
Die Energiewende in Deutschland: Kontroversen, Chancen und Herausforderungen

VORWORT VON CLAUDIA KEMFERT UND WEERT CANZLER*

Die Energiewende ist eines der größten Projekte, das Deutschland sich je vorgenommen hat. Um die Klimaziele in Deutschland gemäß der Vereinbarung des Pariser Klimaabkommens zu erfüllen, muss das Energiesystem komplett dekarbonisiert werden. Der jüngst verabschiedete Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung sieht erstmals für die einzelnen Sektoren Ziele vor. Beispielsweise muss im Verkehr schon bis 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 40 bis 42 Prozent gegenüber 1990 erreicht werden (Bundesregierung 2016). Neben dem Gebäudeenergie- und dem Verkehrsbereich muss aber vor allem der Stromsektor einen erheblichen Beitrag zur Emissionsminderung leisten. Das Ziel ist, den Anteil erneuerbarer Energien (EE) an der Stromerzeugung von heute etwas über 30 Prozent bis zum Jahr 2050 auf mindestens 80 Prozent zu erhöhen. Bis zum Jahr 2022 werden außerdem die restlichen Atomkraftwerke, die vor allem im Süden Deutschlands im Einsatz sind, abgeschaltet. Schließlich geht es darum, die Energieeffizienz in allen Sektoren drastisch zu verbessern. Die Energiewende soll somit zu einer dauerhaft nachhaltigen Energieversorgung führen.

Es geht also um nichts weniger als den Komplettumbau des Energie- und Verkehrssystems. Das „alte“ Stromsystem, basierend in erster Linie auf Atom- und Kohle-Großkraftwerken, muss somit in ein neues, auf erneuerbaren Energien basierendes, dezentrales, intelligentes und dynamisches Energiesystem transformiert werden. Der Transportsektor muss auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sein, das erfordert vor allem alternative und nachhaltige Antriebsstoffe und -technologien. Überflüssiger Verkehr ist ebenso wie Feinstaub, Lärm und Staus zu vermeiden, mehr Effizienz ist im Verkehr vor allem durch eine intermodale Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsmittel und durch eine stärkere Förderung der aktiven Mobilität – also des nichtmotorisierten Verkehrs – zu erreichen. Das neue Energie- und Mobilitätssystem wird mit dem alten nicht mehr viel gemeinsam haben (Kemfert et al. 2015).

* Die Autorin und der Autor sind aktive Mitglieder im Leibniz-Forschungsverbund Energiewende (LVE), E-Mail: ckemfert@diw.de, weert.canzler@wzb.eu

Dass eine derartig tiefgreifende Transformation nicht ohne Kontroversen und Konflikte und auch kaum ohne temporäre technologische wie politische Ineffizienzen vonstattengehen kann, liegt auf der Hand. Einen umfassenden Masterplan gibt es nicht und kann es auch nicht geben. Hinzu kommt, dass die Pfadabhängigkeiten groß und die Bestrebungen entsprechend stark sind, das bisherige System möglichst lang aufrecht zu erhalten. Somit kommt es nahezu zwangsläufig dazu, dass in der Übergangszeit zwei Energiesysteme quasi parallel existieren, das auf fossilen Energien basierende und das auf erneuerbaren Energien. Dies schafft hohe Transaktionskosten und führt zu suboptimalen Lösungen. Neben Gewinnern gibt es auch Verlierer in diesem Strukturwandel. So werden teils aus Unsicherheit über die eigene Rolle im künftigen Energiesystem und teils gezielt Ängste geschürt. Es gibt erhebliche Vorbehalte gegen die Energiewende: Sie sei schlecht gemanagt, verursache vermeidbare Kosten, führe wegen fehlender grundlastfähiger Erzeugungskapazitäten zu Blackouts, zwingt zu mehr Stromimporten, erfülle die Klimaziele nicht, verschandle die Landschaften oder gefährde Menschen und Tiere.

