



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN
DER WISSENSCHAFTEN

Energiesysteme der Zukunft (ESYS)

Publikationen



Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS)
www.energiesysteme-zukunft.de

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
www.leopoldina.org

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
www.acatech.de

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften
www.akademienunion.de

Stellungnahme

»Sektorkopplung«

Optionen für die nächste Phase der Energiewende

Die Klimaziele können nur durch einen klaren Kurswechsel in der Energiepolitik erreicht werden. Um mehr erneuerbare Energien in das Gesamtsystem zu integrieren, müssen die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr viel stärker miteinander verzahnt werden.

Wie das Energiesystem langfristig ohne fossile Energieträger auskommen kann, zeigen die Akademien in ihrer Stellungnahme. Basierend auf Expertendiskussionen, einem Vergleich relevanter Energieszenarien und eigenen Modellrechnungen haben sie Handlungsoptionen für Deutschland entwickelt. Zentrale Ergebnisse: Nur durch einen starken Ausbau der Erneuerbaren und durch einen sektorübergreifenden, wirksamen CO₂-Preis kann die Energieversorgung langfristig klimafreundlich, sicher und bezahlbar werden. Strom aus regenerativen Quellen wird zum dominierenden Energieträger. Der Strombedarf könnte sich bis 2050 nahezu verdoppeln. Als Folge müsste die Kapazität der Windkraft- und Solaranlagen auf ein Fünf- bis Siebenfaches anwachsen. Kurz- und Langzeitspeicher, Reservekapazitäten sowie flexible Stromnutzungsmodelle müssen künftig die volatile Stromerzeugung ausgleichen helfen.

In der **Analyse »Sektorkopplung«** werden die Modellrechnungen ausführlich erklärt. Ergänzende **Materialien** liefern weitere Informationen zum verwendeten Rechenmodell.



Analyse

Pfadabhängigkeiten in der Energiewende

Das Beispiel Mobilität

Im Verkehrssektor sind die Emissionen in den letzten Jahren gestiegen statt gesunken. Schnelle Entscheidungen für innovative Mobilitätskonzepte sind notwendig, damit Städte klimafreundlicher werden können. Haben sich Kommunen aber einmal festgelegt, ist der Umstieg auf einen alternativen Ansatz mitunter schwierig und teuer – es können Pfadabhängigkeiten entstehen. Die Analyse zeigt Strategien für den Umgang mit solchen Pfadabhängigkeiten auf.

Zwar weiß derzeit niemand genau, welche Technologien sich in den nächsten Jahrzehnten durchsetzen werden. Die Autoren erklären jedoch, wie Entscheidungsstrategien Kommunal- und Bundesspolitikern bei der Gestaltung eines zukunftsfähigen Mobilitätssystems helfen können. Am Beispiel des kommunalen Flottenumbaus wird verdeutlicht, wie sie Lösungen bewusst auswählen und dabei trotzdem flexibel bleiben können.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler betonen, dass der Umbau des Mobilitätssystems auch zu neuen Abhängigkeiten führen kann. Sie empfehlen daher, Pfadabhängigkeiten frühzeitig im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen.

Stellungnahme

Das Energiesystem resilient gestalten

Maßnahmen für eine gesicherte Versorgung

Das Energiesystem wird immer vernetzter, digitaler und dezentraler. Das macht es flexibler, aber auch angreifbarer. Neben Hackerangriffen könnten auch Hitzewellen, Rohstoffengpässe oder fehlende Investitionen die Energieversorgung gefährden. Eine ESYS-Arbeitsgruppe hat untersucht, wie das Energiesystem der Zukunft möglichst krisenfest gestaltet werden kann. Die Stellungnahme fasst die Ergebnisse zusammen.

Ein Vorschlag lautet, verschiedene Technologien zur Stromerzeugung einzusetzen. So sind Windräder nicht von Hitzewellen betroffen und thermische Kraftwerke nicht von Dunkelflauten. Werden intelligente Netze künftig mit unterschiedlicher Software gesteuert, könnten die Folgen von Cyberattacken nicht so leicht auf andere Systeme übergreifen. Das Aufnehmen des Konzepts „Resilienz“ in Lehrpläne kann dazu führen, dass Schülerinnen und Schüler besser auf Extremfälle vorbereitet sind.

