



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

2023 | Diskussion Nr. 31

Den kritischen Zeitpunkt nicht verpassen

Leitideen für die Transformation des Energiesystems

Ottmar Edenhofer | Veronika Grimm | Gerald Haug
Jochem Marotzke | Wolfgang Marquardt | Robert Schlögl
Christoph M. Schmidt | Ferdi Schüth | Ulrich Wagner

Impressum

Herausgeber

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.
– Nationale Akademie der Wissenschaften –
Präsident: Prof. (ETHZ) Dr. Gerald Haug
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)

Redaktion

Christian Anton, Stefan Artmann, Kathrin Happe,
Johannes Schmoltdt, Matthias Winkler, Sebastian Wetterich
Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina,
Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft
Kontakt: politikberatung@leopoldina.org

Gestaltung und Satz

Klötzner Company Werbeagentur GmbH, Hamburg

DOI

https://doi.org/10.26164/leopoldina_03_00782

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zitiervorschlag

Edenhofer, O., Grimm, V., Haug, G., Marotzke, J., Marquardt, W., Schlögl, R., Schmidt, C.M., Schüth, F., Wagner, U. (2023). Den kritischen Zeitpunkt nicht verpassen: Leitideen für die Transformation des Energiesystems. Halle (Saale): Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina.

Redaktionsschluss

03.03.2023

2023 FORSCHUNGS GIPFEL



Perspektiven für Wirtschaft,
Wissenschaft und Innovation

Dieses Diskussionspapier der Leopoldina-Fokusgruppe „Klima und Energie“ ist als Input für einen Roadmap-Prozess „Transformation des Energiesystems“ konzipiert worden, der auf dem Forschungsgipfel am 28. März 2023 in Berlin diskutiert wird.

<https://forschungsgipfel.de>

Seit 2015 versammelt der Forschungsgipfel jährlich hochrangige Personen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Politik, um gemeinsam Antworten auf aktuelle Fragen und Herausforderungen der Forschungs- und Innovationspolitik zu finden. Der Forschungsgipfel wird vom Stifterverband, der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) und der VolkswagenStiftung organisiert. Er fördert als interdisziplinäres Forum Dialog und Vernetzung und hat sich als Plattform für einen hochrangigen Austausch zu Innovations- und Forschungspolitik in Berlin etabliert. Sein Ziel ist es, Deutschland als Ort innovationsbasierter Wertschöpfung und wissenschaftlicher Durchbrüche zu stärken.

Den kritischen Zeitpunkt nicht verpassen

Leitideen für die Transformation des Energiesystems

Ottmar Edenhofer | Veronika Grimm | Gerald Haug
Jochem Marotzke | Wolfgang Marquardt | Robert Schlögl
Christoph M. Schmidt | Ferdi Schüth | Ulrich Wagner

Publikationen in der Reihe „Leopoldina Diskussion“ sind Beiträge der genannten Autorinnen und Autoren. Sie stellen nicht zwingend in allen Punkten einen Konsens aller Autorinnen und Autoren dar. Mit den Diskussionspapieren bietet die Akademie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit, Denkanstöße zu geben oder Diskurse anzuregen und hierfür auch Empfehlungen zu formulieren. Die in Diskussionspapieren vertretenen Thesen und Empfehlungen stellen daher keine inhaltliche Positionierung der Akademie dar.

Den kritischen Zeitpunkt nicht verpassen

Der kritische Zeitpunkt, an dem Deutschland und Europa die Voraussetzungen für eine Erreichung der Pariser Klimaziele schaffen können, ist bald verstrichen. Zentraler Hebel für Klimaneutralität ist die Transformation des Energiesystems und die Bereitstellung von Technologien, die dies auch weltweit ermöglichen. Entschiedenenes Handeln ist umso notwendiger, als die Folgen des Klimawandels immer deutlicher spürbar werden. Vielfältige internationale Krisen wie der russische Angriffskrieg auf die Ukraine verschärfen Zielkonflikte und erschweren die globale Kooperation, die notwendig ist, um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen.

