



# MODERNE STROMNETZE ALS SCHLÜSSELELEMENT EINER NACHHALTIGEN ENERGIEVERSORGUNG

TAB-FOKUS NR. 5 ZUM ARBEITSBERICHT NR. 162

JANUAR 2015

## IN KÜRZE

- Das deutsche Energiesystem befindet sich gegenwärtig mitten in einem Umbruchprozess historischen Ausmaßes. Dies bedeutet, dass sich die Anforderungen drastisch ändern, die an die Stromnetze gestellt werden müssen.
- Daraus erwächst ein erheblicher Handlungsdruck, die Netze aus- bzw. umzubauen sowie neue Betriebskonzepte zu entwickeln, damit eine zuverlässige und sichere Stromversorgung auch weiterhin gewährleistet werden kann.
- Für die zukünftige Entwicklung der Stromnetze existiert ein beträchtlicher Gestaltungsspielraum sowohl konzeptionell (z. B. zentral vs. dezentral) als auch bei der Technologieauswahl (z. B. Freileitungen vs. Erdkabel).
- In einem offenen gesellschaftlichen Diskurs sollten Präferenzen definiert und anschließend in politische Gestaltung umgesetzt werden.

## WORUM ES GEHT

Die Stromnetze sind ein tragender Pfeiler der Infrastruktur Deutschlands, von der das wirtschaftliche und gesellschaftliche Wohlergehen als Industrienation empfindlich abhängt. Sie stellen das Verbindungsglied zwischen Stromerzeugern und Verbrauchern dar. Stromnetze haben aus konzeptioneller Sicht zwei übergeordnete Funktionen. Zum einen erfüllen sie eine Transportaufgabe, indem sie den Strom vom Erzeuger zum Verbraucher bringen. Zum anderen vermitteln sie Flexibilität. Das heißt, wenn an einer Stelle im Netz etwas Unvorhergesehenes passiert (z. B. der Durchzug einer Gewitterfront führt zum Abfall der Photovoltaikerzeugung), kann dies durch eine schnelle Reaktion an einer räumlich weit entfernten Stelle ausgeglichen werden (z. B. durch schnelles Hochfahren einer Gasturbine). Ein hohes Maß an Flexibilität ist eine wichtige Voraussetzung, um das Stromsystem zur Aufnahme höherer Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien, v. a. Wind- und Sonnenenergie, zu befähigen.

Gegenwärtig befindet sich das deutsche Energiesystem in einem Umbruchprozess historischen Ausmaßes. Bis 2030

sollen erneuerbare Energien (EE) etwa die Hälfte und bis 2050 mindestens 80 % des Strombedarfs decken. Deren Erzeugung weist ausgeprägte regionale Schwerpunkte auf – Windenergie wird vorwiegend im Norden und Osten Deutschlands erzeugt, Photovoltaik hingegen im Süden –, die von den Verbrauchsschwerpunkten im Westen und Süden teilweise etliche hundert Kilometer entfernt sind. Gleichzeitig soll Ende 2022 das letzte Kernkraftwerk vom Netz gehen. Hinzu kommt, dass die sukzessive Vervollständigung eines gemeinsamen europäischen Binnenmarktes auch im Stromsektor zu einer immer engeren Integration und gegenseitigen Beeinflussung der Stromsysteme über Ländergrenzen hinweg führt.

In der Summe stellen diese Entwicklungen teilweise **völlig neue Anforderungen** an die Stromnetze, sodass aktuell ein **erheblicher Handlungsdruck** erwachsen ist, die Netze aus- bzw. umzubauen sowie neue Betriebskonzepte zu entwickeln, damit eine zuverlässige und sichere Stromversorgung auch weiterhin gewährleistet werden kann.

