

Wie wandelt die Wende? Wissenschaftsperspektiven auf Transformationsmechanismen der Energiewende

Dirk Scheer

1. Einleitung

Die Transformation des Energiesystems in Richtung von Klimaverträglichkeit und Nachhaltigkeit – in Deutschland gemeinhin als Energiewende bezeichnet – ist ein fundamentaler Veränderungsprozess im Sinne einer großen gesellschaftlichen Herausforderung, der als ›Gemeinschaftswerk‹ (Ethikkommission Sichere Energieversorgung 2011) aktiv und zielgerichtet zu gestalten ist. Der Transformationsprozess ist durch Komplexität, Unsicherheit und Ambiguität gekennzeichnet (Smil 2010; Araújo 2014; Scheer et al. 2014; Renn 2015). Die hohe Komplexität ergibt sich aus einer systemischen Verschränkung von Infrastruktur, Technik, Verhalten, Marktdesign und Politik. Große Unsicherheit besteht hinsichtlich technischer Entwicklungspotentiale, Entscheidungen von Akteuren und deren Zusammenspiel oder auch insgesamt der zukünftigen Entwicklungen innerhalb und außerhalb des Energiesystems. Ambiguität bezieht sich auf unterschiedliche Präferenzen von Bürger*innen sowie Entscheidungsträgern*innen ob des einzuschlagenden Weges für die Energiewende.

Im Mittelpunkt der Debatte um die konkrete Ausrichtung der Energiewende stehen oftmals (neue) Technologien, um die gesellschaftspolitisch teils heftigeren wird. Während die einen Technologien als wichtige Problemlösung propagieren, sind technische Optionen für andere gerade der Problemauslöser. Dabei ist die Liste der im Kontext der Energiewende diskutierten Technikoptionen sehr umfangreich (Dresselhaus und Thomas 2001; Sterner und Stadler 2014; Wietzel et al. 2015). Darunter fallen bspw., um nur eine kleine Auswahl zu nennen: flexibilisierte Kohle- und Gas-Kraftwerke, die Kohlendioxid-speicherung, Atomkraftwerke und Kernfusion, Erneuerbare Energien aus Wind, Solar, Biomasse und Geothermie, mechanische, (elektro-)chemische oder thermische Energiespeicher, Kraft-Wärme-Kopplung und Brennstoffzelle, Hochspannung-Gleichstrom-Leitung (HGÜ) und verlustarme Spannungswandler, Demand Side Management/Response oder auch ein digitalisiertes Smart Grid System. Neue Technologien im Kontext der Energiewende stehen mithin oftmals im Zentrum des gesellschaftlichen

Transformationsprozesses. Ihnen wird einerseits das Potential zugeschrieben, als wichtiger Baustein für ein Gelingen der Energiewende zu fungieren. Andererseits sind mit neuen Technologien auch Auswirkungen und Technikfolgen verbunden, die von verschiedenen Akteuren teils völlig unterschiedlich bewertet und eingeschätzt werden.

Die Aufgabenstellung der Transformation des Energiesystems kann allerdings nicht nur nach Maßgabe technisch-ökonomischer Machbarkeit bewertet werden. Ein ebenso wichtiger Faktor ist die gesellschaftliche Zustimmung und Akzeptanz der mit dem strukturellen Wandel des deutschen Energiesystems verbundenen Entscheidungen. Die angestrebte Energiewende wird ohne Zustimmung der Bevölkerung kaum umzusetzen sein, da die Rückversicherung durch den Bürger in einer pluralistisch-demokratischen Gesellschaft von zentraler Bedeutung ist und privates Entscheidungsverhalten die Transformation in erheblichem Maße mitbestimmt. Der Umbau des Energiesystems ist zudem eine Operation im laufenden Betrieb und muss unter Aufrechterhaltung eines möglichst vollständig funktions- und leistungsfähigen Systems vonstattengehen.

Die Energiewende als ein zielgerichteter Transformationsprozess mag von der Zielorientierung definiert sein. Doch was sind die relevanten Transformationsmechanismen? Wo gilt es anzusetzen für einen effizienten und effektiven Wandel in Richtung Klimaverträglichkeit und Nachhaltigkeit? Kurz: wie wandelt die Wende?

