

Hochspannungsgleichstromübertragung für die Energiewende in Deutschland

Dr. Jochen Christian
TransnetBW GmbH
j.christian@transnetbw.de

1 EINLEITUNG

Die in der Bundesrepublik Deutschland beschlossene Energiewende beinhaltet einen strukturellen Wandel in der Erzeugung elektrischer Energie. Nukleare Kraftwerke werden ihren Betrieb bis zum Jahr 2022 vollständig einstellen und konventionelle Kraftwerksleistung (Braun – und Steinkohle, Gas und Öl) wird aufgrund sich ändernder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zunehmend reduziert.

Erneuerbare Energien zur Erzeugung elektrischer Leistung sind in Deutschland regional sehr unterschiedlich vorhanden und sorgen für eine heterogene räumliche Verteilung der Stromproduktion. Während über 90 % der zu erwartenden installierten Windkraftwerksleistung auf See, in Nord- und Mitteldeutschland entstehen wird, ist die Nutzung der Sonnenenergie durch Photovoltaik sehr stark auf Mittel- und Süddeutschland konzentriert. Der Großteil der Verbrauchschwerpunkte liegt in Industriezentren und Ballungsräumen Mittel- und Süddeutschlands. Deren Anteil an erneuerbarer Energieerzeugung liegt allerdings signifikant unter dem von Nord- und Ostdeutschland und kann den Bedarf der Verbrauchsschwerpunkte nicht decken. Darüber hinaus entstehen Erzeugungsschwerpunkte durch die Nutzung von Windenergie in Regionen mit sehr geringem Leistungsbedarf, deren Erzeugungsüberschüsse in die entfernten Lastzentren Deutschlands bzw. Speicherzentren der Alpen und Skandinavien transportiert werden müssen.

2 MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES HÖCHSTSPANNUNGSÜBERTRAGUNGSNETZES

2.1 Überlagerte Fernübertragungssysteme mit Hochspannungsgleichstrom (HGÜ)

Zur Sicherstellung überregionaler Übertragungskapazitäten großer Leistung und zur Anbindung von nicht synchronen Verbundnetzen sind in Deutschland gemäß [4] sieben Maßnahmen zur Implementierung von Übertragungsstrecken mittels Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) vorgesehen (Abbildung 1).

Die unter Abbildung 1 beschriebenen Vorhaben A1, A2, C3, C4 und D1 sind HGÜ-Strecken, deren Anbindungsknoten innerhalb des deutschen Verbundnetzes liegen und parallel zum bestehenden Drehstromnetz einen überregionalen elektrischen Energietransit von Norden nach Süden ermöglichen sollen. Hierbei soll das bestehende Drehstromnetz hinsichtlich der durch die Energiewende zu erwartenden Lastflüsse entlastet werden.

Die Auswahl der Netzverknüpfungspunkten erfolgt gemäß ihrer vorhandenen Eignung zur Aufnahme und Übergabe großer Kraftwerksleistungen ins Verbundnetz. Derartige Netzknoten verfügen meist über leistungsstarke Anbindungen in mehrere Netzbereiche ihrer Regelzone und wurden in der Vergangenheit sehr häufig für die Anbindung von Großkraftwerksleistungen genutzt.



A2: Osterath – Philippsburg (Ultrahigh Voltage)

Amprion und TransnetBW, 2 GW, +/- 420 kVDC, 340 km, Hybrid-Freileitung, Multi-Terminal

A1: Emden - Osterath

Amprion, 2 GW, +/- 420 kVDC, 320 km, Erdkabelvorrang, Multi-Terminal

C3: Brunsbüttel – Großgartach (SuedLink)

TransnetBW und TenneT TSO, 2.0 GW, +/- 525 kVDC, ca 650 km, Erdkabelvorrang

C4: Wilster – Grafenrheinfeld (SuedLink)

TenneT TSO, 2.0 GW, +/- 525 kVDC, ca. 500 km, Erdkabelvorrang

D1: Wolmirstedt – Isar (Süd-Ost-Passage)

50 Hertz und TenneT TSO, 2.0 GW, ca. 400 km, Erdkabelvorrang

P65: Wilster – Tonstad (NO) (NordLink)