## AUS- UND UMBABEDARF DER NETZE

Der Aus- und Umbaubedarf der **Verteilnetze** auf lokaler und regionaler Ebene wird ganz überwiegend dadurch ausgelöst, dass immer mehr kleinere dezentrale Erzeugungsanlagen angeschlossen werden müssen. Neben den EE-Anlagen sind auch Blockheizkraftwerke relevant, die kombiniert Strom und Wärme bereitstellen. Zur Aufnahme dieser Stromerzeugung müssen die Verteilnetze ertüchtigt und ausgebaut werden. Wenn die lokal erzeugte Strommenge größer ist als der Verbrauch, kehrt sich die übliche Richtung des Stromflusses von den Übertragungs- zu den Verteilnetzen um, und

### AUFTRAGGEBER

Ausschuss für Bildung, Forschung und  
Technikfolgenabschätzung  
+49 30 227-32861  
bildungundforschung@bundestag.de

### THEMENINITIATIVE

Ausschuss für Wirtschaft und Technologie

es kommt zu Rückspeisungen von den niedrigen zu den höheren Spannungsebenen. Verschiedene Studien beziffern die Größenordnung des Investitionsbedarfs bis 2020 auf etwa 25 Mrd. Euro.

Für die **Übertragungsnetze** spielt eine wesentliche Rolle, dass der weitere Zubau von EE-Kapazitäten häufig weit von Lastschwerpunkten entfernt erfolgen wird. Besonders deutlich wird dies bei der geplanten Nutzung der Windenergie vor den Küsten auf See. Die vorhandenen Übertragungskapazitäten reichen nicht aus, um die auftretenden Lastflüsse von der Erzeugung zu den Verbrauchszentren zu bewältigen. Über diesen Transportbedarf hinaus ist die Notwendigkeit, einen überregionalen Ausgleich räumlicher und zeitlicher Angebots- und Nachfrageschwankungen zu gewährleisten, eine weitere starke Triebkraft für den Ausbau der Netze. Der Ausbaubedarf in den Übertragungsnetzen wird seit 2011 in einem neuen strukturierten und formalisierten Verfahren bundesweit einheitlich definiert. Integraler Bestandteil des Verfahrens ist eine breite Konsultation von Stakeholdern und der allgemeinen Öffentlichkeit. Der auf diese Weise ermittelte Gesamtumfang für den Zeitraum bis 2022 beträgt 1.700 km neue Leitungen, 2.800 km Neubauten in bestehenden Trassen sowie Verstärkungen auf 1.300 km. Das Investitionsvolumen für diese Maßnahmen beträgt etwa 20 Mrd. Euro.

#### ZUKUNFTSSZENARIEN FÜR DAS STROMNETZ

Für die zukünftige Entwicklung der Stromnetze existiert ein beträchtlicher **Gestaltungsspielraum**. Für die Ausgestaltung sollten gesellschaftlich zu definierende Präferenzen die Leitlinien vorgeben. Beispiele hierfür sind Fragen wie: Ist immer die ökonomisch effizienteste Lösung vorzuziehen, oder wird Wert auf eine Vielfalt der Lösungsansätze und Akteure gelegt? Wird der Schwerpunkt auf Eigenständigkeit gelegt (z. B. Autarkie, Verringerung der Importabhängigkeit) oder auf Kooperation und Nutzung von Synergieeffekten?

Eine wesentliche Gestaltungsoption, die auch in der öffentlich geführten Debatte eine bedeutende Rolle spielt, ist die Frage, auf welcher geografischen Einheit das Netz organisiert wird, bzw. konkret der Gegensatz »zentral – dezentral«. Das Spektrum der Ansätze reicht dabei von der ausschließlichen Nutzung lokal verfügbarer Ressourcen bis hin zu einem trans-europäischen Verbund mit Nutzung der ergiebigsten Stand-

orte für EE (z. B. norwegische Wasserkraft und Solarstrom aus Südeuropa oder gar der Sahara).

