



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Januar 2020

Kurzfassung der Stellungnahme

Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem

Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Nur mit einem **Mix aus zentralen und dezentralen Technologien** kann die Energieversorgung klimafreundlich, sicher und wirtschaftlich werden. Die Herausforderung liegt darin, die einzelnen Elemente zu einem **funktionierenden Gesamtsystem** zu integrieren. Die Arbeitsgruppe „(De-)zentrale Energieversorgung“ des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“ schlägt dazu vor:

- Damit Deutschland bis 2050 treibhausgasneutral werden kann, müssen **alle Potenziale beim Ausbau der Wind- und Photovoltaikanlagen** erschlossen werden. Photovoltaikanlagen auf Dach- und Gebäudeflächen, Doppelnutzungen wie Wind- oder Solarenergie und Landwirtschaft, Windenergie auf See und Energieimporte können die entstehenden Flächenkonflikte entschärfen.
- Ohne den **Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze** wird die Energiewende scheitern – egal, ob das Energiesystem zentraler oder dezentraler ausgerichtet ist. Kommt der Netzausbau wegen fehlender Akzeptanz nur langsam voran, können **dezentrale Ansätze** dazu beitragen, die kurz- bis mittelfristigen Ausbauziele der erneuerbaren Energien dennoch zu erreichen.
- Digitale Anwendungen sind unabdingbar, um das Energiesystem **effizient zu steuern**. Je dezentraler das Energiesystem, desto mehr Akteure prägen es – dadurch steigt die Komplexität. **Intelligente Verteilungsnetze** vernetzen Erzeuger, Speicher und Verbraucher.
- Ein neues, **entschlacktes Regulierungssystem** kann **Innovationen** fördern und **systemdienliches Prosuming** ermöglichen. Werden Erneuerbare-Energieanlagen netzdienlich ausgebaut und betrieben, spart dies Kosten für zusätzlichen Netzausbau.
- Die Energiewende kann nur gelingen, wenn sie von der Bevölkerung aktiv unterstützt wird. **Politische und ökonomische Beteiligungsmöglichkeiten** können dazu beitragen.

Erneuerbare-Energieanlagen und Netze umfassend ausbauen

Ausbau der Erneuerbare-Energieanlagen verstärken

Beim Umbau der Energieversorgung besteht erheblicher Zeitdruck: Die Energiewende kann nur gelingen, wenn die **erneuerbaren Energien** deutlich schneller **ausgebaut** werden als bisher. Zwar sind die Kosten für Wind- und Solarenergieanlagen deutlich gesunken, doch stoßen der Ausbau der Windenergie an Land und der Netzausbau derzeit auf erheblichen Widerstand vor Ort. Um den zukünftigen Strombedarf klimaneutral decken zu können und gleichzeitig den Konflikt mit Naturschutz sowie Anwohnerinnen und Anwohnern nicht zu verschärfen, braucht es eine **kluge Mischung zentraler und dezentraler Technologien** – an Land und auf See, im Norden und im Süden. Folgende Maßnahmen kommen für einen **umwelt- und sozialverträglichen Ausbau** der erneuerbaren Energien infrage:

- **Dezentrale Photovoltaikanlagen in bereits bebauten Gebieten** – insbesondere auf Dach- und Gebäudeflächen – werden von der Mehrheit der Bevölkerung akzeptiert und sollten daher verstärkt ausgebaut werden.
- Gleichzeitig tragen große **Solarparks** dazu bei, Strom kostengünstig zu erzeugen. Hierbei könnten sogenannte Agrophotovoltaik-Systeme die Flächenkonkurrenz mit der Landwirtschaft entschärfen. Dabei werden die Solaranlagen höher installiert, sodass darunter Landwirtschaft betrieben werden kann.
- **Windenergie auf See** bietet den Vorteil, dass die Anlagen den Alltag der Bürgerinnen und Bürger kaum beeinflussen. Allerdings müssten dafür die Netze stark ausgebaut werden. Die ökologischen Auswirkungen der Offshore-Windenergie sollten stärker erforscht werden.
- **Energieimporte** helfen, Synergien zu nutzen und auch den Ausbau regenerativer Energieanlagen in Deutschland zu reduzieren. Das europäische Verbundnetz ermöglicht hier den grenzübergreifenden Stromhandel und den Ausgleich von Schwankungen.
- **Regional differenzierte marktliche beziehungsweise netzentgeltbasierte Anreize** führen zu einem besser auf den Netzausbau abgestimmten regionalen Ausbau der erneuerbaren Energien.

