
Energiewende in Deutschland – Chancen und Herausforderungen

CLAUDIA KEMFERT, WOLF-PETER SCHILL UND THURE TRABER

Claudia Kemfert, DIW Berlin – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, E-Mail: ckemfert@diw.de
Wolf-Peter Schill, DIW Berlin – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, E-Mail: wschill@diw.de
Thure Traber, DIW Berlin – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, E-Mail: ttraber@diw.de

Der Begriff „Energiewende“ ist nicht eindeutig definiert. Er wurde und wird von verschiedenen Akteuren unterschiedlich verwendet und konnotiert. Im Rahmen dieses Beitrags und dieses Hefts im Allgemeinen umfasst die Energiewende die Ziele und Maßnahmen des Energiekonzepts der Bundesregierung vom September 2010 (BMWi und BMU 2010) sowie die ergänzenden Beschlüsse von Regierung, Bundestag und Bundesrat vom Sommer 2011. Letztere wurden durch die Atomkatastrophe in Japan im März 2011 geprägt. Bereits kurz darauf wurden acht deutsche Kernkraftwerke endgültig vom Netz genommen. Die übrigen sollen bis Ende 2022 vom Netz gehen (BMWi 2012).

Neben dem Atomausstieg stellen die Senkung der Treibhausgasemissionen, die deutlich verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz drei wesentliche Elemente der Energiewende dar. Die Bundesregierung hat sich für alle drei Elemente quantitative Einzelziele gesetzt. Bis zum Jahr 2050 sollen die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 80 bis 95 Prozent reduziert werden, der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 Prozent steigen und der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 halbiert werden. Bereits diese Ziele zeigen, dass die Energiewende weit über den Stromsektor hinausgeht.

Ohne die Relevanz der Energiewende in den Bereichen Wärme oder Verkehr in Frage zu stellen, fokussiert dieses Heft jedoch auf den Strombereich. Gründe hierfür sind unter anderem die vielfältigen und kontrovers diskutierten politischen Maßnahmen im Strombereich und die vergleichsweise guten technischen Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Langfristig dürfte der Stromsektor zudem eine wachsende Bedeutung gewinnen, da sowohl im

Wärme- als auch im Verkehrssektor künftig mit einer verstärkten Nutzung von Elektrizität gerechnet werden kann. Dies spiegelt sich auch in den Effizienzzielen der Bundesregierung wider, die für Strom deutlich geringer sind als für Verkehr, Wärme in Gebäuden und den gesamten Primärenergieverbrauch.

Im Jahr 2012 hatten die erneuerbaren Energien einen Anteil von 23,5 Prozent am Bruttostromverbrauch (BMU 2013). Bis 2020 soll er auf mindestens 35 Prozent und bis 2050 auf 80 Prozent steigen. Entscheidende Beiträge zur Erreichung dieser Ziele müssen aus heutiger Sicht die Windkraft und die Solarenergie leisten. Deren Stromerzeugungsmöglichkeiten unterliegen sowohl wetterbedingten als auch tages- und jahreszeitlichen Schwankungen, die nicht exakt prognostiziert werden können. Beim weiteren Ausbau erneuerbarer Energien stellen sich auch daher vielfältige Fragen der Markt- und Systemintegration, des Strommarktdesigns im Allgemeinen sowie der Aufrechterhaltung der Netz- und Systemstabilität. Zudem ergeben sich durch den Zubau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen Optimierungs- und Erweiterungserfordernisse bei den Übertragungs- und Verteilnetzen.

Das vorliegende Vierteljahrshesft beleuchtet dieses breite Themenspektrum der Energiewende im Strombereich. Dabei werden unterschiedliche Aspekte vertieft analysiert, die größtenteils auch über die nächste Legislaturperiode hinaus von Bedeutung bleiben dürften.

Die ersten drei Beiträge des Hefts widmen sich politischen, gesellschaftlichen und institutionellen Aspekten sowie der Frage der Kosten der Energiewende.

