meter – sind zur Zeit noch nicht exakt

festgelegt.

Der Einsatz von Erdkabeln in überregionalen Übertragungsnetzen, die große Strommengen über weite Distanzen transportieren, bringt neue technische Herausforderungen. So besteht beispielsweise ein Problem bei der *Wärmeleitung*. Da das Kabel von Erde umgeben ist, wird die Wärme, die durch die elektrischen Verluste entsteht, nur teilweise abgeführt. Das begrenzt den möglichen Stromfluss und damit die über das Kabel übertragbare Leistung.

Die unterirdische Trasse führt auch zu einem großen Aufwand bei notwendigen *Reparaturen*, denn dabei müssen erst Bagger die Kabel freilegen. Dies wirkt sich auf die Reparaturdauer und damit auf die Versorgungssicherheit aus. Weiterhin fehlen ausreichende Untersuchungen über die *Erwärmung des Bodens* und deren Folgen auf die Umwelt.

Im Jahr 2014/15 wurde ein *Pilotprojekt* zur Erdverkabelung in der *Gemeinde Raesfeld* im Westmünsterland durchgeführt. Auf 3,5 Kilometer Länge testete der Übertragungsnetzbetreiber *Amprion* erstmals den Bau einer 380 kV-Hochspannungsleitung in Wechselstromtechnik. Das Unternehmen hat dafür etwa 40 Millionen Euro aufgewendet – sechs Mal soviel, wie eine vergleichbare Freileitung gekostet hätte.

Erdkabel benötigen beim Bau viel Raum. Allein die typische Kabeltrommel für 1000 Meter Kabel hat einen Durchmesser von 4,6 Meter und wiegt 55 Tonnen. Nicht jede Brücke oder Unterführung ist dafür ausgelegt. Die diversen Fahrzeuge und Bagger erfordern im Baubetrieb viel Platz. Zum Schluss darf – zur Enttäuschung der Grundbesitzer – weder die eigentliche Kabeltrasse noch der parallele Baustreifen mit Bäumen oder tief wurzelnden Gräsern bepflanzt werden.

Konverterstationen

Elektrische Energie wird in Kraftwerken überwiegend als Wechselstrom erzeugt. Daher fließt in den deutschen und europäischen Stromnetzen überwiegend Wechselstrom. Im Rahmen des Netzausbaus soll jetzt in Deutschland auch für lange Strecken die effektivere Gleichstromtechnik verwendet und somit ins vorhandene Wechselstromnetz integriert werden. Um Gleichstromleitungen mit dem Wechselstromnetz zu verbinden, sind an den Endpunkten *Konverteranlagen* erforderlich. Ein Konverter wandelt Wechselstrom in Gleichstrom um und umgekehrt.

Eine Konverteranlage besteht im Wesentlichen aus *vier Funktionsblöcken*: dem Wechselstrom-Anschluss, den Transformatoren, dem Umrichter und schließlich der Gleichstrom-Schaltanlage mit den Gleichstrom-Anschlüssen. Im Umrichter, dem Kernstück der Anlage, findet die Umwandlung des Stroms statt. Der Umrichter besteht aus Transistoren, Dioden, Kondensatoren und Spulen. Da diese Bauteile sehr empfindlich sind, müssen sie in Hallen untergebracht werden. Weil sie zudem unter Hochspannung stehen, müssen mehrere Meter Abstand zum Boden und zu den Wänden eingehalten werden.

Die *Fläche*, welche für einen Konverter benötigt wird, hängt wesentlich von der Übertragungsleistung der vorhandenen Leitung ab. Für Gleichstrom-Vorhaben

geht man bei einer *Übertragungsleistung* von 2 Gigawatt von einer Gesamtfläche von 10 Hektar (= 100.000 Quadratmeter) aus. Das eigentliche Kernstück der Anlage, die Konverterhalle, nimmt eine deutlich geringere Fläche ein.

Schlussgedanken

Meines Erachtens war es ein schlimmer Fehler, dass die deutschen Politiker (insbesondere die bayerischen Seehofer/Aigner) so schnell eingeknickt sind und die Erdkabel zur Standardlösung für die Gleichstromübertragung von Nord nach Süd zugelassen haben. Die – nur – 5 Trassen hätten angesichts ihrer lediglich geringfügig höheren Masten das (regional) oft chaotische Wechselstromnetz kaum nennenswert optisch verschlechtert. Stattdessen hätte man auf hundert Jahre Erfahrung im Freileitungsbau zurückgreifen können. Demgegenüber ist die Erdverkabelung auf Höchstspannung in Deutschland praktisch Neuland. Die Grundstückseigentümer, zumeist Landwirte, werden ihre Nachteile bei Reparaturen bald bedauern.

Der Beitrag wurde vom Blog des Autors übernommen [hier](#)