
(De-)zentrale Energiewende – Wirklichkeiten, Widersprüche und Visionen

EDITORIAL VON WOLF-PETER SCHILL, WEERT CANZLER, LUDGER GAILING, LESLIE QUITZOW UND DIRK UHRLANDT*

Wolf-Peter Schill, DIW Berlin – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, E-Mail: wschill@diw.de

Weert Canzler, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), E-Mail: weert.canzler@wzb.eu

Ludger Gailing, Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung e.V. (IRS), E-Mail: ludger.gailing@leibniz-irs.de

Leslie Quitzow, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), leslie.QUITZOW@wzb.eu

Dirk Uhrlandt, Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP), E-Mail: uhrlandt@inp-greifswald.de

Die Energiewende in Deutschland stellt zentralisierte Strukturen der Gewinnung, Bereitstellung, Verteilung und Vermarktung von Energie zunehmend in Frage. Im Bereich der Elektrizität sind diese Veränderungen besonders augenscheinlich. Neue technologische, wirtschaftliche und soziale Entwicklungen fordern die alten Strukturen des Energiesystems heraus und ersetzen sie zum Teil schleichend, zum Teil radikal durch ein heterogenes Gefüge aus tendenziell dezentraleren, erneuerbaren Alternativen. So sind an die Stelle weniger großer Kraftwerke eine Vielzahl von Klein- und Kleinstanlagen getreten, die sich von konventionellen Großkraftwerken in ihren Eigentümerstrukturen, Betreibermodellen und Partizipationsmöglichkeiten teilweise grundlegend unterscheiden. Dadurch haben neue Akteure wie Genossenschaften oder Privathaushalte an Bedeutung gewonnen und sind mittlerweile fester Bestandteil des deutschen Strommarktes geworden. Gleichzeitig sind Fragen der erneuerbaren Energien vom technischen Spezialgebiet mancherorts zur identifikationsstiftenden Gemeinschaftsaufgabe avanciert. Dörfer und Regionen schließen sich zu „Bioenergiedörfern“ oder „100%-Erneuerbare-Energien-Regionen“ zusammen, und Städte aller Größenordnungen setzen sich ambitionierte Ziele zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Senkung der Treibhausgasemissionen. So entstehen neue Interessensgemeinschaften und neue räumliche Zusammenhänge mit veränderten Governancestrukturen.

Diese Veränderungen werfen wichtige Fragen nach der Verteilung von Kosten und Nutzen der Energiewende auf – in räumlicher, demografischer oder sonstiger Hinsicht –, die politisch ausgehandelt werden müssen. Auch die Gestaltung dieser Aushandlungsprozesse befindet sich im

* Die Autorin und die Autoren sind aktive Mitglieder im Leibniz-Forschungsverbund Energiewende (LVE), Weert Canzler ist außerdem der Sprecher des LVE, Leslie Quitzow die Koordinatorin.

Wandel. Teils werden sie in experimentellen Settings, nicht zuletzt in sogenannten „Reallaboren“ ausgetragen, in denen diverse Akteure – von der politischen Administration, der Wissenschaft, der organisierten Zivilgesellschaft bis hin zur Industrie – gemeinsam an der Entwicklung innovativer Energietechnologien arbeiten und deren Umsetzung erproben. Dabei entstehen neben technologischem Wissen, das in der Breite übertragbar gemacht werden soll, auch neue und teilweise dezentrale Geschäftsideen und -partnerschaften. Innovative Speichertechnologien und Fragen der Sektorkopplung (Strom, Wärme und Verkehr) stehen in diesen Reallaboren nicht selten im Mittelpunkt. Denn wie fluktuierender, erneuerbar erzeugter Strom effektiv und kostengünstig für eine spätere Nutzung in unterschiedlichen Anwendungsbereichen zwischengespeichert werden kann, ist noch eine der großen technischen Herausforderungen der Energiewende. Unter anderem werden Hoffnungen in die Umwandlung von Elektrizität in gasförmige Energieträger („Power-to-X“) gesetzt. Die Entwicklung und künftige Marktdurchdringung unterschiedlicher Speicher- und Flexibilitätsoptionen hängt auch davon ab, wie zentral beziehungsweise dezentral das zukünftige Energiesystem organisiert ist.

Diese Veränderungen werfen Fragen auf, die sich kaum aus einer einzigen wissenschaftlichen Perspektive heraus beantworten lassen. Der Leibniz-Forschungsverbund Energiewende untersucht daher die vielfältigen Schnittstellen zwischen den technisch-naturwissenschaftlichen Problemen der Energiewende und den damit einhergehenden gesellschaftlichen Fragen, die für die Gestaltung eines nachhaltigen, sozialverträglichen Energiesystems von entscheidender Bedeutung sind. Der Forschungsverbund ist ein Zusammenschluss von 21 Leibniz-Instituten, die aus unterschiedlichen Fachrichtungen zu vielfältigen Fragen der Energiewende arbeiten. Die Forschungsagenda des Verbunds widmet sich dabei drei Spannungsfeldern: zentralisierte versus dezentralisierte Energiesysteme, private versus öffentliche Interessen und globale versus lokale Wirkungen. Untersucht werden Konflikte und Engpässe innerhalb dieser Spannungsfelder, die den Transformationsprozess begleiten und die zugleich als Hemmnisse und als Chancen für die Energiewende verstanden werden können.

Die Konferenz „(De-)zentrale Energiewende – Wirklichkeiten, Widersprüche und Visionen“, die im Juni 2016 vom Leibniz-Forschungsverbund Energiewende in Berlin durchgeführt wurde, widmete sich dem ersten genannten Spannungsfeld, den zentralisierten und dezentralisierten Energiesystemen. Verschiedene Aspekte wurden in Keynotes und vier parallelen Sessions aus unterschiedlichen fachlichen Perspektiven diskutiert. Schwerpunkte bildeten dabei:

- a. die mögliche Koordinierung durch (de-)zentrale Märkte,
- b. Fragen einer sozialen Spaltung durch (De-)zentralisierung,
- c. die Rolle von Power-to-X-Technologien im (de-)zentralen Energiesystem und
- d. neue Räume und Landnutzungen im (de-)zentralen Energiesystem.