Vor dem Hintergrund der tiefgreifenden technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungen der Energiewende und der damit zusammenhängenden Konflikte kreisen die zentralen Fragen darum, wie das Energiesystem der Zukunft aussieht und wie es organisiert werden kann und soll. Werden wir tatsächlich von Windmühlen und großen Stromtrassen umgeben sein? Oder werden wir die Energie zum großen Teil selbst produzieren und mittels digitaler Technik steuern und verwalten? Welche Speicher kommen zum Einsatz? Mit welchen (Elektro-)Mobilen werden wir unterwegs sein? Welchen Nutzen hat die Energiewende – und vor allem: Was kostet sie? Und wer muss die Kosten tragen? Welche Rahmenbedingungen, welche Steuerungsinstrumente werden heute und morgen benötigt? Kann sich ein wettbewerblicher Markt unter allen Akteuren entwickeln? Welchen Anteil haben die Bürgerinnen und Bürger an der Energiewende, wie kann Akzeptanz und Partizipation geschaffen und auf Dauer erhalten werden?

Mit all diesen Fragen beschäftigt sich die Wissenschaft aus ganz unterschiedlichen Disziplinen und Blickwinkeln. Im Vordergrund steht dabei, den Strukturwandel selbst sowie die Kosten und den Nutzen der Energiewende zu erforschen, die möglichen Instrumente und Rahmenbedingungen und deren Wirksamkeit für eine erfolgreiche Energiewende zu untersuchen sowie die Bedingungen ihrer Akzeptanz zu ergründen. Dabei geht es nicht darum, eine „richtige“ Antwort auf alle komplexen Fragen zu ermitteln, sondern mögliche Szenarien, Wirkungszusammenhänge und Entwicklungen zu erarbeiten und zu analysieren. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zwischen den WissenschaftlerInnen, aber auch mit Entscheidungsträgern, der Wirtschaft und der Zivilgesellschaft diskutiert.

Die Energiewende erfordert effektiven Klimaschutz

Das selbst gesteckte Zwischenziel einer Minderung der Treibhausgasemissionen von mindestens 40 Prozent bis zum Jahr 2020 wird Deutschland nicht erfüllen. Das hat im Wesentlichen zwei Gründe: Zum einen ist der Anteil von Kohlekraftwerken im Stromsystem noch immer hoch. Zum anderen wurde es bisher versäumt, die Emissionen durch eine Verkehrswende zu vermindern. Im Stromsektor gibt es derzeit Überkapazitäten beim Stromangebot, da noch immer ein hoher Anteil von Kohle- und Atomkraftwerken im Einsatz ist und zugleich Strom aus erneuerbaren Energien ins Netz gelangt. Durch die Überkapazitäten sinkt der Strompreis an der Börse, und billiger Strom wird exportiert. Das Überangebot und der niedrige Börsenpreis haben Folgen: Die Wirtschaftlichkeit von konventionellen Kraftwerken wird geschmälert. Aus diesem

Grund und weil die CO₂-Preise auf einem historisch niedrigen Niveau sind, sind Braunkohlekraftwerke derzeit die wirtschaftlichste Form der Stromherstellung. Daher ist der Einsatz von Kohlekraftwerken anteilig angestiegen und mit ihm die Treibhausgasemissionen. Somit rechnen sich die für die Energiewende notwendigen Geschäftsmodelle nicht, inklusive der notwendigen innovativen und flexiblen Gas- und Pumpspeicherkraftwerke. Alte, ineffiziente Kohlekraftwerke sorgen nicht nur für einen enormen Überschuss beim Stromangebot, sondern produzieren auch zu viele Treibhausgase. Zudem sind sie in der Kombination mit erneuerbaren Energien zu inflexibel. Kohlekraftwerke eignen sich nicht als Brückentechnologie für eine nachhaltige Energiewende. Gaskraftwerke verursachen nicht nur weniger Treibhausgase, überdies können sie oftmals flexibler eingesetzt werden als Kohlekraftwerke. Ein erster wesentlicher Schritt zur Erfüllung der Klimaziele und zur Transformation des Stromsystems wäre somit ein schrittweiser Ausstieg aus der Kohleverstromung.

