

Dr. Rainer Moormann und Dr. Anna Veronika Wendland

Warum wir die deutschen Kernkraftwerke jetzt noch brauchen

Vorschlag für eine neu aufgestellte Energiewende unter den Bedingungen des Klimanotstandes

Zweite Fassung vom 04.01.2021

Angesichts des Klimanotstandes und der aktuell zu langsam voranschreitenden Dekarbonisierung schlagen wir vor, die noch am Netz befindlichen sechs deutschen Kernkraftwerke (KKW) möglichst unter Staatsregie mit strengen Auflagen weiterlaufen zu lassen. Stattdessen sollten im selben Umfang besonders klimaschädliche Braunkohle-Kapazitäten zeitgleich stillgelegt werden, was die deutschen CO₂-Gesamtemissionen bezogen auf 2023 - 2025 um ca. 10 % senken würde. Falls bis 2030 die erforderlichen wesentlichen Fortschritte auf dem Weg zu Großspeichern für ein weitgehend auf Erneuerbaren Energien basierendes System nicht zu beobachten wären, müsste zwangsläufig über einen Neubau von Kernkraftwerken – zusätzlich zum Erneuerbaren-Ausbau – nachgedacht werden. Zur Vorbereitung dieser Diskussion sollten öffentliche Fördermittel ab sofort auch in Hinblick auf ein solches Szenario eingesetzt werden. Die EEG-Umlage sollte durch ein steuerfinanziertes Modell ersetzt werden.

Rethinking the German nuclear phaseout: Why we still need nuclear power to reach climate goals

January 4, 2021

Abstract

Actually, Germany's Energy Transition ("Energiewende") foresees a quick phaseout of the country's nuclear capacities, whereas lignite power is planned to be phased out only till 2038. Both sources are to be replaced by renewables in the long term. This, however, results in large additional CO₂ emissions in comparison to the alternative, a quick lignite phaseout and a delayed nuclear phaseout. Since Germany's renewables park is dominated by VRE (wind & solar), the German energy system additionally faces the challenge of providing storage and / or backup infrastructure for its mostly weather-dependent renewable generation. However, the country does not dispose of such capacities at industrial scale and probably will not do so till 2030, when the most coal- and lignite-fired power plants should have been taken out of service according to the "coal agreement" of 2019. Therefore, the authors identify a high risk of slipping back into another fossil backup for VRE, predominantly natural gas. Having in mind these challenges for our climate goals, we – one author being a critic, one a proponent of nuclear power – propose a lifetime extension for the still operating six German NPP until about 2035 in order to reach climate goals. This proposed prolongation is in line with the original operation permit of 2010, which was however withdrawn after the Fukushima accident. Until the ramping up of Germany's storage infrastructures is sufficiently under way, nuclear could provide a low carbon backup for German VRE. Should the actual NPP owners not be able or willing to organize the required lifetime extension, the respective process should be conducted under public administration, guided by a climate emergency legislation. Instead of the NPP, lignite power plants of the same capacity should be phased out immediately, as they show very pronounced CO₂ emissions. This transitional period with a "phaseout replacement" (quick fossil phaseout / slow nuclear phaseout instead of quick nuclear phaseout / slow fossil phaseout) would allow Germany to reduce its total CO₂ emissions by approximately 10 % per year (based on 2023 - 2025) in comparison to the actual*

**German „Energiewende“ contains several measures aiming the restructuring of the German energy market. The main goals are the complete termination of nuclear power production (end of 2022), and CO₂ emission reduction by slow decrease of fossil fuel consumption (coal consumption ending 2038, total CO₂-emissions in 2050 reduced by 80 to 95 % compared to 1990 values). VRE shall provide for most of the electricity generation. However LNG remains to be a major energy source, at least until 2050, thus endangering the implementation of both the Energiewende and the Paris treaty goals, which requires a reduction of CO₂ emissions to about 95% in 2050.*

phaseout model. In 2030, the progress of storage infrastructure deployment for VRE should be reassessed. In case of non-sufficient availability of low carbon storage solutions by 2030, we consider a discussion on German nuclear new-build (Gen3+ or SMR PWR) mandatory. In preparation of this discussion we propose to include VRE/NPP mix scenarios into R&D. At the same time, renewables new-build should be reinforced. The future funding of these measures should be tax based instead of levy-based.

Rainer Moormann, physical chemist, worked 1976-2012 at Research Centre Juelich on safety of nuclear pebble bed reactors, fusion reactors and spallation neutron sources. For his publications on insufficient safety of pebble bed reactors, released in spite of major opposition, he obtained the German Whistleblower Award in 2011.

Anna Veronika Wendland is a historian specializing on the history of nuclear technology. She is a PI at the Collaborative research center "Dynamics of security" in Gießen / Marburg. For her study on "Nuclear Modernity in Eastern and Western Europe" she did 8 years of research as industrial anthropologist at several nuclear power plants in Eastern Europe and Germany.

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort zur Zweiten Fassung.....	5
1. Die derzeitige Rolle der verbliebenen KKW.....	6
2. Der deutsche Weg.....	7
3. Eine Lösung mit vielen Unbekannten.....	10
4. Randbedingungen einer GER6-Laufzeitverlängerung.....	15
5. Heraus aus der Sackgasse.....	18
Anhang: Stellungnahme zu Einwänden gegen unser Memorandum in der Version vom 16.07.2020.....	25
Informationen zu den Autoren.....	28
Danksagung.....	28

0. Vorwort zur Zweiten Fassung.

Mit dieser zweiten Fassung des Memorandums erfolgten kleinere Überarbeitungen und Erweiterungen. Kritik und Anregungen sind eingearbeitet, unserer Meinung nach unbegründete Kritik wird zurückgewiesen.

