



Strom, der ankommt

Bei den geplanten Stromtrassen in Nord-Süd-Richtung kommt im deutschen Höchstspannungsnetz die Gleichstromübertragung erstmals in großem Stil zum Einsatz.

Michael Vogel

Hohe elektrische Leistungen lassen sich über große Distanzen am besten bei hoher elektrischer Spannung übertragen. Um Strom in Deutschland und Europa zu verteilen, spannen entsprechende Übertragungsleitungen ein dichtes Netz auf, das hierarchisch gegliedert ist: Die Spannung ist der zu überbrückenden Entfernung angepasst (**Tabelle**). Das europäische Verbundsystem der Höchstspannungsnetze basiert auf der Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung – in der Regel per Freileitung, selten als Kabel im Erdbothen. Für drei der vier geplanten Stromtrassen, die Deutschlands Norden mit dem Süden verbinden werden, gilt jedoch ein gesetzlicher Vorrang für die

Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung per Kabel. Das erfordert zwar weniger Material für die Leitungen, aber auch Konverter beim Übergang in Drehstrom-Übertragungsnetze.

Bei der Drehstrom-Übertragung fließt ein Dreiphasen-Wechselstrom in den Leitungen: Die sinusförmigen Spannungen identischer Frequenz sind jeweils um 120° phasenverschoben. Dadurch entfällt eine zusätzliche Neutralleitung, weil diese nicht strombelastet wäre. Bei Freileitungen handelt es sich um nicht isolierte Leiterseile. Ein Stahlkern stabilisiert sie mechanisch; ihn umgibt ein Mantel aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen, deren gewichtsspezifische

Leitfähigkeit diejenige von Kupfer übersteigt. Die Umgebungsluft führt die Verlustwärme der Leiterseile effizient ab und sorgt gleichzeitig für ihre Isolation. Da Luft aber nicht allzu gut isoliert, stehen die Masten, an denen die Leiterseile mit Isolatoren befestigt sind, etwa 400 Meter voneinander entfernt und sind zwischen 40 und 50 Meter hoch. Seit Anfang der 1950er-Jahre gibt es in Deutschland 380-kV-Freileitungen; ihre einfache und robuste Bauweise macht sie weltweit zur bevorzugten Variante, um elektrische Energie zu übertragen.

Wenn die Drehstrom-Übertragung per Kabel erfolgt, umgibt die Leiter ein Isolator aus vernetztem Polyethylen, sodass sie auch im Boden verlegbar sind. Bevorzugt kommt die Technik in den Mittel- und Niederspannungsnetzen zum Einsatz. Mittlerweile findet sie sich in Europa auch in einigen Hochspannungsnetzen, jedoch nur selten für die Übertragung bei Höchstspannung. Denn die großen Leistungen bei 380 kV führen zu hoher Verlustwärme, die sich im Boden nur schlecht ableiten lässt. Ein größerer Leiterquerschnitt senkt zwar diese Verluste, sorgt aber für höhere

Deutschlands Stromnetz

Ebene	Spannung	Zweck
Höchstspannung	220 kV, vor allem 380 kV	Energietransport über große Distanzen Anbindung großer Stromerzeuger Anbindung ans europäische Verbundnetz
Hochspannung	> 60 kV, oft 110 kV	Grobverteilung der Energie: Regionen und Ballungszentren
Mittelspannung	> 1000 V	Energieverteilung im ländlichen (einige 100 km) und Ballungsraum (einige km)
Niederspannung	< 1000 V, vor allem 230 V und 400 V	Versorgung vor Ort: Haushalte und Industrie

Materialkosten. Die schwereren Kabel lassen sich nur mit kurzer Länge transportieren und müssen vor dem Verlegen durch Muffen miteinander verbunden werden – eine potenzielle Fehlerquelle im Langzeitbetrieb. Weil die Dielektrizitätszahl des Isolators deutlich höher ist als bei Luft, fällt der kapazitive Verlust eines Kabels größer aus als bei einer Freileitung. Die Verluste führen zu einem Strom, der ständig zur geerdeten Schirmung abfließt und proportional zu Übertragungsspannung und Kabellänge wächst. Bei 380 kV und einigen zehn Kilometern Länge wird die zugehörige Blindleistung so groß, dass die Übertragung ohne induktive Ausgleichselemente nicht mehr funktioniert. Im Gegensatz zu Freileitungen fallen die Kabel in der Landschaft aber nicht mehr auf, sobald sie verlegt sind.

Wie sich die Netze verändern

Die Energiewende verändert durch den wachsenden Anteil erneuerbarer Energiequellen auch die Struktur der Netze. Während sich zuvor die Kraftwerke in der Nähe von Industriegebieten und Ballungsräumen befanden, stehen Windparks oder Solarfarmen nicht unbedingt dort, wo der höchste Bedarf an elektrischer Energie besteht. Deshalb braucht Deutschland zusätzliche Trassen im Höchstspannungsnetz, vor allem von den Windparks der Nordsee zu den Industriestandorten in der Mitte und im Süden. Diese Trassen sollen 2027/28 in Betrieb gehen und Gleichstrom übertragen.