Der Handlungsbedarf ist groß und dringlich. Es gilt, jetzt die Anstrengungen deutlich zu verstärken und zu erweitern sowie durch konsequente Entscheidungen auf nationaler und europäischer Ebene die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Transformation zu schaffen. Mittel- und langfristig effektive und tragfähige Maßnahmen müssen priorisiert werden. Dies erfordert Transformationsstrategien, die von den zu erreichenden Zielen her konzipiert und daher möglichst technologieoffen sind. Sie müssen so weit wie möglich die Attraktivität privater Investitionen in die Transformation erhöhen. Dafür ist vor allem die Klärung von Rahmenbedingungen für Investitionen und deren Verlässlichkeit zentral.

Es ist unerlässlich, wirksame Anreize und Vorgaben für eine effizientere Energienutzung zu verstärken bzw. neu zu schaffen. Weiterhin ist der Ausbau der erneuerbaren Energien schnell und mit oberster Priorität voranzutreiben. Infrastrukturen für Strom und stoffliche Energieträger (Wasserstoff und seine Derivate) müssen energisch ausgebaut und vorhandene Infrastrukturen umgebaut und umgenutzt werden.

Für das Gelingen der Energiewende ist ein breiter gesellschaftlicher Partizipations- und Diskussionsprozess eine wichtige Voraussetzung. In diesem Kontext stellt die Fokusgruppe „Klima und Energie“ der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina¹ ihre Leitideen für die nächste Phase der Transformation des Energiesystems vor.

1 Die Leopoldina-Fokusgruppe „Klima und Energie“ gibt Impulse für die mittelfristige Gestaltung des deutschen und europäischen Energiesystems und nimmt kurzfristig zu aktuellen Entwicklungen Stellung.

Sechs Leitideen für die Transformation des Energiesystems

1. Systemisches Kohlenstoffkreislaufmanagement etablieren.

Das Ziel der Klimaneutralität markiert den Einstieg in eine neue Phase der globalen Klimapolitik. In der bisherigen ersten Phase der Klimapolitik ging es um die drastische Verminderung der Emissionen der nationalen Energiesysteme durch den Einsatz von Vermeidungstechniken. So muss zunächst die Kohle aus dem Stromsektor gedrängt werden. Dies ist eine Voraussetzung für die direkte und indirekte Elektrifizierung des Industrie-, Verkehrs- und Gebäudesektors. Diese Phase ist noch nicht abgeschlossen.

In einer zweiten Phase der Klimapolitik, die jetzt bereits beginnen muss, müssen die verbleibenden nicht oder nur schwer vermeidbaren, jedoch erheblichen Emissionen der Atmosphäre wieder entnommen werden (Carbon Dioxide Removal, CDR).² Gemessen am heutigen Entnahmeniveau werden bis 2050 mit großer Wahrscheinlichkeit zusätzliche Entnahmen in Höhe von 2,3 bis 7,4 Gigatonnen pro Jahr notwendig.³

Es wird empfohlen, verstärkt auf europäischer Ebene Pilotprojekte anzustoßen und zu finanzieren. Ohne Kohlenstoffentnahme wird weder das Ziel von Netto-Nullemissionen bis zur Jahrhundertmitte erreichbar noch die nachhaltige Herstellung von synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels), Grundchemikalien und deren Derivaten möglich sein. Daraus ergeben sich innovationspolitische, technische und regulatorische Herausforderungen, die durch entschlossenes politisches Handeln auf globaler, europäischer und nationaler Ebene bewältigt werden müssen. Sowohl die EU als auch die Bundesregierung sollten ein explizites Ziel zur Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre für 2050 formulieren.