Dieses Vierteljahrsheft zur Wirtschaftsforschung enthält sieben ausgewählte Beiträge der Konferenz als eigenständige Artikel in voller Länge, die einem Review-Verfahren unterzogen worden sind. Dabei handelt es sich um die Beiträge von *Erik Gawel* und *Sebastian Strunz*, *Sören Messinger-Zimmer* und *Julia Zilles*, *Christian Schnülle et al.*, *Jörg Radtke*, *Robert Riechel*, *Andreas Röhring* sowie *Dorothee Keppeler*. Sie werden im Folgenden jeweils kurz vorgestellt, gegliedert nach den oben genannten Schwerpunkten.

Im Sinne einer Konferenzdokumentation wird ergänzend eine kurze Zusammenfassung der Keynotes und aller weiterer Vorträge der Konferenz gegeben. Zur besseren Orientierung sind dabei nur die Namen der Vortragenden kursiv gesetzt, die einen Artikel im Heft verfasst haben.¹ Abschließend wird ein ebenfalls im Heft enthaltener synthetisierender Überblicksartikel vorgestellt, der gemeinsam von WissenschaftlerInnen aus sechs Mitgliedsinstituten des Forschungsverbunds erstellt wurde.

I **Keynotes der Konferenz**

Im Rahmen einer Keynote zum Themenbereich „Koordination durch (de-)zentrale Märkte?“ setzte sich Karsten Neuhoff, Leiter der Abteilung Klimapolitik am DIW Berlin, mit der marktlichen und regulatorischen Gestaltung eines (de-)zentralen Energiesystems auseinander. Demnach bezieht sich die oft als dezentral wahrgenommene Energiewende vor allem auf die Erzeugung und den Verbrauch erneuerbaren Stroms in Privathaushalten. Für eine umfassende Umsetzung der Energiewende wäre jedoch eine wesentlich weitergehende Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere erneuerbarer Elektrizität, in allen Sektoren erforderlich, vor allem im Verkehrsbereich. Für diese Herausforderung reiche in Anbetracht des schier unermesslichen Volumens der langfristig erforderlichen erneuerbaren Stromerzeugung eine rein dezentral ausgerichtete Energiewende, die sich beispielsweise auf die Stromerzeugung aus kleinteiligen Aufdach-Photovoltaikanlagen zum Eigenverbrauch fokussiert, nicht aus. In Bezug auf das Strommarktdesign führte Neuhoff aus, dass kurzfristigen Strommärkten (*short-term markets*) eine Schlüsselrolle bei der Marktintegration erneuerbarer Energien zukomme. Dabei müsse das Marktdesign sowohl den kurzfristigen Flexibilitätserfordernissen von Windkraft- und Photovoltaikanlagen Rechnung tragen als auch den besonderen Randbedingungen konventioneller Kraftwerke, beispielsweise in Hinblick auf die Anfahrkosten einzelner Kraftwerksblöcke. Dies ließe sich durch ein Auktionsdesign mit mehrteiligen Geboten (*multi-part bids*) realisieren. Weiterhin erfordere die Systemintegration erneuerbarer Energien nicht nur den Ausbau der Stromnetze, sondern auch ein effektives Engpassmanagement. Auch Reservekapazitäten, die zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit erforderlich sind, sollten systemweit geteilt werden, um die Gesamtkosten möglichst gering zu halten. Anhand des Beispiels der Stromerzeugung aus Windkraft in Deutschland und Polen zeigte Neuhoff abschließend exemplarisch auf, dass ein überregionaler Austausch von Strommengen aufgrund der unterschiedlichen Einspeiseprofile große Synergieeffekte im Gesamtsystem – und damit auch große Kosteneinsparungen – mit sich bringen kann. In Bezug auf das Spannungsverhältnis zentraler und dezentraler Strukturen gelte es daher, eine Balance zu finden zwischen derartigen Systemvorteilen einer großräumigen Verteilung der Anlagen, der vorrangigen Nutzung guter Standorte mit möglichst hohen Volllaststunden und den möglichen Vorteilen eher lokal ausgerichteter Versorgungsstrukturen, die sich beispielsweise in einer höheren BürgerInnenbeteiligung und geringeren Netzausbauerfordernissen ausdrücken können.

In seiner Keynote zum Themenbereich „Soziale Spaltung durch (De-)zentralisierung?“ argumentierte Klaus Eisenack, Leiter des Fachgebiets Ressourcenökonomie an der Humboldt-Universität zu Berlin, dass eine allgemeine Gegenüberstellung von zentralisierter versus dezentralisierter

¹ Die Vortragsfolien der Beiträge sind auf der Homepage des Leibniz-Forschungsverbunds Energiewende zum Download erhältlich: www.leibniz-energie-wende.de/publikationen-downloads/konferenz2016/.

Energiewende irreführend sei. Stattdessen bestünden vielfältige Abhängigkeiten zwischen den unterschiedlichen Komponenten des Energiesystems und ihren jeweiligen Bezugsebenen. Die Koordinierung dieser Interdependenzen sei entscheidend für die Erreichung des energiepolitischen Zieldreiecks aus Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit sowie für Fragen der Verteilung. Merkmale wie Eigentumsstrukturen und Verfügungsrechte, Erzeugungsformen und Anlagentypen, Marktdesign und Preisgestaltung sowie Regulierung und Förderinstrumente ließen sich jeweils sowohl zentralisiert als auch dezentralisiert gestalten. Über deren kausale Zusammenhänge seien sich jedoch viele Akteurinnen und Akteure nicht im Klaren. Zur Veranschaulichung spezifischer Interdependenzen betrachtete Eisenack unter anderem den Zusammenhang zwischen Stromnetz- und Speicherausbau. Diese seien nicht zwangsläufig Alternativen, sondern könnten sich je nach Standort sowohl ergänzen als auch behindern. Im Fall von Netzengpässen zu Spitzenlastzeiten könnten sie sich *vor* Netzengpässen zum Beispiel ergänzen, *hinter* Netzengpässen jedoch eher behindern. Außerdem setzte er sich mit der Rolle des EU-Emissionshandelssystems (EU-ETS) als möglichen Anreiz für nationale Klimaschutzambitionen auseinander. Ein zentralisiertes Instrument wie das EU-ETS sei unter bestimmten Bedingungen in der Lage, die dezentralisierten, heterogenen Klimapolitiken der EU-Mitgliedsstaaten insgesamt zu höheren CO₂-Einsparungen anzureizen. Dies sei dann der Fall, wenn CO₂ zu einem Mindestpreis gehandelt würde, wenn Transfers von wohlhabenden an weniger wohlhabende Mitgliedsstaaten flössen, um finanzielle Belastungen auszugleichen, und wenn die jeweiligen nationalen Klimapolitiken strategisch ausgerichtet seien. Schließlich zog Eisenack das Fazit, dass nur die Koexistenz zentralisierter und dezentralisierter Dimensionen im Energiesystem zu einem ausgewogenen Verhältnis des energiepolitischen Zieldreiecks führen könne. Er betonte jedoch, dass die Frage nach der Verteilung von Nutzen und Belastungen damit weiterhin offen und ungelöst sei.

