

Stellungnahme
Beitrag zur öffentlichen Anhörung

Antrag der Fraktion CDU/CSU

Technologieagenda Neue Energien

- Rolle der Wissenschaft in der Bundesregierung stärken

Prof. Dr. Claudia Kemfert
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) und
Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU)

Mohrenstraße 58
10117 Berlin

Berlin, den 17. Januar 2023

1. Wissenschaftliche Erkenntnisse Energietransformation

Aufgrund der fossilen Energiekrise ausgelöst durch den russischen Angriffskrieg in der Ukraine ist eine Beschleunigung der Energiewende und Energietransformation dringend geboten. Zum Erreichen der Klimaziele des Klimaschutzgesetzes ist eine rasche Senkung der Treibhausgase notwendig. Für die Bundesregierung rechtlich bindend sind die im Bundesklimaschutzgesetz 2021 (KSG) vorgegebenen Emissionsminderungsziele gegenüber 1990. Darin ist ein Emissionspfad beschrieben, der zu einer Nettoemission von null im Jahr 2045 führt, während bis zum Jahr 2030 das THG-Emissionsniveau um 65 % gegenüber dem Niveau von 1990 gesenkt werden soll. Betrachtet man das damit einhergehende Volumen an Emissionen, ist dieses immer noch deutlich größer als das Volumen, welches dem deutschen Beitrag zu einem CO₂-Budget entspricht, mit dem das 1,5-Grad-Limit des Pariser Klimaabkommens mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) unterscheidet daher zwischen zwei Lücken bei der Bewertung zukünftiger Emissionspfade: der Ambitions- und der Umsetzungslücke. Die Ambitions-lücke ist die Differenz zwischen dem 1,5°C-konformen Budget und den Zielvorgaben bis 2030 und 2045 wie sie im KSG vorgegeben sind. Die Umsetzungslücke bezeichnet den Unterschied zwischen dem tatsächlichen Emissionsniveau und den KSG-Zielvorgaben.

Daraus abgeleitet ergibt sich ein Energietransformationspfad, welcher anhand zahlreicher wissenschaftlicher Studien analysiert und dokumentiert wurde. Anliegend eine Auswahl wissenschaftlicher Studien aus den letzten Jahren zu den Themen der Energiewende und Dekarbonisierung samt Kohle-, Erdgas- und Atomausstieg, der Rolle von Wasserstoff in Rahmen der Energietransformation sowie der dafür notwendige Investitionsbedarf. Zudem dokumentiert die Auflistung zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen der geopolitischen Risiken.

Es zeigt sich, dass die wissenschaftlichen Studien der Untersuchung der notwendigen Energietransformation zahlreich und umfassend sind, fundierte Erkenntnisse gewonnen wurden. Die Wissenschaftsgemeinschaft samt Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen hat unzählige erfolgsversprechende Lösungen zur Erreichung der Ziele der Energiewende und Klimaschutz erarbeitet, die detailreich veröffentlicht und der interessierten Öffentlichkeit inklusive Politik zur Verfügung gestellt werden. In der Literaturübersicht wird nur eine Auswahl an Studien präsentiert, diese allein umfasst fast 90 Studien. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass unzureichende wissenschaftliche Erkenntnisse zur Erreichung der Ziele der Energiewende, Energietransformation und des Klimaschutzes vorliegen.

Besonders hervorzuheben sei an dieser Stelle die vom BMBF geförderten [Kopernikus-Projekte](#) für die Energiewende. Die Kopernikus-Projekte bilden eine der größten Forschungsinitiativen der Bundesregierung zum Thema Energiewende. Das Projekt [ENSURE](#) entwickelt dafür das Stromnetz der Zukunft. Das Projekt [P2X](#) erforscht die Umwandlung von erneuerbar erzeugtem Strom in Gase, Kraftstoffe, Chemikalien und Kunststoffe. Das Projekt [SynErgie](#) untersucht, wie energieintensive Industrieprozesse flexibilisiert und so an die Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien angepasst werden können. Das Projekt [ARIADNE](#) analysiert politische Maßnahmen, mit denen sich die Energiewende erfolgreich umsetzen lässt – und bezieht dabei die Ergebnisse der Schwester-Projekte mit in seine Analyse ein. In allen Projekten arbeiten Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft zusammen oder werden miteinbezogen. Gemeinsam erarbeiten die Kopernikus-Projekte über

zehn Jahre Lösungen bis zur praktischen Nutzung. Derartige Forschungsprojekte sind elementar, um die Lösungen zur Energiewende von der wissenschaftlichen Ausgestaltung bis zur praktischen Umsetzung zu erarbeiten und umzusetzen. Beispielsweise zeigt das [Energjemobil](#) zeigt leicht verständlich „zum Anfassen“ wie Energiewende funktioniert. Dabei wird aufgezeigt, wie die Energiewende und Energietransformation in fünf, zehn und fünfzehn Jahren zur Erreichung der Klimaneutralität erreicht werden kann. Diese Art der Forschung und Umsetzung ist das beste Beispiel dafür, wie Grundlagenforschung in den nächsten Ebenen transportiert werden. Dazu bedarf es keiner neuen Systeme, sondern einer aktiven weiteren Förderung und Umsetzung.