Die Wissenschaft – so die These des Beitrags – hat in ihren disziplinären Zugängen unterschiedliche Perspektiven auf relevante Wandlungsmechanismen im Transformationsprozess der Energiewende. Die Heterogenität wissenschaftlicher Perspektiven auf Wandlungsprozesse basieren auf bestimmten Akzentuierungen im Zusammenspiel von Technik, Politik, Ökonomie und Gesellschaft. Diese Akzentuierungen sind zunächst (disziplinär) erdachte und gemachte Zukunftsentwürfe auf dem Spektrum plausibler Zusammenhänge von Machbarkeit, Wünschbarkeit, Steuerbarkeit etc. und konkretisieren sich in je ausgesuchten Annahmen über einen spezifischen Technikeinsatz, Konsumentenverhalten oder auch Politikentscheidungen im soziotechnischen Energiesystem. Damit ist in der Wissenschaft bereits eine Pluralität von Erklärungsansätzen für Wandlungsmechanismen der Energiewende angelegt, in denen teils komplementäre, teils konfligierende Perspektiven mit jeweiligen Akteuren und ihren Perspektive verankert sind. Konfligierende Perspektiven werden dann in der Energiewende selbst platziert und hemmen u.U. die Energiewende. Diese unterschiedlichen Perspektiven am Beispiel der Komplexitätsdifferenzierung innerhalb verschiedener Energiesektoren aufzuzeigen, ist der Schwerpunkt des Beitrags. Dabei wird zunächst in Kapitel 2 die Komplexität der Energiesektoren differenziert. Kapitel 3 führt dann fünf wissenschaftliche Ansätze mit jeweils eigenen Perspektiven auf Veränderungsmechanismen der Energiewende auf. Der Beitrag endet in Kapitel 4 mit einem kurzen Fazit.

2. Das Energiesystem als komplexes soziotechnisches System

Das Energiesystem wird inzwischen als hochgradig verschränktes, soziotechnisches System mit sektorspezifischen und -übergreifenden Systemeigenheiten und -rationalitäten aufgefasst (Elzen et al. 2004; Büscher und Schippl 2013). Entlang der Bereitstellung, Verteilung und Nutzung von Energie in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität sind technische Komponenten mit sozialen und institutionellen Akteuren und ihren individuellen und kollektiven Entscheidungen aufs Engste verknüpft. In einem solchen Verständnis treffen technische, institutionelle, ökonomische und soziale Parameter aufeinander und stehen in engen Wechselbeziehungen. Das Energiesystem, wie es sich heute oder zukünftig (gewünscht) darstellt, ist damit eine Ausprägung dieses Zusammenspiels und zeichnet sich durch einen hohen Grad an Komplexität aus. Dabei ist es für das Wissen um Energiezukünfte herausfordernd, die genaue Ausgangskonfiguration (Randbedingungen) und die Wechselwirkungen der Einflussfaktoren (Wirkungszusammenhänge) intersubjektiv zu bestimmen. Betrachtet man das Energiesystem in seinen einzelnen Sektoren, so lassen sich sektorspezifische Komplexitätsunterschiede ausmachen, die im Folgenden in enger Anlehnung an Scheer & Nabitz (2019) kurz skizziert werden.

Der bislang erfolgreichste Sektor mit Blick auf eine gelingende Energiewende ist der Stromsektor. Dieser kann als verhältnismäßig moderat komplex bezeichnet werden. Die hemmenden strukturellen Herausforderungen zu Beginn des Umbaus um die Jahrtausendwende wurden als überschaubar eingestuft, gekennzeichnet durch »Leitungsbindung, Oligopole, Fehlallokationen und auf Beharrung, nicht Innovation setzende Rahmenbedingungen« (Hesse 2018: S. 17). Zugleich stellt sich die Technikkonfiguration in Verbindung mit sozialer Praxis von Strombereitstellung, Infrastruktur und Nutzung recht »wendegünstig« dar. Mit dem Fokus auf einen klimaverträglichen Umbau des Strommixes von fossilen auf erneuerbare Stromtechnologien (Wind, Photovoltaik, Biomasse) standen vor allem die anbieterseitigen Energietechnologien im Fokus – mittlerweile ergänzt um den Aspekt von kurz- und langfristigen Stromspeicherungsoptionen. Weitreichende, radikale Änderungen bei Infrastruktur und Endnutzungsgeräten sind für die Stromwende im Vergleich mit den anderen beiden Sektoren nicht notwendig. Hier stehen allenfalls inkrementelle Änderungen einer digitalen Ertüchtigung des Netzes oder aber eine deutliche, investitionsintensive Netzerweiterung über den Netzausbau für die Offshore-Anbindung auf der Transformationsagenda. Die Nutzungsphase in Haushalten und Industrie ist hingegen wenig von notwendigen strukturellen Änderungen betroffen. Vielmehr geht es nachfrageseitig darum, bestehende Hemmnisse für ein energieeffizientes Verhalten abzubauen. Im Vordergrund der Stromwende stehen damit eher institutionelle und gesellschaftliche Faktoren beim weiteren Ausbau von Erneuerbaren Energien. Darunter fallen Aspekte der politischen Rationalität, wie bspw. gesellschaftliche Partizipation und Vertrauen in

Planungs- und Entscheidungsprozessen, Verteilungswirkungen von Maßnahmen in der Energiepolitik und politische sowie rechtliche und verhaltensorientierte Barrieren.