Vor diesem Hintergrund wird in Deutschland Carbon Capture and Utilization (CCU) und Carbon Capture and Storage (CCS) neu diskutiert werden müssen. Hierfür notwendige Technologien und Maßnahmen

2 Erlach et al. (2022).

3 Smith et al. (2023).

werden auf nachhaltige Anreizsysteme angewiesen sein. So ist frühzeitig auszuloten, wie ausreichende Anreize zur Innovation geschaffen werden können, etwa durch geeignete Auktions- und Bepreisungsverfahren.⁴ Kohlenstoffentnahme-Methoden werden auch auf freiwilligen Kompensationsmärkten eine zunehmende Rolle spielen. Daher ist es notwendig, rasch ein Rahmenwerk für die Zertifizierung dieser Technologien auf der EU-Ebene zu entwickeln. Außerdem muss das Zusammenspiel mit dem Europäischen Emissionshandel schnell geklärt werden.

2. Klimapolitik europäisch und ressortübergreifend gestalten.

Auf europäischer Ebene sollten die Klimaschutzmaßnahmen von protektionistischen Elementen absehen und vielmehr auf eine Vertiefung der Kooperationen innerhalb der EU und mit Drittstaaten setzen. Die Priorität der Klimapolitik sollte der beschleunigte Ausbau des europäischen Emissionshandels zu einem einheitlichen, transparenten, langfristig tragfähigen und alle Emissionen umfassenden Steuerungsrahmen sein. Dieser Rahmen sollte ausdrücklich auf einer eindeutigen und nachprüfbaren Definition der mit einem jeden Energieträger verbundenen CO₂-Belastung beruhen. Damit würde die politische Diskussion auf eine quantifizierbare und ökonomisch bewertbare Grundlage gestellt. Der Europäische Emissionshandel als das zentrale Steuerungsinstrument der europäischen Klimaschutzpolitik wäre genauso einbezogen wie die Handelsbedingungen für erneuerbare Energieträger.

Die EU-Mitgliedstaaten müssen entscheiden, mit welchen Instrumenten sie diese Verpflichtungen einhalten wollen. Die Bundesregierung sollte rasch prüfen, wie das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) nach dem Jahr 2027 in das europäische System integriert werden kann.⁵ Darüber hinaus sollte die Bundesregierung darauf hinwirken, dass ein Fahrplan entwickelt wird, wie die gesamten Emissionen in einen einzigen Emissionshandel (EU-Emission Trading System – ETS 1 und ETS 2) integriert werden können. Die Rückzahlung eines Teils der

4 Kalkuhl et al. (2022).

5 Ariadne Hintergrund (2022).

Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung könnte soziale Härten ausgleichen und zur gesellschaftlichen Akzeptanz beitragen: Gerade untere Einkommensgruppen verzeichnen relativ zu ihrem Einkommen hohe Energieausgaben und können daran wenig ändern.

Die energiepolitische Transformation ist ein komplexer Aushandlungsprozess zwischen unterschiedlichen politischen Ebenen (Kommunen, Länder, Bund und EU) und berührt verschiedene Ressortzuständigkeiten. Um diese Herausforderung zu bewältigen, bedarf es allerdings dynamischer Governance-Strukturen. Ein koordinierendes Gremium innerhalb der Bundesregierung könnte einen Beitrag dazu leisten, die unterschiedlichen Ressortzuständigkeiten zu bündeln und strategisch auch auf EU-Ebene auszurichten.⁶

3. Wasserstoff-Energiewirtschaft aufbauen und den dringend benötigten Wasserstoffimport ermöglichen.

Ein zukünftiges, weitgehend auf erneuerbarer Energie basierendes Energiesystem wird zu einem erheblichen Maße auf Elektrizität beruhen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die meisten erneuerbaren Energien primär elektrische Energie liefern, so z. B. Photovoltaik, Windenergie und Wasserkraft als die Technologien mit den höchsten technischen Potenzialen. Elektrische Energie kann allerdings nicht einfach gespeichert werden, wenngleich Batteriespeicher immer leistungsfähiger und kostengünstiger werden. Die weitreichende Elektrifizierung aller Gesellschafts- und Wirtschaftsbereiche, ein zentraler Baustein der Transformation des Energiesystems, reicht allein aber nicht aus.⁷