In einer weiteren Keynote zur „Rolle von Power-to-X-Technologien im (de-)zentralen Energiesystem“ besprach Henrik Junge, Abteilungsleiter am Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT), inwiefern in Zukunft katalytisch unterstützte Prozesse und katalytisch aktive Materialien zur Energiegewinnung und -speicherung mit zentraler beziehungsweise dezentraler Nutzung einsetzbar werden könnten. Er ging dabei insbesondere auf den Komplex der Wasserstofftechnik ein, in dem unter anderem fotokatalytische Prozesse für die Wasser- beziehungsweise CO₂-Spaltung erforscht werden. In diesen der Photovoltaik ähnlichen Prozessen wird Solarenergie genutzt, um neben elektrischer Energie auch Wasserstoff durch Wasserspaltung herzustellen. Junge beschrieb jüngste Erfolge bei der Suche nach effektiven katalytischen Materialien beziehungsweise geeigneten Halbleiterstrukturen für fotoelektrochemische Zellen zur solaren Wasserspaltung. Er erläuterte ebenso, wie sich fotokatalytische Prozesse zur CO₂-Spaltung unter Nutzung von Sonnenlicht einsetzen ließen. Ausgehend von einer Übersicht aktuell diskutierter Methoden der Wasserstoffspeicherung ging Junge außerdem auf aktuelle Forschungen zur Speicherung in Form von flüssigen chemischen Verbindungen ein. Ein CO₂-neutraler Zyklus unter Bildung beziehungsweise Dissoziation von Ameisensäure ließe sich beispielsweise unter Nutzung von Eisenkatalysatoren erreichen. Einen weiteren Schwerpunkt seiner Diskussion setzte Junge auf die katalytisch unterstützte Synthese von Methanol unter Nutzung von Wasserstoff. Methanol könne sowohl als Ausgangsstoff für die chemische Industrie als auch als hochreiner Kraftstoff Bedeutung erlangen. Damit bilde Methanol auch einen vorteilhaften chemischen Energiespeicher, der sich aus regenerativ erzeugtem Wasserstoff herstellen ließe. Insgesamt trügen moderne chemisch-katalytische Prozesse zu einer stärkeren Verkopplung der chemischen Industrie und der Energiegewinnung beziehungsweise -speicherung bei. Entsprechende Verfahren würden als

großskalige Prozesse eher zentral in Kopplung etwa mit Kraftwerken oder der Zementindustrie effizient umsetzbar sein, aber auch ein Potenzial für den dezentralen Einsatz bieten.

2 Koordinierung durch (de-)zentrale Märkte?

Die Themenkomplexe der Keynotes wurden in vier parallelen Sessions vertieft, in denen jeweils fünf bis sechs Vorträge diskutiert wurden. Die Session unter dem Titel „Koordinierung durch (de-)zentrale Märkte?“ thematisierte das Verhältnis von (de-)zentral organisiertem Energiesystem und Marktorganisation. Dabei ging es zunächst um die Frage, was unter einem lokalen oder regionalen Markt überhaupt zu verstehen ist und welche Ansätze zur Dezentralisierung von Marktbeziehungen existieren. Zudem wurden mögliche Vorteile dezentraler Ansätze beleuchtet, beispielsweise im Hinblick auf Innovation oder Resilienz.

Erik Gawel und *Sebastian Strunz* (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ) analysierten die (de-)zentrale Energiepolitik aus fiskalföderalistischer Perspektive (siehe Beitrag in diesem Heft). Demnach stehe die Energiewendepolitik im Mehrebenensystem in unterschiedlicher Hinsicht unter Druck: einerseits durch die Forderung der Mainstream-Ökonomie nach stärkerer Europäisierung zur Verbesserung der Gesamteffizienz; andererseits durch Kritik an bisherigen Zentralisierungsbestrebungen, beispielsweise bei den Ausschreibungen für erneuerbare Stromerzeugungsanlagen, die insbesondere aus dem Bereich der Bürgerenergiebewegung komme. Es ergebe sich ein Trade-off: Auf der einen Seite könnte eine großräumliche, marktgetriebene Optimierung der Energieversorgung Effizienzgewinne durch Skaleneffekte erzielen, auf der anderen Seite könnten dezentrale „Laboratorien“ Innovationen hervorbringen und heterogenen Präferenzen besser gerecht werden. Ein derartiges Spannungsverhältnis bestehe in der Energiepolitik sowohl zwischen der europäischen Ebene und den einzelnen Mitgliedsstaaten als auch bei der Bund-Länder-Koordination innerhalb Deutschlands. Insgesamt sei das nationale Projekt Energiewende aus politökonomischer wie auch aus normativer Sicht gut begründbar. Ein Trade-off zwischen zentraler Koordination und dezentraler Innovation bleibe aber bestehen. Eine verbesserte Bund-Länder-Koordination sei wünschenswert, einer allgemeinen zentralen „Planungseuphorie“ wird jedoch eine Absage erteilt.