Im Wärmesektor sind dagegen grundlegendere Transformationen notwendig. Hier reicht eine Substitution des Energieträgers mit Beibehaltung der etablierten Infrastrukturen sowie Endnutzungsgeräten nicht aus, da die Technikketten über den gesamten Sektor u.a. auf die fossilen Energieträger Öl und Gas ausgerichtet sind. Die avisierte Wärmewende über Strategien der Effizienz sowie der direkten und indirekten Elektrifizierung bedarf eines grundlegenden Umbaus – gerade auch auf der Verbraucherseite. Gefragt sind Neuinvestitionen in Wärmenetze, der Einbau von Wärmepumpen in Neu- und Altbauten sowie eine höhere Gebäudesanierungsrate und -tiefe. Sowohl auf der Nutzungs- als auch auf der Anbieterseite treten transformationshemmende Strukturmerkmale auf (Wesche et al. 2019). An prominenter Stelle ist hier das sog. Nutzer-Investor- bzw. Mieter-Vermieter-Dilemma zu nennen (Ástmarsson et al. 2013). Während Mieter*innen die Kosten von Energieverbräuchen tragen, haben sie kaum Einfluss auf Investitionen im Gebäudebereich. Ihnen bleibt alleine der Weg über Energieverbrauchseinsparungen. Für Vermieter*innen ist der Anreiz in Neuinvestitionen dagegen eher gering, da sie ökonomisch nicht von verbrauchsbedingten Effizienzsteigerungen profitieren. Dem/der Mieter*in ohne Einfluss steht der/die Vermieter*in ohne Anreiz gegenüber. Als weitere Hemmnisse (FVEE 2016) gelten hohe Technologiekosten für den Einsatz klimafreundlicher Wärmetechnik sowie geringe Transparenz und Bekanntheit von marktverfügbaren Produkten.

Der Verkehrssektor hingegen weist im Sektorenvergleich eine deutlich höhere Komplexität auf. Trotz aller politischen Ziele ist es bislang nicht gelungen, die Treibhausgasemissionen des Verkehrs unter das Niveau des Jahres 1990 zu senken, im Gegenteil: Die Emissionen steigen kontinuierlich an – auch wenn 2018 ein leichter Rückgang zu konstatieren ist (BMU 2019). Wirtschaftliche Verflechtungen in stark spezialisierten Wertschöpfungsketten mit entsprechendem Bedarf an hochqualifizierten, mobil einsetzbaren Arbeitskräften einerseits sowie Mobilität als Ausdruck von Freiheit, Individualität und Unabhängigkeit andererseits eröffnen das Spannungsfeld, in dem sich Diskussionen über die ›Verkehrswende‹ entzünden. Kurz: »Verkehr näht zusammen, was in zunehmend spezialisierten und fragmentierten gesellschaftlichen Teilsystemen raumzeitlich auseinander fällt.« (Hesse 2018: S. 17) Dabei sind mit der Verkehrswende mehrere Zielsetzungen verknüpft, die ein wesentlich breiteres Themenspektrum als nur den Klimaschutz umfassen. Im direkten Umfeld geht es um eine Erhöhung der Lebensqualität durch Senkung der Luftschadstoff- und Lärmbelastung ebenso wie durch eine stärker menschen- als autofokussierte Gestaltung von Straßen, Quartieren und Städten, aber auch um Zeitersparnis durch eine Entlastung der Infrastrukturen und Stauvermeidung. Gleichzeitig sollen die Mobilitätsbedürfnisse des Einzelnen

in gleichem Maße befriedigt werden können und der heute erreichte Mobilitätsgrad mindestens erhalten, wenn nicht sogar weiter erhöht werden, denn Mobilität wird mit individuellen Freiheitsgraden gleichgesetzt und diese sollen keinesfalls beschnitten werden.