Damit diese Transformation gelingen kann, müssen stoffliche Energieträger ebenfalls eine zentrale Rolle spielen. Diese sind Wasserstoff, E-Methan, Ammoniak, Methanol, Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC) und E-Fuels. Da in einem Energiesystem, das auf erneuerbaren Energien beruht, die Energie in elektrischer Form bereitgestellt wird, kann auf absehbare Zeit nur die Elektrolyse von Wasser zur Wasserstoffherstellung der erste Schritt zu einem stofflichen Energieträger

6 EFI (2023).

7 acatech/Leopoldina/Akademienunion (2023).

sein. Wasserstoff sollte dort produziert werden, wo die Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen (z. B. aus Photovoltaik, Windenergie) sehr kostengünstig ist, um die Umwandlungsverluste zu kompensieren. Die Wasserstoffproduktion in sonnen- oder windreichen Weltregionen kann zudem in Ländern mit niedrigem Bruttoinlandsprodukt zur wirtschaftlichen Diversifizierung und nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Das Potenzial Deutschlands zur Herstellung von Wasserstoff mittels erneuerbarer Energien reicht zur Deckung des erwarteten Bedarfs bei weitem nicht aus.⁸ Ein Großteil des Wasserstoffbedarfs wird folglich importiert werden; für den Transport müssen die technischen und logistischen Voraussetzungen geschaffen werden.⁹ Diese Importe müssen auf großer Skala – gerade angesichts der komplexen Regulierungs- und Genehmigungsverfahren in Europa – schnell angestoßen werden. Vorstellbar wären langfristige Lieferverträge mit bestimmten Abnahmegarantien oder staatliche Ausfallbürgschaften. Hierbei ist allerdings durch eine bewusste internationale Diversifikation – die auch Partner auf dem afrikanischen Kontinent einbezieht – sicherzustellen, dass der Handel mit klimaneutralen Energieträgern keine neuen einseitigen Abhängigkeiten schafft.

4. Den Netzausbau für stoffliche Energieträger und Strom entschieden vorantreiben.

Da Wasserstoff und seine Derivate auf längere Sicht nicht in der Höhe des für Deutschland voraussichtlich bestehenden Bedarfs verfügbar sein werden, muss die Energieversorgung noch auf längere Zeit auch auf Erdgas beruhen. Es ist zu erwarten, dass der Verzicht auf Kohle in der Industrie wie in der Stromversorgung auf absehbare Zeit sogar eine Steigerung des Erdgasbedarfes zur Folge haben wird. Deshalb werden für eine Übergangszeit parallele Strukturen für Erdgas, Wasserstoff und Wasserstoff-Derivate unvermeidlich sein. Umso entschiedener sollte

8 Schätzungen für den jährlichen inländischen Bedarf an Wasserstoff und dessen Syntheseprodukten kommen zu stark unterschiedlichen Ergebnissen. Die Schätzungen belaufen sich auf 400 bis 700 Terawattstunden bis 2045 (Staiß et al. 2022) bzw. auf 200 bis 800 Terawattstunden für das Jahr 2050 (Wietschel et al. 2021).

9 Für einen Vergleich von Transportoptionen siehe Staiß et al. (2022).

der Ausbau der Transport- und Speicherinfrastruktur für Wasserstoff und andere stoffliche Energieträger einschließlich Saisonalspeicher durch Neubau- und Umnutzungsprojekte vorangetrieben werden. Es sollte jetzt entschieden werden, wer die jeweilige Finanzierung und Trägerschaft der notwendigen Infrastruktur übernimmt.