Andere Konferenzvorträge zum Themenkomplex „Koordinierung durch (de-)zentrale Märkte“, die nicht in diesem Vierteljahrsheft enthalten sind, beschäftigten sich mit verschiedenen Ansätzen der Dezentralisierung von Marktbeziehungen sowie Fragen der Resilienz und Versorgungssicherheit. Tilmann Rave (ifo-Institut) gab in seinem Vortrag einen Überblick über aktuelle Vorschläge für regionalisierte Strommärkte innerhalb Deutschlands.² Als Vergleichsmaßstab diente ein *First-best*-Strommarktdesign mit Knotenpreisen, in dem der Großhandelsmarkt und das Stromnetz integriert behandelt werden. In einem solchen zentralen System, das von einem unabhängigen Systembetreiber (*Independent System Operator*, ISO) gesteuert werden müsste, wäre bei vermaschten Netzstrukturen ein möglichst großer geografischer Rahmen sinnvoll. Die politökonomische Umsetzbarkeit eines solchen Marktdesigns in Deutschland beziehungsweise Zentraleuropa sei jedoch umstritten. Zu den typischen *Second-best*-Lösungen auf europäischer Ebene gehörten Preiszonen (*market splitting*), Flexibilisierungsmechanismen auf Kurzfristmärkten

2 Vergleiche hierzu auch Kapitel 3 des Beitrags von Weert Canzler et al. im selben Heft.

ten, eine großräumige Koordination des netzbedingten *redispatches* von Kraftwerken und der Ausbau der Stromnetze. Eine radikale Alternative hierzu würde ein regionales Direktstromsystem darstellen, in dem regionale Akteure Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien errichten und betreiben und den Strom regional vermarkten. Zugrunde liegende Annahme wäre hier eine stabile Präferenz der Verbraucherinnen und Verbraucher für lokalen beziehungsweise regionalen Strom. Zwischen dieser radikalen Alternative und dem *First-best-Design* gäbe es zudem mehrere Zwischenformen. So würde im sogenannten Flexmarkt der bestehende Großhandelsmarkt um regionale Märkte für zu definierende Flexibilitätsanbieter ergänzt. Alternativ könnten regionale Märkte auf die Konvergenz von technischen (Flexibilitäts-)Eigenschaften regionaler Smart Grids und des Marktdesigns setzen. Ein drittes mögliches Modell wäre die Schaffung zeitlich und räumlich differenzierter, variabler Netzentgelte mit engpassabhängigen Komponenten auf Verteilnetzebene. Rave zog das Fazit, dass sich die Definition des Begriffs „Region“ in den unterschiedlichen Vorschlägen stark unterscheidet. Zudem konstatierte er ein Spannungsverhältnis zwischen dem Erhalt möglichst geringer Systemkosten und dem Aufbau dezentraler beziehungsweise regionaler (Doppel-)Strukturen.

Pablo Thier (Universität Bremen) präsentierte eine mit Bernd Giese, Christian Schnülle und Arnim von Gleich erstellte Analyse zur Resilienz von Energiesystemen im Angesicht bekannter und unbekannter sowie schleichender und abrupter Veränderungen. Thier stellte die Frage, wie sich regionale Energiesysteme so gestalten lassen, dass die Versorgungssicherheit auch unter Stress aufrechterhalten werden kann. Dabei griff er in Anlehnung an die Biologie auf das Leitbild einer „zellulären Struktur“ mit subsidiärer Steuerung zurück: Was auf der untersten Ebene geregelt werden kann, solle primär auch dort geregelt werden. Als Beispiel diente eine Fallstudie aus Wolfhagen in Hessen. Dort wurde demonstriert, dass eine Erhöhung der Eigenversorgung durch dezentrale Ausgleichsmaßnahmen die Belastung des vorgelagerten (Hochspannungs-)Netzes verringern könne, wobei Kostenvergleiche nicht angestellt wurden. Die derzeitige Strommarktgestaltung gebe jedoch keine Anreize für einen kleinräumigen Ausgleich von Stromnachfrage und erneuerbarer Stromerzeugung. Um das Prinzip der Subsidiarität auch im Strommarkt zu implementieren, müssten daher Freiheitsgrade in der lokalen Vermarktung von erneuerbarem Strom geschaffen werden. Dies ließe sich beispielsweise über eine Befreiung des regionalen („zellulären“) Stroms von Übertragungsnetzentgelten erreichen, oder – unter der Annahme entsprechender KonsumentInnenpräferenzen – über einen regionalen Qualitätswettbewerb der Anbieter.

Patricia Schulz (Energieavantgarde Anhalt) argumentierte, dass sich die Strommärkte durch die Dezentralisierung im Rahmen der Energiewende von *commodity markets* hin zu *matching markets* entwickelten. Diese Entwicklung werde durch digitale Infrastrukturen vorangetrieben. Am Beispiel des Living labs „Energieavantgarde Anhalt“, in dem die Bedingungen für dezentrale, regionale Energiemärkte experimentell untersucht werden, zeigte sie, wie neue Möglichkeiten für dezentrale, digitale Marktplätze geschaffen werden könnten. Für die Entstehung dieser Märkte würde auch die Dezentralisierung von Eigentumsverhältnissen an der Energieinfrastruktur eine Rolle spielen.

Uwe Klann (Institut für ZukunftsEnergieSysteme, IZES) setzte sich auf Basis einer mit Juri Horst und Alexander Zipp erstellten Studie mit der Frage auseinander, ob eine erzeugungsseitige Versorgungssicherheit beim weiteren Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien im Stromsystem allein durch *Energy-only*-Märkte bereitgestellt werden könnte – unabhängig von einer eher zentral oder dezentral ausgerichteten Marktstruktur. Dabei verwarf er die These, dass eine preis-

elastische Nachfrage sowie investitionsstimulierende Knappheitspreise automatisch zu einem effizienten Versorgungssicherheitsniveau führten. Ein Grund dafür sei, dass die Versorgungssicherheit den Charakter eines öffentlichen Guts habe: Ihre Nutzung sei weder rivalisierend, noch könnten NutzerInnen von ihr ausgeschlossen werden. Somit führe eine marktbierte Bereitstellung von Versorgungssicherheit grundsätzlich zu einem zu geringen Bereitstellungsniveau. Zudem argumentierte er, dass Preisspitzen den erforderlichen Kraftwerkszubau nicht induzieren könnten, da sie sehr unsicher und die Vorlaufzeiten bei Kraftwerksinvestitionen zudem zu lang seien. Demnach müsse die erzeugungsseitige Versorgungssicherheit über andere Mechanismen bereitgestellt werden. In diesem Zusammenhang müsse auch das gesellschaftlich erwünschte Niveau von Versorgungssicherheit diskutiert und definiert werden.