Franzjosef Schafhausen skizziert die Energiewende als Paradigmenwandel, der Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vor große Herausforderungen stellt und zugleich erhebliche Chancen mit sich bringt. Dabei gehen die Ausführungen zum Teil notwendigerweise über den Strombereich hinaus. Nach einer Klärung verschiedener Missverständnisse in der öffentlichen Diskussion wird ein Überblick über konkrete Ziele der Bundesregierung, die bisher ergriffenen Maßnahmen und die institutionelle Struktur der Energiewende gegeben. Die ersten Schritte der Umsetzung der Energiewende werden insgesamt positiv beurteilt, auch wenn einige der genannten Maßnahmen den Charakter von Übergangslösungen haben. Offene Fragen bestehen bei der Steigerung der Energieeffizienz, der künftigen Gestaltung des Strommarktes und der Reform der Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien. Insgesamt erfordert die Energiewende einen langfristigen, verlässlichen und kreativen Prozess zur Einführung neuer Technologien und Strukturen.

Ortwin Renn und *Marion Dreyer* wenden das Konzept der Risiko-Governance auf den Prozess der Energiewende an. Dabei handelt es sich um einen integrierten Ansatz zum Umgang mit komplexen, unsicheren oder kontrovers diskutierten Risiken. Es werden fünf Phasen unterschieden: Eine Vorphase, bei der unter anderem eine begriffliche und sachliche Eingrenzung des Problems vorgenommen wird; eine technisch-naturwissenschaftlich und gesellschaftliche Risikoerfassung; eine Risikocharakterisierung und -bewertung, bei der die Akzeptabilität des betrachteten Risikos untersucht wird; das eigentliche Risikomanagement, bei dem Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduktion der identifizierten Risiken ausgewählt werden; eine frühzeitige und umfassende Risikokommunikation, die kontinuierlich und parallel zu den vorher genannten Phasen stattfindet. All diese Phasen werden beispielhaft auf einzelne Herausforderungen der Energiewende angewandt. Es wird argumentiert, dass nur die Integration technischer, ökonomischer und sozialwissenschaftlicher Expertisen eine adäquate Entscheidungsgrundlage für ein erfolgreiches Energiewende-Risikomanagement bietet.

Joachim Nitsch und *Thomas Pregger* untersuchen die Kostenbilanz der Energiewende im Strombereich. Die Differenzkosten des Zubaus erneuerbarer Energien im Stromsektor fallen stark unterschiedlich aus, je nachdem welche Referenzentwicklung bei den Strommarktpreisen zugrunde gelegt wird. Außerdem hängen sie von der Berücksichtigung von Externalitäten ab. Unter gewissen Annahmen ergibt sich bis zum Jahr 2050 ein großer volkswirtschaftlicher Nutzen des Ausbaus erneuerbarer Energien. Die gegenwärtigen Preise auf dem Strommarkt können den Autoren zufolge keine geeigneten Signale für den energiepolitisch angestrebten Umbau des Energiesystems geben. Es wird argumentiert, dass sich die Preisbildung vielmehr an den Kosten derjenigen Technologien ausrichten sollte, die eine weitgehend klimaneutrale und emissionsfreie Energieversorgung gewährleisten können.

Die drei folgenden Beiträge beschäftigen sich mit der Frage der Flexibilität des Stromsystems, die für die Integration erneuerbarer Energien eine hohe Bedeutung hat.

Wolf-Peter Schill gibt einen Überblick über die Rolle von Speichern für die Energiewende. Zunächst werden die Herausforderungen beim Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien dargestellt, die höhere Anforderungen an den zeitlichen und räumlichen Ausgleich im Stromsystem stellen. Danach werden unterschiedliche Energiespeicher und andere sogenannte Flexibilitätsoptionen benannt und kategorisiert. Verschiedene Arten von Stromspeichern können zu praktisch allen Aspekten der Integration erneuerbarer Energien einen Beitrag leisten. Sie stehen dabei jedoch in Konkurrenz mit anderen erzeugungs-, nachfrage- oder netzseitigen Optionen. Es wird argumentiert, dass zunächst der Must-run thermischer Kraftwerke reduziert und die Stromerzeugung grundsätzlich so bedarfsgerecht wie möglich gestaltet werden sollte; langfristig dürften verstärkt Stromspeicher zur Aufnahme von Überschüssen benötigt werden. Der optimale Mix von Speichern und anderen Maßnahmen bleibt Gegenstand der Forschung.