Durch die zunehmende Elektrifizierung von Wärmeproduktion und Mobilität ist zu erwarten, dass sich der Stromverbrauch verdoppeln wird.¹⁰ Daher ist eine rasche Erweiterung des deutschen Stromnetzes zu planen und rechtssicher umzusetzen. In die richtige Richtung weist die jüngste Gesetzesnovelle zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren und dem damit verbundenen Ausbau des Stromnetzes.¹¹ Dies ist umso dringlicher, da sich die Umsetzung bereits vorliegender bzw. genehmigter Ausbaupläne seit Jahren verzögert. Der konsequente Ausbau des Stromnetzes (Verbund- und Verteilnetz) bei gleichzeitiger Digitalisierung seiner Steuerung (Smart Grid) ist die Grundlage für die angestrebte Elektrifizierung aller Gesellschaftsbereiche.¹²

5. Die Rolle von Gaskraftwerken in der Umstellungsphase stärken.

Sowohl infolge der zu erwartenden Vergrößerung des Strombedarfes durch vermehrte Elektrifizierung als auch infolge des Ausstiegs aus Kohle und Kernenergie wird der Bedarf an Gaskraftwerken wachsen. Die begonnene Neuordnung des heimischen Strommarktes muss dies unter Beachtung der europäischen Märkte berücksichtigen. Diese Reform ist eine entscheidende Grundlage der Energiewende und muss daher langfristig verlässlich sein. Ein leitender Gesichtspunkt sollte sein, dass auch in Zukunft erhebliche Kapazitäten von Kraftwerken bestehen müssen, die zunächst mit Erdgas betrieben, perspektivisch aber auf erneuerbar erzeugte stoffliche Energieträger (Wasserstoff und Derivate) umgestellt

10 Szenarien gehen von einem Bedarf bis 1200 Terawattstunden bis zum Jahr 2050 aus (IEK-FZJ 2022, Prognos et al. 2021).

11 Dies betrifft die Umsetzung der EU-Notfallverordnung vom 19. Dezember 2022 (Verordnung EU 2022/2577) in nationales Recht.

12 acatech/Leopoldina/Akademienunion (2021).

werden. An heutigen Standorten der Kohlekraftwerke ließe sich die dort bereits existierende Infrastruktur und ihre nationale Anbindung für stoffliche Energieträger weiter nutzen.

6. Das ganze Spektrum der Wissenschaftsdisziplinen für die Transformation nutzen.

Weit stärker als bisher sollten Erkenntnisse der Wirtschafts-, Sozial-, Verhaltens- und Politikwissenschaften aufgegriffen und die entsprechende systemorientierte Forschung im Verbund mit technik- und geowissenschaftlich orientierten Disziplinen ausgebaut werden. Dies ist beispielsweise notwendig, um einerseits die Wechselwirkungen zwischen den nationalen und internationalen Akteuren der Energiewende zu erfassen und andererseits die Handlungsoptionen für Technologie, Organisation, Kommunikation, Verbreitung und Partizipation zu erarbeiten. Auf diesen Feldern bestehen teils erhebliche Forschungslücken bei der Identifikation konkreter politischer Maßnahmen, die zur Klimaneutralität beitragen können. Forschungsbasierte Szenarien könnten hier allen beteiligten Akteursgruppen Orientierung bieten: Sie können darüber Auskunft geben, was welchen Akteuren unter welchen Rahmenbedingungen abverlangt würde, wenn ein bestimmter energiepolitischer Transformationspfad beschritten würde. Auf dieser Grundlage könnten vorausschauende und informierte politische Entscheidungen getroffen werden.

Auch mit Blick auf die systemische Gestaltung der Energieversorgung bestehen große Forschungsbedarfe. Dies betrifft zum Beispiel marktkonforme Governance-Strukturen für eine sichere, bezahlbare und nachhaltige Energieversorgung sowie konkrete Strategien, die bei der Integration variabler erneuerbarer Energien helfen und gleichzeitig die Dekarbonisierung von Gebäudewärme, Transport und Industrie im Sinne einer systemdienlichen Sektorkopplung unterstützen. Darüber hinaus sollten Strategien der Energieeffizienzsteigerung und des Infrastrukturbaus erforscht werden, die robust gegenüber den Unsicherheiten bei der Technologieentwicklung sind. Nicht weniger wichtig ist eine stabile und verlässliche Grundlagenforschung für die Energiekonversion und -speicherung. Die Forschung an neuen Konzepten, Prozes-

sen und Materialien muss dringend ausgeweitet werden, selbst wenn anfänglich kein unmittelbarer Anwendungszweck oder direkt spürbarer Beitrag zur Energiewende erwartet wird.