3 Soziale Spaltung durch (De-)zentralisierung?

Die Session mit dem Titel „Soziale Spaltung durch (De-)zentralisierung?“ lenkte den Blick auf mögliche negative soziale Folgen eines (de-)zentralisierten Energiesystems und damit zusammenhängende Fragen der Akzeptanz. Zentrales Augenmerk lag hierbei auf verschiedenen Formen des Engagements von Bürgerinnen und Bürgern, die sich im Zuge der Energiewende etabliert haben – sowohl in Form von Teilhabe als auch von Protest.

Sören Messinger-Zimmer und *Julia Zilles* (Universität Göttingen) arbeiteten anhand von Fallstudien zu Konflikten um Stromtrassen und Windenergieanlagen heraus, dass Proteste der Bürgerinnen und Bürger unter anderem zu einer „Misstrauensgesellschaft“ führten, in der die Auseinandersetzung um einzelne Energieprojekte schnell auf die Ebene eines Konfliktes um das „Gemeinwohl“ gehoben würden (siehe Beitrag in diesem Heft). Die Autorin und der Autor führten dies unter anderem zurück auf eine Zunahme „postdemokratischer Ungleichzeitigkeiten“. Da jedoch auch organisierte BürgerInnengruppen im öffentlichen Diskurs als Lobbyorganisationen betrachtet würden, entstehe dadurch das Dilemma, dass keinem der beteiligten Akteure eine Gemeinwohlvertretung zugetraut werde.

Auch die anderen Konferenzvorträge dieses Themenfelds, die nicht in diesem Vierteljahrsheft enthalten sind, beschäftigten sich mit verschiedenen Formen des Engagements von Bürgerinnen und Bürgern, die sich im Zuge der Energiewende etabliert haben. Katherina Grashof (Institut für ZukunftsEnergieSysteme, IZES) untersuchte die Möglichkeiten und Besonderheiten der Bürgerenergie und stellt dabei die regionale Wertschöpfung in den Mittelpunkt. Durch bürgerschaftliches Engagement werde soziales Kapital gestärkt und die Akzeptanz der Energiewende gesteigert. Insbesondere seien die Mitglieder von Bürgerenergiegenossenschaften in ihrer Mehrheit auch mit niedrigeren Renditen als konventionelle Investoren zufrieden. Daraus ergäben sich erhebliche Chancen, privates Kapital für dezentrale Energieprojekte zu mobilisieren. Vor diesem Hintergrund sei es umso unverständlicher, dass die Bundesregierung mit den jüngsten Novellen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) die Handlungsspielräume der Bürgerenergie drastisch eingeschränkt hat.

Mithilfe einer Modellierung zeigte Charlotte Senkpiel (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, ISE), basierend auf einer gemeinsamen Arbeit mit Shivenes Shammugam, Wolfgang Biener und Wolfgang Hauser, wie eine auf einen hohen Selbstversorgungsanteil zielende Erneuerbare-Energien-Region (EE-Region) energiewirtschaftlich bewertet werden kann. Auf der

empirischen Basis von mehr als 150 EE-Regionen, die bilanziell eine Erneuerbaren-Quote bis zu 100 Prozent bereits erreicht haben, kam sie zu dem Schluss, dass ein weiterer Ausbau von EE-Regionen unter den gegebenen Bedingungen zwar nicht kostenoptimal sei, jedoch zu sonstigen positiven Effekten führen könnte. Insbesondere führe der Ausbau von EE-Regionen vor Ort zu einer signifikant höheren Akzeptanz für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und zu einem deutlich höheren Bewusstsein für Energieeffizienz.

Primär theoretisch behandelte Tobias Hallensleben (Zeppelin-Universität Friedrichshafen) das Phänomen der „lernenden Region“. Im Kern konzeptualisierte er regionale Lernprozesse als Aufbau sozialen Kapitals. Dafür böten regionale Energievorhaben mit einer hohen kommunalen und bürgerschaftlichen Beteiligung gute Voraussetzungen. Kritisch wurde in der Diskussion angemerkt, dass es allerdings auch der institutionellen und vor allem der finanziellen Voraussetzungen in den Kommunen bedürfe, um sich an Projekten im Bereich erneuerbarer Energien überhaupt beteiligen zu können. Das „Lernen“ sei also an Voraussetzungen gebunden, die nicht unbedingt gegeben seien.

Ralf Ott (Technische Universität Berlin) stellte aus institutionenökonomischer Sicht die Optionen der Beteiligung von BürgerInnen und der öffentlichen Hand an Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien vor. Empirisch stützte er sich dabei auf verschiedene eigene Befragungen zu Windenergieprojekten. Er kam zu dem Ergebnis, dass ein Ausgleich gefunden werden müsse zwischen den Zielen der energiewirtschaftlichen Effizienz des Ausbaus und der Akzeptanz neuer Anlagen, wodurch generell die Transaktionskosten niedrig gehalten werden könnten. Er plädierte für eine Begrenzung der wirtschaftlichen Vorteile externer Investoren über entsprechende Kompensationsregeln.

Schließlich beschäftigte sich Swantje Gähns (Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, IÖW, Berlin) mit den Motiven und der Bereitschaft von ProsumentInnen, in zusätzliche Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien zu investieren. Dabei konstatierte sie am empirischen Fall der Photovoltaik-Aufdachanlagen vielfältige Motive. Neben der zeitweise lukrativen Förderung über die Einspeisetarife seien auch der Wunsch nach Unabhängigkeit und die Unterstützung der Ziele einer Dekarbonisierung des Energiesystems wichtige Beweggründe, in eigene Photovoltaikanlagen zu investieren. Gähns erwartet zudem einen Investitionsschub mit der weiteren Kostenreduktion bei Heimspeichern. Photovoltaik-Speicherkombinationen könnten systemdienlich wirken, wenn sie helfen, die sonnenbedingte Mittagsspitze der Stromeinspeisung aus Photovoltaikanlagen abzufachen und damit die Verteilnetze zu entlasten.

Insgesamt zeigte die abschließende Diskussion zum Themenfeld, dass die Chancen der materiellen Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern an der Energiewende zwar beträchtlich sind, aber zugleich auch die Gefahren der Exklusion von Teilen der Bevölkerung steigen. Neue Spaltungslinien sind absehbar. Damit einhergehen können politische Folgen – etwa in Form von Protesten –, wie bereits im Anwachsen von Anti-Windkraft-Initiativen oder auch in einer radikalen energiepolitischen Positionierung der AfD zu erkennen ist. Gleichzeitig bestand weitgehende Einigkeit darin, dass die Bereitschaft privater Haushalte, in eigene Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien zu investieren, sowohl im volkswirtschaftlichen Interesse liegt als auch aus Gründen der Akzeptanzsicherung für die Energiewende eher unterstützt statt ausgebremst werden sollte.

