

Strunz, Sebastian; Gawel, Erik; Bardt, Hubertus; Seeliger, Andreas; Steuwer, Sibyl D.

Article

Energiewende und größere Energieautarkie: Kann beides erreicht werden?

ifo Schnelldienst

Provided in Cooperation with:

Ifo Institute – Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich

Suggested Citation: Strunz, Sebastian; Gawel, Erik; Bardt, Hubertus; Seeliger, Andreas; Steuwer, Sibyl D. (2016) : Energiewende und größere Energieautarkie: Kann beides erreicht werden?, ifo Schnelldienst, ISSN 0018-974X, ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München, Vol. 69, Iss. 15, pp. 3-16

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/165793>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Energiewende und größere Energieautarkie: Kann beides erreicht werden?

3

Neben dem Klimaschutz ist die Minderung der Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern ein Ziel der Energiepolitik Deutschlands. Wie wirkt sich die Energiewende auf die Importabhängigkeit aus? Ist eine Importabhängigkeit im Energiebereich überhaupt ein Problem?

Importabhängigkeit und Energiewende – ein neues Risikofeld der Versorgungssicherheit?

Der Ausbau Erneuerbarer führt jährlich zu neuen Rekorden hinsichtlich des Beitrags volatiler Erneuerbarer zum Stromverbrauch (vgl. Abb. 1). So stieg der kombinierte Anteil von Wind- und Sonnenenergie am Stromverbrauch im Jahr 2015 auf 21% (vgl. Neon 2016). Das fluktuierende Dargebot von Wind und Sonne aber schafft neue Herausforderungen, etwa die Vorhaltung flexibler Back-up-Kraftwerke zur Deckung der Nachfrage in Zeiten schwacher Erneuerbareneinspeisung.

Viele Facetten von Versorgungssicherheit

In der Literatur wird der Zusammenhang von Energiewende und Versorgungssicherheit denn auch bislang meist mit Bezug auf den Aspekt adäquater Erzeugungskapazität und einer möglichen Verschärfung des Missing-Money-Problems diskutiert (vgl. den Überblick in Reeg et al. 2015). Versorgungssicherheit ist allerdings ein vielschichtiges Konzept, das die dauerhafte und nachhaltige Deckung des Energiebedarfs hinsichtlich der langfristigen Adäquatheit der Versorgung (Verfügbarkeit der Primärenergieträger, Verfügbarkeit von Erzeugungskapazitäten) sowie der kurzfristigen Gewährleistung der Netzstabilität umfasst (vgl. BMWi 2012). In diesem Beitrag steht jedoch die Verfügbarkeit der Primärenergieträger selbst im Fokus – also insbesondere die Frage, ob die Energiewende ein Importabhängigkeitsproblem hat. Denn gerade das als flexible Back-up-Technologie hervorra-

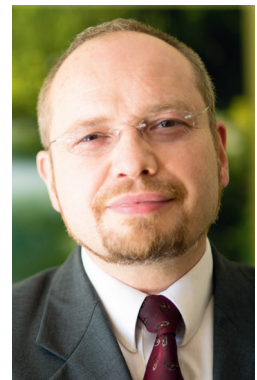
gend geeignete Gas wird vornehmlich importiert, mit Russland als größtem Einzelanbieter (vgl. BAFA 2016).

In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass der Krieg in der Ukraine diametral unterschiedlich gedeutet wurde, was etwaige Konsequenzen für die Energiewende betrifft: Einerseits führen manche Autoren eine zunehmende Abhängigkeit von russischem Gas im Zuge der Energiewende als Argument gegen diese ins Feld: »Wenn wir wie geplant unsere noch laufenden Atomkraftwerke abschalten und voll auf den Wind- und Sonnenstrom setzen, wird sich die Abhängigkeit von Russland weiter erhöhen – und die Versorgungssicherheit verringern« (Sinn 2012). Sollte Deutschland demnach die Energiewende auf Eis legen, um die Importabhängigkeit nicht noch weiter zu erhöhen? Oder ist der Krieg in der Ukraine vielmehr, wie andere meinen, »ein gutes Argument, die Energiewende zu beschleunigen« (Hanselka 2014)? Denn eine forcierte Energiewende, vor allem im Wärmebereich, könnte bis 2030 ausreichen, um Gasverbrauch im Umfang der russischen Gasimporte zu substituieren (vgl. IWES 2014).

Hier knüpft auch die aktuelle Diskussion um eine europäische »Energieunion« an. So hat die Europäische Kommission (2015) die Diversifizierung der Gasversorgung zu einem zentralen Baustein bei der Erhöhung der Energiesicherheit ausgerufen. Mit anderen Worten: Die europäische Abhängigkeit von russischen Gasimporten soll verringert werden. Allerdings steigt faktisch die Energieimportabhängigkeit der EU seit den 1990er Jahren wegen sinkender Förderung fossiler Energieträger an (vgl. Abb. 2). Selbst die Kommission rechnet erst nach 2030 mit einer Umkehrung dieses Trends (Europäische Kommission 2014a, S. 93). Zudem scheint zweifelhaft, ob den entsprechenden Absichtserklärungen ein substanzieller Integrationsschritt zu einem gemeinsamen Verständnis von Versorgungssi-



Sebastian Strunz*

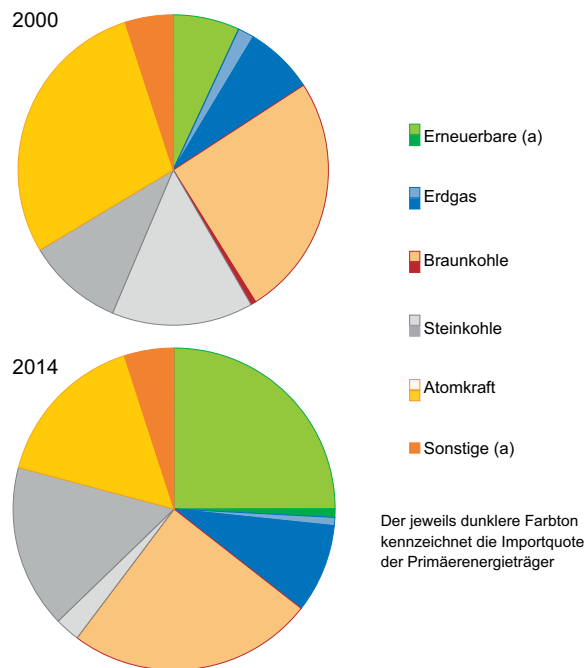


Erik Gawel**

* Dr. Sebastian Strunz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Ökonomie, Leipzig.

** Prof. Dr. Erik Gawel ist Leiter des Departments Ökonomie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und Direktor des Instituts für Infrastruktur und Ressourcenmanagement an der Universität Leipzig.

Abb. 1
Bruttostromerzeugung:
Anteile der Primärenergieträger und ihre Importquoten



(a) Auf eine detaillierte Aufschlüsselung der Energieträgergruppen Erneuerbare und Sonstige (z.B. Hausmüll, Pumpspeicher) wird um der besseren Darstellbarkeit willen verzichtet. Jedoch sei erwähnt, dass im Bereich der Bioenergie der Import von Biomasse nicht zu Lasten der Umweltverträglichkeit gehen darf, um mit den Energiewendezielen vereinbar zu sein.

Quelle: Darstellung der Autoren nach Daten des BDEW und Eurostat.

cherheit oder gar eine Übertragung von bislang nationalen Entscheidungshoheiten an die EU folgen wird (vgl. Fischer und Geden 2015; Strunz et al. 2015).

Die Diskussion von Energiewende und Importabhängigkeit erscheint also auf den ersten Blick verworren: Argumente verschiedenster Couleur (geopolitisch, nachhaltigkeitsbezogen, ökonomisch) werden vorgebracht, um die Energiewendepolitik in jeweils unterschiedliche Richtungen zu lenken (Energiewende beschleunigen/verlangsamen, EU-Integration forcieren). Ziel dieses Beitrags ist daher ein systematischer Überblick der Zusammenhänge. Dabei orientiert er sich an drei Leitfragen: (1) Warum ist Importabhängigkeit überhaupt ein ökonomisch relevantes Problem? (2) Wie wirkt sich die Energiewende auf die Importabhängigkeit aus? (3) Stellt die Gasversorgung eine »Achillesferse« der Energiewende dar?

Importabhängigkeit als ökonomisches Problem

Zunächst ist zu fragen, weshalb Importabhängigkeit überhaupt problematisiert werden

sollte. Denn aus Sicht der ökonomischen Theorie kann Handel die allgemeine Wohlfahrt steigern (vgl. z.B. Weimann 2009). Beispielsweise profitieren deutsche Stromkonsumenten vom Import billiger Steinkohle im Vergleich zur teureren, nur durch Subventionen noch wirtschaftlich darstellbaren Förderung heimischer Steinkohle. Freilich kennzeichnen den Energiesektor einige Besonderheiten, die die unbedingte Vorteilhaftigkeit vermehrten Außenhandels in Frage stellen.