Von entscheidender Bedeutung ist die Organisation der Schnittstelle zwischen Forschung und industrieller Nutzung. Hier werden vor allem Transferprojekte und skalierte Demonstratoren, auch in Realumgebungen, benötigt. Nur langdauernde Betriebsversuche mit Stoffumsätzen im Bereich von tausenden Tonnen pro Jahr und entsprechenden Energiemengen können die Marktfähigkeit von solchen Verfahren und Produkten nachweisen, die Infrastrukturen mit jahrzehntelanger Bindewirkung erfordern. Neben der Entwicklung und Validierung von die Energiewende ermöglichenden Technologien bedarf es einer transformationsorientierten Forschung, um auf Ebene eines produzierenden, energieintensiven Unternehmens geeignete Transformationspfade zu identifizieren und deren Chancen und Risiken zu bewerten.

Technologien der Kernfusion, die auf dem kontrollierten Verschmelzen von Atomkernen bei extrem hohen Temperaturen basieren, werden für die Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 voraussichtlich keine Rolle spielen. Auf einer langfristigeren Zeitskala könnte die Kernfusion im Sinne eines Komplements zu dann etablierten erneuerbaren Energiequellen einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten.

Literaturverzeichnis

- acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.) (2021): Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung, München, https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publicationen/PDFs/ESYS_Resilienz_digitalisierter_Energiesysteme.pdf (Stand: 02.03.2023).
- acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.) (2023): Wie wird Deutschland klimaneutral? Handlungsoptionen für Technologieumbau, Verbrauchsreduktion und Kohlenstoffmanagement. Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung, München, https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publicationen/PDFs/ESYS_Stellungnahme_IntEv.pdf (Stand: 02.03.2023).
- Ariadne Hintergrund (2022): Eckpunkte und no-regret Maßnahmen für die Weiterentwicklung der CO₂-Bepreisung auf deutscher und europäischer Ebene. Potsdam, https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne-Hintergrund_WeiterentwicklungCO2-Bepreisung_Februar2022.pdf (Stand: 02.03.2023).
- Erlach, B., Fuss, S., Geden, O., Glotzbach, U., Henning, H.-M. et al. (2022): Was sind negative Emissionen, und warum brauchen wir sie?. Kurz erklärt!. ESYS, München, https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publicationen/PDFs/KurzErklaert_neg.Emissionen.pdf (Stand: 02.03.2023).
- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hrsg.) (2023): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2023. Berlin, https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2023/EFI_Gutachten_2023.pdf (Stand: 28.02.2023).

IEK-FZJ - Institut für Energie- und Klimaforschung, Forschungszentrum Jülich (2022): Neue Ziele auf alten Wegen? Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 204. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band 577. Jülich, https://user.fz-juelich.de/record/908382/files/Energie_Umwelt_577.pdf (Stand: 02.03.2023).

Kalkuhl, M., Franks M., Gruner F., Lessmann K., Edenhofer O. (2022): Pigou's Advice and Sisyphus' Warning: Carbon Pricing with Non-Permanent Carbon-Dioxide Removal. CESifo Workin Paper No. 10169, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4315996>.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045 – Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Stand: 02.03.2023).

Smith, S., Geden, O., Nemet, G., Gidden, M., Lamb, W., Powis, C., Bellamy, R., et al. (2023). State of Carbon Dioxide Removal – 1st Edition. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/W3B4Z>.

Staiß, F., Adolf, J., Ausfelder, F., Erdmann, C., Fishedick, M. et al. (2022): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, ESYS. München, https://doi.org/10.48669/esys_2022-6.

Wietschel, M., Zheng, L., Arens, M., Hebling, C., Ranzmeyer, O. et al. (2022): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus, https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/Metastudie_Wasserstoff_Abschlussbericht.pdf (Stand: 02.03.2023).