4 **Welche Rolle spielen Power-to-X-Technologien im (de-)zentralen Energiesystem?**

Die dritte Session widmete sich der Rolle von Power-to-X-Technologien im (de-)zentralen Energiesystem. Ausgehend vom Potenzial der Wasserstofftechnik wurde insbesondere die Herstellung flüssiger Kraftstoffe aus regenerativem Wasserstoff und CO₂ diskutiert. Ausgangspunkt war die These, dass flüssige Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen die nahezu einzige Option für einen CO₂-neutralen Luftverkehr bilden und dass sie zudem für einen CO₂-neutralen Straßenverkehr eine attraktive Alternative zu Batterie- oder Wasserstoffspeichern darstellen, solange diese noch nicht die gewünschte Kapazität und Speicherdichte liefern können.

Christian Schnülle (Universität Bremen) und seine Kollegen *Arnim von Gleich*, *Stefan Gößling-Reisemann*, *Kasper Kisjes*, *Igor Nikolic*, *Torben Stührmann*, und *Pablo Thier* analysierten die künftige Entwicklung synthetischer erneuerbarer Kraftstoffe (Power-to-Fuel) mithilfe eines agentenbasierten Modells (siehe Beitrag in diesem Heft). Demnach seien erneuerbare Kraftstoffe heute aufgrund von Umwandlungsverlusten, hohen Investitionskosten und ungünstigen rechtlichen Rahmenbedingungen um ein Vielfaches teurer als fossile Kraftstoffe – für die Erreichung weitreichender Klimaschutzziele seien sie jedoch unverzichtbar. Der präsentierten Modellierung zufolge könnte synthetischen, strombasierten Kraftstoffen in den nächsten 20 Jahren der Sprung aus kleinen Nischenmärkten in die großen Energiemärkte gelingen, wenn dies durch entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen und finanzielle Fördermittel angereizt würde.

Andere Konferenzvorträge dieses Themenbereichs, die nicht in diesem Vierteljahrsheft enthalten sind, widmeten sich weiteren Aspekten von Power-to-X-Technologien im (de-)zentralen Energiesystem. Andreas Jess (Universität Bayreuth) veranschaulichte Ergebnisse einer Zusammenarbeit mit Christoph Kern, Ferdinand Pöhlmann und Stefan Rößler zum Pfad der Wasserstofferzeugung aus Elektrolyse, der anschließenden Reformierung von CO₂ zu Synthesegas und schließlich der Fischer-Tropsch-Synthese flüssiger Kraftstoffe. Entsprechende Verfahren lehnen sich an etablierte Techniken an und stehen schon heute im Prototypenstadium zur Verfügung, wobei bereits Wirkungsgrade nahe der physikalischen Grenzen erreicht werden. Zusätzliche energetische Vorteile würden sich ergeben, wenn die Abwärme der thermischen Prozesse nachgenutzt werden könnte.

Einer ähnlichen Thematik gingen Julia Michaelis (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, ISI) und Christoph Brunner nach, indem sie den wirtschaftlichen Einsatz von Power-to-Gas-Anlagen zur Dekarbonisierung des Gassektors analysierten. Michaelis verglich verschiedene sowohl zentrale als auch dezentrale Einsatzkonzepte und kam zu dem Schluss, dass ein wirtschaftlicher Einsatz von Power-to-Gas-Anlagen nur mit einer hohen Auslastung der Anlagen und einer deutlichen Kostenreduktion beziehungsweise Erhöhung der Gesamteffizienz gegenüber heutigen Pilotanlagen möglich sei. Darüber hinaus sei ein zentraler Einsatz grundsätzlich günstiger.

Matthias Stark (Universität Leipzig) ging der Frage nach, in welchem Umfang Speicherkapazitäten zukünftig überhaupt erforderlich werden. Er diskutierte den voraussichtlichen Bedarf an konventionellen Kraftwerken und an Speicherkapazität in Deutschland im Jahr 2030 auf Basis einer dynamischen Simulation des Kraftwerkparcs bei Annahme autarker Versorgung auf verschiedenen regionalen Ebenen. Demnach seien nennenswerte Speicherkapazitäten von 1 bis 2 TWh nur bei Szenarien autarker Versorgung einzelner Regionen oder Bundesländer erforderlich.

Gustav Sievers (Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald, INP) verdeutlichte die besonderen Anforderungen an Materialien für die Power-to-X-Technologien. Er zeigte zum einen auf, welche Potenziale neue aktive Materialien für die Erhöhung der Effizienz und damit für die Kostenreduktion einzelner Techniken bieten könnten. Zum anderen ging er auf die spezifischen Herausforderungen der Generierung stabiler aktiver Materialien und ihrer kostengünstigen Herstellung ein. Letztere begründeten laut Sievers zum Teil lange und aufwändige Entwicklungsphasen.

Schließlich ging Olaf Bender vom Deutschen Institut für Normung (DIN) auf die Notwendigkeiten der Normung und Standardisierung der Power-to-X-Technologien ein. Er begründete die Vorteile angemessener Standards für den Ausbau unter anderem mit der Akzeptanz insbesondere neuer Technologien.

Die Diskussion zeigte insgesamt, dass Power-to-X-Technologien in vielerlei Hinsicht noch problematisch sind, ihre Entwicklung jedoch trotzdem voranschreitet und als sinnvoll erachtet wird. Obwohl die existierenden Techniken und Verfahren meist noch nicht wirtschaftlich sind, wird ihnen ein hohes Potenzial sowohl für die Zukunft der Energiespeicherung als auch für die Sektorkopplung zugesprochen.