TenneT TSO und Statnett, 1.4 GW, +/- 525 kVDC, 570 km Seekabel, 53 km Freileitung

P68 Oberzier – Lixhe (BE) (ALEGrO)

Amprion und Elia, 1.0 GW, +/- 320 kVDC 100 km Erdkabel

Abbildung 1. Konzept des überlagerten Gleichstromübertragungssystems im deutschen Verbundnetz (Stand 18.12.2015 gemäß [4]und [5])

Neben den fünf HGÜ-Systemen innerhalb des deutschen Verbundnetzes ermöglichen die Vorhaben P65 und P68 den Wirkleistungsaustausch zu Nachbarstaaten. Während die Verbindung P68 eine Verbesserung der Netzstabilität des belgischen Übertragungsnetzes durch eine starke Anbindung an das deutsche Verbundnetz ermöglicht, dient das Vorhaben P65 der Anbindung norwegischer Wasserspeicher. Eine derartige Anbindung ermöglicht die effektivere Nutzung fluktuierender Windeinspeisung mittels Speicher.

3 TECHNISCHE ASPEKTE DER ANWENDUNG VON HGÜ

3.1 Prinzip der VSC HGÜ-Technik

Die Anwendung der HGÜ zwischen Netzknoten innerhalb des eng vermaschten deutschen Verbundnetzes ist ein Novum für alle 4 Übertragungsnetzbetreiber. Bisherige Verbindungen dienten der Anbindung von Nachbarstaaten per Seekabel (Dänemark, Schweden) bzw. dem Leistungsaustausch zum asynchronen osteuropäischen Stromnetz in den Jahren nach 1990 (Wolmirstedt, Etzenricht) per Back-to-Back-Anlage.

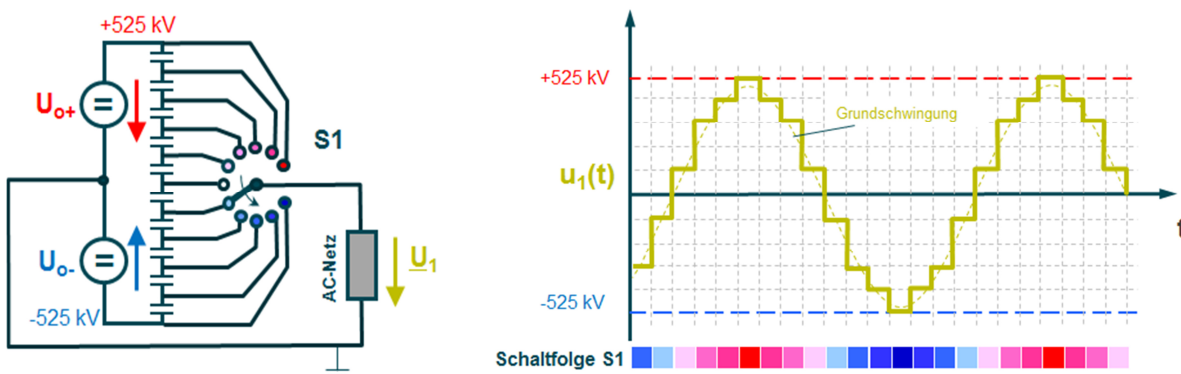


Abbildung 2. Schematische Darstellung Multi-Level-Wechselrichtung

Gemäß den Empfehlungen in [9] kommen zur Realisierung der in [4] vorgegebenen HGÜ-Verbindungen selbstgeführte Leistungs-Umrichter in Multi-Level-Technik zum Einsatz. Das grundsätzliche Funktionsprinzip ist in Abbildung 2 für die Betriebsart der Wechselrichtung vereinfacht dargestellt.

Eine kapazitive Absteuerung der Zwischenkreisspannung ermöglicht ein stufiges Abgreifen der Gleichspannung durch Leistungshalbleiterschaltenelemente. Durch gesteuertes Schalten kann die resultierende stufenförmige Wechselspannung in ihrer Grundschnwingung nach Betrag, Phasenlage und Frequenz im Rahmen des zulässigen Betriebsbereichs beliebig beeinflusst werden. Mit dieser Steuerungsmöglichkeit lässt sich die in den Netzknoten einzuspeisende Leistung nach Betrag und Leistungswinkel sehr genau einstellen bzw. regeln. Detaillierte Ausführungen zur Funktionsweise sind unter [6],[7] und [8] angegeben.