Der Import von Primärenergieträgern bringt Preis- und Mengenrisiken mit sich, die nicht nur auf Marktkräfte zurückgehen, sondern zu einem bedeutenden Teil auch auf geopolitische Einflüsse bei gleichzeitig begrenzter Anbieterzahl. Dies unterscheidet den Energie- auch vom Agrarsektor, den wir – bei durchaus vergleichbarer Essenzialität des Versorgungsauftrages – ohne weiteres internationaler marktkoordinierter Arbeitsteilung anvertrauen. Die hohe geographische Konzentration der Öl- und Gasvorkommen in einer gedachten strategischen Ellipse vom Nahen Osten über den Kaukasus nach Russland geht mit Tendenzen zur Kartellbildung sowie einem politischen Wechselbad von Instabilität und außenpolitischen Koalitionsbildungen über zahlreiche Konfliktherde einher. Eine Reihe von »Rentierstaaten« finanziert sich über Ressourcenexport und weiß dabei dessen Bedeutung außenpolitisch zu nutzen (vgl. Mahdavy 1970). Den Industrienationen als Ölkonsumenten wurde dies mit den von der OPEC provozierten Ölkrisen in den 1970ern bewusst. Zwischen der Ukraine und Russland kam es schon vor der politischen Eskalation im Jahr 2014 zu Gaskonflikten, im Januar 2009 bereits zu einer »im internationalen Gashandel beispiellose[n] Unterbrechung der Lieferungen von fast zwei Wochen, die nicht nur jeder guten Geschäftspraxis widersprach, sondern auch gegen bilaterale und multilaterale Abkommen verstieß« (Westphal 2009, S. 5). Umgekehrt zeigen die erst kürzlich aufgehobenen westlichen Sanktionen gegen den Iran die Bereitschaft auch der Nachfrageseite, geopolitische Fehden auf dem Energiesektor auszu-

Abb. 2
Anteil der Nettoimporte am Bruttoenergieverbrauch in Deutschland und der EU, 1990–2014

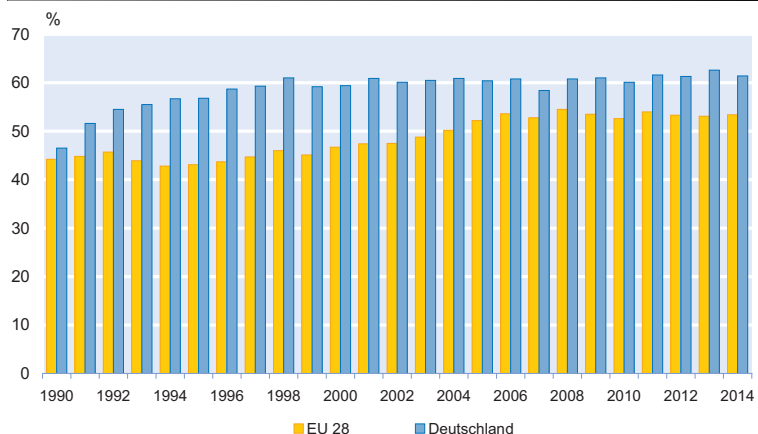
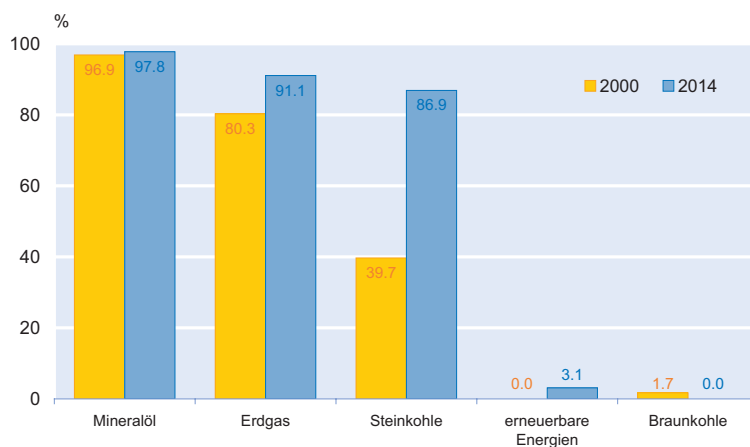


Abb. 3
Primärenergieträger in Deutschland nach Importquoten, 2000 und 2014



Quelle: Eurostat.

tragen. Mit anderen Worten: Die vielbeschworenen Vorteile freien Handels kommen bei Öl und Gas nicht voll zum Tragen, insoweit das Marktprinzip von anderen politischen Erwägungen außer Kraft gesetzt wird.

In der aktuellen deutschen Diskussion hält sich jedoch hartnäckig das Argument, dass die Sowjetunion selbst in den »dunkelsten Stunden« des Kalten Krieges immer ein zuverlässiger Gaslieferant gewesen sei (vgl. z.B. Hanselka 2014). Dabei wird weithin verkannt, dass der Erdgasimport aus der UdSSR gerade Produkt der Entspannungspolitik der 1970er Jahre war (»Wandel durch Handel«). Die »dunkelsten Stunden« der Ost-West-Konfrontation waren da längst Geschichte. Allenfalls die nachfolgende Abkühlung des Ost-West-Verhältnisses in den 1980er Jahren könnte für dieses Argument herangezogen werden – davon abgesehen scheint es unzulässig, von vergangenen Entwicklungen auf zukünftige Entscheidungen zu schließen.

Gleichwohl zeigen sich die Öl- und Gasmärkte hinsichtlich ihrer ökonomischen Hauptfunktion des Ausweises von Knappheitssignalen über den Preis durchaus funktionsfähig. Das aus vielen Einzelexporturen bestehende Öl-Oligopol könnte auch als resilientes System beschrieben werden, bei dem der Förderausfall eines Mitglieds von den übrigen Teilen kompensiert werden kann. Gerade die Aufhebung der Sanktionen gegen den Iran fügt dem System hier ein wichtiges neues Element hinzu.

Inwieweit Handel und Management von natürlichen Ressourcen durch geopolitische Umstände behindert oder gefördert werden, mag also von Fall zu Fall stark variieren. Aufgrund der Öffentlichem-Guts-Eigenschaften von Versorgungssicherheit kann Importabhängigkeit von Primärenergieträgern somit ökonomisch durchaus problematisiert werden. Im Folgenden stehen nun die unter-

schiedlichen Auswirkungen der Energiewende auf die Notwendigkeit von Primärenergieträgerimporten im Fokus.

Energiewende und Importabhängigkeit

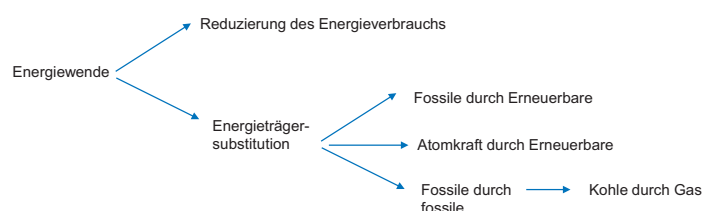
Abbildung 4 stellt die unterschiedlichen Kanäle dar, über die die Energiewende die Importabhängigkeit beeinflusst. Da die primären Energiewendeziele (bis 2050 eine mindestens 80%ige Reduktion der CO₂-Emissionen und ein mindestens 80%iger Anteil erneuerbarer Energien) recht allgemein sind, existiert freilich nicht »die eine« Auswirkung der Energiewende auf Importabhängigkeit,

sondern verschiedene Effekte mit jeweils spezifischen Auswirkungen.

Die ambitionierten Ziele der Energiewende sollen gerade auch über eine Verringerung des Verbrauchs erreicht werden. Hierfür wird bis 2050 eine 50%ige Reduktion des Primärenergieverbrauchs gegenüber dem Jahr 2008 angestrebt. Offensichtlich übersetzt sich jedwede Verringerung des Energieverbrauchs c.p. in geringere absolute Importabhängigkeit. Beispielsweise rechnet die Kommission mit einer 2,6%igen Senkung der Gasimporte in die EU für jeden zusätzlichen Prozentpunkt eingesparter Energie (vgl. Europäische Kommission 2014b).

- Die Substitution fossiler Energieträger durch Erneuerbare: Im Strombereich sollen mittelfristig Stein- und Braunkohle vollständig ersetzt werden. Bis auf die heimische Braunkohle weisen fossile Brennstoffe heute Importquoten von mindestens 87% aus (vgl. Abb. 1 und 3). Insofern Erneuerbare Steinkohle oder Gas substituieren, verringert der Erneuerbarenausbau den entsprechenden Import.
- Der Atomausstieg bis zum Jahr 2022 impliziert eine Substitution von Kernenergie durch Erneuerbare und damit geringere Importabhängigkeit. Da seit der Wende kein Uran mehr in Deutschland abgebaut wird, muss dieser Primärenergieträger vollständig importiert werden. Ausweislich der Daten von EURATOM (2015) werden knapp

Abb. 4
Wirkungsschema von Energiewende auf Importabhängigkeit



Quelle: Darstellung der Autoren.

88% des Uranverbrauchs der EU mit Einfuhren von außerhalb der EU bestritten, und zwar mit Kasachstan und Russland als wichtigsten Importeuren – der Rest wird mit wiederaufbereiteten Brennelementen und einem geringen Anteil von in der EU abgebautem Uran abgedeckt.