**Lokale Autarkie:** Ein radikaler Ansatz ist es, die Versorgung ausschließlich mit lokalen Mitteln sicherzustellen. Diese lokale Autarkie bedeutet streng genommen eine vom Übertragungsnetz abgekoppelte Inselversorgung z. B. von Gemeinden oder Stadtteilen. Speicher rücken hier als unverzichtbare Komponenten zwangsläufig in den Mittelpunkt, um jederzeit eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten. Die erforderliche Speichergröße ist selbst unter günstigen Annahmen so hoch, dass sie unter ökonomischen Gesichtspunkten kaum darstellbar erscheint. Hinzu kommt, dass zur Absicherung der Versorgung die Erzeugungsanlagen erheblich überdimensioniert werden müssen, sodass beträchtliche Strommengen – je nach konkreten Annahmen bis zu 50 % und mehr – ungenutzt verworfen werden müssen. In Einzelfällen ist lokale Autarkie möglicherweise umsetzbar, z. B.

in ländlichen Gemeinden, in denen ausreichend Wasserkraft zur Verfügung steht. In Städten sowie in Regionen, in denen energieintensive Unternehmen angesiedelt sind, ist dies jedoch völlig undenkbar. Wesentlich leichter zu erreichen ist hingegen die sogenannte »bilanzielle Autarkie«, bei der lediglich im zeitlichen Mittel mindestens genauso viel Strom lokal erzeugt wie verbraucht wird. Stabilität und Sicherheit der Versorgung werden nach wie vor durch das Netz gewährleistet, das als Speicher fungiert und

den Ausgleich von Schwankungen und die Bereitstellung von Reserven übernimmt. Allerdings ist bilanzielle Autarkie im Prinzip eine rein kaufmännische Betrachtungsweise und hat ohne weiter gehende Maßnahmen, z. B. der zeitlichen Abstimmung des Verbrauchs auf die Erzeugung, keinerlei Auswirkungen auf die elektrotechnischen Energieflüsse und somit auf den Ausbaubedarf der Netze.

**Regionenverbund:** Die Grundidee ist hier, die Stromversorgung unter Ausnutzung der regionalen EE-Potenziale weitgehend regional zu organisieren. Um Angebot und Nachfrage zur Deckung zu bringen, findet ein deutschlandweiter Stromaustausch statt. Dieser Ansatz geht von der Erkenntnis aus, dass ein gut ausgebautes Stromnetz zur gegenseitigen Reserveleistung von Regionen und zur Erschließung von Regionen mit hohen Erzeugungspotenzialen (z. B. Geothermie, Offshorewind) letztlich unverzichtbar ist. Eine regional

#### ORGANISATION DER STROMNETZE

Die zur öffentlichen Versorgung dienenden Stromnetze werden üblicherweise anhand ihrer Betriebsspannung in Teilnetze untergliedert: Die **Übertragungsnetze** mit einer Spannung von 220 kV bzw. 380 kV dienen zur Fernübertragung größerer Strommengen und zum überregionalen Ausgleich. An sie sind die konventionellen Großkraftwerke, aber auch große Offshorewindparks angeschlossen. Bei den **Verteilnetzen** lassen sich drei Spannungsebenen unterscheiden: die **Hochspannungsebene** (60 bis 110 kV), die **Mittelspannungsebene** (6 bis 30 kV) und die **Niederspannungsebene** (230 bis 440 V). Auf der Hochspannungsebene sind mittelgroße Kraftwerke (konventionelle, aber auch z. B. große Onshorewindparks) angeschlossen sowie nachfrageseitig bestimmte Großverbraucher (z. B. stromintensive Industrieanlagen). Die Mittelspannungsebene dient zum Anschluss kleinerer Erzeugungseinheiten sowie industrieller Verbraucher. Auf der Niederspannungsebene sind alle Haushalts- und die typischen Gewerbekunden (Handwerk, Handel, Dienstleistungen) angeschlossen sowie kleine dezentrale Erzeuger, z. B. Blockheizkraftwerke oder PV-Dachanlagen.