3.2 Konverteranlage

Zur praktischen Umsetzung der unter Abbildung 2 vereinfacht vorgestellten Funktionalität ist ein Anlagensystem mit unterschiedlichen Komponenten notwendig. Unter Abbildung 3 ist eine perspektivische Darstellung einer Konverteranlage gegeben.

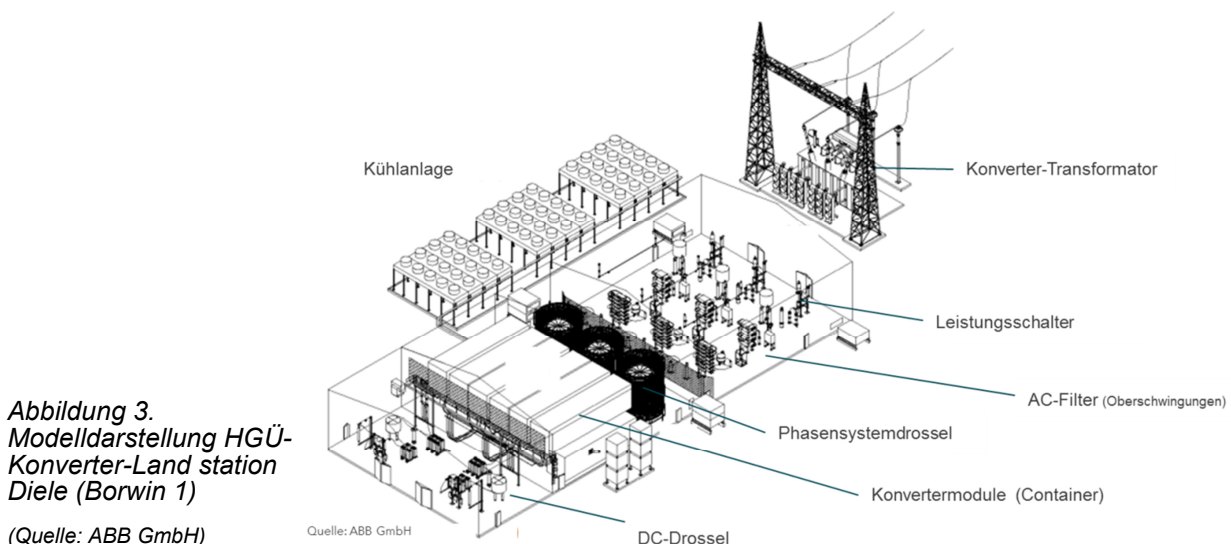


Abbildung 3.
Modelldarstellung HGÜ-
Konverter-Land station
Diele (Borwin 1)

(Quelle: ABB GmbH)

Die Anbindung der Konverteranlage an das Drehstromnetz wird durch den Konvertertransformator sichergestellt. Neben der Anpassung der Netzspannung an die Konverterwechselspannung dient dessen Streuinduktivität zur Dämpfung, zur Filterung und als Teil der Phasensysteminduktivität. Über Wechselstrom-Leistungsschalter und Trenner werden die Felder der Filteranlagen angebunden. Diese Filter eliminieren harmonische Anteile der Wechselspannung am Ausgang der Phasensystemdrossel. Diese Drossel ist eine Schlüsselkomponente zur Regelung des Arbeitspunktes der Systemscheinleistung. Die unter Abbildung 3 gezeigte Ausführung nutzt Ventilmodule in Containerbauweise. Diese Halbleitermodule erzeugen durch gesteuertes Schalten die unter Abbildung 2 gezeigte Spannungs-Konversion. Zur Dämpfung von harmonischen Frequenzanteilen am Ausgang des Gleichstromkreises sowie zur Strombegrenzung von Fehlerströmen bei Fehlern im Gleichspannungssystem erfolgt die Anbindung der DC-Übertragungsstrecke über eine Glättungsdrossel. Weiterführende Details zur genannten Anlage sind unter [10] gegeben.