5 Neue Räume und Landnutzungen im (de-)zentralen Energiesystem

Die Session zum Themenbereich „Neue Räume und Landnutzungen im (de-)zentralen Energiesystem?“ befasste sich sowohl mit Fragen des Landnutzungswandels und der Entstehung neuer Energielandschaften als auch mit der sozialen Konstituierung dezentraler Handlungsräume wie Bioenergieregionen, 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen sowie weiteren kommunalen und bürgerschaftlichen Initiativen. Im Zentrum stand die Frage, inwiefern durch diese Formen des kooperativen Handelns regionale Entwicklungschancen erschlossen, Teilhabe gesichert, Akzeptanz verbessert und Konflikte vermieden werden können. Insbesondere ging es dabei um mögliche Strategien der Stadt- und Regionalentwicklung. Um diesen Fragen nachzugehen, wurden in der Session diverse regionale und lokale Beispiele vorgestellt, deren Herausforderungen benannt und Handlungsstrategien aufgezeigt.

Jörg Radtke (Universität Siegen) vertrat die These, dass eine zunehmende Hybridisierung, das heißt eine wechselseitige Durchdringung von Technik und Gesellschaft, stattfindet (siehe Beitrag in diesem Heft). Das Zusammentreffen von Raum, Technik und Gesellschaft führe zu der Notwendigkeit sozialer Aushandlungsprozesse, die auch das Verhältnis zwischen dezentralen und zentralen Lösungen in der Energiewende betreffen. Hierzu stellte Radtke ein Modell vor, das Verflechtungen und Verflechtungsfälle im soziopolitischen System anhand dreier empirischer Beispiele darstellte: Netzausbau, Windenergie und Bürgerenergie. Bezogen auf den Netzausbau konstatierte er eine „Partizipationsverflechtungsfalle“, im Falle des Windenergieausbaus eine „Ausbauverflechtungsfalle“ und im Falle der Bürgerenergie eine „Engagementverflechtungsfalle“. Letztere komme zustande, da die Ressourcen der Akteurinnen und Akteure nicht ausreichen, um den Anforderungen an Umsetzungs-, Organisations- und Betriebsprozesse gerecht zu werden. Insgesamt stellte Radtke damit in Frage, dass horizontale und partizipative Governancearrangements adäquate Problemlösungen für diese Verflechtungsfälle im Mehrebenensystem darstellen.

Robert Riechel (Deutsches Institut für Urbanistik, Difu) verortete seine Analyse des Spannungsfeldes zentraler und dezentraler Lösungen auf der Ebene des Quartiers, einem Handlungsraum zwischen Gebäude und Gesamtstadt (siehe Beitrag in diesem Heft). Inhaltlich fokussierte er dabei auf das in der empirischen Forschung zur deutschen Energiewende oftmals vernachlässigte Handlungsfeld der Wärmewende. Mit der Erarbeitung energetischer Quartierskonzepte unter kommunaler Federführung würden neue Handlungsräume konstituiert, die jeweils einen organisatorischen Rahmen für die Abstimmung von Strategien und Maßnahmen einzelner Akteure wie Energieversorger, Wohnungsunternehmen und EinzeleigentümerInnen bildeten. Die Betrachtung der Quartiersebene sei aber nicht nur im Hinblick auf die Koordination einzelner Akteure relevant, sondern auch mit Blick auf den gesamtstädtischen Bezugsrahmen. Riechel arbeitete beispielsweise heraus, dass sich bei der Analyse der Quartierskonzepte Hemmnisse und Inkonsistenzen bezüglich der Erreichung kommunaler Klimaschutzziele zeigten. Quartierskonzepte würden aber auch strategisch als Lern- und Experimentierräume für die Beantwortung gesamtstädtisch relevanter Fragestellungen genutzt.

Auch *Andreas Röhring* (Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung, IRS) wählte eine handlungsräumliche Perspektive auf die Energiewende (siehe Beitrag in diesem Heft). Demnach führe die deutsche Energiewende zur Herausbildung einer Vielzahl neuer dezentraler Handlungsräume erneuerbarer Energien wie Bioenergieregionen, 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen und andere Modellregionen. Diese Handlungsräume wiesen räumlich und sozial eine große Vielfalt auf. Sie seien durch unterschiedliche regionale Rahmenbedingungen und Akteursstrukturen geprägt und auf verschiedene Zielstellungen und Handlungsfelder gerichtet. Zudem seien sie in unterschiedlichem Maße institutionalisiert und wiesen ein breites Spektrum an Governancestrukturen auf. Sie knüpften teilweise an politisch-administrative Räume an, hätten aber auch zur Herausbildung neuer Raumkonstrukte geführt. Die Konstituierung dieser neuen Handlungsräume der Energiewende würde oft durch zeitlich begrenzte monetäre und ideelle staatliche Anreize ausgelöst, sei jedoch weitgehend von der Initiative dezentraler Akteurinnen und Akteure abhängig. Einem pfadtheoretischen Ansatz zufolge sei die Konstituierung neuer Handlungsräume eine intendierte Pfadkreation, deren längerfristige Stabilisierung durch die Herausbildung von neuen Abhängigkeiten erfolge.

Dorothee Keppler (Technische Universität Berlin) thematisierte mit der interregionalen Zusammenarbeit einen spezifischen und – in Forschung und Praxis – oftmals vernachlässigten Aspekt regionaler Handlungsräume der Energiewende (siehe Beitrag in diesem Heft). Sie kritisierte, dass im Mittelpunkt wissenschaftlicher Multi-Level-Governanceanalysen bisher die Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen den formalen Verwaltungs- und Politikebenen der Bundesrepublik stünden, nicht aber informelle Handlungsräume, die oftmals quer zu politisch-administrativen Handlungsräumen lägen. Damit die informellen Energiewende-Netzwerke innerhalb der Multi-Level-Governance der Energiewende an Einfluss gewinnen könnten, wäre es erforderlich, dass sie verstärkt als politische Akteure in Erscheinung träten. Mangelnde interregionale Kooperation verhindere dies allerdings. Den potenziellen Vorteilen einer solchen Zusammenarbeit stünden zahlreiche Hemmnisse entgegen.

In einem weiteren Konferenzvortrag, der nicht in diesem Vierteljahrsheft enthalten ist, bot Felix Ekardt (Universität Rostock) einen Überblick über Problemlagen, integrierte Konzepte und landnutzungsbezogene Umweltprobleme. Dabei lenkte er den Blick auf Probleme, die mit einer zunehmenden Reduzierung der Umweltdebatte auf Energie- und Klimafragen verbunden seien. Andere Umweltprobleme, wie Biodiversitätsschwund, Bodendegradation oder gestörte Stickstoff-

und Phosphor-Kreisläufe, seien existenziell für die Menschheit viel schwieriger rein technisch zu lösen als die Klimaproblematik und gleichzeitig extrem stark ineinander verflochten. Ekardt diskutierte hierfür integrierte Lösungsinstrumente, die insbesondere auf europäischer Ebene anzusetzen hätten.