- Andererseits folgt aus den Energiewendezielen auch eine Substitution innerhalb der fossilen Energieträger. Der avisierte Kohleausstieg müsste vor allem zu Lasten der Braunkohle gehen, etwa durch die Abschaltung von Braunkohlekraftwerken im Rahmen der sogenannten »Kapazitätsreserve« – bislang zeigt sich freilich eher die Steinkohleverstromung rückläufig (vgl. Abb. 1). Längerfristig ist mit einer Substitution von Kohle durch Gas zu rechnen: Die CO₂-Intensität von Steinkohle ist, gemessen am Stromverbrauch, freilich nur marginal besser als diejenige von Braunkohle, während Gas deutlich besser als beide Kohlearten abschneidet. Außerdem erfordern die fluktuierenden Erneuerbaren flexible Back-up-Lösungen zur unterbrechungsfreien Versorgung mit Strom: Durch ihre Flexibilität bieten sich hier Gaskraftwerke nicht nur für die berüchtigte »trübe Novemberwoche ohne Wind und Sonne«, sondern auch für sehr kurzfristige Schwankungen im Dargebot Erneuerbarer an. Wenn nun heimische Braunkohle durch importiertes Erdgas oder Steinkohle substituiert wird, so erhöht sich die Importabhängigkeit.¹

Zusätzliche Komplexität ergibt sich dadurch, dass einzelne Wirkungspfade interdependent sind. Etwa bedeutet eine 50%ige Importquote bei unterschiedlichen absoluten Verbrauchsniveaus möglicherweise vollkommen unterschiedliche Mengen- und Preisrisiken. Weiterhin sind die Sektoren Strom/Wärme/Verkehr von unterschiedlichen Problemlagen gekennzeichnet, jedoch gekoppelt. Während die Energiewende bislang vor allem eine »Stromwende« war, so hinken Wärme und Verkehr hinterher. Der Verkehrssektor bleibt bis auf weiteres in extremer Form mineralöl- und dadurch importabhängig; das Ziel, bis 2020 eine Million Elektroautos auf die Straße zu bringen, wird aller Voraussicht nach deutlich verfehlt. Hier besteht klarer Handlungsbedarf für eine Beschleunigung der Transformation, was gleichzeitig die Importabhängigkeit des Sektors verringern würde (freilich zöge eine Zunahme der Elektromobilität wiederum höhere Nachfrage im Stromsektor nach sich). Im Wärmebereich wird bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand angestrebt. Dazu sollen die jährlichen Sanierungsraten von derzeit 1% auf 2% erhöht werden. Die hierzu aufgelegten Instrumente (EWärmeG, MAP) zeigen bislang jedoch eher bescheidenen Erfolg (vgl. Adolf und Bräuninger 2012). Da Gas im Wärmesektor der wichtigste Energieträger ist (knapp

die Hälfte aller Wohnungen in Deutschland werden direkt mit Gas geheizt), würde eine Verringerung des Wärmebedarfs auch die Importabhängigkeit reduzieren.

Generell bleibt festzuhalten, dass die Energiewende verschiedene (zum Teil gegenläufige) Effekte auslöst, die in ihrer Gesamtheit zu evaluieren sind: Wie stark vermindert sich der Endenergieverbrauch? Welche fossilen Energieträger werden wie substituiert? Wird beim verbleibenden Import von Primärenergieträgern auf Diversifizierung der Portfolios hinsichtlich Minimierung von Preis- und Mengenrisiken geachtet? Da besonders eine Substitution von heimischer Braunkohle durch importiertes Erdgas erhöhte Risiken nach sich zöge, stellt sich die im Folgenden zu erörternde Frage, ob die Energiewende hier tatsächlich vor einem grundsätzlichen Problem steht.

Importabhängigkeit bei Gas als Achillesferse der Energiewende?

Bei *langfristigem Zeithorizont* stehen Energiewende und Verringerung der Importabhängigkeit von Energieträgern synergetisch zueinander (Energieverbrauchsreduktion und die Umstellung auf heimische Erneuerbare). Allerdings mag die Transformation eine Erhöhung der Importabhängigkeit in ganz anderen Bereichen auslösen, bedingt etwa durch die Einfuhr seltener Erden für Photovoltaik-Anlagen oder Batteriespeicher im Bereich strategischer Rohstoffe. Gerade das Beispiel Gas zeigt jedoch, dass langfristige politische Weichenstellungen die Parameter günstig beeinflussen könnten. Obwohl die Importquote von Gas in den letzten Jahren anstieg (vgl. Abb. 3), könnte sich dieser Trend auf lange Sicht auch umkehren. So soll die Biogaseinspeisung ins Gasnetz von derzeit unter 1 Mrd. m³ bis 2030 auf 10 Mrd. m³ ansteigen (wenngleich diese »gesetzlich fixierten Ziele derzeit nur schwer erreichbar« scheinen, vgl. Bundesnetzagentur 2014). Außerdem könnte ab etwa 2030 auch power-to-gas energiewirtschaftlich rentabel werden (vgl. Schmid 2012): Mit wachsenden Erzeugungskapazitäten steigen die temporären Überschüsse an Strom aus Erneuerbaren, die vom Elektrizitätsnetz nicht mehr aufgenommen werden können, aber durch synthetische Methanisierung ins Gasnetz eingespeist werden könnten.

Mit Zeithorizont 2050 und der Zielmarke 80% Erneuerbare schließlich werden alternative Flexibilitätsoptionen wie Batteriespeicher, die zunächst wohl hauptsächlich in anderen Sektoren wie Verkehr Einsatz finden, auch für den Stromsektor relevant (vgl. Agora 2014). Insofern vernachlässigt die Behauptung »die Energiewende macht uns von Putin abhängig« Handlungsoptionen gegenwärtiger Politik, die langfristige Alternativen erst möglich machen. Insgesamt ist zu betonen, dass geopolitisch motiviertes Nachjustieren der gasrelevanten Politik keinesfalls das langfristige Ziel der Sys-

¹ Die Importquote von Erdgas liegt bislang noch höher als diejenige von Steinkohle (vgl. Abb. 3). Jedoch wird der inländische Steinkohleabbau nur noch bis 2018 mit Subventionen am Leben erhalten. Nach dem gesetzlich vereinbarten Ende der Subventionierung müssen alle Steinkohlen importiert werden. Im Jahr 2014 war hier Russland mit 27,7% größter Einzelimporteur (vgl. Umweltbundesamt 2015, S. 29).

temtransformation in Frage stellen kann, das auf nachhaltigkeitsbezogenen und ökonomischen Argumenten beruht.

Wie steht es aber um das *kurzfristige* Verhältnis von Energiewende und Importabhängigkeit? Deutschland deckt 38% seines Gasverbrauchs mit russischem Erdgas (vgl. BDEW 2015). Und sofern Gas als Brückentechnologie im Stromsektor gebraucht wird, bis wirtschaftliche Flexibilitätsoptionen zur Verfügung stehen, könnte sich diese Abhängigkeit zunächst noch verschärfen. Zuvorderst darf die in der Vergangenheit nur unzureichend beachtete Diversifizierung im Gassektor kaum der Energiewende angelastet werden. Im Übrigen zeigen sich recht unterschiedliche Einschätzungen bezüglich etwaiger Konsequenzen eines politisch motivierten Lieferstopps von russischem Gas für die deutsche Gasversorgung (vgl. etwa Engerer et al. 2014; Hecking et al. 2014).

Insgesamt besteht somit durchaus Handlungsbedarf – kurz- und mittelfristig ist Diversifizierung der Gasimporte angezeigt, langfristig hingegen eher sektorengerechte Weichenstellungen.

Fazit: Die Energiewende hat kein »Importabhängigkeitsproblem«

Importabhängigkeit ist kein Problem »an sich«. Auch im Energiebereich sollten nicht Importquoten als solche problematisiert werden, sondern nur spezifische Preis- oder Mengenrisiken, die mit der Einfuhr von Primärenergieträgern einhergehen. Vor dem Hintergrund geopolitisch überformter Märkte für Öl und Gas, auf denen dem Profitkalkül nur reduzierte Bedeutung zukommt, besteht durchaus Handlungsnotwendigkeit. Freilich kann die in der Vergangenheit entstandene Abhängigkeit gerade von russischen Gasimporten nicht den Energiewendezielen angelastet werden. Um dennoch Erdgas nicht zur »Achillesferse« der Energiewende werden zu lassen, sollte die Importabhängigkeit ursachengerecht adressiert werden, also kurz- und mittelfristig eine Diversifizierung des Angebots eingeleitet sowie langfristig andere Flexibilitätsoptionen angereizt werden.

Bezüglich des kontrovers diskutierten Frackings – ein mögliches Substitut für Gasimporte – sollte zweierlei bedacht werden. Einerseits ist der Optionswert dieser Fördertechnologie zu berücksichtigen (vgl. Konrad und Schöb 2014), andererseits muss klar sein, dass selbst das im Vergleich zu Kohle klimafreundlichere Gas als fossiler Brennstoff letztendlich nicht mit der Zielvorstellung nachhaltiger Energieversorgung vereinbar ist. Auch Atomkraft oder »Carbon Capture and Storage« bleiben nicht-nachhaltige Scheinalternativen. Langfristig scheinen die Synergieeffekte zwischen Energiewende und Importabhängigkeit daher offensichtlich: Die Reduktion des Energieverbrauchs und der

Ausbau Erneuerbarer verringern und ersetzen schließlich den Import von Primärenergieträgern wie Uran, Steinkohle, Gas und Öl.

Eine mögliche Verlagerung der Importproblematik im Zuge der Transformation zu neuen Technologien wie Photovoltaikanlagen inklusive Batteriespeicher (Stichwort »Seltene Erden«) sei nicht verschwiegen. Freilich sind »Seltene Erden« nicht wirklich selten, aber derzeit quasi-monopolisiert – ein klarer Fall für die Diversifizierung der Beschaffungsstrukturen. Damit gilt auch hier, dass zur Problemlösung gezielte Politikmaßnahmen (etwa Diversifizierung der Importstruktur) Mittel der Wahl sein sollten, nicht aber eine Vermischung der Argumentationsebenen: Ebenso wenig wie die aktuelle Abhängigkeit von russischem Gas a priori ein Argument *für* oder *gegen* die deutsche Energiewende darstellt, können geopolitische Überlegungen bezüglich der Verfügbarkeit von Hochtechnologierohstoffen die grundsätzliche Transformation des Energiesystems zu mehr Nachhaltigkeit in Frage stellen.

Literatur

Adolf, J. und M. Bräuninger (2012), »Energiewende im Wohnungssektor – Fakten, Trends und Realisierungsmöglichkeiten«, *Wirtschaftsdienst* 92(3), 185–192.