3.3 HGÜ-Technik der Übertragungsstrecke

Im Gegensatz zu Seeverbindungen besteht bei Übertragungsabschnitten über Land grundsätzlich die Möglichkeit zum Einsatz von Freileitungen oder Erdkabeln.

Mit dem unter [5] beschriebenen Bundesratsbeschluss zum Erdkabelvorrang gilt für die Übertragungsstrecken der Vorhaben A1, C3, C4, D1 und P68 die grundsätzliche Ausführung als Erdkabel. Lediglich die Maßnahme A2 soll als Freileitung ausgeführt werden.

Die teilweise hohe Infrastrukturdichte in Deutschland erschwert die Identifikation geeigneter Räume zum Bau neuer Freileitungsanlagen. Darüber hinaus sind häufig signifikante Veränderungen in Natur und Kulturlandschaften damit verbunden, deren Akzeptanz in der Bevölkerung nur sehr schwer zu erreichen ist. Zur Vereinfachung der Planungsmaßnahmen und zur Steigerung der öffentlichen Akzeptanz nutzt die Gleichstromübertragungsstrecke zwischen den Netzknoten Philippsburg und Osterath (Vorhaben A2) weitgehend bestehende Drehstromleitungen zur Umrüstung auf ein hybrides Gleichstrom-/Drehstromsystem. Eine schematische Darstellung zur Adaption eines Mehrfachdrehstromsystems ist unter Abbildung 4 gegeben.

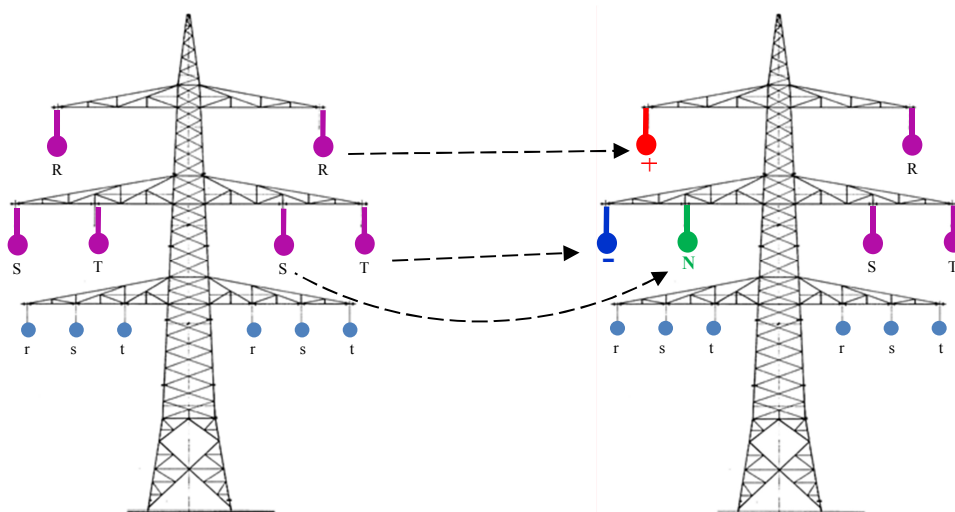


Abbildung 4. Umbau einer Mehrsystem-Drehstromleitung zu einem DC-Hybridsystem

4 PLANUNG UND AKZEPTANZ VON STROMÜBERTRAGUNGSTRECKEN

Deutschland ist nach den Niederlanden, Belgien und dem Vereinigten Königreich mit 227 Einwohnern je km² der viert dichtest besiedelte Flächenstaat in Europa. Die damit verknüpfte intensive Nutzung des Lebensraums erhöht die Komplexität der Planung und Umsetzung von elektrischen Übertragungsstrecken. Zur Systematisierung der Planungsprozesse und zur Erhöhung der Transparenz des Planungsverfahrens sieht das Gesetz zum beschleunigten Netzausbau (NABeG, [10]) den Prozess der Bundesfachplanung vor, der die sonst anzuwendenden Raumordnungsverfahren in einem Verfahren bündelt. Dieses Verfahren gilt in erster Linie für Vorhaben, die sich über mehrere Bundesländer erstrecken. Das Planungsverfahren selbst ist in mehrere Planungsstufen unterteilt.