Insgesamt hatten wir nach Erscheinen der ersten Fassung des Memorandums am 16.07.2020 erwartet, dass es inhaltlich anspruchsvolle Kritik an unseren Kernforderungen aus Klimaschutzsicht, nämlich

- Kohleausstieg vor KKW-Ausstieg zum verbesserten Klimaschutz
- Diskussion über AKW-Neubau, wenn strukturelle Probleme der Energiewende, insbesondere die Forcierung von Speicherlösungen, bis 2030 nicht gelöst sind, um Klimaschutzziele zu erreichen

geben würde. Das ist trotz des großen medialen Interesses nur in geringem Umfang geschehen. Die Mehrzahl der Reaktionen beschränkte sich auf pauschale Argumente gegen die Atomtechnik, auch als Instrument des Klimaschutzes. Es gab fast keine diskussionswürdigen Auseinandersetzungen mit unserem Papier. Deutlich erkennbar war die Tendenz, die Diskussion um Kernenergie als Instrument zur Bekämpfung des Klimawandels für beendet zu erklären. Wir vermuten als Grund die Engführung der deutschen Energiewende-Diskussion auf wenige favorisierte Erneuerbaren-Technologien, was die facto auf eine Priorisierung des Atomausstiegs gegenüber dem Klimaschutz hinausläuft. Das geht auch aus den Basistexten und -entscheidungen zur Energiewende hervor. Beide Sachverhalte sind unserer Ansicht nach Merkmale einer deutschen Sonderentwicklung, welche unser Land beim Erreichen von Klimazielen behindert.

1. Die derzeitige Rolle der verbliebenen KKW

Am 30. Juni 2011 beschloss der Deutsche Bundestag mit der Novellierung des Atomgesetzes den Ausstieg unseres Landes aus der Kernenergienutzung bis 2022. Seitdem sind die deutschen KKW sukzessive vom Netz gegangen, das vorläufig letzte war Philippsburg-2 am 31.12.2019. Aktuell sind noch sechs KKW am Netz (GER6). Nach dem Atomausstiegsbeschluss müssen drei davon (Brokdorf, Grohnde, Gundremmingen C) zum 31.12.2021 vom Netz gehen, drei (Emsland, Isar-2, Neckarwestheim-2) bis zum 31.12.2022. Nach Erlöschen der Berechtigung zum Leistungsbetrieb gemäß Atomgesetz ist dieser Schritt de facto irreversibel. Damit gehen rund 8.500 MW installierter CO₂-armer Leistung verloren. Insgesamt wurden 2019 von den (damals noch sieben) deutschen KKW rund 76 Terawattstunden (also 76 Milliarden kWh) Brutto-Atomstrom erzeugt¹, also noch rund 12 % des deutschen Strombedarfs, und mehr als die Braunkohle-Gesamterzeugung des wichtigsten Braunkohlelandes Nordrhein-Westfalen.² Betrachten wir die Nettostromproduktion, so erbrachten die KKW für das öffentliche Netz rund 71 TWh, die Braunkohlekraftwerke 102 TWh.³ Diese Leistung erbrachten die KKW sowohl im Grundlastbetrieb⁴ als auch als Lastfolge-fahrende Anlagen im Mittellastbetrieb.⁵ Dabei haben die Kernkraftwerke auch wichtige Aufgaben für das Backup variabel einspeisender Erneuerbarer Energien (VRE)⁶ übernommen.

- 1 Kernenergie in Zahlen 2019, in: KernD, <https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/service/621kernenergie-in-zahlen.pdf>
- 2 Bundesverband Braunkohle, Braunkohle in Deutschland. Daten und Fakten. <https://braunkohle.de/wp-content/uploads/2019/04/Braunkohle-in-Deutschland-Daten-und-Fakten-Statistikfaltblatt-deutsch.pdf>. Die Braunkohle-Gesamterzeugung lag 2018 bei 145,5 TWh, die NRWs bei 72 TWh.
- 3 Bruno Burger (Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE), Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2019, https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/Stromerzeugung_2019_2.pdf. Die Werte für weitere Energieträger: Wind 127,7 TWh, Erdgas 54,1 TWh, Steinkohle 48,7 TWh, PV 46,5 TWh, Biomasse 44,4 TWh, Wasserkraft 19,2 TWh. Diese Werte schließen rund 40 TWh Stromexporte von überproduziertem Strom ein, sie widerspiegeln also korrekt ausgedrückt nicht den Mix des Stromverbrauchs deutscher Verbraucher, sondern nur die Netto-Produktionsmenge (d. h. ohne Eigenbedarf der Kraftwerke und ohne Industriekraftwerke).
- 4 Brutto-Grundlaststromerzeugung in Deutschland 2018, in: Kernenergie in Zahlen 2019, a.a.O. Demnach kam Kernenergie für knapp ein Drittel (32,1 %), Braunkohle für 61,4 % des Grundlastaufkommens auf.
- 5 Zur Lastfolge in Kernkraftwerken: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag / Reinhard Grünwald / Claudio Caviezel, Lastfolgefähigkeit deutscher Kernkraftwerke. Hintergrundpapier Nr. 21, Berlin März 2017, <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Hintergrundpapier-hp021.pdf>; aus Betreibersicht: Holger Ludwig, Tatiana Salnikova und Ulrich Waas, Lastwechselfähigkeiten deutscher KKW, in: Sonderdruck aus Jahrgang 55 (2010), Heft 8/9 August/September Internationale Zeitschrift für Kernenergie, 2–9; mit Einbeziehung von Erkenntnissen über neue Reaktorleistungsregelung: Kuhn, Andreas / Peter Klaus, Improving automated load flexibility of NPP with ALFC, in: VGB PowerTech 96 (2016), Nr. 5, 48–52; international: Aliko van Heek, Hybrid systems: mixing things up, in: Nuclear Engineering International, 20.06.2019, <https://www.neimagazine.com/features/featurehybrid-systems-mixing-things-up-7267616>.
- 6 „variable renewable energy“, die international übliche Bezeichnung für intermittierend einspeisende erneuerbare Erzeuger.