Zudem gibt es auch in diesem Forschungsrahmen wie stets bei Forschungsförderung zahlreiche „from lab to fab“ Ausgründungen und von Start-ups oder kleinerer und mittlerer Unternehmen. Diese Möglichkeiten weiter zu fördern und umzusetzen ist richtig und ratsam.

2. Stärkung der Wissenschaft als Booster gegen die aktuelle Energiekrise

Ohne Frage ist eine Stärkung der Wissenschaft zur Energieforschung und Erreichung der Ziele der Klimaneutralität wichtig. Richtig ist zudem, dass die Wissenschafts- und Forschungslandschaft elementare Erkenntnisse erarbeitet, die zur Umsetzung der angestrebten Ziele zu Rate gezogen werden. Die Ausgaben für die Energieforschung in Deutschland wurden bis zum Jahr 2020 nur leicht erhöht, insbesondere zur Erforschung der Wasserstoffstrategien wurden verstärkt Forschungsgelder ausgegeben, wohingegen die Ausgaben für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Energiespeicher leicht rückläufig waren. Diese Forschungsausgaben zu erhöhen im Rahmen einer speziellen Forschungsagenda für Speichertechnologien oder dezentraler „Energiewaben“ kann sicherlich erfolgsversprechend und zielführend sein. Forschungen an Nukleartechnologien wie auch Kernfusion werden dabei weiterhin kontinuierlich gefördert. Da eine besondere Dringlichkeit der Umsetzung zur Zielerreichung der Energiewende und des Klimaschutzes notwendig ist, erscheint es allerdings wenig sinnvoll, nur eine Technologie herauszugreifen, die besonders lange Zeiträume der Erforschung und potentiellen Implementierung erfordert und von der unklar ist, ob und wann sie jemals zum Einsatz kommen kann.

Notwendig wäre es hingegen durchaus, die Forschungsausgaben insbesondere für die Bereiche der erneuerbaren Energien, Energiesysteme und Energiespeicher zu erhöhen, um weitere Machbarkeitsstudien für eine schnelle und zielgerichtete Energietransformation zu erarbeiten. Die Studien im letzten Jahrzehnt haben herausgearbeitet, dass eine raschere Zielerfüllung zur Erreichung der Energiewende und Klimaziele mit einer schnelleren Implementierung einer auf erneuerbare Energien basierendes Energiesystem erreichbar wäre. Es ist sehr zu empfehlen, diese Studien fortzuführen, zu stärken und zu intensivieren durch eine Erhöhung der jeweiligen Forschungsausgaben. Benötigt werden zudem Studien, die die erarbeiten und verdeutlichen, wie eine rasche Implementierung der Energiewende aus einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energien gelingen kann, ähnlich des Kopernikus Projektförderungsrahmens.

Ausgaben für Energieforschung aus Bundesmitteln nach Sektoren in Mio. € (2020)	
Energieeffizienz ²⁾	21,6 15,2 14,4 16,6 19,0 27,7 18,1 16,4 15,1 11,8 30,6 19,8 21,7 25,7 22,9 25,6 29,6 48,8 120,5 151,0 152,8 177,1 205,1 128,1 128,9 110,6 140,3 146,2 210,0 199,3
Fossile Energieträger	80,8 60,1 35,5 25,9 17,1 4,4 1,8 1,6 13,0 12,0 22,7 17,3 10,1 12,3 14,3 16,0 24,6 40,3 38,0 31,2 39,5 31,6 36,5 34,2 33,8 42,5 48,5 48,3 19,9 31,6
Erneuerbare Energien	139,8 147,1 160,2 106,3 93,9 116,9 92,0 103,5 91,4 96,1 91,4 96,5 87,5 70,8 113,6 109,5 111,3 143,0 217,6 223,3 283,3 273,9 287,6 210,3 234,4 201,4 249,2 215,5 249,5 242,6
Nanotechnologie	416,6 287,7 271,3 230,9 208,9 199,1 192,2 207,1 107,2 191,1 164,2 150,1 176,0 174,9 170,7 174,0 172,4 189,2 252,4 238,4 257,5 238,4 244,0 230,0 232,1 225,9 225,0 221,1 222,1 215,7
Wasserstoff und Brennstoffzellen	
Sonstige Energien und Speichertechnologien	7,8 5,9 3,2 3,8 2,6 15,2 26,5 28,1 10,1 27,6 54,1 44,4 41,8 6,2 2,9 4,1 4,0 2,6 22,2 32,3 46,1 41,7 77,1 77,7 95,2 116,9 143,1 116,1 130,5 114,2
Andere übergreifende Technologieforschung	2,3 6,7 22,8 24,0 7,7 13,9 11,7 10,5 8,7 14,3 16,3 10,1 139,4 139,0 135,1 129,3 124,5 122,5 28,3 21,7 20,3 25,1 28,6 38,7 44,0 69,7 67,9 57,7 54,0 49,1
Gesamtausgaben	609,0 522,7 507,4 407,5 349,1 377,2 342,3 267,1 245,4 352,9 379,3 338,1 476,5 461,6 407,0 490,2 504,2 575,5 707,2 728,0 831,6 809,5 909,1 935,4 985,2 999,6 1126,5 1095,2 1116,7 1216,0