Zudem verursacht der Verkehrssektor knapp 20 Prozent der Emissionen in Deutschland und sollte ebenso zur Minderung von Treibhausgas beitragen. Bisher ist dies nicht gelungen, im Verkehrssektor sind die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 fast gar nicht gesunken (UBA 2016). Zwar emittieren die Fahrzeuge durchschnittlich weniger Treibhausgase, doch ist insgesamt das Fahrzeugaufkommen gestiegen, sodass die Effizienzgewinne durch mehr Fahrleistung aufgehoben werden.

Die Energiewende erfordert auch eine Gebäudeenergie- und Verkehrswende

Die Energiewende wird ohne eine Gebäudeenergie- und Verkehrswende kaum möglich sein. Etwa ein Drittel der Gesamtenergie wird in Gebäuden verbraucht. Durch energetische Gebäudesanierung kann der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden. Zudem können Gebäude selbst zu Energieherstellern werden (Großklos und Schaede 2016). Mittels Solaranlagen auf dem Dach und Speichermedien im Keller können „ProsumerInnen“ Teil der Energiewende werden, nicht nur weil sie Energie herstellen und selbst verbrauchen, sondern auch – wenn sie miteinander verbunden werden –, weil sie die Netze entlasten können.

Ebenso wichtig ist die Verkehrswende. Strom aus erneuerbaren Energien kann für die Mobilität der Zukunft genutzt werden und die für die Energiewende so wichtigen Sektoren miteinander verzahnen („Sektorkopplung“) (Canzler und Knie 2013). Erneuerbarer-Energien-Strom kann nicht nur Bahnen und Elektrofahrzeuge antreiben, sondern auch zur Herstellung von Wasserstoff oder synthetischem Gas („Power-to-Gas“) genutzt werden, welche wiederum als Kraftstoffe verwendet werden können. Letztere wären auch als langfristige Speicher nutzbar und könnten so die Versorgungssicherheit eines auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystems deutlich erhöhen.

Nachhaltiger Verkehr bedeutet allerdings mehr als die Substitution der Energiegrundlage. Gleichzeitig ist es nötig, unnötigen Verkehr zu vermeiden und eine Optimierung des Verkehrs durch intermodale Verkehrsdienstleistungen zu fördern, indem die unterschiedlichen Verkehrsformen besser miteinander verknüpft werden. Es muss nicht zuletzt eine enge Verzahnung von öffentlichem Personennahverkehr und Angeboten des Carsharings sowie mit dem Fahrrad geben. In Ballungsräumen der Zukunft werden keine Autos gekauft, sondern Mobilitätsdienstleistungen.

Die politischen Rahmenbedingungen sind für eine nachhaltige Verkehrswende bisher allerdings wenig günstig. Noch immer setzt sich Deutschland nicht für strenge EU-Emissionsgrenzwerte

ein und hat mit der Dieselsteuererleichterung vor allem hohe Feinstaub- und Stickoxide in Ballungsräumen mit zu verantworten. Der Wille zu einem Umstieg hin zu einer nachhaltigen Mobilität ist nicht zu erkennen. Eine Kaufprämie für Elektroautos einzuführen, ohne die einseitige Bevorzugung des privaten Autos mit Verbrennungsmotor abzubauen, ist wenig erfolgversprechend. Die Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein für eine postfossile Mobilität, allerdings muss sie einhergehen mit einer Förderung sowohl neuer gemeinschaftlicher Nutzungsformen des Autos als auch der Förderung der nicht motorisierten Mobilität (Canzler und Knie 2016).