2. Der deutsche Weg

Die Erneuerbaren Energien (EE) kamen 2019 für rund 46 % der deutschen Nettostromproduktion auf,⁷ beim Stromverbrauch betrug der EE-Anteil im Jahresdurchschnitt 43 %.⁸ Das ist im weltweiten Vergleich der Industrieländer ein eindrucksvoller Anteil und eine gewaltige Steigerung gegenüber den Vorjahren. Doch gleichzeitig bleibt Deutschland bei der Erreichung von Klimazielen hinter anderen Industrieländern zurück, beispielsweise Frankreich und Schweden, die einen Mix aus Erneuerbaren mit hohem Wasserkraft-Anteil und Kernenergie nutzen.⁹ Anfang 2020 räumte die Bundesregierung ein, dass die deutschen Klimaziele nicht erreicht werden – der ökonomische Einbruch infolge der Corona-Krise kann diese Bilanz noch verbessern, doch dies wird sicherlich kein konsensfähiger Weg sein, um Klimaziele dauerhaft zu erreichen.¹⁰ Dieser Rückschlag hat auch mit der spezifischen Ausrichtung der deutschen Energiewende zu tun. Deren Ziele waren prioritär der Ausstieg aus der Kernenergie, zweitens die staatliche Förderung insbesondere der VRE Windkraft und Photovoltaik, also im Grunde eine Stromwende. Deutschland hat also nicht nur in den anderen Sektoren (Mobilität, Wärme) bisher zu wenig geleistet; es hat auch in der Gesamtbilanz (der Kernenergie-Anteil lag 2010 noch bei rund 22 %)¹¹ lediglich die eine CO₂-arme Quelle durch eine andere ersetzt, allerdings um den Preis, mit der Kernenergie außerdem auch noch eine Quelle mit *gesicherter* Leistung zu verlieren. Daraus folgt, dass VRE ohne Speicher die Kernenergie zwar bilanziell, nicht aber funktionell ersetzt haben.¹²

Der landestypische EE-Mix mit Dominanz der VRE Windkraft und Photovoltaik und einer geringen Rolle von Wasserkraft stellt uns daher mehr als andere Länder vor die Problematik der Stromspeicherung. Während die heute installierte EE-Leistung an wind- und sonnenreichen Tagen unsere Stromversorgung mühelos decken kann, steht tageweise, vor allem im Winterhalbjahr, viel zu wenig Strom aus EE zur Verfügung. Ansehnliche Monatsdurchschnittsbilanzen oder Tageserfolge verdecken die Tatsache, dass wir es im Tages- und Wochenlastgang beständig mit Phasen der Über- und Unterproduktion zu tun haben.

Die bei der Energiewende erforderlichen Speicher lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen, Kurzzeitspeicher (bis 1 Tag), und Langzeitspeicher (Monate), die unterschiedliche Funktionen erfüllen müssen: Während Kurzzeitspeicher (z. B. Batteriesysteme) die im Tagesverlauf auftretenden Schwankungen ausgleichen, zur Netzstabilisierung dienen und oberhalb eines Anteils von 60 % VRE zunehmend unverzichtbar werden, sollen Langzeitspeicher (z.B. Power

7 Burger, Öffentliche Nettostromerzeugung 2019.

8 BDEW, Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Stromverbrauchs in Deutschland 2019, https://www.bdew.de/media/documents/Beitrag_EE_zur_Deckung_des_Stromverbrauchs_Jahr_2019_online_o_Ba_12032020.pdf

9 Globale Vergleichsdaten sind tagesgenau einsehbar unter Electricitymap, <https://www.electricitymap.org/>.

10 Regierungsgutachten prophezeien Verfehlen der Klimaziele, in: Die Welt, 05.03.2020, <https://www.welt.de/politik/deutschland/article206334547/Klimapaket-Regierungsgutachten-prophezeien-Verfehlen-der-Klimaziele.html>

11 2010: 22,2 % der Bruttostromerzeugung, KernD, Kernenergie in Deutschland 2019.

12 Friedrich Wagner: Zwischenbilanz der Energiewende, in: Physik-Journal 18 (2019) Nr. 10, 43–49

to Gas wie Wasserstoff, Methan) im Jahresgang auftretende Phasen geringer Verfügbarkeit von VRE bis hin zu kalten Dunkelflauten ausgleichen.¹³

Stromspeichertechnologien sind zwar technisch gesehen machbar, aber derzeit nur in Form von öffentlich geförderten Pilotanlagen kleiner Kapazitäten verfügbar. Es gibt gegenwärtig noch keine nennenswerten Planungen, Errichtungen oder gar Inbetriebsetzungen von Speichersystemen im Industriemaßstab. Hinzu kommt, dass saisonale Speicher über P2G mit Überschusserzeugung der VRE gefüllt werden sollen; da solche Überschüsse zeitlich stark schwankend auftreten, ist die Auslastung der Konversionsanlagen schlecht. Daher ist zur Verwertung des VRE-Überschussstroms eine große Überkapazität an teuren P2G-Konversionsanlagen erforderlich.

Zum Erfolg des aktuellen Energiewendefahrplans benötigen wir hinreichend repräsentative prototypische Anlagen aber bereits ab 2030, um acht Jahre später, wenn der komplette Ausstieg aus der Kohle vollzogen sein wird, erprobte großtechnische Anlagen zu besitzen.¹⁴ Aus dieser Situation folgt: Nach dem Wegfall der Kernenergie wird deren Funktion im Bereich gesicherter Leistung und EE-Backup, anders als viele Menschen annehmen, nicht von EE übernommen, sondern vorwiegend von fossilen Erzeugern. Denn was den hohen Anteil von VRE an unserer derzeitigen Stromversorgung überhaupt erst ermöglicht, ist die Bereitstellung eines stabilen und auf Einspeiseschwankungen flexibel reaktionsfähigen Netzes – eine Funktion, welche die EE mit Ausnahme der Bandenergien Biomasse und Wasserkraft aber ohne Speicher nicht übernehmen können.