Agora Energiewende (2014), *Stromspeicher in der Energiewende, Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz*, September, Agora Energiewende, Berlin.

Bund der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2015), »Erdgasbezugsquellen Deutschlands«, verfügbar unter: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Erdgasbezugsquellen-.

Bundesamt für Wirtschaft und Außenkontrolle (BAFA) (2016), *Entwicklung der Erdgaseinfuhr in die Bundesrepublik Deutschland*, verfügbar unter: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erdgas/ausgewaehlte_statistiken/egashist.pdf.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2012), *Monitoring-Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie nach § 51 EnWG zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität*, Berlin.

Bundesnetzagentur (2014), *Biogas-Monitoringbericht 2014*, verfügbar unter: http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Biogas/Biogas_Monitoring/Biogas_Monitoringbericht_2014.pdf;sessionid=87A705DB15067CA05C02E9180B0DFE6A?__blob=publicationFile&v=1.

Engerer, H., F. Holz, P. Richter, Chr. von Hirschhausen und C. Kemfert (2014), »European Gas Supply Secure Despite Political Crises«, *DIW Economic Bulletin* 8, 1–11.

EURATOM Supply Agency (2015), *Annual Report 2014*, Luxemburg, verfügbar unter: <http://ec.europa.eu/euratom/ar/ar2014.pdf>.

Europäische Kommission (2014a), *In-depth Study of European Energy Security*, 2. Juli, Brüssel, verfügbar unter: http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20140528_energy_security_study.pdf.

Europäische Kommission (2014b), *Energieeffizienz und ihr Beitrag zur Energieversorgungssicherheit und zum Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030*, 23. Juli, Brüssel.

Europäische Kommission (2015), *Paket zur Energieunion. Rahmenstrategie für eine krisenfesten Energieunion mit einer zukunftsorientierten Klimaschutzstrategie*, 25. Februar, Brüssel.

Fischer, S. und O. Geden (2015), *Die Grenzen der »Energieunion«*, SWP-Aktuell 36, April, Stiftung Wissenschaft und Politik, Berlin.

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) (2014), *Erdgassubstitution durch eine forcierte Energiewende*. Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Grünen, Kassel.

Hanselka, H. (2014), »Ukraine-Krise. Ein gutes Argument, die Energiewende zu beschleunigen«, verfügbar unter: <http://www.helmholtz.de/energie/ein-gutes-argument-die-energiewende-zu-beschleunigen-2518/>.

Hecking, H., C. John, F. und Weiser (2014), *An Embargo of Russian Gas and Security of Supply in Europe*, 8. September, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln.

Konrad, K.A. und R. Schöb (2014), »Fracking in Deutschland – eine Option für die Zukunft«, *Wirtschaftsdienst* 94(9), 645–650.

Mahdavy, H. (1970), »The Pattern and Problems of Economic Development in Rentier States. The Case of Iran«, in: M.A. Cook (Hrsg.), *Studies in the economic history of the Middle East. From the rise of Islam to the present day*, Oxford University Press, London, 428–467.

NEON Neue Energieökonomik (2016), *Renewables 2015. Germany's renewable power generation in figures*, verfügbar unter: <http://neon-energie.de/renewables-2015.pdf>.

Reeg, M., R. Brandt, E. Gawel, S. Heim, K. Korte, P. Lehmann, P. Massier, D. Schober und S. Wassermann (2015), »Kapazitätsmechanismen als Rettungsschirm der Energiewende? Zur Versorgungssicherheit bei hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer«, ENERGY-TRANS Discussion Paper 01/2015.

Schmid, J. (2012), »Power-to-Gas – Speicheroption für die Zukunft?«, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 62(6), 41–43.

Sinn, H.-W. (2014), »Putin und der Zappelstrom«, *WirtschaftsWoche*, 17. März, S. 37.

Strunz, S., E. Gawel und P. Lehmann (2015), »Towards a general »Europeanization« of EU Member States' energy policies?«, *Economics of Energy and Environmental Policy* 4(2), 143–159.

Umweltbundesamt (2015), »Daten und Fakten zu Braun- und Steinkohlen«, Dessau, verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-fakten-zu-braun-steinkohlen>

Weimann, J. (2009), »Königswege und Sackgassen der Klimapolitik«, in: Jahrbuch Ökologische Ökonomik, *Diskurs Klimapolitik*, Marburg, 213–237.

Westphal, K. (2009), *Russisches Erdgas, ukrainische Röhren, europäische Versorgungssicherheit. Lehren und Konsequenzen aus dem Gasstreit 2009*, SWP-Studie 18, Juni, Berlin.



Hubertus Bardt*

Die Energiewende braucht offene Märkte¹

Die Energiewende ist in Deutschland 2011 ohne Einbindung der europäischen Nachbarländer beschlossen worden. Dies war insbesondere im Bereich der Stromerzeugung und -versorgung problematisch, wo die physische Vernetzung mit den Nachbarländern über die internationalen Stromleitungen besonders eng ist. Auch in der weiteren Planung der Energiewende sind die europäischen Länder lange kaum berücksichtigt worden, obwohl zur Sicherung der Stromversorgung entsprechende Angebote der Nachbarländer mit einkalkuliert werden. Dies gilt kurzfristig für das Angebot von Strom zu bestimmten Zeiten, langfristig für die Nutzung topographischer Strukturen einzelner Länder, die beispielsweise den Bau von Pumpspeicherkraftwerken möglich machen und damit das schwankende Stromangebot von Wind- und Solaranlagen teilweise ausgleichen können.

Auch das für die Energiewende bisher zentrale Regelwerk, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), ist ein rein nationales Gesetz mit einer Förderung für Anlagen aus erneuerbaren Energien, die in Deutschland an das Stromnetz angesprochen werden. Dabei werden vor allem zwei Vorteile einer stärkeren europäischen Integration nicht genutzt. Zum einen könnten durch Nutzung der Potenziale in Europa erneuerbare Energien an geeigneten Standorten eingesetzt werden. Damit wären die Kosten für den Einsatz erneuerbarer Energien insgesamt niedriger. Zum anderen könnte durch eine bessere europäische Integration ein besserer Ausgleich zwischen den unterschiedlichen dargebotsabhängigen Energiequellen hergestellt werden, wenn beispielsweise Wind in einer größeren räumlichen Einheit zuverlässiger weht als im kleinräumigeren Deutschland.

* Dr. Hubertus Bardt ist Geschäftsführer des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

¹ Dieser Aufsatz basiert auf Bardt et.al. (2014).

Import fossiler Rohstoffe

Die Energiewende und dabei vor allem der geförderte Ausbau erneuerbarer Energien werden mit unterschiedlichen Zielen begründet. Neben den Zielen des Klimaschutzes, der Technologieentwicklung und der Ressourcenschonung wird auch eine größere Unabhängigkeit von Rohstoffimporten als Ziel der Energiewende diskutiert. Diese lässt sich durch einen Anstieg der Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung beschreiben. Dies gilt sowohl für die Stromversorgung als auch für die Deckung des Wärmebedarfs und für den Transportsektor. Während die Marktanteile erneuerbarer Energien zunehmen sollen und werden, wird der Anteil fossiler Energiequellen abnehmen. Bei dem absehbaren Energieverbrauch wird der Bedarf an fossilen Rohstoffen auch in absoluten Größen abnehmen. Damit werden sich auch die Importe von Energierohstoffen in den nächsten Jahrzehnten verringern. Dies wird verschiedentlich als besonderer Vorteil der Energiewende im Sinne einer höheren Unabhängigkeit von internationalen Energiebezügen (und entsprechenden Ausgaben) angesehen.

Ginge es jedoch tatsächlich um die Verringerung von Energieimporten, wäre jedoch der Einsatz erneuerbarer Energien nur eine der verschiedenen Möglichkeiten. Die Nutzung heimischer Energierohstoffe wäre ebenfalls eine Maßnahme zur Verringerung der Abhängigkeit von Energieeinfuhr. Diesen Weg gehen die USA, indem sie Ölimporte durch die verstärkte Nutzung von heimischem Gas und regionalem Öl ersetzen. In Deutschland ist der Selbstversorgungsanteil traditionell verhältnismäßig niedrig. Dennoch gibt es heimische Quellen: Braunkohle spielt eine wichtige Rolle in der Stromversorgung und kommt zu 100% aus inländischen Quellen. Auch Erdgas und Erdöl werden in geringerem Umfang produziert, Steinkohle ist wirtschaftlich in Deutschland derzeit nicht abbaubar. Die Erschließung neuer Gasquellen durch moderne Technologien (Fracking und Horizontalbohrungen) könnte die Produktion in Deutschland signifikant erhöhen.

Auch wenn der Anteil erneuerbarer Energien zunimmt, wird der Import von Energierohstoffen noch für einige Jahrzehnte von Bedeutung sein: Die Stromerzeugung wird weiterhin zu einem Teil auf fossilen Quellen basieren, auch um Schwankungen der erneuerbaren Energien Wind und Sonne auszugleichen. Auch im Straßen-, Luft- und Schiffsverkehr sowie in der Wärmeerzeugung wird Bedarf an fossilen und (im Verkehrssektor) zumeist flüssigen Quellen bestehen. Da eine nationale Versorgung mit fossilen Rohstoffen dauerhaft kaum möglich oder politisch nicht gewollt ist, wird hier weiterhin ein hoher Importanteil bestehen. Die Energieversorgung wird auf längere Zeit nicht ohne den Import fossiler Rohstoffe gesichert werden können.

Energiewende in der Autarkie?