Die Energiewende erfordert einen breiten Mix an Instrumenten – Emissionshandel allein reicht nicht aus

In der Debatte um eine möglichst effiziente und zugleich effektive Ausgestaltung der politischen Rahmenbedingungen zur Erfüllung der Klimaziele und der Energiewende werden regelmäßige Forderungen laut, das klimapolitische Instrumentenportfolio zu verschlanken (Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung 2016). Anstelle vieler Instrumente zur Senkung der Emissionen und Förderung der Energiewende solle vor allem auf den Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) als Leitinstrument gesetzt werden. Auf den Einsatz komplementärer Instrumente solle weitgehend verzichtet werden, um dessen Effizienz nicht durch instrumentelle Wechselwirkungen zu beeinträchtigen. Die Vorschläge für eine instrumentelle Fokussierung auf den Emissionshandel beruhen auf der ökonomischen Theorie einer kosteneffizienten Minderung des Ausstoßes von Treibhausgas mittels marktbasierter Instrumente, in diesem Fall einer Mengensteuerung über handelbare Emissionsrechte. Aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage ergebe sich ein einheitlicher Preis für Emissionsrechte und damit ein – über verschiedene Vermeidungsoptionen hinweg – identischer finanzieller Anreiz zur Minderung des Treibhausgas-Ausstoßes. Durch einen einheitlichen Preis würden Unternehmen genauso wie Bürgerinnen und Bürger einen Anreiz erhalten, die jeweils günstigsten Maßnahmen zur Emissionsminderung zu ergreifen. Diese umfassen sowohl technische Innovationen, Investitionen in energieeffiziente Güter, Brennstoffwechsel als auch Verhaltensanpassungen. Weitere klimapolitische Instrumente in Form fiskalischer, ordnungsrechtlicher oder technologiespezifischer förderpolitischer Maßnahmen wären demnach ebenso verzichtbar wie eigenständige politische Zielvorgaben zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz. Die Forderung nach einer Konzentration auf den Emissionshandel erfolgt mit Verweis auf Inkonsistenzen und Verzerrungen, die durch den gleichzeitigen Einsatz verschiedener Instrumente entstünden und so zu erhöhten Kosten der klimapolitischen Zielerreichung führen würden. Zudem wird angemahnt, dass den Emissionshandel ergänzende Instrumente ökologisch letztendlich wirkungslos blieben, da sie angesichts der aufgrund der EU-ETS gesetzten Obergrenze zu keinen zusätzlichen Emissionsminderungen beitrügen. Diese vermeintliche Ineffektivität wird auf den sogenannten Wasserbetteffekt im Rahmen des europäischen Emissionshandels zurückgeführt: Sinken die nationalen CO₂-Emissionen, werden CO₂-Zertifikate frei, die von Emittenten in anderen EU-Staaten genutzt würden. Die Gesamtemissionen auf europäischer Ebene blieben somit von nationalen Minderungsaktivitäten unberührt.

Allerdings sieht die tatsächliche Situation des europäischen Emissionshandels anders aus. Zum einen wurden die nationalen Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien – und Gleiches gilt für die Ziele zur Steigerung der Energieeffizienz – bei der Festlegung des Caps im EU-ETS berücksichtigt. Die Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen, zum Ausbau der Erneuerbaren und zur Verbesserung der Energieeffizienz stehen mithin nicht unabhängig nebeneinander, sondern bilden eine aufeinander abgestimmte Trias. Angesichts der zuvor angedeuteten

Marktunvollkommenheiten können flankierende Ausbau- und Effizienzziele für erneuerbare Energien die Kosten für die Erreichung der Klimaschutzziele mindern helfen. Zum anderen ist mit Blick auf den derzeitigen – und auch für die nächsten Jahre prognostizierten – massiven Angebotsüberhang im CO₂-Zertifikatsmarkt nicht mit einem Wasserbetteffekt zu rechnen. In der gegenwärtigen und mittelfristig absehbaren Marktsituation würden frei werdende Zertifikate aufgrund verminderter Emissionen aus Deutschland nicht von anderen Emittenten innerhalb des EU-ETS genutzt, sondern den kumulierten Überschuss weiter erhöhen.