3. Wissenschaftliche Perspektiven auf Wandlungsmechanismen der Energiewende

An welchen Stellschrauben des soziotechnischen Energiesystems gilt es anzusetzen, um die Energiewende zielgerichtet voranzutreiben? Sind für unterschiedliche Zielsetzungen auch jeweils spezifische Stellschrauben in den Blick zu nehmen? Was sind die entscheidenden Wandlungsmechanismen der Energiewende in komplexen sozio-technischen Systemen aus wissenschaftlicher Perspektive? Im Folgenden möchte ich die aus meiner Sicht wichtigsten Mechanismen aus wissenschaftlicher Perspektive darstellen. Diese sind Technikentwicklung und -substitution, ökonomische Optimierung, politische Interventionen sowie kollektives und individuelles Entscheiden. Die Darstellungen der einzelnen Perspektiven strukturieren sich nach der zu lösenden Frage im Kontext der Energiewende, des Problemverständnisses und der Problemlösung der Wissenschaftsperspektive sowie möglichen Ergebnissen und Vorschläge für Richtungen der Energiewende.

3.1 Technikeinsatz für Techniksubstitution

Für Ingenieur- und Technikwissenschaften (und beitragende Naturwissenschaften) geschieht ein entscheidender Wandlungsmechanismus über Technikentwicklung und Techniksubstitution. Die Förderung von Technikentwicklung und Technikdissemination sind eine zentrale wissenschaftliche Perspektive auf den Transformationsprozess der Energiewende. Die vornehmlich im ingenieur- und naturwissenschaftlichen Bereich angesiedelten Arbeiten innovieren neue Technologien und aufeinander abgestimmte Technologieketten vor dem Paradigma einer möglichst geringen Treibhausgasemission. Es lassen sich naturwissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Schwerpunkte unterscheiden. Während die Naturwissenschaften den Schwerpunkt von naturgesetzlichen Grundlagen von Wirkungszusammenhängen technischer Artefakte in den Vordergrund stellt, fragt die ingenieurwissenschaftliche Perspektive nach konkreter Form, Funktion und Aufbau technischer Artefakte. Die Entwicklung aufeinander abgestimmter Technikkomponenten geschieht also mit der Zielsetzung einer größtmöglichen Vermeidung von unerwünschten (ökologischen) Technikfolgen. Die prozedurale Vorgehensweise in solchen Entwicklungsprozessen geschieht auf Basis einer standardisierten Skalierung beginnend mit Laboruntersuchungen bis hin zur Fertigstellung groß-

technischen Demonstrationsanlagen. Das Paradigma der technischen Machbarkeit fokussiert auf einen Entwicklungs- und Konstruktionsprozess, der verschiedene Dimensionen berücksichtigt (Naefe und Luderich 2016). Dies beinhalten bspw. die Berechnung von technischen Komponenten und Bauteilen, die Sicherstellung von Praxistauglichkeit über standardisierte Experimente und Tests, die Gewährleistung von Fertigbarkeit und Montierbarkeit sowie der Verfügbarkeit von Ressourcen und schließlich die Prüfung von wirtschaftlicher Machbarkeit und Budgetierung.

Der herkömmliche Technikeinsatz im fossil ausgerichteten Energiesystem ist das Problem. Die traditionellen Technikketten, die in den Energiesektoren im Einsatz sind, basieren größtenteils auf fossilen Energieträgern mit entsprechend hohen Treibhausgasemissionen bei Energiebereitstellung- und -nutzung. Auch wenn über den mittlerweile großflächigen Einsatz von Erneuerbaren Energien im Stromsystem die Transformation auf den Weg gebracht wurde, steht der Wandel im Wärme- und Verkehrsbereich noch aus. Eine wichtige wissenschaftliche Perspektive basiert auf der Substitution von Technikketten. Ohne einen Austausch von technischen Artefakten mit hohem CO₂-Ausstoß durch Techniken mit geringen bzw. keinen CO₂-Emissionen im Betrieb ist eine den Klimazielen verpflichtete Energiewende nicht machbar. Der zentrale Wandlungsmechanismus ist entsprechend die Techniksubstitution.