Netzausbau umsetzen

Für eine erfolgreiche Energiewende ist der **Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze** unumgänglich. Auch ein stärker dezentral geprägtes Energiesystem ändert daran nichts. Bei einem verzögerten **Übertragungsnetzausbau** können dezentrale Solaranlagen in Kombination mit Speichern und Power-to-Gas-Technologien allerdings dazu beitragen, die Klimaziele trotzdem zu erreichen. Von Haushalten dezentral betriebene Batteriespeicher können die schwankende Einspeisung der Wind- und Solaranlagen für wenige Stunden ausgleichen. Zur Überbrückung mehrwöchiger Dunkelflauten sind chemische Energieträger wie Wasserstoff oder Methan erforderlich – diese lassen sich nur in größeren, zentraleren Anlagen herstellen. Da Speicher bisher noch sehr teuer sind, sollte die **Forschung zur Kostenreduktion von Speichertechnologien** ausgebaut werden.

Je mehr Strom dezentral eingespeist wird, desto stärker müssen Stromerzeugung und -verbrauch im **Verteilungsnetz** ausgeglichen werden. Dazu kann unter anderem die Steuerung von neuen flexiblen Verbrauchern wie Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen beitragen.

Das Energiesystem digital steuern und systemdienlich betreiben

Digitalisierung sicher gestalten

Mit dem steigenden Anteil dezentraler Elemente wird das Energiesystem immer **komplexer** und **vernetzter**: Je mehr Erzeugungsanlagen, Speicher und flexible Verbraucher Teil des Systems sind, desto aufwendiger wird die Koordination. Auch die zunehmende Sektorenkopplung trägt dazu bei.

Überwiegend dezentrale Systeme sind schwieriger zu koordinieren als zentralere Energiesysteme, weil es mehr Akteure gibt. Ein erhöhter Automatisierungsgrad ist unerlässlich, um solche Systeme effizient zu steuern. **Digitale Anwendungen** wie Künstliche Intelligenz sowie autonome und selbstlernende Systeme können dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Vor allem für kleine **Prosumer** wie Haushalte ist ein **niedrigschwelliger Zugang** zu sicheren Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) entscheidend. **Intelligente Verteilungsnetze** spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in dezentraler ausgerichteten Systemen.

Digitalisierte Energiesysteme bergen aber auch **Risiken**: Sie bieten mehr Angriffsfläche für Cyberkriminelle und es ist nicht auszuschließen, dass autonome Systeme unbeabsichtigt gegeneinander agieren und das Energiesystem destabilisieren können. Ein Fokus sollte darauf liegen, die Schäden im Fall eines Angriffs oder einer Störung in Grenzen zu halten. Mehrschichtige Strukturen und dezentrale Zellen, die sich vom übergeordneten Netz abkoppeln und so eine lokale Grundversorgung gewährleisten können, fördern die **Resilienz** des Energiesystems.

Die Digitalisierung muss **vorausschauend** gestaltet werden. Denn in Zukunft müssen dezentrale Erzeugungsanlagen immer stärker dazu beitragen, das Gesamtsystem zu stabilisieren. Anlagen sollten daher schon bei ihrer Installation mit der dafür notwendigen **Sensorik und Aktorik** ausgestattet werden. Das erleichtert spätere Updates, um auf geänderte regulatorische Rahmenbedingungen reagieren zu können. Fehlt hingegen die passende Hardware, ist eine Nachrüstung sehr aufwendig, teuer und langwierig.