6 Fazit der Konferenz

Zusammen gaben die Beiträge zu den vier thematischen Sessions einen detailreichen Überblick über die Vielfalt an wissenschaftlichen Fragen, die zurzeit in den jeweiligen Fachdiskussionen gestellt werden, sowie wichtige Anknüpfungspunkte für die Betrachtung der wesentlichen Überschneidungen zwischen den verschiedenen Debatten, die aufgrund der zunehmenden Dezentralisierung des Energiesystems zwar geführt, im wissenschaftlichen Diskurs aber noch weitgehend getrennt behandelt werden. Die Konferenzbeiträge und die anschließenden Diskussionen verdeutlichten zum Beispiel, welche Wichtigkeit der Weiterentwicklung des Strommarktes für die langfristige und effiziente Integration von erneuerbaren Energien zukommt, machten aber gleichzeitig auf die Bedeutung von sozialer Teilhabe und lokalem bürgerschaftlichem Engagement für regionale Entwicklung und Akzeptanz aufmerksam. Mehrere Beiträge stellten fest, dass diese sich nur zum Teil durch ökonomische Anreize begründen lassen. Stattdessen bilden sich – oft aufgrund gemeinsamer ideeller Werte – neue regionale Zusammenhänge heraus, die sich zurzeit weder politisch-administrativ noch in der Marktorganisation widerspiegeln. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass dieses soziale Kapital die Akzeptanz der Energiewende steigert und hilft, lokale Konflikte zu vermeiden. Die räumliche Organisation des zukünftigen Energiesystems wird auch für die Durchsetzung bestimmter technischer Speichertechniken und -verfahren ausschlaggebend sein. Obwohl diese zurzeit oftmals noch nicht wirtschaftlich sind, wird ihnen eine entscheidende Rolle bei der künftigen Gestaltung eines flexiblen Energiesystems zugeschrieben.

Diese Aspekte werden auch in einem Überblicksartikel von *Weert Canzler, Ludger Gailing, Philipp Grundmann, Wolf-Peter Schill, Dirk Uhrlandt* und *Tilmann Rave* diskutiert, der zentrale Fragen der Konferenz aufgreift (siehe letzten Beitrag im selben Heft). Dieser Beitrag wurde von Wissenschaftlern aus sechs verschiedenen Mitgliedsinstituten des Leibniz-Forschungsverbunds Energiewende gemeinsam verfasst und synthetisiert damit auch einige bisherige Arbeiten des Forschungsverbunds. Aus unterschiedlichen disziplinären Perspektiven setzt er sich mit Vor- und Nachteilen eines dezentralisierten Energiesystems auseinander und ist daher als Beitrag zur laufenden interdisziplinären Diskussion zwischen technisch-naturwissenschaftlicher, ökonomischer, raumwissenschaftlicher, agrarwissenschaftlicher und soziologischer Forschung zu verstehen. Im Fokus stehen dabei zunächst technologische Ansätze der Systemintegration fluktuierender erneuerbarer Energien wie der Ausbau der Stromübertragungs- und -verteilnetze, verschiedene Formen der Energiespeicherung und die zeitliche Anpassung des „Stromverbrauchs“. Hier werde die Gestaltung und der Betrieb der Verteilnetze in Form von „Smart Grids“ zukünftig mehr dezentrale Komponenten aufweisen, aber gleichzeitig würden auch eher zentrale Optionen wie der überregionale Stromtransport und die Einspeisung aus Großanlagen (zum Beispiel Offshore-Windanlagen) an Bedeutung gewinnen. Welche technischen Optionen sich durchsetzen werden, sei in starkem Maße von der Gestaltung politischer und ökonomischer Rahmenbedingungen abhängig, die jeweils mit Leitvorstellungen über das Verhältnis von Zentralität und Dezentralität einhergehen. In einem zweiten Abschnitt erörtert der Beitrag dieses Verhältnis aus

Sicht der ökonomischen Effizienz. Er diskutiert den Nutzen zentralisierter Lösungen für den räumlichen und zeitlichen Ausgleich zwischen Stromerzeugung und -verbrauch und plädiert – vor dem Hintergrund liberalisierter Märkte – für eine weitere Integration des europäischen Strommarkts. Beides könne zu deutlichen Effizienzgewinnen führen. Gleichzeitig diskutiert der Beitrag ökonomische Argumente und verschiedene Optionen für räumlich differenzierte Strommärkte. Begründet werden könnte dies mit entsprechenden Präferenzen der KonsumentInnen, lokalen Kosten- und Nutzeneffekten sowie möglichen Innovationsvorteilen. Während über die räumlich differenzierte Gestaltung von Strompreisen noch diskutiert wird, ist die räumlich differenzierte Verteilung von Erzeugungsanlagen längst Realität. Aufgrund der „Raumblindheit“ nationaler Förderpolitiken – allen voran des EEG – seien raumplanerische Akteure bislang mit Fragen von Flächenaneignung, Abstandsregelungen oder Landschaftsschutz weitgehend alleine gelassen worden. Eine systematische Verknüpfung nationaler, regionaler und lokaler Handlungsebenen und Governanceinstrumente fehle; sie sei aber notwendig, um von der vorherrschenden „Trial-and-error“-Strategie für die Allokation von Anlagen abzukommen. Ähnlich bedenklich seien die zunehmenden Konkurrenzen zwischen lokaler biomassebasierter Energiebereitstellung und anderen Landnutzungen. Hier sei eine Tendenz zur Zentralisierung der Biomasseproduktion zu beobachten, die jedoch nicht zu den Effizienzgewinnen führe, die nötig wären, um den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu minimieren. Durch seine multidisziplinäre Sichtweise gibt dieser im Rahmen des Leibniz-Forschungsverbunds Energiewende entstandene Artikel einen differenzierten Überblick über verschiedene Facetten zentralisierter und dezentralisierter Strukturen, die sich im zukünftigen Energiesystem ankündigen. Er schärft so den Blick für Interdependenzen und zeigt auf, dass Vorteile in einer Dimension durchaus Nachteile in einer anderen mit sich bringen können.