Wenn auch die Abhängigkeit von Energierohstoffimporten durch die Umstellung auf eine Stromerzeugung auf Basis von Wind- und Solarenergie abnimmt, können doch andere Aspekte eine enge internationale Verflechtung notwendig machen. Fünf wesentliche Felder lassen sich identifizieren, bei denen die Ziele der Energiepolitik Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit im Kontext der deutschen Energiewende durch internationale Vernetzung und eine europäische Koordinierung besser erreicht werden können als in einem Autarkieszenario.

– Ausgleich von Stromschwankungen

Die erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung sind durch starke natürliche Schwankungen geprägt. Dies gilt nicht für die Biomasseverstromung, die entsprechend der Stromnachfrage steuerbar ist, und eingeschränkt für Offshore-Wind, der mit höherer Zuverlässigkeit verfügbar ist. Onshore-Wind und Photovoltaik schwanken hingegen stark mit dem aktuellen Windaufkommen und der Sonneneinstrahlung. Die gesicherte Leistung, die aus diesen Anlagen jederzeit zur Verfügung steht, liegt daher auch nur bei einem Bruchteil der Nennleistung. Da die Strombilanz jederzeit ausgeglichen sein muss, also so viel Strom produziert werden muss, wie verbraucht wird, ergibt sich aus den Schwankungen die Notwendigkeit, Strom jederzeit und kurzfristig aus anderen Quellen bereitstellen zu können. Dieser Ausgleich kann teilweise durch steuerbare erneuerbare Energien, abschaltbare Lasten oder Speicher erfolgen, basiert im Wesentlichen aber auf der Nutzung konventioneller inländischer Kraftwerke oder dem Stromimport. Gleichzeitig wird in sonnen- sowie windreichen Situationen aufgrund der hohen installierten Kapazität der Anlagen deutlich mehr Strom produziert als verbraucht. Dieser Strom muss, soweit er nicht in Speicher fließt und soweit keine weitergehende Abschaltung von Erzeugungsanlagen erfolgt, in ausländische Netze exportiert werden.

Entsprechend sind in den vergangenen Jahren die Außenhandelsaktivitäten der Stromwirtschaft deutlich angestiegen. Die schnelle Zunahme der erneuerbaren Energien in Deutschland hat zu einer Vergrößerung des Exportüberschusses gesorgt, der aber weniger nachfragegetrieben ist, sondern als Reaktion auf temporäre Überproduktion zu interpretieren ist. Dieser Anteil wird in den folgenden Jahren bei einem weitergehenden Anteil erneuerbarer Energien voraussichtlich noch weiter zunehmen. Ohne den grenzüberschreitenden Ausgleich kann in Deutschland keine weitgehend auf schwankenden erneuerbaren Quellen basierende Stromversorgung aufgebaut werden. Die Energiewende ist damit strukturell auf einen internationalen Ausgleich und offene Strommärkte angewiesen.

– Standorte für erneuerbare Energien

Durch die Nutzung europäischer Spezialisierungsvorteile könnten die Kosten der Förderung erneuerbarer Energien deutlich gesenkt werden. So könnten natürlich Standortvorteile realisiert werden, die besonders günstige Bedingungen für Wind- oder Solarenergie bieten. Mit denselben Investitionskosten könnte bei einer optimierten Standortwahl eine höhere Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen realisiert werden. Für die Stromverbraucher, auf die die Mehrkosten umgelegt werden, wäre dies von wirtschaftlichem Vorteil. Eine stärkere Internationalisierung der Förderung erneuerbarer Energien begleitet von einem angemessenen Netzausbau würde die Energiewende effizienter und damit erfolgreicher machen.

– Import für erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien werden im Wesentlichen als heimische Energieträger angesehen. Für die Erzeugung von Strom ist dies auch insofern zutreffend, als keine Brennstoffe importiert werden müssen. Einen gewissen Importanteil gibt es lediglich bei der Biomasse. Die Importabhängigkeit erneuerbarer Energien ist weniger bei Verbrauchsstoffen als viel mehr bei den Investitionsgütern und deren Vorprodukte zu sehen. Dies gilt beispielsweise für importierte Solarzellen, insbesondere aber auch für die Metalle, die zur Produktion beispielsweise von Windrädern notwendig sind (vgl. Bardt, Kempermann und Lichtblau 2013). Dabei unterscheiden sich die Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien nicht von anderen industriellen Investitionsgütern. Die Einbindung in die internationale Arbeitsteilung und den internationalen Handel ist eine wesentliche Voraussetzung für wirtschaftlichen Wohlstand.

– Wettbewerb im Strommarkt

In Europa sind die Strommärkte seit Ende der 1990er Jahre systematisch geöffnet und dem Wettbewerb ausgesetzt worden. In der Folge sind neue Anbieter auf den verschiedenen Wertschöpfungsstufen aufgetreten. Dies betrifft insbesondere die Verteilung von Strom, etwas weniger ausgeprägt ist diese Entwicklung bei der Stromerzeugung. Eine weitere Europäisierung des Wettbewerbs, durch den der relevante Markt auf europäischer und nicht mehr auf nationaler Ebene zu betrachten wäre, würde die Konzentrationsmaße deutlich zurückgehen lassen. Unternehmen, die im nationalen Rahmen als groß erscheinen, wären auf europäischer Ebene einer von vielen Anbietern. Die Sorge um den Wettbewerb am Strommarkt wäre durch eine weitere Marktöffnung weitgehend überflüssig.

– Geringere Kostenverzerrungen der Industrie

Auch die negativen Wettbewerbsfolgen der Energiewende könnten durch eine weitere Europäisierung der staatlichen Regeln abgebaut werden. Das wesentliche Problem der deutschen Industrie im Vergleich zu europäischen Wettbewerbern liegt in den nationalen Mehrbelastungen durch

staatliche Abgaben und Umlagen. Ein einheitliches europäisches Vorgehen würde die Kostenverzerrungen deutlich verringern und damit die Wettbewerbsfähigkeit ganzer Branchen nicht allein aufgrund regulatorischer Alleingänge gefährden. Autarkiebestrebungen führen auch hier zu einer Bedrohung von Wohlstand und Arbeitsplätzen.

Die Energiewende kann nicht auf Grundlage der Vorstellung einer autarken Energieversorgung gelingen. Von grundlegender Bedeutung ist vor allem eine stärkere Europäisierung der Energie- und Strompolitik. Gerade die Förderung erneuerbarer Energien als Kernelement der Energiewende erfordert, dass möglichst effiziente Potenziale genutzt werden. Die Vollendung des Strombinnenmarktes in Europa führt nicht nur zu günstigerem klimafreundlichem Strom und einer höheren Versorgungssicherheit, sondern schafft durch den vergrößerten Markt auch den Raum für europäischen Wettbewerb in der Stromerzeugung. So könnten durch Nutzung der besten Standorte für erneuerbare Energien in Europa die Kosten niedriger ausfallen. Zudem könnte durch eine bessere europäische Integration ein besserer Ausgleich zwischen den schwankenden regenerativen Energiequellen hergestellt werden. Eine sichere, preisgünstige und klimafreundliche Stromerzeugung lässt sich nicht mit der Idee einer Stromautarkie sicherstellen. Ohne einen europäischen Strombinnenmarkt können wichtige Effizienzvorteile und Wettbewerbswirkungen nicht realisiert werden (vgl. Zachmann 2013). Zukünftige Marktmodelle dürfen einem Strombinnenmarkt nicht entgegenstehen, sondern müssen europafähig sein.

Eine bezahlbare, sichere und klimaschonende Energieversorgung braucht keine isolierende Autarkiebewegung, sondern muss auf einer umfassenden Integration in europäische und internationale Märkte basieren. Die Vorteile des internationalen Handels gelten nicht nur für Industriegüter und Dienstleistungen, sondern auch für die Versorgung mit Energie. Der Wohlstand in Deutschland basiert zu einem wesentlichen Teil auf der weltwirtschaftlichen Integration der Wirtschaft. Auch die Energieversorgung wird dauerhaft auf einer internationalen Basis aufbauen müssen. Das Konzept der Energieautarkie zeigt in die falsche Richtung. Die Chancen der internationalen Arbeitsteilung müssen genutzt werden, um die Energiewende erfolgreich gestalten zu können.

Literatur

Bardt, H., E. Chrischilles, M. Grömling und J. Matthes (2014), *Abhängigkeit gleich Verletzlichkeit? Energieimporte in Deutschland und Europa*, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.

Bardt, H., H. Kempermann und K. Lichtblau (2013), *Deutsche Unternehmen im Wettbewerb um Rohstoffe – Versorgungsrisiken und Absicherungsstrategien*, IW Analysen Nr. 93, Köln.

Zachmann, G. (2013), *Electricity without borders: a plan to make the internal market work*, Bruegel, Brüssel.



Andreas Seeliger*

Energiewende und größere Energieautarkie: Ist die deutsche Energiepolitik auf einem Auge blind?

Energiewende und Energieautarkie – Ziele oder Instrumente?

Beim Verfolgen der aktuellen energiepolitischen Diskussion drängt sich schnell der Gedanke auf, dass es sich bei der Energiewende und der Energieautarkie um Ziele der Energiepolitik handeln könnte. In der Öffentlichkeit sind beide Begriffe positiv besetzt und dienen als Rechtfertigung für allerlei politische Maßnahmen (»Es dient der Energiewende«).