Tabelle 1: Ausgaben der Energieforschung in Deutschland in Mio. Euro (Quelle: [BMBK 2023](#))

Deutschland liegt bei den Ausgaben für Energieforschung im internationalen Vergleich hinter Ländern wie Frankreich, die Niederlande, Japan und USA. Die Umsetzung der Energiewende samt Erforschung der Lösungswege ist ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Daher wäre eine Erhöhung der Forschungsausgaben sehr zu befürworten.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kanada	149,4	99,1	103,6	88,3	85,8	92,6
USA	5.773,90	5.892,20	5.912,00	6.687,60	7.164,10	7.695,50
Japan	2.489,80	2.322,90	2.228,30	2.665,20	2.601,70	2.593,00
Dänemark	155,6	103,6	88,3	85,8	92,6	142,1
Frankreich	1.532,60	1.449,90	1.397,70	1.434,00	1.446,50	1.606,00
Deutschland ³⁾	985,2	999,6	1.126,50	1.095,20	1.166,70	1.216,00
Italien	510,9	442	446,5	461,5
Niederlande	202,8	188,1	215,5	248,6	292,9	297
Schweiz	1.220,20	1.400,90	1.378,20	1.568,90	1.506,00	1.589,20
Großbritannien	489,2	612,7	812,1	899,1	971,4	1.049,90
EU	1.403,50	1.382,20	1.571,90	1.507,30	1.590,70	1.437,80

Tabelle 2: Ausgaben ausgesuchter IEA-Mitgliedstaaten für Energieforschung in Mio. € (real 2020), Quelle [BMBK 2023](#)

Im Zuge der jetzigen fossilen Energiekrise sind rasche und sofort implementierbare Lösungen zur Abkehr von fossiler Energie und Umsetzung der Energiewende elementar. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Erreichung der Ziele der Energiewende und Klimaschutz sind dabei von besonderer strategischer Bedeutung. Eine fruchtbare Zusammenarbeit akademischer Forschung und Ressortforschung ist ganz sicher sinnvoll, eine Bündelung hingegen weniger.

3. Rolle von Wissenschaft im politischen Entscheidungsprozess stärken

Der vorliegende Antrag stellt berechtigterweise die Frage der möglichen Einbindung von Wissenschaft und wissenschaftlichen Erkenntnissen im politischen Entscheidungsfindungsprozess. Zur Bewältigung der aktuellen Energiekrise kann es durchaus zweckmäßig sein, wissenschaftliche Erkenntnisse von Beginn an stärker einzubinden und die Rolle der Wissenschaft im politischen Entscheidungsfindungsprozess zu stärken. Es ist durchaus zu empfehlen, einen professionell geführten Prozess aufzusetzen, der eine unabhängige wissenschaftliche Beratung in Energiefragen sicherstellt. Unabhängige, ergebnisoffene wissenschaftliche Studien für eine sichere, bezahlbare und emissionsfreie Energieversorgungen im Zuge der Energiewende und zur Erreichung der Klimaziele liegen zu großer Zahl vor. Wissenschaft benötigt Kontinuität, daher ist eine weitere Förderung sowie Ausweitung der Förderung der Energieforschung folgerichtig.

Es gibt einige Expertenräte in dem Kontext der Energiewende zur Erreichung der Ziele der Klimaneutralität, wie beispielsweise der [Expertenrat für Klimafragen](#) sowie die Expertenkommission zum Energiewende-Monitoring. Aufgrund der Dringlichkeit der Umsetzung der Energiewende zur raschen Zielerreichung der Klimaneutralität kann es in der Tat ratsam sein, eine auf Wissenschaft basierende Expertenkommission mit ähnlicher Durchschlagskraft und Dringlichkeit einzuführen. Diese kann sowohl kurz- als auch mittelfristige Maßnahmen erarbeiten und im politischen Entscheidungsfindungsprozess einbringen. Zusätzlich wäre ein Rat für Generationengerechtigkeit mit Mitgliedern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft sinnvoll, der es suspensives Vetorecht erhält und so verhindert, dass rückwärtsgewandte und der Umwelt und Klima schädliche Gesetze und Maßnahmen erlassen werden. In Zeiten von multiplen Krisen ist es dringend geboten, schnelle Maßnahmen zur Zielerreichung umzusetzen und weitere Zielverfehlungen zu vermeiden.