Dafür kommen meist Zwei-Leiter-Systeme zum Einsatz: Jeder Leiter befindet sich gegen Erde auf der halben Nennspannung, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen. Bei gleicher Stromstärke lässt sich so im Vergleich zu einem Ein-Leiter-System die doppelte Leistung übertragen. Da bei Gleichstrom keine spannungsabhängigen Verluste auftreten, sondern nur stromabhängige, müssen keine Blindströme kompensiert werden: Es gibt kein kapazitiv bedingtes Limit für die Kabellänge. Außerdem sorgt die

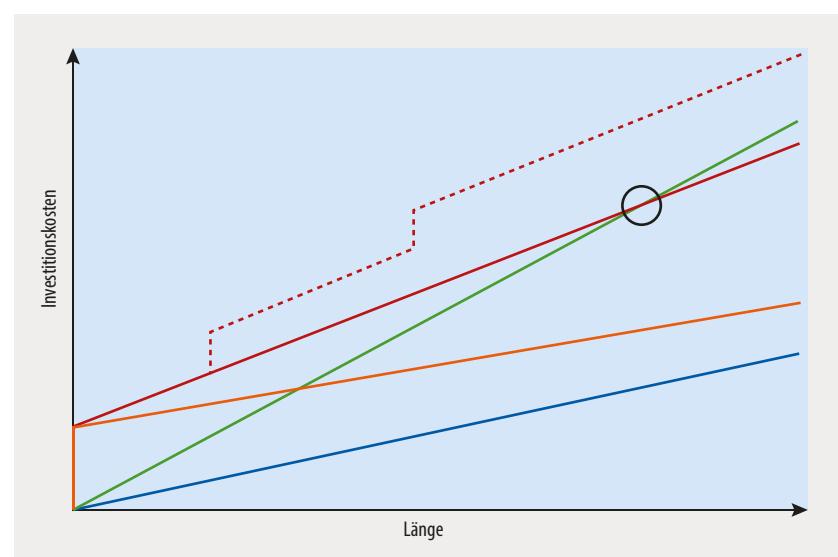


Abb. 1 Prinzipiell sind die Investitionskosten bei Freileitungen für die Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (blau, HDÜ) und die Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (orange, HGÜ) am geringsten. Für Kabel wachsen die Kosten mit HDÜ (grün) schneller als mit HGÜ (rot), sodass es zu Kostenparität (Kreis) kommen kann. Am HGÜ-Kabel macht jeder Abzweig einen Konverter nötig (rot gestrichelt), der die Kosten sprunghaft ansteigen lässt.

kleinere Anzahl an Leitungen für weniger Flächenbedarf im Vergleich zur Übertragung mit Drehstrom.

Aber es gibt auch Nachteile. Um eine Gleichstrom-Trasse in das drehstrom-dominierte Spannungsnetz einzubinden, braucht es an den Enden jeweils einen Konverter, der den Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt und umgekehrt. Dadurch gibt es bei den Investitionskosten einen Offset (Abb. 1), der Gleichstrom auf kürzeren Strecken unrentabel macht. Erst ab mehreren hundert Kilometern – der genaue Wert hängt stark vom konkreten Projekt ab – kommt es zur Kostenparität. Darüber hinaus lässt sich die Spannung bei Gleichstrom nicht mit Transformatoren verändern: Die benötigte Technik kostet mehr als bei Drehstrom. Sollte künftig die Gleichstrom-Übertragung auch jenseits von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen wie den Nord-Süd-Trassen zum Einsatz kommen, stellt sich die Frage, wie sich hohe Leistungen schalten lassen: Denn einen Nulldurchgang wie beim Drehstrom gibt es nicht.

Im Höchstspannungsnetz kommt die Gleichstrom-Übertragung bislang vor allem bei Seekabeln zum Einsatz, die Offshore-Windparks mit dem Netz an Land verbinden. Mit den geplanten Nord-Süd-Stromtrassen wird sich dies in Deutschland ändern. Wie sich die Stromnetze an die neu-

en Bedingungen während und nach der Energiewende anpassen sollen, ist im Netzentwicklungsplan Strom festgehalten.¹⁾

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach den notwendigen Investitionen, dem Aufwand für die Wartung der Netze und ihrer Lebensdauer abhängig von der gewählten Technik. Freileitungen für die Drehstrom-Übertragung lassen sich länger als 80 Jahre nutzen, bei Kabeln liegen Schätzungen für Dreh- und Gleichstrom bei 40 bis 50 Jahren. Die für die Gleichstrom-Übertragung benötigten Konverter sollten 40 Jahre lang halten. Schäden und akute Störungen sind bei Freileitungen in der Regel schneller zu beheben als bei Kabeln. 2021 kam es laut Bundesnetzagentur je Endverbraucher für 12,7 Minuten im Jahr zu kurzzeitigen Stromausfällen – ein guter Wert im internationalen Vergleich. Hauptgrund dafür sind Störungen im Mittelspannungsnetz sowie wetterbedingte Ausfälle bei der Niederspannung, zum Beispiel durch Blitzeinschläge. Die niedrigen Ausfallzeiten sollten auch nach dem Umbau des Höchstspannungsnetzes erhalten bleiben.²⁾

Der Autor

Dipl.-Phys. Michael Vogel, Journalist, www.mv-vogel.de

1) www.netzentwicklungsplan.de

2) Ich danke TransnetBW, Stuttgart, für hilfreiche Erläuterungen.