Ein Instrument reicht nicht aus, um alle Ziele des Klimaschutzes und der Transformation des Energiesystems zu erfüllen. Nicht nur weil beispielsweise die Sektoren Gebäude und Verkehr bisher gar nicht im Emissionshandel enthalten sind. Entscheidend ist, dass die bisherige Ausgestaltung des Emissionsrechtehandels mit hohen Zertifikatsüberschüssen, einem fehlenden Einigungswillen der EU-Länder zur Verbesserung des Instrumentariums und einer hohen Anfälligkeit für Lobbyeinfluss nicht die aus klimapolitischer Sicht notwendigen Signale gegeben hat. Ein CO₂-Preis von derzeit etwa sieben Euro pro Tonne ist ohne Zweifel viel zu niedrig, um ausreichende Signale zu senden. Allein für den Umbau des Stromsystems wären CO₂-Preise von 40 bis 60 Euro pro Tonne notwendig. Das Preissignal aus dem Emissionshandel alleine würde jedoch auch nicht ausreichen, um die Entwicklung innovativer Technologien und effizienter Produkte in den Sektoren Gebäudeenergie und Verkehr in einer gesamtwirtschaftlich effizienten Weise voranzutreiben.

Der Nutzen der Energiewende übersteigt die Kosten

Im Oktober jeden Jahres wird die EEG-Umlage für das kommende Jahr verkündet. Da diese und somit der Endkundenpreis für Stromkunden in den vergangenen Jahren immer gestiegen ist, wird dies als Anlass genommen, über die Kosten der Energiewende zu debattieren. Dabei ist die EEG-Umlage kein geeigneter Kostenindikator. Sie stellt die Summe der Vergütungszahlungen abzüglich des an der Börse vermarkteten Stroms dar. Da der Strompreis an der Börse in den vergangenen Jahren gesunken ist, steigt die EEG-Umlage überdurchschnittlich stark an. Denn die EEG-Umlage errechnet sich aus der Differenz von Fördersumme und Börsenerlös. Die EEG-Umlage steigt, obwohl die Kosten der neu zu installierenden erneuerbaren Energien immer weiter sinken. Auch steigt die EEG-Umlage, da immer mehr Industriekunden von der Zahlung ausgenommen werden. Zudem setzt sich der Endkundenpreis für StromverbraucherInnen aus weiteren Komponenten wie Netzentgelte, Stromsteuer, KWK-Umlage, Umlage für Kraftwerksreserven oder Haftungsumlage für Offshore-Windenergie zusammen. Bei einer Betrachtung der Kosten der Energiewende ist jedoch immer der Nutzen gegenüberzustellen und die Frage zu beantworten, was es kosten würde, die Energiewende nicht zu machen.

Der Strukturwandel ist mit dem Verlust alter und der Entstehung neuer Arbeitsplätze verbunden. Die Branche der erneuerbaren Energien zählt etwa 350 000 Beschäftigte, während in der Kohleindustrie noch ungefähr 70 000 Arbeitsplätze bestehen. Dort waren in den vergangenen Jahrzehnten noch über 600 000 Menschen beschäftigt. Allerdings sind die Beschäftigungseffekte der Energiewende ungleichzeitig und fallen zudem räumlich auseinander. Die Digitalisierung beispielsweise erlaubt Preisinformationen in Echtzeit, mit denen Erzeugung und Verbrauch optimiert werden können. Mehr erneuerbare Energien, dezentrale Energiesystemen, eine höhere Energieeffizienz und auch nachhaltige Mobilitätsdienstleistungen verlangen neue Kompetenzen und Qualifikationen von den Beschäftigten. Schließlich müssen in einer umfassenden Kostenbe-

trachtung der Energiewende auch die vermiedenen Treibhausgasemissionen – und damit auch vermiedene Schäden durch den Klimawandel – einbezogen werden.