3.2 Ökonomische Optimierung für kostenminimierte Gesamtlösungen

Aus einer wirtschaftswissenschaftlichen Perspektive geschieht der entscheidende Wandlungsmechanismus über eine ökonomische Optimierung für eine kostenminimierte Gesamtlösung im Energiesystem. Aus ökonomischer Sicht geht es darum, knappe Ressourcen möglichst so zu verteilen, dass die Gesellschaft den größten Nutzen davon hat. Gesamtgesellschaftlich wie einzelbetrieblich gilt es, kostenminimierte Lösungen unter gegebenen Randbedingungen zu finden, so dass sich in marktwirtschaftlich verfassten Gesellschaften das optimale Technikportfolio durchsetzt. Die ökonomische Optimierung betrachtet aus der Perspektive der Systemanalyse die bestmögliche Energiesystemkonfiguration unter Zuhilfenahme von Modell- und Simulationsrechnungen. Die ökonomische Perspektive geht in ihrem Problemverständnis und ihren Lösungsvorschlägen oftmals im Schulterschluss mit der Technikperspektive einher. Die Dekarbonisierung des Energiesystems bedarf neuer Energietechnologien, die anbieterseitig vor allem auf Erneuerbare Energien wie Windenergie und Photovoltaik setzen. Für die Energieumwandlung und -nutzung in den jeweiligen Verbrauchssektoren ergibt sich aber eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten der speziellen Technikkonfiguration. Darunter fallen bspw. Strategien der direkten Elektrifizierung über Wärmepumpen im Gebäudebereich, Elektromobilität im Verkehr oder auch der indirekten Elektrifizierung über sog. ›power-to-X-Ansätze‹ wie die Bereitstellung

von strombasierten Kraftstoffen oder die Brennstoffzelle – so die Technikperspektive. Entscheidend für eine zügige und weitreichende Dissemination von adäquaten Technikkonfigurationen als intelligentes Gesamtsystem von Komponenten der Energiebereitstellung, -infrastruktur und -endnutzungsgeräten ist dann aber das kostenminimierte Optimum – so die Perspektive der Ökonomie.

Im Zentrum dieser Perspektive stehen Ergebnisse auf Basis von Computersimulationen und Modellen. Die eingesetzten mathematischen Modelle variieren dabei vor dem Hintergrund der betrachteten Fragestellung. Diese lassen sich nach bestimmten Unterscheidungsmerkmalen wie Zeithorizont, betrachtete Systemperspektive oder Planungsaufgabe unterscheiden (Schönfelder et al. 2011). Weitverbreitet sind bspw. sog. ›Top-Down-‹ und ›Bottom-Up-Modelle‹ (Möst und Fichtner 2009). Erstere sind in der Regel makroökonomische Gleichgewichtsmodelle, die das Energiesystem hochaggregiert abbilden ohne Einzeltechnologien vorzusehen. Die errechneten Prozess- oder Energieträgersubstitutionen werden über Elastizitäten bestimmt, die meist auf empirischen Schätzungen aus der Vergangenheit abgeleitet werden. ›Bottom-Up-Modelle‹ betrachten das Energie- und Wirtschaftssystem dagegen aus einer technologischen und prozesstechnischen Perspektive. Bei diesen Modellen werden technische Anpassungs- und Substitutionsprozesse berechnet vor dem Hintergrund exogen vorgegebener Rahmensetzungen, so dass bspw. auch unterschiedliche politische Instrumente in ihrer Wirkungsweise verglichen werden können. Eine intersektorale Verflechtung wird dabei allerdings nicht betrachtet (sog. Partialmodelle). Die Perspektiven der ökonomischen Optimierung und technischen Machbarkeit werden oft wissenschaftlich zusammen betrachtet im Sinne einer techno-ökonomischen Bewertung. Daraus resultierende Modellergebnisse dienen als wichtige Informationshilfe für wirtschaftliche und politische Entscheidungsträger*innen.

3.3 Politische Steuerung über Interventionen

Ein wichtiger Wandlungsmechanismus wird durch politische Interventionen stimuliert. Ohne Intervention kein Wandel – so kann eine wissenschaftliche Perspektive auf zielorientierte Veränderungsmechanismen kurzgefasst werden. Das Entscheidende für die gelingende Transformation des Energiesystems sind politische Interventionen zur zielgerichteten Steuerung von Akteursverhalten zugunsten der Energiesystemtransformation. Akteursverhalten meint dabei die gesamte Bandbreite von Investitionsentscheidungen für die Bereitstellung erneuerbarer Energie über den Kauf von adäquaten Endverbrauchsgeräten (z.B. Wärmepumpe, Elektroauto), aber auch Verhaltensänderungen bspw. bei der Verkehrsträgerwahl oder Energieeffizienzmaßnahmen in Wirtschaft und Haushalt. Die Bedeutung politischer Interventionen wird durch die Festsetzung politischer Energiewendeziele bis zum Jahr 2050 untermauert.