In der **Analyse *Das Energiesystem resilient gestalten***.

Szenarien – Handlungsspielräume – Zielkonflikte haben die Autoren sechs Szenarien entwickelt. Diese veranschaulichen beispielhaft, welche Belastungen dem Energiesystem drohen und wie sie bewältigt werden können.



Stellungnahme

Rohstoffe für die Energiewende

Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung

Weltweit gibt es genügend Metalle und Energierohstoffe für die Energiewende. Die Versorgung hängt jedoch davon ab, wie sich die Rohstoffpreise entwickeln, wie transparent und zugänglich die Märkte sind und ob hohe Umwelt- und Sozialstandards im Bergbau erzielt werden können. Die Stellungnahme beschreibt, wie Deutschland unabhängiger von Rohstoffimporten werden und wie die Versorgung langfristig gesichert werden kann.

So ließe sich die Rohstoffbasis erweitern, wenn neue Lagerstätten in Deutschland und Europa sowie in der Tiefsee erschlossen würden. Mit zwischenstaatlichen Handelsabkommen und -verträgen kann der Staat außerdem den privatwirtschaftlichen Rohstoffimport und die Lieferbeziehungen unterstützen. Strategische Rohstoffpartnerschaften könnten dazu beitragen, Umwelt- und Sozialstandards zu etablieren.

Die **Analyse Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft** erläutert die Wirkmechanismen auf den globalen Rohstoffmärkten und identifiziert Versorgungsrisiken. Anschließend entwickeln die Autoren Strategien für eine sichere Rohstoffversorgung in Deutschland.



Stellungnahme

Verbraucherpolitik für die Energiewende

Damit die Energiewende gelingt, ist jeder Einzelne gefragt. Privathaushalte etwa können Energie sparen, aber auch ihren Verbrauch stärker an die schwankende Einspeisung aus Wind- und Solarenergie anpassen. Die Autoren haben untersucht, wie sich Verbraucher motivieren lassen, ihr Verhalten zu ändern und ihren Energiebedarf zu reduzieren.

Als zentrale Maßnahmen nennt die Stellungnahme zielgruppen-gerechte, gut verständliche Informationen und Beratungsangebote für Privathaushalte. Auch sogenannte „Nudges“ („Stupser“) können wirken. Sieht man etwa auf der Stromrechnung, dass die Nachbarn im Durchschnitt weniger verbrauchen als man selbst, kann das zu sparsamerem Verhalten motivieren. Beteiligen sich Verbraucher außerdem am Lastmanagement, tragen sie dazu bei, die schwankende Stromeinspeisung aus Wind und Sonne auszugleichen.

Ergänzt wird die Stellungnahme durch den **Literaturüberblick *Energiesparen durch verhaltensökonomisch motivierte Maßnahmen?*** Darin hat das RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag von ESYS verhaltensökonomische und psychologische Studien zum Thema ausgewertet.

Stellungnahme

Mit Energieszenarien gut beraten

Anforderungen an wissenschaftliche Politikberatung

Energieszenarien sind eine wichtige Grundlage politischer Entscheidungen. Umso wichtiger ist es, dass die Ergebnisse von Szenariostudien nachvollziehbar und überprüfbar sind. Viele beauftragte Institute legen ihre Rechenmodelle jedoch nicht offen, weil sie zu ihrem Betriebskapital gehören. Auch wird nicht immer deutlich, ob die Auftraggeber durch Vorgaben die Ergebnisse beeinflussen.

Das Akademienprojekt ESYS schlägt deshalb verbindliche Standards für das Beauftragen und Erstellen von Energieszenarien vor. Diese sollten fester Bestandteil öffentlicher Ausschreibungen sein. Auftraggeber und Wissenschaft – vertreten etwa durch wissenschaftliche Dachorganisationen – sollten sich dazu abstimmen.