Anlagen und Technologien systemdienlich ausbauen und betreiben

Um die Versorgungssicherheit jederzeit zu gewährleisten und den Netzausbau zu begrenzen, müssen dezentrale Anlagen **systemdienlich betrieben** werden. So lassen sich lokale Netzengpässe entschärfen. Dies muss zum einen durch entsprechende IKT bei Anlagen- und Netzbetreibern technisch ermöglicht werden. Zum anderen müssen rechtlich-ökonomische Rahmenbedingungen Anreize für systemdienliches Verhalten setzen. So können **lokale Märkte** zur Engpassbewirtschaftung Netzengpässen entgegenwirken. **Netzknotenscharfe, zeitvariable Preise** ermöglichen es darüber hinaus, Netzengpässe im Strompreis zu berücksichtigen. Sie erfordern allerdings eine starke Umgestaltung des Strommarktes.

Zugleich sollten Stromerzeugungsanlagen und Flexibilitätstechnologien **netzdienlich ausgebaut** werden. Momentan werden Erneuerbare-Energieanlagen besonders im Norden und Osten Deutschlands errichtet – benötigt wird ihr Strom aber vor allem im Süden und Westen. **Regionale Komponenten im Vergütungsmodell** könnten dafür sorgen, dass die Netzsituation stärker bei der Standortauswahl berücksichtigt wird.

Stabile Rahmenbedingungen für Innovationen und Investitionen schaffen

Regulierung entschlacken

Nur wenn die **rechtlich-ökonomischen Rahmenbedingungen** stimmen, sind Akteure bereit, in klimafreundliche Technologien zu investieren. Das Regulierungssystem muss daher **Innovationen begünstigen** und so das Fundament für umweltschonende Technologien, Produkte und Dienstleistungen legen. Damit der Markt zum „**Wettbewerb der Ideen**“ werden kann, sollten die kleinteiligen Einzelregelungen von einem neuen, **verschlankten Regulierungssystem** abgelöst werden.

Eine **sektorenübergreifende CO₂-Bepreisung** als Leitinstrument für den Klimaschutz kann dazu beitragen, die Klimaschutzziele möglichst kostengünstig zu erreichen. Damit der CO₂-Preis eine Lenkungswirkung entfalten kann, muss er jedoch **ausreichend hoch** sein.

Darüber hinaus sind **ergänzende Instrumente** erforderlich – unter anderem, um die externen Kosten durch flächenbezogene Konflikte abbilden zu können. Gefragt sind Maßnahmen wie eine **verbesserte Raumplanung**, die für mehr Akzeptanz beim Ausbau der erneuerbaren Energien und der Netze sorgen können.

Modellrechnungen deuten darauf hin, dass **dezentralere Systeme**, in denen Strom vorrangig in kleinen, verbrauchsnahe Anlagen erzeugt und gespeichert wird, wahrscheinlich etwas **teurer** sind als zentralere Systeme. Die Mehrkosten betragen aber nur wenige Prozent. Allerdings wurden langfristige Szenarien mit umfassend dezentralen Systemen bisher kaum wissenschaftlich untersucht. Um zentrale und dezentrale Systeme besser vergleichen zu können, sollten eine größere **Bandbreite von Energieszenarien** erforscht und die **Auswirkungen auf Mensch und Umwelt** stärker berücksichtigt werden. Für einen aussagekräftigen Kostenvergleich ist es zudem wichtig, in zukünftigen Studien die Verteilnetze stärker zu berücksichtigen.