Fazit

Grundsätzlich kann dem Antrag „Technologieagenda Neue Energien- Rolle von Wissenschaft in Bundesregierung stärken“ dahingehend zugestimmt werden, als dass eine Stärkung und Intensivierung der Förderungen von wissenschaftlicher Forschung und Entwicklung notwendig und ratsam ist. Die zeitnahe Umsetzung der Energiewende zur Erreichung der Klimaziele ist dringend geboten. Drei Jahrzehnte Forschungen zur Energiewende samt Implementierung haben aktuelle Lösungen aus erneuerbaren Energien, Digitalisierung und intelligente Steuerung von Energie- und Lastmanagement ermöglicht. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse dazu sind elementar. Etablierte Forschungsförderungen sollten fortgeführt und intensiviert werden. Zahlreiche Forschungen zur Erreichung und Umsetzung der Energiewende liegen bereits vor, weitere Forschungen dazu sind geboten. Durch eine zielgerichtete Förderung gestärkte Wissenschafts- und Forschungslandschaft kann durchaus ein Booster gegen die aktuelle Energiekrise sein. Auch kann und sollte die Rolle der Wissenschaft in politischen Entscheidungsprozessen gestärkt werden. Eine frühzeitige Einbindung von Wissenschaft zur Bewältigung der Energiekrise insbesondere im Hinblick auf zur Verfügung stehende technische Lösungsoptionen sowie ihre Implementierung erscheint ebenso durchaus sinnvoll. Ebenso ratsam ist es, einen Prozess zu implementieren, der eine unabhängige wissenschaftliche Beratung der Bundesregierung in Energiefragen kontinuierlich sicherstellt.

Literatur

1) Energiewende und Dekarbonisierung

Fraunhofer ISES (Hg.) (2021): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Update November 2021: Klimaneutralität 2045. Unter Mitarbeit von Julian Brandes, Markus Haun, Daniel Wrede, Patrick Jürgens, Christoph Kost und Hans-Martin Henning. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf>.

Hägele, Ramona; Iacobuță, Gabriela I.; Tops, James (2022): Addressing climate goals and the SDGs through a just energy transition? Empirical evidence from Germany and South Africa. In: Journal of Integrative Environmental Sciences 19 (1), S. 85–120. DOI: 10.1080/1943815X.2022.2108459.

Hägele, Ramona; Iacobuță, Gabriela I.; Tops, James (2022): Addressing climate goals and the SDGs through a just energy transition? Empirical evidence from Germany and South Africa. In: Journal of Integrative Environmental Sciences 19 (1), S. 85–120. DOI: 10.1080/1943815X.2022.2108459.

Hebling, Christopher; Ragwitz, Mario; Fleiter, Tobias; Groos, Ulf; Härle, Dominik; Held, Anne et al. (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. In: Fraunhofer Institut für System-und Innovationsforschung ISI & Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme.

IEA (2021): Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. Edited by IEA. International Energy Agency. Paris. Available online at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad0d4830-bd7e-47b6-838c-40d115733c13/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf>, checked on 5/24/2021.

IEA (Hg.) (2021): Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. Online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySectorCORR.pdf>.

Joest, S.; Fichtner, M.; WIETSCHEL, M.; Bünger, U.; Stiller, C.; Schmidt, P. et al. (2009): GermanHy Studie zur Frage "Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?".

Lechtenböhmer, Stefan; Samadi, Sascha (2022): Key strategies to achieve deep decarbonisation of the industry sector. insights from a meta-analysis of recent climate neutrality scenarios for Germany. In: ECEEE SUMMER STUDY PROCEEDINGS, 1431-143.

Leopoldina (Hg.) (2022): Energiewende 2030: Europas Weg zur Klimaneutralität. Ad-hoc-Stellungnahme - Juni 2020. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften. Online verfügbar unter https://pure.mpg.de/rest/items/item_3239350/component/file_3240393/content.

Linnemann, Marcel; Peltzer, Julia (2022): Wasserstoff und Energiewende. In: Wasserstoffwirtschaft kompakt: Klimaschutz, Regulatorik und Perspektiven für die Energiewirtschaft. Unter Mitarbeit von Marcel Linnemann und Julia Peltzer. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–67.

Luderer, Gunnar; Kost, Christoph; Dominika (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. DOI: 10.48485/pik.2021.006.

Mengis, Nadine; Kalhori, Aram; Simon, Sonja; Harpprecht, Carina; Baetcke, Lars; Prats-Salvado, Enric et al. (2022): Net-Zero CO₂ Germany—A Retrospect From the Year 2050. In: Earth's Future 10 (2). DOI: 10.1029/2021EF002324.

Naegler, Tobias; Sutardhio, Claudia; Weidlich, Anke; Pregger, Thomas (2021): Exploring long-term strategies for the german energy transition. - A review of multi-Sector energy scenarios. In: Renewable and Sustainable Energy Transition 1, S. 100010. DOI: 10.1016/j.rset.2021.100010.

Oei, Pao-Yu; Herold, Johannes; Mendelevitch, Roman (2014): Modeling a Carbon Capture, Transport, and Storage Infrastructure for Europe. In: Environ Model Assess 19 (6), S. 515–531. DOI: 10.1007/s10666-014-9409-3.