Jedes Infrastrukturvorhaben stellt einen Eingriff in Landschaft und Lebensraum von Menschen dar. Derartige Veränderungen werden seitens der Bevölkerung sehr unterschiedlich wahrgenommen und bewertet. Ablehnung und Skepsis sind oftmals der Uninformiertheit und mangelnder Möglichkeit zur Einflussnahme geschuldet. Zur Steigerung der Transparenz und Mitarbeit durch die Bevölkerung sieht der Prozess der Bundesfachplanung aktive Beteiligungsmöglichkeiten bereits vor dem offiziellen Verfahren vor. Diese können im Rahmen von lokalen Informationsveranstaltungen der Übertragungsnetzbetreiber oder aber mittels der seitens der Bundesnetzagentur abgehaltenen Antragskonferenzen erfolgen. Hierbei sind die Bürger aktiv aufgefordert, konkrete Planungsvorschläge zur Trassenführung zu unterbreiten.



Abbildung 5. Bürgerreaktionen gegen Planungsvorhaben SuedLink in 2014

Trotz sorgfältigster Planungen und transparenter Prozesse bleibt auch bei Nutzung von Erdkabeln die Notwendigkeit einer Veränderung im Lebensraums der Menschen bestehen. Zum Zweck der Vertretung und Artikulation lokaler Interessen organisieren sich Einzelpersonen oft in Bürgerinitiativen, welche ihrerseits in Verbänden Zusammenschluss finden (Abbildung 5). In vielen Fällen werden derartige Interessenverbände von öffentlichen Amtsträgern unterstützt und nutzen zudem professionellen juristischen Beistand.

Die Übertragungsnetzbetreiber sind bemüht, den Anliegen aller betroffenen Bürger möglichst gerecht zu werden und dabei gleichzeitig den gesetzlichen Auftrag des Bundesbedarfsplangesetzes zu erfüllen. Der Umfang und die Wichtigkeit der Netzausbaumaßnahmen könnten allerdings dazu führen, dass Einwände von Bürgern und Körperschaften nicht ausgeräumt werden können und damit juristische Klärungen im Rahmen der Planfeststellung notwendig werden.

5 AUSWIRKUNGEN UND MAßNAHMEN BEI VERZÖGERUNGEN IM NETZAUSBAU

Die Umsetzung des elektrischen Netzausbaus steht im direkten zeitlichen Zusammenhang mit der Abschaltung von Kernkraftwerken, Reduktion konventioneller Kraftwerksleistung und dem Ausbau regenerativer Energien. Idealerweise wären alle Maßnahmen abgeschlossen, bis die geplante Reduktion von nuklearen und fossilen Kraftwerken in Süddeutschland vollzogen ist. In Anbetracht der technischen, genehmigungsrechtlichen und sozialen Herausforderungen des Netzausbaus ergeben sich terminliche Risiken für deren Umsetzung.

Die Dringlichkeit zur synchronen und planmäßigen Umsetzung der Um- und Ausbaumaßnahmen tritt bereits heute eingehend zutage. Zur Vermeidung von Überlastung bei Betriebsmitteln und kritischer Netzzustände sind die Übertragungsnetzbetreiber seit 2013 regelmäßig zu Netzeingriffen (Redispatch) gezwungen, bei denen Einspeiseleistung aus Wind im Norden Deutschlands reduziert und gleichzeitig konventionelle Reservekraftwerksleistung in der Mitte und im Süden aktiviert werden muss.