Diese Sichtweise greift leider etwas zu weit. In §1 des Energiewirtschaftsgesetzes sind die Ziele der Energiepolitik unmissverständlich dargelegt: »Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht.«

Lässt man die in diesem Zusammenhang unnötigen Worthülsen »verbraucherfreundlich« und »effizient« beiseite, bleiben drei zentrale Aufgaben: Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit. Dies sind die relevanten Zielgrößen, die mit verschiedenen Instrumenten zu erreichen sind. Vollkommen unsachgemäß erscheint der letzte Teilsatz, der einen zunehmenden Einsatz erneuerbarer Energien fordert. Hier wird ein Instrument quasi zum Ziel geadelt. Natürlich ist der Einsatz erneuerbarer Energien wichtig, um das eine oder andere Ziel besser zu erreichen. Dennoch gehört dies eigentlich nicht in einen Zieldefinitionsparagrafen. Mit demselben Recht könnten andere Instrumente angeführt werden, bspw. das Instrument der Liberalisierung oder eben das der Energieautarkie.

Die Energiewende stellt in diesem Zusammenhang auch nur ein Instrument bzw. einen Instrumentenmix dar.

So gesehen ist die aktuelle Frage, ob Energiewende und Energieautarkie gemeinsam erreicht werden können, eigentlich nur eine weitere Wiedergeburt des alten Zielkonflikts zwischen Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit, wobei zugegebenermaßen ja eher der mutmaßliche Zielkonflikt zwischen Umwelt und Wirtschaftlichkeit lange die Diskussion dominierte.

Nachdem auf diese (für Nicht-Volkswirte vielleicht etwas spitzfindige) Unterscheidung hingewiesen wurde, können wir im Folgenden die Fragestellung inhaltlich angehen. Bevor dies für die deutsche Energiepolitik erfolgt, lohnt es sich, zuvor ein internationales Beispiel anzuschauen, bei dem in den letzten Jahren sowohl eine (etwas spezielle) Energiewende stattgefunden und dabei gleichzeitig die Energieautarkie deutlich zugenommen hat.

Energiewende und Energieautarkie sind gleichzeitig erreichbar – Beispiel USA

Vor rund zehn Jahren deuteten alle gängigen Prognosen auf eine deutliche Zunahme der Energieimportabhängigkeit der USA hin. Dies galt in erster Linie für den Erdgasbereich, bei dem nach Jahrzehnten der weitestgehenden Selbstversorgung (ergänzt um Importe aus Kanada) ein starker Anstieg der Flüssigerdgasimporte (LNG) prognostiziert wurde. Auch beim Erdöl wurde mit einer Verstärkung des bestehenden Importbedarfs gerechnet. Gleichzeitig deutete wenig darauf hin, dass die USA wesentliche Fortschritte im Bereich Klimaschutz erzielen würden. Im Gegenteil, das Land weigerte sich, das ausgehandelte Kyoto-Protokoll zu ratifizieren, und im Stromerzeugungsbereich wurde die ohnehin schon dominierende Kohle wieder verstärkt eingesetzt. Unterm Strich sah es also vor zehn Jahren nicht danach aus, dass die USA ihre Importabhängigkeit senken könnten (geschweige denn, sich auf dem Weg zur Energieautarkie befinden würden) oder wesentliche Schritte in Richtung Klimaschutz (was ja eine Art Energiewende der USA wäre) realisieren würden. Da bereits die einzelnen Ziele nicht erreichbar erschienen, war es aus damaliger Sicht höchst unwahrscheinlich, dass beides gemeinsam gelingen könnte.

Dass Prognosen im Energiebereich selten zutreffend sind, liegt offenbar in der Natur der Dinge. Im Falle der USA lagen die Vorhersagen jedoch deutlich daneben. So kam es ab 2007 zu einem drastischen Anstieg der einheimischen Erdgasförderung, dessen Ausmaß die meisten Experten überraschte. Da diese Zunahme vor allem durch die Förderung von nicht-konventionellem Schiefergas bedingt war, wurde diese Entwicklung mit dem Etikett »Shale Gas Revolution« (Schiefergasrevolution) versehen. Viele Maßnahmen, die

* Prof. Dr. Andreas Seeliger ist Inhaber der Professur für Energiewirtschaft an der Hochschule Niederrhein, Krefeld.

zum Anstieg der Schiefergasförderung führten, haben ihren Ursprung zwar bereits in den 1970er oder 1980er Jahren, aber erst eine überaus günstige Konstellation aus politischer Förderung, technischem Fortschritt und hohen Energiepreisen ermöglichte den Durchbruch der Schiefergasförderung. Konsequenz dieses Produktionsanstiegs ist ein deutlicher Rückgang des Erdgasimportbedarfs. Aktuelle Prognosen zufolge könnten die USA in den kommenden Jahren sogar zum Nettoerdgasexporteur werden (wobei, wie zuvor gesehen, Prognosen in diesem Bereich mit Vorsicht zu genießen sind).

Zeitlich etwas verzögert, setzte eine ähnliche Entwicklung auch beim amerikanischen Erdöl ein, auch hier konnte durch nicht-konventionelles Schieferöl (Shale Oil) die Importabhängigkeit deutlich reduziert werden. Da die USA zudem zu den Nettokohleexporteuren gehören, kann festgehalten werden, dass das Land sich auf einem guten Weg in Richtung Energieautarkie befindet.

Die Schiefergasrevolution beeinflusst aber auch die Umweltverträglichkeit (zur Erinnerung: das Hauptziel der deutschen Energiewende). Die Wirkung ist jedoch nicht ganz so einfach zu bewerten wie bei der Energieautarkie (respektive Versorgungssicherheit). Wird Umweltverträglichkeit auf den Rückgang von CO₂-Emissionen reduziert (was in der öffentlichen Diskussion erstaunlich häufig passiert), können auch hier die USA große Erfolge vorweisen. So haben sich seit 2007 die CO₂-Emissionen der Elektrizitätserzeugung von ca. 2 450 auf ca. 2 050 Mio. t im Jahr 2013 reduziert. Eine solche Entwicklung war im deutschen Stromsektor nicht zu beobachten. Möglich wurden diese Erfolge durch ein umfangreiches Ersetzen von alten Kohle durch moderne Gaskraftwerke. Würde man es hierbei belassen, wäre es den USA tatsächlich gelungen, sowohl Energieautarkie als auch eine umweltförderliche Art von Energiewende durchzuführen.

Allerdings wird die Fokussierung auf Klimaschutzmaßnahmen der komplexen Realität der Umweltverträglichkeit nicht gerecht. Schiefergas und Schieferöl erfordern aufwendigere Fördermethoden (daher werden sie auch als nicht-konventionelle Kohlenwasserstoffe eingestuft), die mit lokalen Umweltwirkungen einhergehen können. So muss in den dichten Tonschiefer zunächst eine mit Stützmitteln (z.B. Quarzsand) versetzte Flüssigkeit eingepresst werden, die kleine Risse erzeugt und stabilisiert, durch die das Gas oder Öl abfließen kann. Nach Abschluss der Förderung werden die Flüssigkeiten wieder abgepumpt. Diese als »Fracking« bekannte Fördertechnologie ist zwar seit Jahrzehnten erprobt, die Erfahrungen in den USA zeigen jedoch, dass diese Produktionsmethode zu unterschiedlichen Problemen führen kann. Mögliche Umweltgefahren sind Belastungen des Grundwassers, Gesundheitsgefährdungen durch giftige Chemikalien in den eingepressten Flüssigkeiten, Erdbebengefahr sowie

weitere, allerdings nicht unbedingt schiefergasspezifische Risiken und Probleme (bspw. Wasser- und Flächenbedarf, Lärm, Unfallrisiko technischer Anlagen). Auch wenn diese Umweltschäden nicht so gravierend sind wie in der deutschen Öffentlichkeit wahrgenommen (dies zeigen umfangreiche Untersuchungen der amerikanischen Umweltbehörde EPA), müssen diese dennoch möglichen negativen lokalen Umweltwirkungen den positiven Klimaschutzwirkungen gegengerechnet werden.

Generell wäre es auch nicht sachgerecht, die Schiefergasrevolution als umweltpolitisches Instrument der USA einzustufen. Der Fokus dieser beeindruckenden Entwicklung liegt klar auf den Aspekten Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung, die Umweltverträglichkeit in Form von Klimaschutz ist eher ein willkommener Nebeneffekt.

Energiewende und Energieautarkie – der etwas holprige Weg in Deutschland

Die Energiewende als Maßnahmenpaket in Richtung Umweltverträglichkeit beeinflusst die Energieautarkie als Instrument der Versorgungssicherheit Deutschlands in unterschiedlicher Weise. Einige Punkte sind auf dem ersten Blick kompatibel: Der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung stellt einen einheimischen Energieträger da, der bspw. Erdgas aus Russland oder Steinkohle aus Südafrika verdrängen kann. Auch das erklärte Ziel, 1 Million Elektroautos bis 2020 auf den deutschen Straßen zu sehen, könnte einen Schritt in Richtung größerer Energieautarkie darstellen, da hierdurch die Erdölimporte zurückgehen könnten.

Andere energiepolitische Maßnahmen im Rahmen der Energiewende wirken dagegen eindeutig zulasten der Versorgungssicherheit. Hier ist vor allem der Ausstieg aus der Kernenergie zu nennen, der bestehende Kapazitäten vorzeitig vom Netz nimmt. Kernkraftwerke werden zudem mit Uran, einem aus Versorgungssicherheitsicht wenig kritischen Brennstoff betrieben. Auch der begonnene Ausstieg aus der Braunkohle, dem einzigen reichlich verfügbaren fossilen Energieträger Deutschlands, mindert eindeutig die Versorgungssicherheit. Beide Erzeugungstechnologien sind zudem wichtig, um die Grundlast abzudecken, was weder Erneuerbare noch Erdgas im großen Stil zu leisten vermögen. Die zögerliche bis ablehnende Haltung gegenüber der Schiefergasförderung (zwar kein offizieller Baustein der Energiewende, aber dennoch im unmittelbaren Zusammenhang dazu stehend) ist ein weiteres Beispiel für eine eher versorgungssicherheitskritische Maßnahme. Letzter Punkt wiegt allerdings nicht so schwer, da die Vorkommen in Deutschland gegenüber denen der USA deutlich geringer sind.