Perino, Grischa and Jarke-Neuert, Johannes and Schenuit, Felix; Wickel, Martin; Zengerling, Cathrin (2022): Closing the Implementation Gap: Obstacles in Reaching Net-Zero Pledges in the EU and Germany. In: Politics and Governance 10 (3).

Peterssen, Florian; Schlemminger, Marlon; Lohr, Clemens; Niepelt, Raphael; Bensmann, Astrid; Hanke-Rauschenbach, Richard; Brendel, Rolf (2022): Hydrogen supply scenarios for a climate neutral energy system in Germany. In: International Journal of Hydrogen Energy 47 (28), S. 13515–13523. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.098.

Pickering, Bryn; Lombardi, Francesco; Pfenninger, Stefan (2022): Diversity of options to eliminate fossil fuels and reach carbon neutrality across the entire European energy system. In: *Joule* 6 (6), S. 1253–1276. DOI: 10.1016/j.joule.2022.05.009.

Pietzcker, Robert C.; Osorio, Sebastian; Rodrigues, Renato (2021): Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. In: *Applied Energy* 293, S. 116914. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116914.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (Hg.) (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf.

Robinius, Martin; Markewitz, Peter; Lopion, Peter; Kullmann, Felix; Heuse, Philipp-Matthias; Syranidis, Konstantinos et al. (2019): Wege für die Energiewende. Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. Edited by Institut für Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3). Forschungszentrum Jülich.

Schill, Wolf-Peter; Roth, Alexander; Guéret, Adeline (2022): Ampel-Monitor zeigt: Energiewende muss deutlich beschleunigt werden. In: *DIW Wochenbericht* 89 (27), S. 371–379. DOI: 10.18723/diw_wb:2022-27-

SRU (2022): Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO₂-Budget. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (Stellungnahme). Available online at https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antw_orten_zum_co2_budget.pdf?__blob=publicationFile&v=15, checked on 6/26/2022.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Umweltgutachten 2020. Berlin.

Wiese, Frauke; Thema, Johannes; Cordroch, Luisa (2022): Strategies for climate neutrality. Lessons from a meta-analysis of German energy scenarios. In: *Renewable and Sustainable Energy Transition* 2, S. 100015. DOI: 10.1016/j.rset.2021.100015.

2) Investitionsbedarf Energietransformation

Andrijevic, Marina; Schleussner, Carl-Friedrich; Gidden, Matthew J.; McCollum, David L.; Roge, Joeri (2020): Covid-19 recovery funds dwarf clean energy investment needs. In: *Science* 370 (6514), S. 298–300.

Bogdanov, Dmitrii; Farfan, Javier; Sadovskaia, Kristina; Aghahosseini, Arman; Child, Michael; Gulagi, Ashish et al. (2019): Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. In: *Nature communications* 10 (1), S. 1077. DOI: 10.1038/s41467-019-08855-1.

D’Orazio, Paola; Popoyan, Lilit (2019): Fostering green investments and tackling climate-related financial risks: Which role for macroprudential policies? In *Ecological Economics* 160, pp. 25–37. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.01.029

D’Orazio, Paola; Löwenstein, Philipp (2022): Mobilising investments in renewable energy in Germany: which role for public investment banks? In *Journal of Sustainable Finance & Investment* 12 (2), pp. 451–474. DOI: 10.1080/20430795.2020.1777062.

Egli, Florian; Steffen, Bjarne; Schmidt, Tobias S. (2018): A dynamic analysis of financing conditions for renewable energy technologies. In: *Nat Energy* 3 (12), S. 1084–1092. DOI: 10.1038/s41560-018-0277-y.

Geddes, Anna; Schmidt, Tobias S.; Steffen, Bjarne (2018): The multiple roles of state investment banks in low-carbon energy finance: An analysis of Australia, the UK and Germany. In: *Energy Policy* 115, S. 158–170. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.01.009

Klaaßen, Lena; Steffen, Bjarne (2023): Meta-analysis on necessary investment shifts to reach net zero pathways in Europe. In: *Nat. Clim. Chang.* DOI: 10.1038/s41558-022-01549-5.

Mazzucato, Mariana; Semieniuk, Gregor (2018): Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. In: *Technological Forecasting and Social Change* 127, S. 8–22. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.05.021.

McCollum, David L.; Zhou, Wenji; Bertram, Christoph; Boer, Harmen-Sytze de; Bosetti, Valentina; Busch, Sebastian et al. (2018): Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. In: *Nat Energy* 3 (7), S. 589–599. DOI: 10.1038/s41560-018-0179-z.

Monasterolo, Irene; Dunz, Nepomuk; Mazzocchetti, Andrea; Gourdel, Régis (2022): Derisking the low-carbon transition: investors' reaction to climate policies, decarbonization and distributive effects. In: *Rev Evol Polit Econ* 3 (1), S. 31–71. DOI: 10.1007/s43253-021-00062-3.