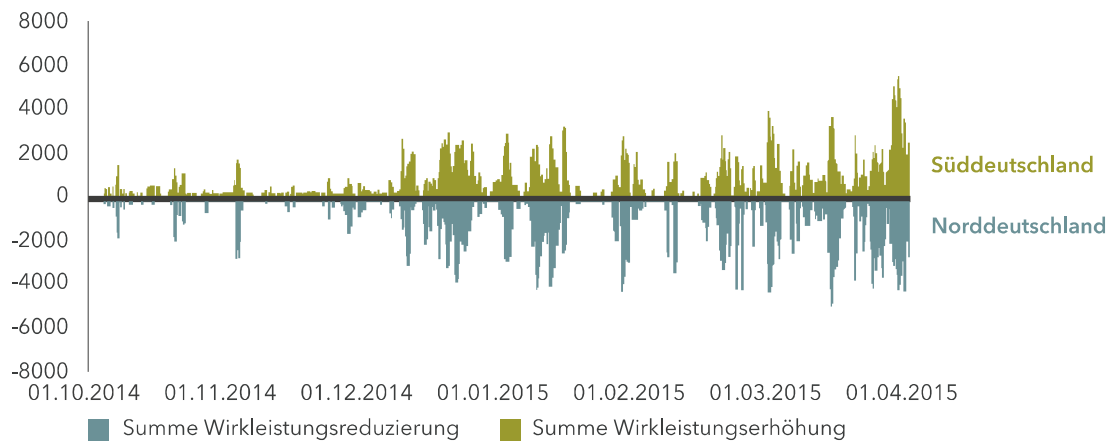


Abbildung 6. Aufzeichnung des Summenwirkleistungsanpassung der deutschen Übertragungsnetzbetreiber nach [1] in Megawatt

Abbildung 6 zeigt die Tages-Summenleistungen für die Netzeingriffe aller vier Übertragungsnetzbetreiber in einem Zeitraum von 6 Monaten. Der Umfang der Netzeingriffe ist stark von der Wetterlage und dem Erzeuger-Lastgefüge abhängig. Während Hochlastphasen und Bewölkung im Süden bei gleichzeitigem Starkwind in Norddeutschland werden zunehmend Eingriffe seitens der Netzführung notwendig. Im 6-Monatszeitraum bis zum 01.04.2015 wurden hierbei Spitzenwerte bis zu 5 GW erreicht.

Erste Auswertungen zu den Aufwendungen der deutschen Übertragungsnetzbetreiber infolge von Redispatch in 2015 ergeben ein Volumen von etwa eine Milliarde Euro, welches etwa dem geplanten Aufwand zum Netzaus- und –umbau in 2015 entspräche. Gemäß den auf bisherigen Erfahrungen basierenden Prognosen für 2023 würde dieser Aufwand in Deutschland auf etwa drei Milliarden pro Jahr anwachsen. Für den Fall einer planmäßigen Umsetzung der unter [3] beschriebenen Maßnahmen könnte dieser Aufwand auf etwa ein Drittel begrenzt werden und würde damit das jährliche Investitionsvolumen des Netzausbaus nicht übersteigen [2].

LITERATUR UND VERWEISE

- [1] Bundesnetzagentur: "Bedarfsermittlung 2024, Bestätigung, Netzentwicklungsplan Strom", Sep. 2015
- [2] R. Joswig: "das Übertragungsnetz im Spannungsfeld zwischen Physik, technischen Herausforderungen, Politik und Gesellschaft", Kolloquium Universität Stuttgart, Nov. 2015
- [3] 50Hertz GmbH, Amprion GmbH, Tennet TSO GmbH, TransnetBW GmbH: "Netzentwicklungsplan 2014", www.netzentwicklungsplan.de
- [4] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: "Gesetz über den Bundesbedarfsplan (Bundesbedarfsplangesetz - BBPlG)", Juli 2013
- [5] Bundesregierung: "Netzausbau: Erdkabel statt Freileitung"
<https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/10/2015-10-07-netzausbau-erdkabel-statt-freileitung.html>, Dezember 2015
- [6] ABB GmbH: "HVDC Light – It's time to connect", Brochure, 2013
- [7] Siemens AG: "HVDC PLUS – Basics and Principle of Operation", Brochure, 2011
- [8] Alstom Grid: "Voltage Source Converter – Introduction to VSC technology", 2010
- [9] 50Hertz GmbH, Amprion GmbH, Tennet TSO GmbH, TransnetBW GmbH: "Netzentwicklungsplan 2013", www.netzentwicklungsplan.de
- [10] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: "Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)", Juli 2011