Systemdienliches Prosuming ermöglichen

Solaranlagen auf bebauten Flächen genießen die größte Akzeptanz in der Bevölkerung. Um Gebäudebesitzerinnen und -besitzer davon zu überzeugen, ihre **Dachflächen für den Photovoltaikausbau** zur Verfügung zu stellen, könnte individueller und kollektiver Eigenverbrauch bis hin zu Quartierslösungen erleichtert werden. Ansatzpunkte dafür bietet das Clean Energy Package der Europäischen Union. Auf lange Sicht greift die Fokussierung auf den Eigenverbrauch aber zu kurz. Denn das Ziel sollte eine **möglichst umfassende Nutzung der vorhandenen Dach- und Gebäudeflächen** für die Energiegewinnung sein, auch über die Deckung des eigenen Strombedarfs hinaus.

Prosumer sollten ihren selbst erzeugten Strom **systemdienlich** einsetzen können. Dazu sollte der Markt **verschiedene Prosuming-Modelle ermöglichen**, ohne ständig neue Sonderregelungen oder unnötige Hürden für kleine Akteure zu schaffen. Gleichzeitig sollte der regulatorische Rahmen so gesetzt werden, dass ein **schnelles Eingreifen möglich** wird, falls das Prosuming rasant anwächst und negative Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat. So könnte ein Anteil von Eigenverbrauchsanlagen gesetzlich festgelegt werden, ab dem sich die Anforderungen an eine **systemdienlichere Betriebsweise** verschärfen.

Politische und ökonomische Beteiligung ermöglichen

Ökonomische Teilhabe

Die Energiewende steht und fällt mit der aktiven Unterstützung der Bürgerinnen und Bürger. Werden **lokale Akteure** finanziell an der Wertschöpfung erneuerbarer Energien beteiligt, kann dies positive Auswirkungen auf die Akzeptanz haben. Ein **bundesweites Bürger- und Gemeinde-Investitionsbeteiligungsgesetz** könnte zum Beispiel dazu beitragen. Der Vorteil: Bundesweit gelten gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Beteiligten. Landesrechtliche Regelungen hingegen lassen mehr Raum für die spezifischen Anforderungen der Länder.

Investitionsbeteiligungen für Bürgerinnen und Bürger sowie Kommunen, die Erhöhung der Gewerbe- oder Grundsteuer und **Sonderabgaben** der Betreiber an betroffene Gemeinden stellen weitere Modelle der finanziellen Beteiligung dar.

Politische Beteiligungsmöglichkeiten

Werden Bürgerinnen und Bürgern politische Beteiligungsmöglichkeiten auf den unterschiedlichen Handlungs- und Entscheidungsebenen eingeräumt, können sie die Energiewende aktiv mitgestalten. Während Bürgerbeteiligungen auf lokaler und regionaler Ebene bereits etabliert sind, sollten **partizipative Verfahren auf Landes- und Bundesebene** gestärkt werden:

- Die Interessen des Gemeinwohls bei der Raumplanung können in **Bürgerversammlungen** durch sogenannte „**Planungsschöffen**“ vertreten werden, die per Los ausgewählt werden.
- Ein **gesellschaftsübergreifender Energiewendedialog** könnte Ziele, Systemzusammenhänge und Lösungsalternativen aus verschiedenen Perspektiven beleuchten und dabei helfen, gesellschaftlich akzeptable und ethisch verantwortbare Lösungen für den Umbau der Energieversorgung zu finden.
- Bestehende Beteiligungsprozesse bei lokalen Planungs- und Genehmigungsverfahren könnten durch eine **verbesserte Ressourcenausstattung** und einen **Kompetenzaufbau** bei den Trägern verbessert werden.
- Informelle Formate wie „**Runde Tische**“ und **Dialogplattformen** ergänzen diese Maßnahmen.

Darüber hinaus braucht es **neue Formen der Aus- und Weiterbildung** für Fachkräfte. Denn das komplexer werdende Energiesystem stellt Fachkräfte vor Herausforderungen. Beispielsweise erfordert die Sektorenkopplung zunehmend **fachübergreifende Kenntnisse** zu Energiebereitstellung und -verbrauch in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Auch Kenntnisse zum **Datenmanagement** und zur **IT-Sicherheit** werden immer wichtiger. Nicht zuletzt gewinnt sozial- und geisteswissenschaftliches Fachwissen – etwa aus Umweltpsychologie und Politikwissenschaften – an Bedeutung, um den erforderlichen **gesellschaftlichen Transformationsprozess** zu verstehen und zu gestalten.