Pahle, M.; Tietjen, O.; Osorio, S.; Egli, F.; Steffen, B.; Schmidt, T. S.; Edenhofer, O. (2022): Safeguarding the energy transition against political backlash to carbon markets. In: *Nat Energy* 7 (3), S. 290–296. DOI: 10.1038/s41560-022-00984-0.

Polzin, Friedemann; Sanders, Mark; Serebriakova, Alexandra (2021): Finance in global transition scenarios: Mapping investments by technology into finance needs by source. In: *Energy Economics* 99, S. 105281. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105281.

Steffen, Bjarne; Schmidt, Tobias S. (2019): A quantitative analysis of 10 multilateral development banks' investment in conventional and renewable power-generation technologies from 2006 to 2015. In: *Nat Energy* 4 (1), S. 75–82. DOI: 10.1038/s41560-018-0280-3.

Kemfert, Claudia; Schäfer, Dorothea; Semmler, Willi (2020): Great Green Transition and Finance. In: *Inter economics* 55 (3), S. 181–186. DOI: 10.1007/s10272-020-0896-y.

3) Wasserstoff

Agora Energiewende (Hg.) (2022): Energiesicherheit und Klimaschutz vereinen. Maßnahmen für den Weg aus der fossilen Energiekrise. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022_03_DE_Immediate_Action_Programme/A-EW_252_DE_Immediate_Programme_WEB.pdf.

Agora Energiewende (Hg.) (2022): Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf.

Agora Energiewende, Forum New Economy (Hg.) (2021): Öffentliche Finanzierung von Klima und anderen Zukunftsinvestitionen. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_09_KlimaInvest2030/A-EW_244_KlimaInvest_II_WEB_v1.2.pdf.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und (Hg.) (2022): Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Aktualisierte Analyse zur Stahlbranche. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_10_DE_KIT/AEW_230_Klimaschutzvertraege-Industrietransformation-Stahl_Update_WEB.pdf.

Agora Industry (Hg.) (2022): International climate cooperation for energy-intensive industry. A (realistic) proposal. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_09_IND_Climate_Trade_CBAM_1/A-EW_263_Climate-Alliances_WEB.pdf.

Agora Industry (Hg.) (2022): Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Analyse zur Zementbranche. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_10_DE_KIT/A-EW_259_Klimaschutzvertraege-Industrietransformation-Zement_WEB.pdf.

Agora Industry (Hg.) (2022): Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Kurzfristige Schritte auf dem Pfad zur Klimaneutralität der deutschen Grundstoffindustrie. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_10_DE_KIT/A-EW_249_Klimaschutzvertraege-Industrietransformation-Studie_WEB.pdf.

Bartholdsen, Hans-Karl; Eidens, Anna; Löffler, Konstantin; Seehaus, Frederik; Wejda, Felix; Burandt, Thorsten et al. (2019): Pathways for Germany's Low-Carbon Energy Transformation Towards 2050. In: *Energies* 12 (15), S. 2988. DOI: 10.3390/en12152988.

BBH (2021): Making renewable hydrogen costcompetitive: Legal evaluation of potential policy support instruments. Commissioned by Agora.

BMWK, dena (Hg.) (2022): Support mechanisms for international hydrogen projects by the German government. Online verfügbar unter

https://www.dena.de/fileadmin/H2_Dialog/Dokumente/Factsheets/2022_10_Factsheet_Germany_s_hydrogen_support_mechanisms_EN.pdf.

Bunde, Nicolas; Freuding, Julia (2022): Der Weg zur klimaneutralen Industrie - wie gelingt die Transformation? In: ifo Schnelldienst 75 (1), S. 58–63.

Cerniauskas, Simonas; Markewitz, Peter; Stolten, Detlef; Heuser, Philipp-Matthias; Robinius, Martin; Grube, Thomas et al. (2021): Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen. (No. FZJ-2021-02025), Technoökonomische Systemanalyse.

Child, Michael; Kemfert, Claudia; Bogdanov, Dmitrii; Breyer, Christian (2019): Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe. In: Renewable Energy 139, S. 80–101. DOI: 10.1016/j.renene.2019.02.077.

DeAngelo, Julianne; Azevedo, Inês; Bistline, John; Clarke, Leon; Luderer, Gunnar; Byers, Edward; Davis, Steven J. (2021): Energy systems in scenarios at net-zero CO2 emissions. In: Nature communications 12 (1), S. 6096. DOI: 10.1038/s41467-021-26356-y.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2019): Grüner Wasserstoff: potenzieller Nicht-EUPartnerländer. Internationale Kooperations-potenziale für Deutschland Kurzanalyse zu ausgewählten Aspekten

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): "Wie gelingt der Aufbau der Wasserstoff-Netzinfrastruktur in Deutschland und Europa?". dena.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): Analyse ENERGY HUB Port of Wilhelmshaven. dena.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): Global Harmonisation of Hydrogen Certification. Overview of global regulations and standards for renewable hydrogen. dena.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): H2-Report: Wasserstoffstrategien der Bundesländer. dena.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): Hy3-Large-scale hydrogen production from offshore wind to decarbonise the Dutch and German industry. Feasibility study Hy3. Unter Mitarbeit von Logan Brunner, Néstor González Díez und Hester Dijkstra. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/H2_Dialog/Dokumente/Hy3_Large-scale_Hydrogen_Production_from_Offshore_Wind_to_Decarbonise_the_Dutch_and_German_Industry.pdf.