In einem kernenergiefreien Deutschland werden diese Systemleistungen zur Spannungs- und Frequenzhaltung vorerst also fast ausschließlich durch Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerke übernommen. Nach dem Willen der Bundesregierung soll in Zukunft vor allem Erdgas als „Übergangstechnologie“ die Backup-Funktion für Erneuerbare übernehmen. Das wirft weitere Fragen auf: Erdgasverbrennung ist im dann auch erforderlichen Teillastbetrieb hinsichtlich der spezifischen Emissionen emissionsträchtiger als im heutigen Vollast- bzw. Spitzenlastbetrieb, wenn auch absehbar bei einem massiven Zubau von EE-Kapazitäten die Anforderungstunden der Gaskraftwerke in Teillast mit der Zeit sinken könnten. Erdgas ist über seine gesamte Produktionskette wegen der auftretenden Methan-Emissionen trotz deutlich geringerer CO₂-Emissionen bei der Verbrennung als klimaschädliche Lösung anzusehen.¹⁵ Zudem treibt uns die wachsende Abhängigkeit von russischem Erdgas in

13 Agora Studie: Speicher in der Energiewende (2014)

<https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/stromspeicher-in-der-energiewende/>

14 Sicherstellung der Stromversorgung bei Dunkelflauten. Dokumentation, Deutscher Bundestag, Wissenschaftliche Dienste WD 5 - 3000 - 167/18, 31.01.2019. Dieser Überblick über mehrere Studien und Publikationen (davon auch mehrere aus dem Umfeld von EE-affirmativen NGOs oder Interessenvertretungen) ergibt, dass es erstens kontroverse Auffassungen über die Machbarkeit eines zu 100 % auf EE basierenden Systems gibt und dass es zweitens erst wenige konkrete Untersuchungen über den Lastfall Dunkelflaute gibt. Die dort diskutierte Studie der DENA rechnet mit erforderlichen Langzeit-Speicherkapazitäten von 30 bis 45 TWh. Die meisten Studien befassen sich mit Szenarien für die fernere Zukunft, nur wenige befassen sich mit kritischen Fragen wie Akzeptanz von Demand-Side-Management oder Finanzierbarkeit:

<https://www.bundestag.de/resource/blob/627898/b65deea51fdb399e4b64f1182465658d/WD-5-167-18-pdf-data.pdf>

15 Thure Traber, Hans-Josef Fell, Erdgas leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz. EnergyWatchGroup Erdgasstudie September 2019,

sicherheitspolitische Dilemmata und in einen Konflikt mit der EU-Energiestrategie zur Diversifizierung der Energielieferungen.

http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_Erdgasstudie_2019.pdf; Darauf verweist auch der Bericht der „Kohlekommission“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Abschlussbericht Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, Stand Januar 2019, <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/kommission-wachstum-strukturwandel-und-beschaeftigung/>.

3. Eine Lösung mit vielen Unbekannten

Eine für dieses Problem wäre ein dezentralisiertes Netz erneuerbarer Erzeuger, in dem digitale Netzleittechnik mit einer flexiblen Zusammenschaltung virtueller Kraftwerke sowie einer Verbrauchssteuerung für Netzstabilität sorgt. Doch verfügen wir bislang über dieses Instrument nur in Ansätzen. Der Netzausbau stockt, nicht zuletzt aufgrund vieler Einsprüche von Bürgerinitiativen. Auch wirft diese Lösung ökonomische, ökologische und ethische Fragen auf, die nach wie vor nicht ausreichend geklärt sind. Es fehlt der hinreichende Nachweis, dass eine dezentral organisierte, aber überwiegend auf Niedrigenergieflüssen aus Umgebungsenergien beruhende Stromproduktion und -verteilung jene enorme Steigerung des zukünftigen Strombedarfs abfedern kann, welche durch Elektromobilität und

Elektrifizierung des Wärmemarktes erzeugt würde¹⁶ („Sektorkopplung“¹⁷). Und selbst bei größtmöglicher Flexibilität der Stromverteilung muss sichergestellt sein, dass die Stromproduktion zu jedem Zeitpunkt mindestens so hoch ist wie die Nachfrage (Last). Eine angenommene flexible Verbrauchssteuerung mag auch bei einer Unterdeckung der Last in der Lage sein, das Stromnetz stabil zu halten, allerdings würde es dann erforderlich werden, Teilnetze von der Stromversorgung zu trennen (Lastabwurf).¹⁸ Der Bedarf an Kurzzeitspeichern lässt sich verschiedenen Studien folgend dadurch minimieren, dass moderate Abregelung der VRE zugelassen wird, d. h. Erzeugungsspitzen nicht gespeichert