Damit sich alle Beteiligten sinnvoll einbringen können, benötigen sie ein hohes Maß an **Wissen über die relevanten Systemzusammenhänge**. Um die Kenntnisse in der Bevölkerung zum Klimaschutz und zum Energiesystem zu erhöhen, sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Planerinnen und Planer sowie Wissenschaftsjournalistinnen und -journalisten gefragt, ihr Fachwissen noch **verständlicher** zu vermitteln. Denn nur wenn dieses Wissen transparent und umfassend bereitgestellt wird, können alle gesellschaftlichen Akteure aktiv zum Erfolg der Energiewende beitragen.

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“

Die Stellungnahme „Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem. Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung“ ist im Rahmen des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“ entstanden. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten rund 100 Expertinnen und Experten Handlungsoptionen für den Weg zu einer umweltverträglichen, sicheren und bezahlbaren Energieversorgung.

Mitwirkende der Arbeitsgruppe „Energieversorgung zentral-dezentral“

Mitglieder: Prof. Dr. Peter Dabrock (AG-Leiter, FAU Erlangen-Nürnberg), Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson (AG-Leiterin, TU Darmstadt), Prof. Dr. Christoph Weber (AG-Leiter Universität Duisburg-Essen), Dr.-Ing. Thomas Benz (VDE), Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch (Fraunhofer UMSICHT), Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (TU Braunschweig), Prof. Dr. Veit Hagenmeyer (KIT), Jan Hildebrand (IZES), Prof. Dr. Bernd Hirschl (IÖW, BTU Cottbus-Senftenberg), Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb (KIT), Wolfgang Köppel (DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut), Prof. Dr. Klaus Kornwachs (BTU Cottbus-Senftenberg), Prof. Dr.-Ing. Jochen Kreusel (ABB), Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kröger (ETH Zürich), Dr. Christoph Mayer (OFFIS – Institut für Informatik), Prof. Dr.-Ing. Bettina Oppermann (Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Prof. Dr. Hartmut Weyer (TU Clausthal)

Wissenschaftliche Referentinnen und Referenten: Jan Paul Baginski (Universität Duisburg-Essen), Julia Bellenbaum (Universität Duisburg-Essen), Dr. Berit Erlach (acatech), Eva-Maria Kreitschmann (FAU Erlangen-Nürnberg), Anna Pfendler (TU Darmstadt), Andrea Schaefer (TU Darmstadt), Arne Vogler (Universität Duisburg-Essen)

Kontakt:

Dr. Ulrich Glotzbach
Leiter der Geschäftsstelle „Energiesysteme der Zukunft“
Markgrafenstraße 22, 10117 Berlin
Tel.: +49 30 2067957-0 | E-Mail: glotzbach@acatech.de

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

Deutsche Akademie der Naturforscher
Leopoldina e. V.
Nationale Akademie der
Wissenschaften
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Tel.: 0345 47239-867
Fax: 0345 47239-839
E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büro:
Reinhardtstraße 14
10117 Berlin

acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften e. V.
Geschäftsstelle München:
Karolinenplatz 4
80333 München
Tel.: 089 520309-0
Fax: 089 520309-9
E-Mail: info@acatech.de

Hauptstadtbüro:
Pariser Platz 4a
10117 Berlin

Union der deutschen Akademien
der Wissenschaften e. V.
Geschwister-Scholl-Straße 2
55131 Mainz
Tel.: 06131 218528-10
Fax: 06131 218528-11
E-Mail: info@akademienunion.de

Berliner Büro:
Jägerstraße 22/23
10117 Berlin