verankerte Strategie hätte den Vorteil, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Akteuren (Kommunen, Energieversorger, die mittelständische Wirtschaft, einzelne Bürger und Bürgerinitiativen) aktiviert wird und sich so Regionen und Kommunen zu einem neuen Gestaltungsfaktor für das nationale Energiesystem entwickeln. Zur Frage, in welchem Umfang damit auch der Netzausbaubedarf verringert werden könnte, besteht noch substanzieller Untersuchungsbedarf. Fachleute gehen allerdings derzeit davon aus, dass die mögliche Minderung des Ausbaubedarfs begrenzt sein wird.

**Europaweit vernetzt:** Da räumliche Ausgleichseffekte umso effizienter genutzt werden können, je weiträumiger die Vernetzung ist, werden hier die großtechnisch leicht erschließbaren EE-Potenziale in Deutschland, Europa und darüber hinaus (z. B. Solarenergie in Nordafrika) genutzt. Voraussetzung ist ein gut ausgebautes interkontinentales Übertragungsnetz (Supergrid). Als Hauptvorteil gilt die Verringerung des Bedarfs an Stromspeicherkapazitäten. Ein gewichtiger Nachteil ist hingegen die höhere Komplexität (technologisch, finanziell, politisch-administrativ) der koordinierten Errichtung von Erzeugungsanlagen im Ausland und der zugehörigen grenzüberschreitenden Infrastruktur.

## GESTALTUNG DES ZUKÜNFTIGEN STROMSYSTEMS

Die drei Zukunftsentwürfe für das Stromsystem sollen den Möglichkeitsraum für die Gestaltung veranschaulichen. Sie sollten jedoch nicht als sich gegenseitig ausschließende Alternativen verstanden werden. Im zukünftigen Versorgungssystem könnten durchaus Elemente aus allen drei Szenarien nebeneinander existieren. Aber nicht nur auf dieser **konzeptionellen Ebene** sind gesellschaftliche und politische Gestaltungsoptionen vorhanden. Auch bei der Frage, welche **Technologien** konkret eingesetzt werden sollen, bestehen Wahlmöglichkeiten von hoher gesellschaftlicher Relevanz, nicht zuletzt deshalb, weil der Bau von Netzinfrastruktur in der Regel mit Eingriffen in das Lebensumfeld von Menschen und/oder in die Umwelt verbunden ist. Ein Beispiel ist die Übermittlung bzw. der Schutz von sensiblen personenbezogenen Daten bei der Nutzung von »intelligenten« Stromzählern, sogenannten Smart Metern. Ein weiteres Beispiel sind die Alternativen »Freileitungen« oder »Erdkabel«, die im Folgenden hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen verglichen werden.

## UMWELTAUSWIRKUNGEN: FREILEITUNGEN VS. ERDKABEL

Bislang werden **380-kV-Übertragungsleitungen** in Deutschland fast ausschließlich als **Freileitungen** ausgeführt. In jüngster Zeit wird jedoch verstärkt die **Erdverkabelung** als Alternative diskutiert, insbesondere weil sich betroffene Anwohner davon geringere Beeinträchtigungen versprechen. Sowohl der Bau als auch der spätere Betrieb von Stromleitungen haben Auswirkungen auf die Umwelt. Diese müssen

## BETRIEB DES STROMNETZES IN »REGIONALEN ZELLEN«

Im etablierten europaweiten Synchronverbund der Übertragungsnetze werden Störungsereignisse (z. B. der Ausfall eines Kraftwerks oder einer Leitung) in einer Region durch die Nachbarregionen aufgefangen und ausgeglichen, sodass die Versorgung i. A. unbeeinträchtigt aufrechterhalten wird. Ist das Störungsausmaß jedoch so groß, dass dies nicht mehr gelingt, kann sich die Störung kaskadenartig ausbreiten und im ungünstigsten Fall dazu führen, dass in weiten Landstrichen die Versorgung ausfällt. Beispielsweise löste der Ausfall einer einzigen Stromleitung am 4. November 2006 eine Großstörung aus, bei der etwa 15 Mio. Haushalte in Europa von Stromausfällen betroffen waren.