Das Problemverständnis stellt strukturelle und systemimmanente Faktoren in den Vordergrund. Marktverhalten auf Anbieter- wie Nachfrageseite sind im herkömmlichen Energiesystem aufgrund gegebener (politischer) Rahmenbedingungen nicht an Klimaverträglichkeit ausgerichtet. Eine evolutive Transformation des Energiesystems in Richtung Nachhaltigkeit ist daher nicht zu erwarten. Der Hauptgrund für nicht-nachhaltiges Verhalten von Markakteuren liegt in der Externalisierung von Umweltkosten. Die Umweltkosten können dabei auf die Zukunft, auf die Allgemeinheit oder auf andere Länder externalisiert werden. In preissensitiven Bereichen wie bei Wirtschaft und Industrie herrschen entsprechend ungleiche Wettbewerbsbedingungen mit deutlichen Preis- und Kostennachteilen für Umweltinnovationen. Aber auch Verhalten in nicht preissensitiven Bereichen wie bestimmte Konsumententscheidungen sind nicht vorwiegend an Klimaverträglichkeit ausgerichtet.

Hier müssen politische Interventionen im Sinne einer Regulationsstruktur als Lösungsansatz fungieren. Das Spektrum politischer Steuerungsinterventionen deckt die gesamte Bandbreite von spezifischen Steuerungsstrategien (z.B. Kontextsteuerung) und politischen Instrumenten ab. Im Bereich des politischen Instrumentariums fallen darunter ordnungsrechtliche, ökonomische oder auch informatorische und edukatorische Instrumente. Eine exemplarische politische Intervention zugunsten des bislang erfolgreichsten Umbaus im Stromsektor war die Einführung der Einspeisevergütung im Rahmen des Erneuerbaren Energien Gesetzes. Dabei handelte es sich um das ökonomische Instrument einer Umlage. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch ist in Deutschland seit Einführung beständig gewachsen von ca. sechs Prozent im Jahr 2000 auf rund 42 Prozent im Jahr 2019 (UBA 2020). Derzeit werden als zentrale Interventionen für die weitere Energiesystemtransformation Leitinstrumente der Kosteninternalisierung diskutiert bzw. umgesetzt. Darunter fallen etwa die CO₂-Bepreisung, CO₂-Grenzwerte bspw. als Flottengrenzwert bei Fahrzeugen oder die CO₂-Abgabe auf fossile Energieträger wie Diesel, Heizöl und Gas. Aber auch ordnungsrechtliche Interventionen wie beim Kohleausstieg werden angewendet.

3.4 Kollektive Entscheidungen und Interaktionen im Institutionengefüge

Aus institutioneller Perspektive (z.B. Institutionenökonomie, Organisations- und Verwaltungswissenschaften) basiert ein wichtiger Wandlungsmechanismus auf dem Zustandekommen von kollektiven Entscheidungen unter den starken Randbedingungen von institutionellen Faktoren. Das Voranbringen der Energiewende über Techniksubstitution, ökonomische Optimierung oder politische Intervention ist eingebettet in die Interaktion von kollektiven Entscheidungen im Institutionengefüge von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft und ihren jeweiligen Organisationen und Interessen. Der Umbau in Richtung eines klimaverträglichen

Energiesystems über politische Maßnahmen berührt einerseits institutionelle Faktoren; andererseits wirken eben diese institutionellen Faktoren auf politische Interventionen ein. Institutionelle Faktoren werden hier verstanden als Regeln, »deren Einhaltung man von anderen erwarten kann und sich selbst zumuten lassen muss« (Mayntz und Scharpf 1995: S. 49). In Anlehnung an den von Renate Mayntz und Fritz Scharpf entwickelten akteurszentrierten Institutionalismus bilden institutionelle Faktoren zwar keine determinierende Wirkung, aber einen stimulierenden, ermöglichenden oder auch restringierenden Handlungskontext (ebd.: 43). Kollektive Entscheidungen sind dann Ergebnisse von intra- und interinstitutionellen Prozessen, die Effektivität und Effizienz von Entscheidungen zu Gunsten oder zu Ungunsten der Energiewende maßgeblich beeinflussen. Ohne auf eine nähere Differenzierung von Institution und Organisation in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen näher einzugehen, soll hier herausgestellt werden, dass der ermöglichende oder hinderliche Handlungskontext institutioneller Faktoren von vielen sozial- und gesellschaftswissenschaftlichen Ansätzen als entscheidend für Wohl oder Wehe der Energiewende betrachtet wird.