16 So die Metastudie B. P. Heard, B. W. Brook, T. M. L. Wigley, C. J. A. Bradshaw, Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100 % renewable-electricity systems, in: Renewable and Sustainable Energy Reviews vol 76 (September 2017), 1122–1133, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117304495>. Eine FZJ-Studie vom Oktober 2019 (Langfassung Juli 2020) zur Machbarkeit der Energiewende ist unter https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/News/TransformationStrategies2050/_node.html dokumentiert. Wir haben diese Studie als eine Basis unserer Überlegungen gewählt, weil das FZJ als multidisziplinäre Forschungseinrichtung eine etwas geringere Nähe zu den Handelnden der aktuellen Energiewende haben dürfte und daher mehr Objektivität verspricht als andere auf Deutschland bezogene Studien. Das FZJ untersucht zwei Szenarien für die Energiewende bis 2050: Nämlich auf 80 % und 95 % Reduktion der CO₂ Emissionen (bezogen auf 1990) basierende Fälle. Zu berücksichtigen ist in beiden Szenarien ein Anteil von 4 % industriebedingten CO₂ Emissionen, der ohne (in den Simulationen unberücksichtigte) CO₂-Abscheidung nicht beseitigt werden kann. Eine 80 % Reduktion wurde als Mindestanforderung an die Energiewende von der Bundesregierung festgeschrieben. In beiden Szenarien wird Kernenergie nach 2022 ausgeklammert. Ihnen ist weiterhin gemeinsam, dass eine Energieeinsparung von insgesamt fast 50 % umgesetzt werden muss (Verkehr und Gebäudesektor mit 50 - 58 % Einsparungen, Industrie mit 37 - 38 %). Darüber hinaus ergeben sich große Unterschiede: Die 80 %-Variante stellt sich als vergleichsweise leicht durchführbar heraus und benötigt nur einen kleinen Kurzzeitspeicherumfang, da ein größerer Anteil des Bedarfs weiterhin fossil (überwiegend durch Erdgas) abgedeckt wird: insgesamt müssen dafür 654 TWh pro Jahr an fossilem Methan importiert werden, was fast 40 % des Primärenergiebedarfs entspricht. Die Stromerzeugung erfolgt zu 90 % über EE. Trotz der nicht unerheblichen CO₂-Einsparungen können die Ziele des Pariser Klimaabkommens damit nicht erfüllt werden (Gesamtemissionen 2050: ca. 260 Mio t CO₂/a). Die Gesamtkosten dieses Wendeszenarios bis 2050 bleiben mit 655 Mrd € weit hinter den Kosten des 95%-Szenarios zurück (1.850 Mrd €). Letzteres erfüllt, etwa mit einem 99 % Anteil von EE an der Stromerzeugung, zwar die Paris-Kriterien (Gesamtemissionen 2050: ca. 60 Mio t CO₂/a), entpuppt sich aber insgesamt als große Herausforderung: So sind bei Berücksichtigung von Dunkelflauten gespeicherte saisonale Energiereserven (Langzeitspeicher) von mehr als 80 TWh erforderlich, wenn nicht auf eine entsprechende Erhöhung der Importe zurückgegriffen werden kann. Dazu werden Power-to-Gas (P2G) Technologien in großem Umfang eingesetzt. Gemäß der Studie „Energy Brainpool GmbH & Co. KG (2017). Kalte Dunkelflaute: Robustheit des Stromsystems bei Extremwetter. Studie im Auftrag der Greenpeace Energy“ (s. https://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studien/Studie_2017-06-26_GPE_Studie_Kalte-Dunkelflaute_Energy-Brainpool.pdf) von 2017 existiert eine Ausgleichsmöglichkeit auf europäischer Basis für eine 14-tägige Dunkelflaute aber nur sehr bedingt, sodass auf Langzeitspeicher zurückgegriffen werden muss. Im 95 % Szenario des FZJ werden die Energieimporte auf etwa 20 % des Verbrauchs reduziert. Die Studie weist aus, dass diese Importe (vor allem von H₂) im 95 % Fall um ca. 10 Mrd €/Jahr kostengünstiger sind als ein völlig energieautarkes Szenario. Das 95% Szenario des FZJ lässt gut 300 TWh Biomasse als Energieträger zu, was wir aus ökologischer Sicht für hoch problematisch halten. Nach Einschätzung der FZJ-Experten ist eine frühzeitige Entscheidung zwischen beiden Szenarien erforderlich, da die zu ergreifenden Maßnahmen unterschiedlich sind. Eine ähnliche Studie, aber fixiert auf schnelleres Erreichen der Klimaziele, wurde im Herbst 2020 von Agora Energiewende veröffentlicht (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 11.11.2020: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. <https://www.agora-energiewende.de>). Diese Studie enthält nur einen 95% Reduktionspfad

werden.¹⁹ In diesem Fall werden noch Kurzzeitspeicherkapazitäten von ca. 1 TWh für ein Energiewendeszenario mit 90 % VRE im Netz benötigt – für schnelle Speicher ein immer noch herausfordernder Wert.²⁰ Die saisonale Langzeitspeicherproblematik, d.h. die Absicherung von langandauernden kalten Dunkelflauten durch speicherbare gasförmige Energieträger, was erheblich höhere Speicherkapazität von bis zu 100 TWh erforderlich werden lässt²¹, bleibt davon unberührt.²³

Die Dekarbonisierung der Chemie- und Stahlindustrie mit grünem Strom und Wasserstofftechnologie stellt eine zusätzliche immense Herausforderung dar: Allein der Strombedarf für die Dekarbonisierung der Chemieindustrie würde den heutigen Gesamtstromverbrauch Deutschlands weit übersteigen. Auch hier sind wir über den Pilotanlagen-Status nicht hinaus. Gemäß Dekarbonisierungsstudien aus der Stahl- und Chemieindustrie können diese ohne staatliche Eingriffe und internationale Einflussnahme der EU unter einem radikalen CO₂-Einsparziel für 2050 nicht konkurrenzfähig bleiben.²³

und setzt stark auf Wasserstoff und Carbon Capture and Storage CCS. Biomasse spielt keine bedeutende Rolle. Bemerkenswert ist der Verzicht auf Methan aus P2X, was vermutlich mit zu geringen Fortschritten auf diesem Sektor zusammenhängt.