Autorinnen und Autoren

Ottmar Edenhofer ML	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam und Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change, Berlin
Veronika Grimm	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Gerald Haug ML	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Halle (Saale)
Jochem Marotzke ML	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg
Wolfgang Marquardt ML	Forschungszentrum Jülich
Robert Schlögl ML	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und Alexander von Humboldt-Stiftung, Berlin
Christoph M. Schmidt ML	RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen
Ferdi Schüth ML	Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim
Ulrich Wagner	TU München und Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München

Wissenschaftliche Mitarbeit und Koordination

Christian Anton	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft
Stefan Artmann	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Präsidialbüro
Kathrin Happe	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft
Johannes Schmoldt	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft
Sebastian Wetterich	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft
Matthias Winkler	Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft

Weitere Veröffentlichungen aus der Reihe „Leopoldina Diskussion“

Nr. 30: Organisatorische Voraussetzungen der Notfallvorsorge für Kulturgüter – 2023

Nr. 29: Die rechtlichen Grundlagen der Notfallvorsorge für Kulturgüter – 2022

Nr. 28: Ärztliche Aus-, Weiter- und Fortbildung – für eine lebenslange Wissenschaftskompetenz in der Medizin – 2022

Nr. 27: Nutzen von wissenschaftlicher Evidenz – Erwartungen an wissenschaftliche Expertise – 2021

Nr. 26: Neuregelung des assistierten Suizids – Ein Beitrag zur Debatte – 2021

Nr. 25: Ansatzpunkte für eine Stärkung digitaler Pandemiebekämpfung – 2021

Nr. 24: Globale Biodiversität in der Krise – Was können Deutschland und die EU dagegen tun? – 2020

Nr. 23: Spuren unter Wasser – Das kulturelle Erbe in Nord- und Ostsee erforschen und schützen – 2019

Nr. 22: Übergewicht und Adipositas: Thesen und Empfehlungen zur Eindämmung der Epidemie – 2019

Nr. 21: Wie sich die Qualität von personenbezogenen Auswahlverfahren in der Wissenschaft verbessern lässt: Zehn Prinzipien – 2019

Nr. 20: Gemeinsam Schutz aufbauen – Verhaltenswissenschaftliche Optionen zur stärkeren Inanspruchnahme von Schutzimpfungen – 2019

Nr. 19: Die Bedeutung von Wissenschaftlichkeit für das Medizinstudium und die Promotion – 2019

Nr. 18: Planbare Schwangerschaft – perfektes Kind? – 2019

Nr. 17: Zukunftsfähigkeit der Luftfahrtforschung in Deutschland – 2018

Nr. 16: Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes – 2018

Nr. 15: Ärztliches Handeln – Erwartungen und Selbstverständnis – 2017

Diese und weitere Diskussionspapiere der Leopoldina stehen kostenfrei unter folgendem Link zum Download zur Verfügung:
www.leopoldina.org/publikationen/stellungnahmen/diskussionspapiere

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.
– Nationale Akademie der Wissenschaften –

Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Tel.: (0345) 472 39-867
E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büros:
Unter den Linden 42 Reinhardtstraße 14
10117 Berlin 10117 Berlin

Die 1652 gegründete Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina ist mit ihren rund 1.600 Mitgliedern aus nahezu allen Wissenschaftsbereichen eine klassische Gelehrten-gesellschaft. Sie wurde 2008 zur Nationalen Akademie der Wissenschaften Deutschlands ernannt. In dieser Funktion hat sie zwei besondere Aufgaben: die Vertretung der deut-schen Wissenschaft im Ausland sowie die Beratung von Politik und Öffentlichkeit.

Die Leopoldina tritt auf nationaler wie internationaler Ebene für die Freiheit und Wert-schätzung der Wissenschaft ein. In ihrer Politik beratenden Funktion legt die Leopoldina fachkompetent, unabhängig, transparent und vorausschauend Empfehlungen zu gesell-schaftlich relevanten Themen vor. Sie begleitet diesen Prozess mit einer kontinuierlichen Reflexion über Voraussetzungen, Normen und Folgen wissenschaftlichen Handelns.

www.leopoldina.org