Dabei dominiert in den meisten Ansätzen die Akzentuierung von Institutionen als hinderliche bzw. restringierende Faktoren. Zielgerichtete Transformationen wie die Energiewende, die einen umfassenden soziotechnischen Umbau anstreben, treffen auf hinderliche institutionelle Faktoren, die status-quo bezogen auf die Aufrechterhaltung und Fortführung gegenwärtiger Regeln wirken. Dieser institutionelle Gegenwartsbezug manifestiert sich bspw. in rechtlichen Barrieren wie langwierigen Genehmigungsverfahren und divergierenden Zuständigkeiten – oder auch politischen Barrieren wie Kompetenzüberschneidungen, Fehlanpassungen zwischen den vertikalen Governance-Ebenen, Lobbyismus oder Zeitverzögerungen im Planungs- und Umsetzungsprozess. Eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Ansätzen rekurriert auf institutionelle Faktoren – entweder, um förderliche Wege für die Energiewende aufzuzeigen oder aber die restringierenden Aspekte zu betonen. Förderliche Akzentuierung sind bspw. Ansätze wie »windows of opportunity«, strategisches Nischenmanagement, das Konzept des Innovationssystems oder der Multi-Level-Perspektiven-Ansatz. Die Akzentuierung hinderlicher Faktoren wird bspw. im Konzept von Pfadabhängigkeiten in Wirtschaft, Organisation und Politik betont.

3.5 Individuelle Einstellung und Entscheidung als gesellschaftliche Faktoren

Ein weiterer wichtiger Wandlungsmechanismus liegt im Bereich individueller Einstellung und Entscheidung und spiegelt damit die große Bedeutung gesellschaftlicher Faktoren wider. Damit beschäftigen sich die Verhaltenswissenschaften wie z. B. Verhaltensbiologie, Psychologie, Kognitionswissenschaft und die Sozialwissen-

schaften. Diese Perspektive sieht eine erfolgreiche Energiewende letztlich getragen vom individuellen Verhalten von Bürgerinnen und Bürgern in ihren jeweiligen wirtschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Rollen. Dies betrifft etwa die Akzeptanzbereitschaft im Sinne von Zustimmung für bestimmte Technologien oder politische Maßnahmen. Des Weiteren muss die Energiewende über individuelles Konsum- und Investitionsverhalten getragen werden – sowohl auf Ebene von Haushalten als auch Unternehmen. In ihrer Rolle als politische Bürgerinnen und Bürger sind Zufriedenheit mit partizipativer Teilhabe an Entscheidungsprozessen, die Bewertung von Verteilungswirkungen von Maßnahmen der Energiewende und Vertrauen in Performanz und Fairness von Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft wichtige Größen gesellschaftlicher Resonanz.

Individuelles Entscheiden in Form von Konsum- und Investitionsverhalten ist für eine gelingende Transformation im Bereich Wärme und Verkehr von immenser Bedeutung. Der Stromsektor war deshalb erfolgreich, weil eine anbieterseitige Umstellung auf erneuerbare Energien ausreicht ohne die Notwendigkeit, flächendeckend Verbrauchsgeräte zu substituieren. Für den Wärme- und Verkehrssektor ist das eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung – hier sind individuelle Konsum- und Investitionsentscheidungen essentielle Erfolgsvariablen: Wärmedämmung in Gebäuden, Ersatz von Brennkesseln durch Wärmepumpen, energieeffiziente Nutzungsmuster technischer Geräte, Suffizienz orientiertes Verhalten in der Alltagspraxis, Kauf von Elektroautos gegenüber Verbrennern, multi- und intermodales Verkehrsverhalten, teilen statt besitzen usw. – all das wird letztlich von individuellen Entscheidungen getragen. Verschiedene wissenschaftliche Ansätze in den Sozial- und Gesellschaftswissenschaften versuchen dabei zum einen die Determinanten individuellen Verhaltens besser zu verstehen und zum anderen Strategien zu entwickeln, Energiewende kompatible Entscheidungen zu fördern. Darunter fällt bspw. der derzeit populäre ›Green-Nudging-Ansatz‹, der als verhaltensökonomische Methode versucht vorhersagbares, umweltorientiertes Verhalten und Entscheiden anzuregen.

Fazit

Die Energiewende in Deutschland hat bislang beeindruckende Erfolge vorzuzeigen, befindet sich gleichsam aber bestenfalls auf einem Drittel ihrer Wegstrecke. Hinter dem ›halb-gewendeten‹ Stromsektor stehen die Bereiche Wärme, Verkehr und Industrie noch deutlich zurück. Im vorliegenden Beitrag wurden diese Erfolgsunterschiede über eine Komplexitätsdifferenzierung zwischen den Sektoren im sozio-technischen Energiesystem hergeleitet. Im Rahmen dieser Komplexitätsdifferenzierung sind unterschiedliche Antriebsfedern für die Transformation am Werk. Aus wissenschaftlicher Perspektive wurden dabei fünf Perspektiven auf re-