- 17 Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina / Deutsche Akademie der Technikwissenschaften / Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende. Stellungnahme des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“, November 2017, <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-sektorkopplung/>.
- 18 § 13 (2) Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)
- 19 DIW Berlin: Die Energiewende wird nicht an Stromspeichern scheitern (2018). https://www.diw.de/de/diw_01.c.591373.de/publikationen/diw_aktuell/2018_0011/die_energiewende_wird_nicht_an_stromspeichern_scheitern.html
- 20 Nach Einschätzung der FZJ-Studie (s. Fn. 16) entspricht der Kurzzeit-Speicherbedarf etwa der Kapazität von 10 % der 2050 vorhandenen Batterien im Verkehrssektor. Deren Integration in das Netz könnte nach FZJ-Meinung das Kurzzeitspeicherproblem eventuell lösen. Das wird jedoch zunehmend bezweifelt.
- 21 Agora-Studie zum Speicherbedarf (wie Fn. 13), Sicherstellung der Stromversorgung bei Dunkelflauten (wie Fn. 14), FZJ-Studie (siehe Fn. 16). Der Bedarf einer kalten Dunkelflaute allein liegt bei 30 – 45 TWh.
- 23 Der Wert von 100 TWh basiert auf den FZJ-Simulationsrechnungen (siehe Fn 16). Es sei angemerkt, dass dabei nur die maximale Abnahme des Speicherstandes im Winterhalbjahr in Rechnung gestellt wurde. Da es sich auch bei Langzeitspeicherung um einen dynamischen Prozess handelt, weist dieser Wert nur die Differenz von Zu- und Abfluss aus. Die insgesamt zur Speicherung bereitzustellende Menge an Wasserstoff und Methan liegt also höher.
- 23 „Salzgitter AG fordert Staatshilfe für klimafreundliche Stahlherstellung“, in: Hannoversche Allgemeine Zeitung online, 10.01.2020, <https://www.haz.de/Nachrichten/Wirtschaft/Niedersachsen/CO2-Minderung-Salzgitter-AG-fordert-Staatshilfe-fuer-klimafreundliche-Stahlherstellung>, und die Wirtschaftsvereinigung Stahl bereits 2017: „Klimaschutz: Weltweiter Ansatz fehlt weiterhin“, in: Engagement für Stahl. Jahresbericht 2017, Düsseldorf 2017, 14–16. https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2017/12/WV-Stahl_Jahresbericht_2017-D-RZ_Web.pdf; Anna Veronika Wendland, Ein CO₂-armes Stahlwerk und seine Stromversorgung, in: Stahl und Eisen, 07.03.2020, <https://www.stahleisen.de/2020/03/07/ein-co2-armes-stahlwerk-und-seine-stromversorgung/>. Roland Geres, Andreas Kohn, Sebastian Lenz, Florian Ausfelder, Alexis M. Bazzanella, Alexander Möller, Roadmap Chemie 2050: Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI, <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf>, insbes. 75–78. Allein die anlagentechnische Umrüstung schlägt – ohne Stromkosten – besonders in der letzten Phase mit jährlich bis zu 5,5 Milliarden Euro zu Buche, d. h. in einer Phase ab 2040, wo bereits *vorausgesetzt* wird, dass der Kohleausstieg gelungen *und* zu günstigen Preisen zu haben sei: „Insbesondere das Ergebnis für den Scope 3, bei dem sehr erhebliche Emissionsreduktionen erst später und unter Inkaufnahme hoher Investitions- und Strombedarfe erfolgen, zeigt, dass für eine

Die Finanzierung eines überwiegend auf Umgebungsenergien beruhenden Systems mit Großspeichern ist noch offen. Es ist nicht auszuschließen, dass es entweder auf eine massive CO₂-Besteuerung oder aber auf eine weitere bürgerfinanzierte Umlage nach EEG-Muster (oder beides) hinausläuft, was die Aussicht auf eine Senkung der Verbraucher- und Industriestrompreise eher schwinden lässt und die Gefahr birgt, dass die Bürger keine „Energiewende-Dividende“ einfahren können, die aber eine Voraussetzung für die Akzeptanz einer solchen weitreichenden Umwälzung wäre.

Der Ressourcen- und Flächenbedarf eines solchen Systems lässt Zweifel an der ökologischen Verträglichkeit dieses Vorhabens aufkommen, wie die kritische Diskussion um den Zusammenhang von Energiewendeförderung für Biomassekraftwerke, agrarische Monokulturen, Windkraftanlagen (WKA) in Wäldern und Gefahren dieser Entwicklungen für die Biodiversität zeigt.²⁴ Ethische und (datenschutz-) rechtliche Fragen um das „smarte“ Demand-Side-Management sind noch nicht ansatzweise geklärt, wenn Algorithmen darüber entscheiden, wann und wie weit Dritte Zugriff auf PKW-Batterien und Haushaltsgeräte bekommen, um diese zu- oder abzuregulieren oder um über die Systemrelevanz konkurrierender, durch Lastabwurf bedrohter Verbraucher befinden müssen. All diese Prozesse berühren Persönlichkeits-, Besitz-, Unversehrtheits- und Bewegungsfreiheitsrechte sowie die informationelle Selbstbestimmung der Stromkunden.

Schließlich verfügen wir derzeit über keine hinreichende Risikoforschung zur Verwundbarkeit und Ausfallsicherheit digital gesteuerter dezentraler Stromnetze mit fast ausschließlich erneuerbaren Erzeugern.²⁵ Offensichtlich hat die Wahrnehmung der einzelnen EE-Anlagen als vergleichsweise harmlos die Entscheider dazu verleitet, ein Großsystem zigtausender digital vernetzter EE-Anlagen und Speicher-Infrastruktur nicht als komplex, enggekoppelt und potenziell störungsanfällig anzusehen. Sie sollten sich den Atomkritiker Klaus Traube zu Herzen nehmen, der einmal mit Bezug auf das Schicksal gescheiterter Kernenergieprojekte sagte: „Das größte Risiko droht von scheinbaren Trivialitäten, an die keiner gedacht hat“.²⁶ Mit Blick auf die drei Hauptziele eines guten Energiesystems (Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit, Bezahlbarkeit), zu denen wir ohne weiteres auch die soziale und ethische Vertretbarkeit gesellen können, kommen wir also nicht umhin zu konstatieren, dass die Energiewende erstens in einen Zielkonflikt geraten ist und dass uns zweitens auch nach

vollständige Zielerreichung der Treibhausgasneutralität sehr ambitionierte und günstige Rahmenbedingungen (z. B. Strompreis) zugrunde gelegt werden müssen“ (78). Für die Ausbauphase des am meisten CO₂ einsparenden Pfades 3 werden bis zu 700 TWh zusätzlicher jährlicher CO₂-armer Strombedarf veranschlagt, das sind rund 136 % des heutigen jährlichen *Gesamtstromverbrauchs* Deutschlands (2018: 513 TWh/a), vgl. Geres et al. 75, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch>). Auch die Chemieindustrie ruft angesichts dieser immensen Herausforderungen nach dem Staat: „Klimaschutz braucht günstige Energie“, Pressemitteilung des VCI, 04.03.2020, <https://www.vci.de/themen/energie-klima-rohstoffe/klimaschutz/klimaschutz-braucht-guenstige-energie-co2-minderung-in-der-eu-realistisch-gestalten.jsp>.