Ein innovativer Ansatz, die Resilienz des Stromsystems zu stärken, ist es, dass sich im Falle einer solchen Großstörung kleinere Einheiten, sogenannte regionale Zellen, vom gestörten Übertragungsnetz abkoppeln und eine Inselversorgung solange aufrechterhalten könnten bis die Störung beseitigt ist.

Der kontrollierte Übergang eines Netzabschnitts vom Verbund- in den Inselbetrieb stellt eine anspruchsvolle technologische Herausforderung dar. Gleichzeitig bedeutet dies auch eine Abkehr von bisherigen konventionellen Betriebsstrategien, bei denen die Inselnetzbildung bewusst weitgehend ausgeschlossen wird.

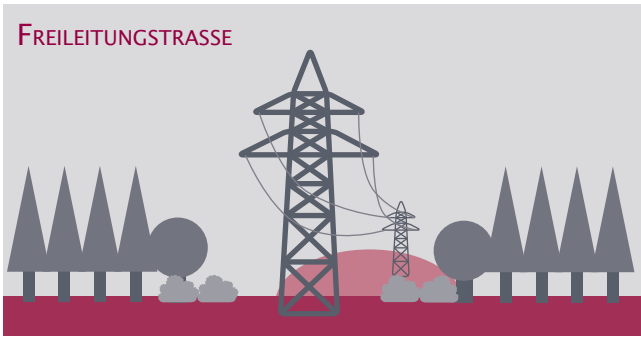
Insgesamt gesehen erscheint es dennoch nicht unplausibel, dass die technischen und betriebsseitigen Herausforderungen lösbar sind und dass regionale Zellen somit zur Resilienz und Stabilität der Versorgung sowie einer Einhegung von Großstörungslagen beitragen könnten. Zur Klärung der damit einhergehenden Fragen und zum Sammeln von praktischen Betriebserfahrungen wären Demonstrationsvorhaben geeignet.

nach den jeweiligen Schutzgütern (Fauna, Flora, Boden, Wasser bzw. Landschaftsbild) differenziert werden. Hierbei unterscheiden sich Freileitungen und Erdkabel in vielfacher Hinsicht.

In der Regel wiegen die Umwelteingriffe beim **Bau der Trassen** im Falle von Erdkabeln schwerer als bei Freileitungen. Erdkabel werden üblicherweise im klassischen Tiefbauverfahren in 1,5 bis 2 m Tiefe verlegt. Während der Bauphase wird über die gesamte Trassenlänge ein Streifen von mindestens 25 m Breite beansprucht (bei vier parallelen Kabelsystemen). Beim Bau von Freileitungen beschränken sich die Eingriffe auf die unmittelbaren Maststandorte. Zwischen den Masten, deren Abstand typischerweise 200 bis 500 m beträgt, bleibt der Boden weitgehend ungestört.

Bei Erdkabeln können die bau- und anlagebedingten Störungen im Bodengefüge die natürlichen **Bodenfunktionen** (Porosität, Regler-, Speicher- und Staufunktionen im Wasserhaushalt etc.) negativ beeinflussen. Vor allem in Feuchtbio-

### FREILEITUNGSTRASSE

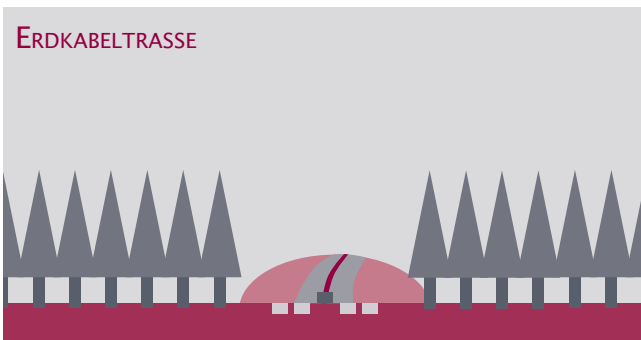


topen (Moore, Riede, Auenwiesen) können evtl. Grundwasserabsenkungen ausgelöst und Teile der Biotope temporär bzw. möglicherweise auch dauerhaft geschädigt werden.