Wie die ESYS-Stellungnahme beschreibt, sollten Szenarien drei Anforderungen erfüllen: Sie müssen wissenschaftlich valide, transparent und ergebnisoffen sein. Darüber hinaus sind die Inhalte adressatengerecht darzustellen und der Einfluss von Auftraggebern oder anderen Akteuren offenzulegen. Letztendlich müssen die Ergebnisse nachvollziehbar und replizierbar sein. Nur dann können sie einen legitimen Beitrag zur demokratischen Meinungsbildung leisten.



Stellungnahme

Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050

Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien

Wind- und Sonnenenergie schwanken mit dem Wetter. Sogenannte Flexibilitätstechnologien müssen diese Schwankungen ausgleichen. Dafür gibt es zahlreiche Möglichkeiten: von flexibel regelbaren Kraftwerken über Speicher bis hin zum Demand-Side-Management, das den Verbrauch mit dem Angebot in Einklang bringt. Doch welche Kombinationen sind besonders stabil, nachhaltig, effizient und außerdem gesellschaftlich akzeptiert?

Eine ESYS-Arbeitsgruppe hat mithilfe eines eigens entwickelten Modells rund 130 Systemkonstellationen verglichen. Die Stellungnahme fasst die Ergebnisse zusammen. Darin wird deutlich, dass fast keine Technologie alternativlos ist und fast jede sich ersetzen lässt. Brennstoffflexible Gaskraftwerke bilden jedoch das stabilisierende Rückgrat jedes Energiesystems. Die Modellrechnungen zeigen, dass sich Langzeitspeicher erst ab einer CO₂-Einsparung von über 80 Prozent lohnen.

Die **Analyse Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050** beschreibt die zugrundeliegende Methodik, Szenarienauswahl und Systemzusammenhänge. Die begleitenden **Technologiesteckbriefe** dokumentieren die Datenbasis der Modellrechnungen und Details zu den Technologien.



Stellungnahme

Die Energiewende europäisch integrieren

Neue Gestaltungsmöglichkeiten für die gemeinsame Energie- und Klimapolitik

Um die globale Erderwärmung zu begrenzen, müssen die Energieversorgungssysteme möglichst vieler Länder nachhaltiger werden. Die Europäische Union sollte deshalb mit einer abgestimmten Energie- und Klimapolitik ein international anschlussfähiges Modell etablieren. In der Stellungnahme sprechen sich die Akademien deshalb dafür aus, die deutsche Energiewendepolitik stärker mit der europäischen Energie- und Klimapolitik zu verzahnen.

Das Europäische Emissionshandelssystem sollte zum Leitinstrument des Klimaschutzes ausgebaut werden. Die Akademien schlagen einen festen Preiskorridor vor, der bei Auktionen einen Mindest- und einen Höchstpreis für CO₂-Zertifikate definiert. Darüber hinaus sollte der Emissionshandel auf weitere Sektoren wie den Verkehr und die Landwirtschaft ausgeweitet werden.

Der steigende Anteil erneuerbarer Energien hat auch Auswirkungen auf den europäischen Strombinnenmarkt. Die Stellungnahme nennt Maßnahmen, welche die Versorgung in einem gemeinsamen Markt auch künftig sichern sowie Anreize setzen können, um die Standortwahl für Stromerzeugungsanlagen zu optimieren.

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 namhafte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die Handlungsoptionen für den Umbau des Energiesystems enthalten und in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden. Ergänzende Analysen und Materialien erscheinen in der projekteigenen Schriftenreihe *Energiesysteme der Zukunft*.

Alle ESYS-Publikationen können unter www.energiesysteme-zukunft.de/publikationen/ sowie auf den Websites der Akademien heruntergeladen werden. Gedruckte Exemplare können kostenfrei unter energiesysteme@acatech.de bestellt werden.

Geschäftsstelle Energiesysteme der Zukunft

Dr. Ulrich Glotzbach

Leiter der Geschäftsstelle

Markgrafenstraße 22, 10117 Berlin

Tel.: +49 (0)30 206 7957 - 0

E-Mail: glotzbach@acatech.de

www.energiesysteme-zukunft.de

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**