Der Beitrag von *Tim Buber, Anna Gruber, Marian Klobasa* und *Serafin von Roon* konzentriert sich auf Flexibilitätspotenziale der Nachfrageseite. Es wird eine detaillierte empirische Untersuchung der möglichen und ökonomischen Lastmanagementpotenziale in Süddeutschland vorgestellt. Diese regionale Auswahl wurde getroffen, da es dort zuerst zu einem Versorgungsengpass kommen könnte. Die ermittelten Potenziale werden auf Gesamtdeutschland hochgerechnet. Es werden energieintensive Industrien, industrielle Querschnittstechnologien sowie Nachspeicherheizungen und Wärmepumpen betrachtet. In der Industrie in Süddeutschland ließe sich ein Lastmanagementpotenzial von knapp einem Gigawatt über den Zeitraum von einer Stunde bereit stellen. Es wird argumentiert, dass dies unter bestimmten Annahmen eine günstige Alternative zu konventionellen Spitzenlastkraftwerken darstellen könnte. Für kürzere Zeiträume steigt das Potenzial insbesondere bei den Querschnittstechnologien deutlich, was weitere Beiträge zur kurzfristigen Systemstützung ermöglichen könnte.

Hans-Jochen Luhmann, Manfred Fischedick und *Stefan Thomas* widmen sich ebenfalls dem Lastmanagement sowie der Steigerung der Energieeffizienz im Strombereich. Schwerpunkt ist hier jedoch nicht die Potenzialschätzung, sondern eine Betrachtung institutioneller Aspekte. Es wird argumentiert, dass die historische Praxis der ausschließlich kraftwerksseitigen Flexibilitätsbereitstellung überkommen und nicht länger effizient ist. Vielmehr müssten nachfrageseitige Optionen erschlossen werden, die von der deutschen Politik bisher jedoch vernachlässigt werden. Dies wird beispielhaft gezeigt bei der Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie, der Netzausbauplanung und der Reservekraftwerksverordnung.

Die vier folgenden Beiträge diskutieren ausgewählte Fragen des Strommarktdesigns und der künftigen Förderung erneuerbarer Energien.

Erik Gawel, Alexandra Purkus, Klaas Korte und Paul Lehmann geben eine Übersicht über verschiedene Ansätze und instrumentelle Möglichkeiten der Markt- und Systemintegration erneuerbarer Energien. In Hinblick auf die Marktintegration wird untersucht, inwieweit erneuerbare Energien in den regulären Steuerungs- und Vergütungsprozess des Strommarktes integriert werden können. Dazu wird zunächst diskutiert, inwiefern sie grundsätzlich Preis- und Mengenrisiken ausgesetzt werden sollten. Anschließend werden Quoten- und Prämienmodelle sowie kapazitätsbasierte Fördersysteme erörtert. Der Übergang von der Einspeisevergütung mit Netzvorrang zu einem systemintegrierten Marktpreisregime stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Die Autoren argumentieren, dass Markt- und Systemintegration eng miteinander verzahnt sind und eine isolierte Diskussion von Einzelementen somit zu kurz greift.

Der Beitrag von *Nicolai Herrmann* und *Julius Ecke* geht vertieft auf Fragen der Marktintegration erneuerbarer Energien ein. Es wird ein konkreter Vorschlag zur künftigen Ausgestaltung der Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vorgestellt. Nach einer Beschreibung der Probleme der derzeitigen Einspeise- und vergütungsregelungen wird als mögliche Lösung eine mengenbasierte Auktionierung von Vergütungsrechten für Leistung aus erneuerbaren Energien dargestellt. Ziel eines solchen Fördersystems ist einerseits ein stärkerer Kostenwettbewerb auf der Anbieterseite und andererseits eine bessere Plan- und Steuerbarkeit des EE-Zubaus. Das Auktionsvolumen orientiert sich an technologiedifferenzierten politischen Ausbauzielen. Anlagenbetreiber erhalten zeitlich gestreckte leistungsbasierte Zahlungen, die sie im Betrieb durch Erlöse aus der Direktvermarktung im Großhandel oder anderen Marktsegmenten ergänzen. Damit soll sowohl ein optimaler Betrieb als auch eine optimale Anlagenauslegung angereizt werden. Die Frage, ob die Vorteile des präsentierten Konzepts die gegenüber anderen Fördermechanismen erhöhten Transaktions- und Risikokosten überwiegen kann dabei nicht abschließend geklärt werden.