Die Energiewende hat zur Folge, dass künftig mehr und mehr auf die Verstromung von Kohle verzichtet werden wird, was wiederum den Kohletagebau überflüssig macht. Die Umwelt- und Gesundheitsschäden durch den Tagebau werden so ebenso vermieden. Die Verbrennung von Kohle verursacht nicht nur klimagefährliche Treibhausgase, sondern auch andere umweltgiftige Emissionen wie Quecksilber und Feinstaub. Auch die Atomenergie verursacht hohe Kosten. Deutschland hat in den vergangenen Jahrzehnten hohe Subventionen für die Atomenergie bezahlt. England plant den Bau neuer Atomkraftwerke und will sie mit elf Cent je Kilowattstunde über einen Zeitraum von 35 Jahren und einem Inflationsausgleich subventionieren. Zudem verursachen der Rückbau der Atomanlagen und die Einlagerung des Atommülls hohe Kosten. All diese Kosten werden durch die Energiewende zukünftig vermieden. Hinzu kommt, dass weniger fossile Energien importiert werden müssen. In der Vergangenheit mussten dafür, je nach Rohstoffpreisen, bis zu elf Milliarden Euro pro Jahr aufgewendet werden (Öko-Institut 2015 und 2016).

Gleichwohl kann die Energiewende dem „Dilemma der Ungleichzeitigkeit“ nicht vollends entkommen. Denn kurz- bis mittelfristigen Investitionen stehen mittel- und langfristige Nutzen in Form von vermiedenen volkswirtschaftlichen Folgekosten, reduzierten Importen, regionaler Wertschöpfung und neuen Arbeitsplätze gegenüber. Doch wird dieses Ungleichzeitigkeitsproblem bereits absehbar gemildert, weil die Gestehungskosten von Strom aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen in den letzten Jahren dramatisch gesunken sind und aller Voraussicht nach weiter sinken werden.

100 Prozent erneuerbare Energien: Möglich, dezentral und bürgernah

Eine Energiewende-Welt mit 100 Prozent erneuerbarer Energien ist möglich, wenn ausreichende Kapazitäten aufgebaut werden und vielfältige Flexibilitätsoptionen für die Integration fluktuierend einspeisender Wind- und Solarenergieanlagen wirken können. Am Ende der Energiewende steht ein völlig neues, dezentrales, flexibles und dynamisches System. Versuchen wir weiterhin, das alte, auf konventionellen Großkraftwerken basierende System aufrecht zu erhalten, hat das seinen Preis. Es werden mehr Stromleitungen als in einem auf erneuerbaren Energien basierenden System benötigt, unrentable fossile Kraftwerke künstlich am Leben gehalten und mehr Geld für die Bereithaltung bezahlt werden müssen. Dass der „grundlastfähige“ Strom aus konventionellen Energien selbst bei deutlich höheren Anteilen an erneuerbaren Energien gar nicht gebraucht wird, zeigen die Länder Dänemark oder Portugal.

Die Grundidee eines dezentralen Transformationsweges besteht darin, die regenerativen Energien mit der regionalen Ökonomie zu koppeln. Die zugrundeliegende Hypothese lautet: Die dezentrale, regional organisierte Energieversorgung – mit den Stichworten „regionale Marktplätze“, „Bilanzkreisverantwortung vor Ort“, „Verantwortung der Prosumentinnen und Prosumenten“ – ist zwar anspruchsvoll und voraussetzungsreich, sie hat neben auch potenziell wirtschaftlichen Nutzen vor allem ökologische und soziale Vorteile. Sie erhöht die Wertschöpfung vor Ort, sie vermeidet einen übermäßigen und von den Bürgerinnen und Bürgern nicht gewollten Übertragungsnetzausbau, sie stärkt die regionale Identität, und sie sichert auf Dauer die Akzeptanz des notwendigen weiteren Ausbaus von Erzeugungsanlagen erneuerbarer Energien. Schließlich

kann die Resilienz des Gesamtsystems steigen, wenn im Störfall regionale Teilnetze sich „einfach abnabeln“ und damit Kettenreaktionen im übergeordneten Netz vermieden werden können.