relevante Wandlungsmechanismen identifiziert. Diese Erklärungsansätze akzentuieren jeweils auf eigene Weise das Zusammenspiel von Technik, Politik, Ökonomie und Gesellschaft und leiten daraus Wirkungszusammenhänge für Transformationsmechanismen ab. Die Heterogenität wissenschaftlicher Perspektiven ist dabei Vor- wie Nachteil zugleich. Einerseits verführt sie zu einer eher disziplinären Überbetonung der ein oder anderen Perspektive. Andererseits kann nur eine integrierte Betrachtung beim Forschungsgegenstand ›Transformation des Energiesystems‹ erklärungskräftig sein. Dabei muss in der Einzelanalyse identifiziert werden, welche Wandlungsmechanismen spezifisch wirkmächtig sind: Im Stromsektor war es die politische Intervention der Einspeisevergütung – im Verkehrssektor war es die politische Intervention der Umweltprämie für Elektroautos nicht. Die richtige Klaviatur unter und zwischen den fünf Wandlungsmechanismen zu spielen, wird zukünftig über den Erfolg der Energiewende entscheiden.

Literatur

- Ástmarsson, B./Jensen, P./Maslesa, E. (2013): »Sustainable Renovation of Residential Buildings and the Landlord/Tenant Dilemma«. In: *Energy Policy* 63, S. 355-362.
- Araújo, K. (2014): The Emerging Field of Energy Transitions: Progress, Challenges, and Opportunities. In: *Energy Research & Social Science*, 1, S. 112-121.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019): Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2019_broschuere_bf.pdf (zuletzt abgerufen 23.04.2020).
- Büscher, C./Schippel, J. (2013): »Die Transformation der Energieversorgung. Einheit und Differenz soziotechnischer Systeme«. In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 22, 2, S. 11-19. DOI: <https://doi.org/10.14512/tatup.22.2.11>
- Dresselhaus, M. S./Thomas, I. L. (2001): »Alternative Energy Technologies«. In: *Nature* 2001, 414, S. 332-337.
- Elzen, B./Geels, F./Green, K. (Hg) (2004): *System Innovation and the Transition to Sustainability. Theory, Evidence and Policy*. Edward Elgar: Cheltenham.
- Ethikkommission Sichere Energieversorgung (2011): *Deutschlands Energiewende. Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft*. Bundesregierung: Berlin.
- FVEE – ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (2016): *Forschung für die Wärmewende. Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2015*. Verfügbar unter www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2015/th2015.pdf (zuletzt abgerufen am 23.04.2020).

- Hesse, M. (2018): »Ein Rückblick auf die Zukunft. 25 Jahre Verkehrswende«. In: *Ökologisches Wirtschaften* 33, 2, S. 16-18
- Mayntz, R./Scharpf, F. W. (1995): »Der Ansatz des akteurzentrierten Institutionalismus«. In: Dies. (Hg.): *Gesellschaftliche Selbstregulung und politische Steuerung*. Campus: Frankfurt a.M./New York, S. 39-72.
- Möst, D./Fichtner, W. (2009): »Einführung zur Energiesystemanalyse«. In: D. Möst/W. Fichtner, W/A.Grunwald (Hg.): *Energiesystemanalyse*. Universitätsverlag Karlsruhe 2009, S. 11-31.
- Naefe, P.; Luderich, J. (2016): *Konstruktionsmethodik für die Praxis*. Wiesbaden: Springer Vieweg
- Renn, O. (Hg.) (2015): *Aspekte der Energiewende aus sozialwissenschaftlicher Perspektive. Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina/Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften: München.
- Smil, V. (2020): *Energy Transitions. History, Requirements, Prospects*. Santa Barbara: Praeger Publishers.
- Scheer, D./Nabitz, L. (2019): »Klimaverträgliche Energiezukünfte (nicht) wissen. Möglichkeiten und Grenzen von Zukunftswissen für die Energiewende«. In: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 29, 3, S. 14-19.
- Scheer, D./Konrad, W./Renn, O./Scheel, O. (2014): *Energiepolitik unter Strom. Alternativen der Stromerzeugung im Akzeptanztest*. Oekom: München.
- Sternier, M./Stadler, I. (2014): *Energiespeicher: Bedarf, Technologien, Integration*. Springer/Vieweg: Berlin/Heidelberg.
- Wesche, J./Negro, S./Dütschke, E./Raven, R./Hekkert, M. (2019): »Configurational Innovation Systems. Explaining the Slow German Heat Transition«. In: *Energy Research & Social Science* 52, S. 99-113
- Wietschel, M./Ullrich, S./Markewitz, P./Schulte, F./Genoese, F. (Hg.) (2015): *Ergietechnologien für die Zukunft. Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- UBA – Umweltbundesamt (2020): *Erneuerbare Energien in Zahlen*. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick> (zuletzt abgerufen am 22.04.2020).