Eine Gegenposition dazu nimmt der Beitrag von *Eva Hauser* und *Alexander Zipp* ein. Ausgangspunkt der Überlegungen ist, dass die fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Photovoltaik, die so gut wie keine variablen Kosten aufweisen, künftig die prägenden Säulen des Stromsystems darstellen. Sie sind nur kurzfristig präzise prognostizierbar und benötigen eine hohe Flexibilität der sonstigen Anlagen im Stromsystem. Vor diesem Hintergrund fordern die Autoren, fluktuierende erneuerbare Energien nicht in den bestehenden Strommarkt zu integrieren, sondern umgekehrt die Marktgestaltung an sie anzupassen. Konkret wird vorgeschlagen, fluktuierende erneuerbare Energien viertelstündlich auf alle Stromlieferanten zu wälzen. Flankierend soll ein sogenannter Residuallastmarkt für die Residualenergie und als Allokationsmechanismus der Flexibilitätsoptionen geschaffen werden. Während einzelne Aspekte der praktischen Umsetzung diskutiert werden, bleiben einige Fragen der konkreten Ausgestaltung jedoch offen.

Saskia Ellenbeck, Peter Schmidt, Antonella Battaglini und *Johan Lilliestam* widmen sich einem anderen Aspekt des Marktdesigns, indem sie die Frage von Kapazitätsmechanismen für Deutschland aus einer institutionenökonomischen und wirtschaftssoziologischen Perspektive untersuchen. Es werden neben dem Marktdesign weitere, informelle Einflussfaktoren identifiziert, die für die Investitionsentscheidungen von Unternehmen relevant sind. Dazu gehören Opportunitätskosten im Inland und in den verbundenen Strommärkten, Erwartungen über künftige Marktentwicklungen und strategisches Verhalten der Marktakteure. Somit wird eine enge logische Verknüpfung

fung zwischen einer Änderung des formellen Marktdesigns und Änderungen der Investitionstätigkeit hinterfragt. Verstärkte Investitionen in flexible Stromerzeugungskapazitäten könnten auch innerhalb des bestehenden Marktdesigns bei einer Veränderung materieller, finanzieller oder institutioneller Einflussfaktoren und Erwartungen angestoßen werden.

Im abschließenden Beitrag, der wie der erste Beitrag über den Stromsektor hinaus weist, betonen *Heinz Dürr* und *Thomas Bauernhansl* die Wichtigkeit der Steigerung der Energieeffizienz für das Gelingen der Energiewende, wobei der Fokus auf der Industrie liegt. Von der Bundesregierung wird die Steigerung der Energieeffizienz neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien als wesentliches Element der Energiewende benannt und mit ambitionierten Zielen versehen. In den letzten Jahren wurden Fortschritte bei der Energieeffizienz jedoch vom Wirtschaftswachstum weitgehend kompensiert. In der deutschen Industrie bestehen erhebliche Effizienzpotenziale nicht nur beim Strom, sondern auch bei Brennstoffen, die aber nur sehr unzureichend erschlossen werden. Als Ursachen werden unter anderem mangelnde Information und sehr kurze geforderte Amortisationszeiten ausgemacht. Die Autoren fordern dementsprechend eine Unterstützung durch die Politik. Langfristig werden in vielen Bereichen Technologiesprünge für notwendig gehalten. In Anbetracht außerordentlich rentabler, aber weitgehend unerschlossener Energieeffizienzpotenziale in der Industrie drängt sich die Frage auf, ob bei der Erhebung dieser Potenziale Transaktionskosten angemessen abgebildet wurden und es noch weitere Barrieren bei der Hebung dieser Einsparmöglichkeiten gibt.

Insgesamt zeigt sich somit, dass die Energiewende in Deutschland erhebliche Herausforderungen aber auch große Chancen mit sich bringt. Eine erfolgreiche Fortführung der Energiewende im Stromsektor erfordert die effektive Gestaltung der kurz- und mittelfristigen Rahmenbedingungen sowie eine klare Definition der Ziele. Mit der Zunahme von volatilen erneuerbaren Energien kommen zusätzliche Anforderungen an die Systemstabilität und -flexibilität und den gesamten Strommarkt hinzu. Diese können insbesondere dann erfolgreich erfüllt werden, wenn die institutionellen und finanziellen Rahmenbedingungen behutsam und vorausschauend optimiert werden.

Literaturverzeichnis

- BMU (2013): Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, Oktober 2013.
- BMWi (2012): Die Energiewende in Deutschland: Mit sicherer, bezahlbarer und umweltschonender Energie ins Jahr 2050. Sonderheft Schlaglichter der Wirtschaftspolitik. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Nachdruck September 2012.
- BMWi und BMU (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, 28. September 2010.