Würde man es hierbei belassen, könnte der Schluss gezogen werden, dass unterm Strich die Energieautarkie zwar nicht wesentlich erhöht, aber auch nicht reduziert würde. Bei einer etwas detaillierteren Betrachtung der beiden oben genannten positiven Beispiele relativiert sich das Bild. Grundsätzlich reduziert ein höherer Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung tatsächlich den Importbedarf von fossilen Energieträgern. Dafür wird jedoch aufgrund der fluktuierenden und schlecht planbaren Bereitstellung von Sonnen- und Windenergie der Importbedarf für Strom erhöht. In Zeiten mit ungenügendem Sonnen- und Windangebot muss folglich aus dem Ausland importiert werden (oder verstärkt auf fossile Kapazitäten zurückgegriffen werden, die wiederum ihren Brennstoff importieren müssen). Übersteigt das Angebot aus erneuerbaren Energien die Nachfrage, muss folglich exportiert werden. Solange es also keine Stromspeicher mit vergleichbar großen Kapazitäten wie bei Öl- oder Gasspeichern gibt, wird sich der Offenheitsgrad der deutschen Energiewirtschaft eher erhöhen als reduzieren. Dies ist zunächst kein Problem, da die Länder, mit denen ein Stromaustausch stattfindet, allesamt EU-Mitglieder oder zumindest eng assoziiert sind. Das jüngste Beispiel des »Brexit« zeigt jedoch, dass dieser enge wirtschaftliche und politische Verbund nicht unbedingt in Stein gemeißelt sein muss.

Auch der zweite oben angesprochene positive Aspekt, der Ausbau der Elektroautoflotte, muss kritisch hinterfragt werden. Zum einen wären 1 Million Elektrofahrzeuge bis 2020 bei einem Fahrzeugbestand von rund 55 Millionen sicher kein großer Zugewinn an Energieautarkie. Zum anderen erscheint die Realisierung selbst dieses verhältnismäßig niedrigen Ziels wenig wahrscheinlich. Auch solche Verzweiflungstaten wie die Elektroautokaufprämie wird daran wohl wenig ändern.

Versuch eines Fazits

Da die Energiewende noch im Fluss ist und laufend neue Maßnahmen, Unterziele oder Instrumente ergänzt werden (jüngste Beispiele sind die Kapazitäts- bzw. Sicherheitsreserve sowie die Elektroautokaufprämie) ist ein abschließendes Fazit nahezu unmöglich. Nach aktuellem Stand dürfte jedoch die Energiewende zulasten einer größeren Energieautarkie wirken. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Gewichtung innerhalb des Zieldreiecks in den letzten Jahren immer stärker in Richtung Umweltverträglichkeit verschoben wurde, was zulasten der Versorgungssicherheit und der Wirtschaftlichkeit ging. Da laut Zielformulierung des §1 EnWG alle Ziele berücksichtigt werden sollen, sollte die Politik bei zukünftigen Maßnahmen eine Verschiebung hin zu einer etwas ausgeglicheneren Zielgewichtung anstreben.

Literatur

BGR (2015), *Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeiten von Energierohstoffen 2015*, BGR, Hannover.

EIA (2015), »Proposed Clean Power Plan rule cuts power sector CO₂ emissions to lowest level since 1980s«, *Today in Energy*, 26. Mai, Washington.

EPA [Environmental Protection Agency] (2015), *Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources*, External Review Draft, Washington.

Joskow, P. (2012), »Natural Gas: From Shortage to Abundance in the United States«, Extended Preview Version of Article in *American Economic Review* 103(3), 338–343, verfügbar unter: <http://economics.mit.edu/faculty/pjoskow/>, aufgerufen am 28. Juli 2016.

Müsgens, F., A. Seeliger, K. Westphal, S. Ladage, H. Andruleit und M. Kosinowski (2013), »Fracking in Deutschland und Europa – Hype oder Chance?«, *ifo Schnelldienst* 66(24), 3–10.

Wang, Z. und A. Krupnick (2015), »A Retrospective Review of Shale Gas Development in the United States: What Led to the Boom?«, *Econ Energy Environ Policy* 4(1), 5–17.



Sibyl D. Steuwer*

Energiewende und der Umgang mit Unsicherheit – Energieautarkie als Strategie?

Energiepolitik hat sich mit dem Einzug der klimapolitischen Dimension nicht nur in Deutschland grundlegend verändert. Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen befinden sich im Wandel. Solch grundlegende Transformationsprozesse sind von erheblichen Unsicherheiten gekennzeichnet. Auch wenn die Weichen gestellt sind und Richtungsentscheidungen, nämlich die Schaffung eines klimaneutralen Energiesystems, getroffen wurden, ist der Weg dorthin doch von vielen Unsicherheiten geprägt. Offen sind beispielsweise die Fragen, welche technischen Lösungen zum Ausgleich variabler Stromerzeugung sich durchsetzen werden (z.B. ein gut ausgebautes europäisches Netz oder dezentrale Speicherlösungen) und in welchem Maße sich sozio-technische Innovationen wie die voranschreitende Digitalisierung auch eine sich verändernde Energieinfrastruktur prägen (»smart grids«, »E-Mobilität« etc.). Staatliche Akteure haben die Aufgabe, mit diesen vielfältigen Unsicherheiten umzugehen. Welche Möglichkeiten stehen ihnen offen?

Eine Antwort in Umbruchszeiten und Krisen ist der Wunsch nach größerer Autonomie – im Fall der Energiepolitik wäre das die Energieautarkie. Energieautarkie ist nicht eindeutig definiert. Der Begriff hat räumlich unterschiedliche Bezugsgrößen, wird für verschiedene Grade an Autarkie (z.B. Inselfösungen, bilanzielle Autarkie oder Verringerung der Importabhängigkeit) verwendet und bezieht sich sowohl auf den gesamten Energiesektor oder auf einzelne Energieträger (z.B. nur die Stromversorgung) (vgl. McKenna et al. 2014; Ohlhorst und Tews 2013).

Energieautarkie – eine Verständnisabgrenzung

Im Zieldreieck der Energiepolitik taucht Energieautarkie nicht als eigenständiges Ziel auf. Das Streben nach Energieautarkie ist vielmehr eine Strategie, um die Zielgröße der Versor-

gungssicherheit zu realisieren oder zu maximieren und die Abhängigkeit von Energieimporten und außenpolitische Unsicherheiten zu minimieren. Insbesondere die Abhängigkeit von Erdgaslieferungen aus Russland wird häufig als geopolitisches Argument für mehr Energieautarkie auf nationaler Ebene angegeben. Eingebettet im europäischen Kontext ist nationale Energiepolitik nicht allein ausschlaggebend für die Energieversorgung. Die Verwirklichung eines einheitlichen Energiebinnenmarktes, die ihren Anfang mit der Liberalisierung des Strom- und Gasmarktes zu Beginn der 1990er Jahre nahm, hat erheblichen Einfluss auf die Politik der Mitgliedstaaten. Gleichzeitig bestehen die Mitgliedstaaten auf ihrer energiepolitischen Autonomie. So erscheint die Energieunion nur als grobe Klammer für die Energiepolitiken der Mitgliedstaaten, und es ist fraglich, ob der Trend einer Renationalisierung von Energiepolitik durch die Energieunion gebremst werden kann (vgl. Fischer und Geden 2015). Im Wechselspiel zwischen nationaler Selbstbestimmung und Harmonisierungsbestrebungen auf EU-Ebene kann der Bezugsrahmen für Energieautarkie im europäischen Mehrebenensystem nicht eindeutig geklärt werden. Vielmehr deuten sich hier die vielschichtigen Verflechtungen auch mit Drittstaaten an, und es ist fraglich, ob das Streben nach Energieautarkie auf europäischer Ebene nicht sogar zu einer Erhöhung politischer Unsicherheiten und einer Verschärfung diplomatischer Spannungen führt.

Im Zuge des Anstiegs der Strombereitstellung durch erneuerbare Energien hat der Begriff Energieautarkie eine neue Bedeutungsaufladung erfahren. Im Mittelpunkt steht nun zunächst die Frage, ob die Stromversorgung mit überwiegend aus Windkraft und Photovoltaik erzeugtem Strom sicherzustellen ist. Dass ein auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem im Kleinen wie im Großen realisierbar ist und mit abnehmender Importabhängigkeit verbunden sein kann, wurde vielfältig gezeigt. Offen ist aber, welche Flexibilitätsoptionen dafür am besten geeignet, am kostengünstigsten realisiert werden können und schließlich politisch gewollt sind (vgl. SRU 2011; Umweltbundesamt 2013; Nitsch et al. 2012; Europäische Kommission 2011; Peter 2013; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldinda et al. 2015; Breyer et al. 2013). Damit verbunden ist der politische Diskurs über die Frage, ob das Energiesystem der Zukunft eher dezentral oder zentral aufgebaut werden soll. Die Energiewende hat ihren Anfang als dezentrale Bewegung genommen (vgl. Schreurs 2012). Der Wunsch einzelner Kommunen und Regionen, sich energieautark zu versorgen, entstammt mitunter auch historisch gewachsenen Abgrenzungswünschen gegenüber eines vormals zentral organisierten und von wenigen Energieunternehmen dominierten Energiesystems. Die steigende Anzahl an Kommunen und Regionen, die sich eigene hohe Ausbauziele für erneuerbare Energien gesetzt haben (bekannt als 100% EE-Regionen), lässt sich aber nicht allein damit erklären. Für diese Akteure zählen insbesondere wirtschaftliche Aspekte wie regionale Wertschöpfung, Förderung der erneuerbaren

* Dr. Sibyl D. Steuwer ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Forschungszentrum für Umweltpolitik (FFU) der Freien Universität Berlin und forscht dort im Rahmen der Helmholtz Allianz ENERGY-TRANS zur Energiewende.