Die beim Stromtransport entstehende Verlustwärme führt zu einer **Bodenerwärmung**, die Auswirkungen auf Bodenfunktionen, Wasserhaushalt und Vegetation haben könnte. Landwirte äußern immer wieder die Befürchtung, dass es auf Ackerflächen, unter denen Erdkabel verlaufen, zu Ertragseinbußen kommen könnte. Hierzu liegen allerdings bislang noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

Um sicherzustellen, dass kein Wurzelwerk das Kabelbett beschädigt, muss während der Betriebsphase ein Streifen von tiefwurzelnden Pflanzen freigehalten werden. Daraus resultiert in Waldgebieten eine **Schneisenbreite** von etwa 12 bis 18 m. Im Vergleich dazu ist bei Freileitungen der Schutzstreifen, der von hochwachsenden Pflanzen freigehalten werden muss, mit bis zu 80 m erheblich breiter. Dies wirkt sich in vielfältiger und z. T. drastischer Weise auf dort heimische Tier- und Pflanzenarten aus. Im offenen Gelände sind die Auswirkungen auf die Lebensräume wild lebender Tiere und Pflanzen geringer als in Waldgebieten.

### ERDKABELTRASSE



### TAB-ARBEITSBERICHT Nr. 162

#### MODERNE STROMNETZE ALS SCHLÜSSELELEMENT EINER NACHHALTIGEN STROMVERSORGUNG

REINHARD GRÜNWARD



#### INTERNETSEITE DES PROJEKTS

[www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u9700.html](http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u9700.html)

#### PROJEKTLEITUNG UND KONTAKT

Dr. Reinhard Grünwald  
+49 30 28491-107  
gruenwald@tab-beim-bundestag.de

Da Freileitungen in offenem Gelände weithin sichtbar sind, stellen sie visuelle Beeinträchtigungen des **Landschaftsbildes** dar. Erdkabel sind aus der Ferne dagegen kaum wahrnehmbar. Ebenso stellen Erdkabel im Gegensatz zu Freileitungen keine Gefahrenquelle für **Vögel** dar (Kollision mit Leiterseilen, Stromschlag).

Es zeigt sich also, dass sich die – in der öffentlichen Debatte um den Netzausbau immer wieder zu hörende – Aussage »**Erdkabel sind umweltverträglicher als Freileitungen**« in der Pauschalität **nicht aufrechterhalten lässt**. Die Bewertung der Umweltfolgen hängt vielmehr wesentlich von den lokalen Standort- und Nutzungsbedingungen ab. Freileitungen können z. B. die bessere Wahl sein, wenn empfindliche Feuchtgebiete gekreuzt werden müssen, Erdkabel kommen eher in Durchzugs- und Rastgebieten von Vögeln oder bei Landschaften mit besonders schützenswertem Landschaftsbild infrage. Oftmals sind allerdings schwierige Abwägungen zwischen verschiedenen Schutzgütern zu treffen: Wiegt z. B. eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Freileitungen schwerer als die Bodenerwärmung durch Erdkabel?

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) ist eine selbstständige wissenschaftliche Einrichtung, die den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels berät. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA«, besteht aus je einem Mitglied der Fraktionen: Dr. Philipp Lengsfeld (CDU/CSU), René Röspel (SPD), Ralph Lenkert (Die Linke), Harald Ebner (Bündnis 90/Die Grünen) und der Ausschussvorsitzenden, Patricia Lips (CDU/CSU).