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): Wasserstoffprojekte in Deutschland. Die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungsketten. dena. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/221129>

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (dena, 2021). „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“

Lux, Benjamin; Pfluger, Benjamin (2020): A supply curve of electricity-based hydrogen in a decarbonized European energy system in 2050. In: Applied Energy 269, S. 115011. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115011.

SRU (2021): Wasserstoff im Klimaschutz. Klasse statt Masse. Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). Berlin (Stellungnahme).

4) Geopolitische Energiekrise

Agora Energiewende (Hg.) (2022): Regaining Europe's Energy Sovereignty 15 Priority Actions for RePowerEU. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_07_EU_GEXIT/253_Regaining-Europes-Energy-Sovereignty_WEB.pdf.

Agora Energiewende (Hg.) (2022): Schutz in der fossilen Energiekrise –Optionen für Ausgleich und Entlastung. Unter Mitarbeit von Alexander Dusolt, Katharina Hartz, Mareike, Herrndorff, Thorsten Lenck, Julia Metz et al.

Agora Energiewende (Hg.) (2022): Volle Leistung aus der Energiekrise. Mit Zukunftsinvestitionen die fossile Inflation bekämpfen.

Agora Energiewende, Agora Industrie (Hg.) (2022): 12 Thesen zu Wasserstoff. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_H2_Insights/A-EW_258_12_Thesen_zu_Wasserstoff_WEB.pdf.

Halser, Christoph; Paraschiv, Florentina (2022): Pathways to Overcoming Natural Gas Dependency on Russia—The German Case. In: *Energies* 15 (14), S. 4939. DOI: 10.3390/en15144939.

Höhne, Niklas; Marquardt, Mats; Fekete, Hanna (2022): Pläne für deutsche FlüssigerdgasTerminals sind massiv überdimensioniert. Kurzstudie. NewClimate Institute. Online verfügbar unter https://newclimate.org/sites/default/files/2022-12/Ing_deutschland_web_0.pdf.

Holz, Franziska; Kemfert, Claudia: No need for new natural gas pipelines and LNG terminals in Europe. DIW focus. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (no 5). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/225000/1/1728512115.pdf>.

Holz, Franziska; Sogalla, Robin; Hirschhausen, Christian R. von; Kemfert: Energieversorgung in Deutschland auch ohne Erdgas aus Russland gesichert. In: *DIW aktuell* (No. 83., DIW Berlin).

Holz; Franziska; Kemfert; Claudia; Engerer; Hella et al. (2022): Europa kann die Abhängigkeit von Russlands Gaslieferungen durch Diversifikation und Energiesparen senken PDF Logo. In: *DIW aktuell* No. 81.

Pedersen, Tim Tørnes; Gøtske, Ebbe Kyhl; Dvorak, Adam; Andresen, Gorm Bruun; Victoria, Marta (2022): Long-term implications of reduced gas imports on the decarbonization of the European energy system. In: *Joule* 6 (7), S. 1566–1580. DOI: 10.1016/j.joule.2022.06.023.

Steffen, Bjarne; Patt, Anthony (2022): A historical turning point? Early evidence on how the Russia-Ukraine war changes public support for clean energy policies. In: *Energy Research & Social Science* 91, S. 102758. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102758.

Opitz, Petra; Hirschhausen, Christian von (2001): Ukraine as the Gas Bridge to Europe? Economic and Geopolitical Considerations, pp. 149–165. DOI: 10.1007/978-3-642-57598-3_11.

Rehner, Robert; McCauley, Darren (2016): Security, justice and the energy crossroads: Assessing the implications of the nuclear phase-out in Germany. In: *Energy Policy* 88, S. 289–298. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.10.038.

5) Kohle-, Erdgas- Atomausstieg

climate transparency (Hg.) (2019): Managing the phase-out of coal. A comparison of actions in G20 countries. Online verfügbar unter <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/05/Managing-the-phase-out-of-coal-DIGITAL.pdf>.

DIW Berlin, Wuppertal Institut, ecologic (Ed.) (2018): Die Beendigung der energetischen Nutzung von Kohle in Deutschland: ein Überblick über Zusammenhänge, Herausforderungen und Lösungsoptionen. Ein Überblick über Zusammenhänge, Herausforderungen und Lösungsoptionen. Available online at https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7231/file/7231_Kohlereader.pdf.

Hirschhausen, Christian; Kemfert, Claudia; Praeger, Fabian (2020): Fossil Natural Gas Exit – A New Narrative for European Energy Transformation towards Decarbonization. In *DIW Discussino Papers* No. 1892. Available online at https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.798191.de/dp1892.pdf.