Energien und Arbeitsplätze (vgl. McKenna et al. 2014). Akteure, die eher die Vorteile zentral organisierter Energiesysteme betonen, argumentieren, die Energiewende benötige Übertragungsnetze, insbesondere um die große Windausbeute in Norddeutschland in die Nachfragezentren Süddeutschlands zu transportieren. Überhaupt sei ein weitreichender – das heißt, weiträumig europäisch realisierter – Netzausbau die kostengünstigste Möglichkeit, variabel eingespeisten Strom auszugleichen: Die Energiewende müsse ein europäisches Projekt werden.

Das im Kontext der deutschen Energiewende am meisten verwendete und mitunter fehlinterpretierte Verständnis von Energieautarkie bezieht sich also auf die lokale Ebene. Heruntergebrochen auf die subnationale Ebene ist der Begriff häufig politisch aufgeladen und drängt auf eine Entscheidung hinsichtlich des zukünftigen Energiesystems. Er verkürzt die Debatte schnell auf eine »entweder zentral – oder dezentral« gestaltete Energiewende.

Energiewende als Transformationsprozess

Versteht man die Energiewende als Transformationsprozess, lohnt sich ein Blick auf die Transformationsforschung. Was ist die Antwort dieses Forschungsstrangs¹ auf die Frage nach dem Umgang mit Unsicherheiten?

Systemtransformationen finden als komplexe, parallele und miteinander verflochtene Prozesse auf verschiedenen Ebenen statt. Aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten findet Steuerung kleinschrittig, mitunter als »learning-by-doing« statt. Ein extremes Beispiel für solche Prozesse ist das agile Management oder Extreme Programming in der IT-Branche. Analog wird für politische Prozesse reflexive Governance, also lernende, sich anpassende Steuerungsprozesse benötigt (vgl. Voß und Bornemann 2011; Renn et al. 2015). Neben Monitoring und Feedback-Prozessen sind Koordination und Kooperation essenzielle Erfolgsfaktoren für die Steuerung solch komplexer Prozesse. Diese Art der Prozesssteuerung muss auch Fehler zulassen und Risiken abfedern können – darf also nicht auf einen einzigen richtigen Pfad setzen. Schnelles Entscheiden und lernende Prozesse brauchen auch Rückfalloptionen. Dafür müssen die (staatlichen) Steuerungsakteure auf einen Pool an Lösungswegen zurückgreifen können (vgl. auch Ostrom 2005). Für die Energiewende bedeutet das, dass Experimentierräume weiterhin bestehen bleiben müssen. Eine transformationsorientierte Wissenschaft ist dabei genauso wichtig wie Reallabore in der Praxis (vgl. Ohlhorst und Tews 2013; SRU 2016). In diesem Sinne bieten dezentrale Lösungen eine besondere

Lernerfahrung und erhöhen die Resilienz des Gesamtsystems. Eng verknüpft damit ist der Erhalt der Innovationsfähigkeit. Im Kontext institutioneller und kultureller Pfadabhängigkeiten ist das Sicherstellen kontinuierlicher Innovationsfähigkeit, die nicht nur technologische, sondern auch soziale Innovationen umfasst, eine große Herausforderung. Staatlichen Akteuren kommt die Rolle zu, Experimentierräume – also geschützte Nischen für die Entwicklung einer ganzen Bandbreite an Innovationen – zu schaffen. Durch die dezentral vorangetriebene Energiewende in Deutschland und eine Vielzahl an Forschungs- und Entwicklungsprojekten sind Reallabore geschaffen worden, die den theoretischen Teststand verlassen haben. Sie stellen der Politik eine große Bandbreite an möglichen Szenarien und Technologieoptionen zur Verfügung und haben damit die Palette an möglichen Lösungswegen erweitert.

Gleichzeitig müssen staatliche Akteure in solchen von Unsicherheit geprägten Problemstrukturen auch über die Innovationsförderung hinaus entscheidungs- und handlungsfähig sein und bleiben. Mariana Mazzucato hat die Bedeutung staatlicher Innovationsförderung für den Durchbruch bahnbrechender Technologien gezeigt (vgl. Mazzucato 2015). Der Staat ist der einzige Akteur, der Risiken abfedern kann und muss sich vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Langfristziele für bestimmte Pfade entscheiden (z.B. der Ausbau erneuerbarer Energien, die Förderung dezentraler Erzeugungsstrukturen und den Ausbau des Übertragungsnetzes). Dazu gehört auch, dass er Strukturwandel aktiv begleitet und Innovationsinteressen gegenüber etablierten Interessen, beispielsweise der Kohleindustrie, stärkt (vgl. Fligstein und McAdam 2011; SRU 2016).

Vertrauen aufbauen und Gleichzeitigkeit vermeintlicher Gegensätze aushalten lernen

Die Energiewende benötigt vieles gleichzeitig. Das ist nicht immer in einer einfachen Sprache und in klaren, verbindlichen Botschaften zu kommunizieren. Unsere dialektisch geprägte Gesellschaft hat bisher noch keinen kulturellen Umgang mit der Gleichzeitigkeit von scheinbar gegenläufigen Prozessen gefunden. Aber genau das wird in einer vernetzten Welt benötigt. Die Gleichzeitigkeit von Entscheidungen für große Infrastrukturprojekte und dem Experimentieren mit dem Gegenmodell könnte als Unsicherheit ausgelegt werden. Viele Forschungsergebnisse unterschiedlicher Disziplinen zeigen aber gerade, dass die Auflösung von Zielkonflikten nicht immer angemessen ist. Manche Zielkonflikte werden lange bestehen bleiben, bis sich eine Lösung abzeichnet, und müssen ausgehalten werden. Insofern ist die Hauptherausforderung, das Vertrauen in transformative Prozesse zu stärken, indem die Vielfalt der Prozesse und Optionen gestärkt wird und Kooperationen vorangetrieben werden.

¹ Als Transformationsforschung wird hier eine Vielzahl an Forschungsbeiträgen u.a. aus den Bereichen der Innovations-, Organisations- und Diffusionsforschung, dem Transition Management, der Postwachstums- und Suffizienzforschung sowie dem Change Management bezeichnet (vgl. auch SRU 2016).

Der Wunsch nach Energieautarkie erscheint in diesem Lichte eher als eine Anti-Vertrauensstrategie, die Kooperationsstrategien entgegensteht. In einer komplexen, verflochtenen Welt ist das nicht zeitgemäß. Dezentrale Energiewendemodelle brauchen wir trotzdem. Als Beitrag zur Vielfalt, als Möglichkeit zum Lernen und als möglicher Pfad in ein klimaneutrales Energiesystem.

Literatur

Breyer, C., B. Müller, C. Müller, E. Gaudchau, L. Schneider, K. Gajkowski, M. Resch und G. Pleßmann (2013), *Vergleich und Optimierung von zentral und dezentral orientierten Ausbaupfaden zu einer Stromversorgung aus erneuerbaren Energien in Deutschland*, Reiner Lemoine Institut, Berlin.

Europäische Kommission (2011), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy Roadmap 2050*. COM(2011) 885/2, Europäische Kommission, Brüssel.

Fischer, S. und O. Geden (2015), »Die Grenzen der Energieunion«, *SWP-Aktuell* April (36).

Fligstein, N. und D. McAdam (2011), »Toward a general theory of strategic action fields«, *Sociological Theory* 29(1), 1–26.

Mazzucato, M. (2015), »The green entrepreneurial state«, in: I. Scoones, M. Leach und P. Newell (Hrsg.), *The Politics of Green Transformations*, Earthscan from Routledge, London und New York, 119–152.

McKenna, R., T. Jäger und W. Fichtner (2014), »Energieautarkie – ausgewählte Ansätze und Praxiserfahrungen im deutschsprachigen Raum«, *UmweltWirtschaftsForum* 22, 241–247.

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2015), *Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien*, verfügbar unter: <http://www.acatech.de/de/aktuelles-presse/dossiers/dossier-stromversorgung-2050.html>.

Nitsch, J. et al. (2012), *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*, Schlussbericht, DLR, Fraunhofer IWES, Ingenieurbüro für neue Energien, Stuttgart, Kassel, Teltow.

Ohlhorst, D. und K. Tews (2013), »Deutschland als Laboratorium: Das Experiment Energiewende«, *Politische Bildung* 46(2), 26–45.

Ostrom, E. (2005), *Understanding institutional diversity*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Peter, S. (2013), *Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen*, UBA, Dessau-Roßlau.

Renn, O. et al. (2015), *Aspekte der Energiewende aus sozialwissenschaftlicher Perspektive*, acatech, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V., Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. Schriftenreihe Energiesystem der Zukunft, München.

Schreurs, M. (2012), »The politics of phase-out«, *Bulletin of the Atomic Scientists* 68(6), 30–41.

SRU (2011), *Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung*, Sondergutachten, Erich Schmidt, Berlin.

SRU (2016), *Umweltgutachten 2016. Impulse für eine integrative Umweltpolitik*, Erich Schmidt, Berlin.

Umweltbundesamt (2013), *Treibhausgasneutrales Deutschland*, Dessau-Roßlau.

Voß, J.-P. und B. Bornemann (2011), »The Politics of Reflexive Governance: Challenges for Designing Adaptive Management and Transition Management«, *Ecology and Society* 16(2), 9–31.