Das Leitbild der dezentralen Energiewende ist dabei nicht die regionale Autarkie. Ziel ist vielmehr eine Balance von regionaler Eigenversorgung (inklusive eines entsprechenden regionalen Wertschöpfungsanteils für die ProsumentInnen, Netzbetreiber und Energiedienstleister) und einer kostengünstigen Energieversorgung auch für die NichtprosumentInnen. Im Zentrum steht ein robustes regionales ProsumentInnennetzwerk, ein Netzwerk aus dezentralen ProduzentInnen und VerbraucherInnen. Denn die Akzeptanz und Unterstützung der Bürgerinnen und Bürger ist eine notwendige Voraussetzung für einen Aus- und Neubau von Anlagen erneuerbarer Energien in einer Größenordnung in den nächsten Jahrzehnten, die ein Mehrfaches der bereits installierten Leistung von knapp 100 Gigawatt vorsieht. Nur gemeinsam mit ihnen kann es gelingen, auf Schuldächern, privaten Häusern, Fabrikhallen und Bauernhöfen genügend Energie aus Wind, Sonne und Biomasse umzuwandeln. Mittel- und langfristig soll es zudem möglich sein, auch die Haushalte der Kommunen, Unternehmen und BürgerInnen zu entlasten, weil die Rendite für erneuerbare Energien („Die Sonne schickt keine Rechnung“) nicht von externen Investoren eingefahren wird. Auch ist es in regionalen Kontexten vermutlich leichter, die bisher eher abstrakt gebliebene Sektorkopplung in (Micro) Smart Grids zu realisieren. Versorgung mit Nahwärme und verteilte Fahrzeugflotten – von Dienstwagenparks über Vermietfahrzeugflotten bis zu Busbahnhöfen – sind die ersten Kandidaten für eine Kopplung mit dem Stromnetz. Sie lassen sich dezentral effizienter managen als zentral. Auch die Beteiligung von NichtprosumentInnen wie MieterInnen und Dienstleistungsunternehmen ohne eigene Betriebsstätten ist über Mieterstrommodelle dezentral einfacher zu organisieren.

Ohne Zweifel ist der Umbauprozess von heutigen zentralen Versorgungsstrukturen zu dezentralen und von vielen Beteiligten beeinflussten Strukturen mit großen Unsicherheiten verbunden. Die sind nicht zu vermeiden, weil nur in einer „offenen Situation“ beziehungsweise in nichtregulierten „ökologischen Nischen“ die nötigen Innovationen entstehen können (Geels und Schot 2007). Technische Innovationen, auch disruptive technische Konzepte wie die *blockchain*, die bisherige Techniken obsolet werden lassen, brauchen „Ergebnisoffenheit“. Steile Lernkurven bei den Speichertechniken oder unbeherrschbare Datensicherheitsprobleme in Smart Grids beispielsweise können ganz neue Optionen eröffnen oder für sicher gehaltene Optionen verschließen. Dabei sind es nicht nur die Energietechniken im engeren Sinne, die mit dem Übergang zu den relativ jungen erneuerbaren Energien in teilweise hochdynamische Entwicklungsphasen geraten sind. Auch die Materialforschung und vor allem die Digitalisierung, also in erster Linie die Algorithmisierung von Steuerungs- und Kopplungsabläufen, die vorher entweder manuell oder gar nicht vorgenommen wurden, sind durch eine dynamische, teils schubweise beschleunigte Entwicklung gekennzeichnet. Die Digitalisierung steht für die Dialektik des gesamten Transformationsprozesses der Energiewende: Sie ist Treiber für mehr Volatilität und zugleich potenzielles Instrument, die Volatilität zu reduzieren (Canzler und Knie 2013).

Die Kommunen sind die zentralen Akteure zur Umsetzung der Energiewende. Energieeinsparungen von öffentlichen Gebäuden spielen dabei genauso eine Rolle wie beispielsweise die Förderung des ÖPNV oder von CO₂-freien Innenstädten durch Elektromobilität. Aber es geht ebenso um die Schaffung von Transparenz, um eine verbesserte Information, um Bildung oder auch die Ausbildung von EntscheidungsträgerInnen und BeraterInnen. Die wirtschaftlichen Chancen für Kommunen sind groß: Neben einer direkten Wertschöpfung und der Schaffung von neuen Arbeitsplätzen, die beispielsweise durch neue Unternehmen im Bereich der erneuerbaren

Energien entstehen, können ebenso indirekte Wertschöpfungseffekte generiert werden. Viele Kommunen beschließen ehrgeizige Klimaschutzpläne und treiben aus diesem Motiv die Energiewende aktiv und dezentral an.