Kemfert, Claudia; Praeger, Fabian; Braunger, Isabell; Hoffart, Franziska M.; Brauers, Hanna; Präger, Fabian (2022): The expansion of natural gas infrastructure puts energy transitions at risk. In *Nature Energy* 7 (7), pp. 582–587. DOI: 10.1038/s41560-022-01060-3.

Kittel, Martin; Goeke, Leonard; Kemfert, Claudia; Oei, Pao-Yu; Hirschhausen, Christian von (2020): Scenarios for Coal-Exit in Germany—A Model-Based Analysis and Implications in the European Context. In *Energies* 13 (8), p. 2041. DOI: 10.3390/en13082041.

Löffler, Konstantin; Burandt, Thorsten; Hainsch, Karlo; Kemfert, Claudia; Oei, Pao-Yu; Hirschhausen, Christian von (2018): Modeling the Low-Carbon Transformation in Europe: Developing Paths for the European Energy System Until 2050. In: *Energiewende "Made in Germany"*. Low Carbon Electricity Sector Reform in the European Context. Unter Mitarbeit von Christian von Hirschhausen, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz und Pao-Yu Oei: Springer, S. 345–374.

McCauley, Darren; Brown, Antje; Rehner, Robert; Heffron, Raphael; van de Graaff, Shashi (2018): Energy justice and policy change: An historical political analysis of the German nuclear phase-out. In: Applied Energy 228, S. 317–323. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.06.093.

Oei, Pao-Yu (2018): Greenhouse Gas Emission Reductions and the Phasing-out of Coal in Germany. In: Energiewende "Made in Germany". Low Carbon Electricity Sector Reform in the European Context. Unter Mitarbeit von Christian von Hirschhausen, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz und Pao-Yu Oei: Springer, S. 81–116.

Oei, Pao-Yu; Brauers, Hanna; Herpich, Philipp (2020): Lessons from Germany's hard coal mining phase-out: policies and transition from 1950 to 2018. In: Climate Policy 20 (8), S. 963–979. DOI: 10.1080/14693062.2019.1688636.

Oei, Pao-Yu; Hermann, Hauke; Herpich, Philipp; Holtemöller, Oliver; Lünenbürger, Benjamin; Schult, Christoph (2020): Coal phase-out in Germany – Implications and policies for affected regions. In: Energy 196, S. 117004. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117004.

Rinscheid, Adrian; Wüstenhagen, Rolf (2019): Germany's decision to phase out coal by 2038 lags behind citizens' timing preferences. In: Nat Energy 4 (10), S. 856–863. DOI: 10.1038/s41560-019-0460-9.

SRU (Hg.) (2017): Kohleausstieg jetzt einleiten. Stellungnahme. Sachverständigenrat für Umweltfragen. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2017_10_Stellungnahme_Kohleausstieg.pdf?__blob=publicationFile&v=35.

Zhao, Stephen; Alexandroff, Alan (2019): Current and future struggles to eliminate coal. In: Energy Policy 129, S. 511–520. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.02.031.

6) Rolle der Wissenschaft in der Energietransformation

Deutsche Energie-Agentur (Hg.) (2022): Das ist Transferforschung. Wie Wissenschaft für die Reallabore der Energiewende den Weg zur Wasserstoffwirtschaft begleite. dena.

Finetti, Marco (2011): Interview: „Ohne Forschung keine Energiewende“. In: forschung - Mitteilungen der DFG 36 (2), S. 22–23. DOI: 10.1002/fors.201190031.

Grunwald, Armin; Renn, Ortwin; Schippl, Jens (2017): Die Energiewende verstehen - orientieren - gestalten. Erkenntnisse aus der Helmholtz-Allianz ENERGY-TRANS: Nomos.

Hillerbrand, Rafaela (2022): Weshalb wir Wissenschaften im Plural zur Entscheidungsfindung brauchen: das Beispiel Energiewende. In: Andreas Bartels und Dennis Lehmkuhl (Hg.): Weshalb auf die Wissenschaft hören? Antworten aus Philosophie und wissenschaftlicher Praxis. 1st ed. 2022. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint Springer, S. 293–338.

7) Forschungsagenda

Gatto, Andrea (2022): The energy futures we want: A research and policy agenda for energy transitions. In: Energy Research & Social Science 89, S. 102639. DOI: 10.1016/j.erss.2022.102639.

Gitelman, Lazar; Kozhevnikov, Mikhail (2022): Energy Transition Manifesto: A Contribution towards the Discourse on the Specifics Amid Energy Crisis. In: Energies 15 (23), S. 9199. DOI: 10.3390/en15239199.

Goldthau, Andreas; Tagliapietra, Simone (2022): Energy crisis: five questions that must be answered in 2023. In: Nature 612 (7941), S. 627–630. DOI: 10.1038/d41586-022-04467-w.

HEKKERT, M.; VANGIESSEL, J.; ROS, M.; WIETSCHHEL, M.; MEEUS, M. (2005): The evolution of hydrogen research: Is Germany heading for an early lock-in? In: International Journal of Hydrogen Energy 30 (10), S. 1045–1052. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2005.04.002.