24 UFZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Biodiversität und Energie, <https://www.ufz.de/index.php?de=36058>, mit Fachliteratur-Liste; NABU, Rotmilan und Windenergie –ein Faktencheck. Stellungnahme zu Dokumenten aus der Windenergiebranche, <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/wind/160406-nabu-faktencheck-rotmilan-und-windenergie.pdf>

25 Sicherstellung der Stromversorgung bei Dunkelflauten (wie Fn. 14)

26 Zitiert nach Joachim Radkau / Lothar Hahn, Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft, München 2013, 394.

20 Jahren EE-Förderung wesentliche Wissensbestände fehlen, um zweifelsfrei festzustellen, dass der Technologiewechsel ökonomisch, ökologisch und ethisch *vertretbarer ist als ein Verbleiben in der Kernenergienutzung*. Die Bejahung dieser Frage war ja das Hauptargument für die Energiewende.²⁷ In dieser ohnehin bereits schwierigen Situation – der weitere Verlauf der Energiewende ist im Ungewissen, eine teilweise Rekarbonisierung unserer Elektrizitätswirtschaft aufgrund fehlender Stromspeicher ist nicht auszuschließen – stehen wir zudem vor einer immensen Herausforderung durch den rapide Fahrt aufnehmenden Klimawandel.

27 Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft. Abschlussbericht der Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung, 4. April bis 28. Mai 2011, im Auftrag der Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel, in: <https://archiv.bundesregierung.de/archiv-de/kommissionsbericht-zur-energiewende-ein-gemeinschaftswerk-fuer-die-zukunft-394388>

4. Randbedingungen einer GER6-Laufzeitverlängerung

Die sechs noch laufenden deutschen KKW zeichnen sich durch einen störungsarmen Betrieb aus. Es handelt sich bei den fünf Druckwasserreaktoren sowie dem verbliebenen Siedewasserreaktor um eine insgesamt ausgereifte Technologie (DWR Baulinie 3 und Konvoi, SWR Baulinie 72). Sie gingen zwischen 1985 und 1989 in Betrieb. Im Zuge der Laufzeitverlängerung 2010, welche ein vollständiges Ende des KKW-Betriebs erst ca 2036 vorsah, gab es vergleichende Sicherheitsbetrachtungen für die damals noch laufenden 17 Anlagen²⁸. Diesen Untersuchungen ist unter anderem zu entnehmen, dass es sich bei diesen aktuell noch laufenden sechs KKW um die sicherheitstechnisch robustesten Anlagen handelt. Das bestätigte auch der EU-weite Stresstest, welcher nach dem Fukushima-Unfall durchgeführt wurde und 2013 vorlag.²⁹ Weniger robuste Anlagen wie die DWR-Bauline 2 (Biblis A u.a..) und die gesamte Baureihe SWR69 wurden bereits 2011 stillgelegt. Eine kritische Bewertung des Sicherheitsstandards kommt vom Bund für Umwelt und Naturschutz. Einige der skizzierten, insgesamt eher undramatischen Schwachpunkte betreffen in Hinblick auf langfristigen Weiterbetrieb geplante, aber wegen der 2011 erfolgten Rücknahme der Laufzeitverlängerung von 2010 unterbliebene Nachrüstungen, die bei einem Weiterbetrieb in Angriff genommen werden sollten.³⁰

Eine zwingende Voraussetzung für den Weiterbetrieb der Anlagen besteht in einer hinreichenden Schadensvorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik.³¹ Nach unserer Einschätzung können die genannten Anlagen diesen Anspruch erfüllen. Eine Laufzeitverlängerung auf insgesamt ca. 45 Jahre erscheint im Kontext der international geführten Laufzeitdebatte (USA bis 80 Jahre, Westeuropa bis 60 Jahre, z. T. schon umgesetzt) durchaus moderat. Die GER6 gehören zwar noch zur Reaktorgeneration 2 der Kernkraftwerke und sind in ihren sicherheitstechnischen Merkmalen hinsichtlich auslegungsüberschreitender Störfälle daher der aktuell baureifen Generation 3+ in einigen Punkten unterlegen (z. B. Auslegung gegen Kernschmelze / Einwirkungen von außen: verstärktes Doppelcontainment³², Core Catcher, zusätzliche passive Kühlsysteme). Wir halten das aber vor dem Hintergrund der

28 Überblick zur Sicherheit deutscher Kernkraftwerke durch den wissenschaftlichen Dienst des Bundestages (2010) <https://www.bundestag.de/resource/blob/418818/29778c4319246d827500b75e5868220b/WD-8-094-10-pdf-data.pdf> W. Renneberg, Risiken alter Kernkraftwerke (2010). https://kotting-uhl.de/site/wp-content/uploads/2010-07-12_studie_risiken_alter_kernkraftwerke.pdf

29 Die Links zum EU-Stresstest, zur RSK-Stellungnahme und zu GRS-Dokumenten betr. Sicherheitsüberprüfung nach dem Fukushimaunfall finden sich auf der BMU Webseite zum Europäischen Stresstest (2013): <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/nukleare-sicherheit/fukushima-folgemaassnahmen/eu-stresstest/> Der Stresstest bezieht sich in Deutschland auf 12 KKW

30 O. Becker: Atomstrom 2016. Sicher, sauber, alles im Griff? https://umweltfairaendern.de/wp-content/uploads/2016/04/160308_bund_atomenergie_atomstrom_studie-1.pdf

31 Der Stand von Wissenschaft und Technik beschreibt den Entwicklungsstand fortschrittlichster Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die nach Auffassung führender Fachleute aus Wissenschaft und Technik auf der Grundlage neuester wissenschaftlich vertretbarer Erkenntnisse im Hinblick auf das (gesetzlich) vorgegebene Ziel (hier der Schadensvorsorge) für erforderlich gehalten werden und das Erreichen dieses Ziels gesichert erscheinen lassen. Wirtschaftliche Gesichtspunkte dürfen hierbei keine Rolle spielen, die Vorsorge muss stets einen Vorrang vor wirtschaftlichen Gesichtspunkten haben. Siehe: Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) Studienreihe Bericht der Arbeitsgruppe „Rechtsetzung und technische Normen“ an den Abteilungsleitersausschuss für Rechts- und Verwaltungsvereinfachung, Bericht Nr. 71, ISSN 0344-5445

Risiken des Klimawandels und der Vorteile für die Dekarbonisierung bei einem zeitlich befristeten Weiterbetrieb für gut vertretbar.