Der Klimaschutz ist überhaupt der stärkste Treiber für die Transformation der Energiesysteme mit dem Ziel ihrer Dekarbonisierung weltweit. Das gilt nicht nur für den Stromsektor, sondern ebenso für die Wärme- beziehungsweise Kälteversorgung und für den Verkehr. Neben einem beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien sind außerdem erhebliche Anpassungen bei den Energienetzen sowie beim Energiemanagement und neue Geschäftsmodelle sowie soziale Innovationen erforderlich. Absehbar stehen zudem eine systemdienliche Integration von Speichern, eine breite Partizipation der Bevölkerung durch deliberative Verfahren sowie wirtschaftliche Beteiligungsmodelle auf der Agenda. Die Transformation der Energiesysteme ist nicht allein eine ambitionierte technische und wirtschaftliche Herausforderung. Sie braucht eine andauernde gesellschaftliche Unterstützung und eine verlässliche politische Regulierung. Vor diesem Hintergrund ist eine ambitionierte und die einzelwissenschaftliche Spezialisierung überschreitende Energieforschung wichtiger denn je. Denn es gilt, die verschiedenen Dimensionen der Energiewende in interdisziplinärer Weise zu bearbeiten und vor allem die nichtintendierten Effekte sowie die oft unterbelichteten gesellschaftlichen Folgen und Voraussetzungen zu untersuchen.

Literaturverzeichnis

- Bundesregierung (2016): Klimaschutzplan 2050. Berlin. www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf.
- Canzler, W. und A. Knie (2013): *Schlaue Netze. Wie die Energie- und Verkehrswende gelingt.* München.
- Canzler, W. und A. Knie (2016): *Mobility in the age of digital modernity: why the private car is losing its significance, intermodal transport is winning and why digitalisation is the key.* Applied Mobilities, 1. doi:10.1080/23800127.2016.1147781.
- Geels, F.W. und J. Schot (2007): *Typology of sociotechnical transition pathways.* Research Policy, 36 (3), 399–417. doi:10.1016/j.respol.2007.01.003.
- Großklos, M. und M. Schaede (2016): *Gebäude mit Energiegewinn. Schritt zum Energieüberschuss in Neubau und Bestand.* Stuttgart.
- Kemfert, C., P. Opitz, T. Traber und L. Handrich (2015): *Deep decarbonization in Germany a macro-analysis of economic and political challenges of the „Energiewende“ (Energy Transition).* Politikberatung kompakt 93/2015. Berlin.
- Öko-Institut (2015): *Die Umlage des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG). Hintergründe, Trends, Treiber und Perspektiven. Kurzstudie für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.* Berlin, 8. November 2015. www.oeko.de/oekodoc/2448/2015-605-de.pdf.
- Öko-Institut (2016): *Eingesparte Kosten für Energieimporte im Jahr 2015 und die Innovationseffekte durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.* Berlin. [https://lbsflibraries.blob.core.windows.net/sflibs/docs/default-source/news-\(pdf\)/2016/gutachten_%C3%B6ko-institut_eingesparte-energie-importkosten-und-innovationseffekte-erneuerbare-energien.pdf?sfvrsn=0](https://lbsflibraries.blob.core.windows.net/sflibs/docs/default-source/news-(pdf)/2016/gutachten_%C3%B6ko-institut_eingesparte-energie-importkosten-und-innovationseffekte-erneuerbare-energien.pdf?sfvrsn=0).
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2016): *Jahresgutachten 2016/2017. Zeit für Reformen.* Wiesbaden.

- Umweltbundesamt (2016): Übersicht zur Entwicklung der energiebedingten Emissionen und Brennstoffeinsätze in Deutschland 1990–2014. Berlin. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uebersicht_zur_entwicklung_der_energiebedingten_emissionen_und_brennstoffeinsaetze_in_deutschland_1990-2014_web.pdf.