Die deutsche Gesamterzeugung an langlebigem, wärmeentwickelnden Atommüll aus AKW würde sich bei Weiterbetrieb der GER6 um ca. 1 %/Jahr vergrößern, bei nicht wärmeentwickelndem Abfall um weit weniger.³³

Aus Kostenblickwinkel ist festzuhalten, dass bei einem Weiterbetrieb im Rahmen der Laufzeitverlängerung 2010 geplante Ertüchtigungsarbeiten anfallen würden (s. o.). Da es sich jedoch um betriebswirtschaftlich abgeschriebene Anlagen mit vergleichsweise geringen laufenden Kosten handelt, bewegen sich die Stromgestehungskosten bei Weiterbetrieb in akzeptablen Grenzen.³⁴

Versuchen wir, den GER6 Weiterbetrieb monetär zu quantifizieren, sind verschiedene Antworten möglich: Der Weiterbetrieb der GER6 für 12 Jahre würde hinsichtlich Stromproduktion etwa dem Betrieb eines EPR für 60 Jahre entsprechen. Ein EPR Neubau würde etwa 10 Mrd € kosten. Da die GER6 abgeschlossen sind und daher kostengünstig produzieren, da ein EPR erst nach längerer Bauzeit zur Verfügung stünde und da keine gesicherte Energie liefernde fossilfreie Alternative zur Verfügung steht, scheint uns dieser Ansatz zu niedrig. Ermittelt man den gesamten Stromwert über 12 Jahre (Gestehungskosten 5 Ct/kWh), kommt man auf 35 Mrd €. Nimmt man den vom Umweltbundesamt ermittelten Wert für die Schadenswirkung von CO₂ von 180 €/t_{CO₂}, errechnet sich ein zusätzlicher Gewinn

32 Zu den Containment-Konzepten: Alle derzeit laufenden deutschen KKW haben ein Doppelcontainment. Bei den KWU-Druckwasserreaktoren (Vorkonvoi, Konvoi) besteht es aus einem innenliegenden Sicherheitsbehälter aus Stahl zur Aktivitätsrückhaltung (38 mm Wanddicke, 56 m Durchmesser, Auslegungsdruck 0,6 MPa) und einem Stahlbeton-Außencontainment von 1800 mm Wanddicke. Der Spalt (Ringraum) zwischen den beiden Bauteilen wird über Filter abgesaugt. Der SWR 72 (Gundremmingen C) besitzt ein Außencontainment aus Spannbeton von 1800 mm Wanddicke und einen inneren Sicherheitsbehälter aus Spannbeton von 1200 mm Wanddicke mit einer Stahlauskleidung. Zum Vergleich: Im EPR besteht die innere Sicherheitshülle aus einem 1300 mm starken zylinderförmigen Spannbetonbehälter mit einem 6 mm starken inneren Stahlliner, der Auslegungsdruck beträgt 0,5 MPa. Das nicht vorgespannte Außencontainment aus Stahlbeton ist 1300 bis 1800 mm stark. Da die Wandstärke von 1300 mm nur Bereiche umfasst, die zusätzlich von Stahlbetonhüllen (Wandstärke 1800 mm) anderer Gebäudeteile umgeben sind, entspricht die effektive Schutzwirkung der einer Stahlbetonhülle von 1800 mm, s. EPR Design Description, Framatome ANP (2005) Kapitel 5: Reactor building and supporting systems, <https://www.nrc.gov/docs/ML0522/ML052280176.pdf>. Auch hier gibt es eine gefilterte Absaugung zwischen den beiden Bauteilen. Rüdiger Meiswinkel / Julian Meyer / Jürgen Schnell, Bauwerke für kerntechnische Anlagen, in: Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos, Johann-Dietrich Wörner (Hrsg.), Beton-Kalender 2011: Kraftwerke, Faserbeton, 343-433 (370-371). GRS, Strukturdynamische Untersuchungen eines Sicherheitsbehälters vom Typ Konvoi, GRS Nr. 3653, Anforderungen an den Nachweis der Wirksamkeit von H₂-Rekombinatoren auf der Basis ergänzender analytischer Untersuchungen, Köln 2011, 3, https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/grs-a-3653_0.pdf; Günter Kessler / Anke Vesper u. a., Sicherheit von Leichtwasserreaktoren. Risiken der Nukleartechnologie, Heidelberg 2012, 41-42, 71.

33 Bis 2005 wurden Brennelemente deutscher AKW überwiegend wiederaufgearbeitet. Der verbleibende Abfall wurde/wird verlast nach Deutschland zurückgeschickt, jedoch ohne das radiologisch relevante, langlebige Plutonium. Das ist beim Vergleich von erzeugtem und vorhandenem Abfall zu berücksichtigen.

34 Für das den deutschen DWR ähnliche Schweizer KKW Gösgen werden für 2016 Stromgestehungskosten von 0.041 CHF = 3.8 Ct/kWh angegeben (Kernkraftwerk Gösgen (KKG) Allg. Informationen <https://www.kkg.ch/de/i/allgemeine-informationen-content--1--1056.html>). Unter Berücksichtigung der durchzuführenden Aufrüstungen sowie weiterer Unsicherheiten schätzen wir die Stromgestehungskosten der GER6 daher auf < 6 Ct/kWh.

von rund 110 Mrd € durch die eingesparte CO₂-Emission von ca. 600 Mt (siehe Fn 38). Der vorzeitige Verzicht auf die GER6 kann also einen erheblichen volkswirtschaftlichen Verlust bedeuten.

Bei einer Abwägung mit den Vorteilen eines Weiterbetriebs für Klimaschutz und Energiewende (s. u.) kommen wir zu dem Ergebnis, dass Letztere klar überwiegen.

5. Heraus aus der Sackgasse

In dieser Situation möchten wir einen Beitrag zur Pragmatisierung und gleichzeitiger Revolutionierung des Energiewende-Diskurses leisten. Das bedeutet einerseits, das scheinbar Unmögliche zu denken, sich aber andererseits auf machbare Schritte zu konzentrieren. Wir kommen von sehr gegensätzlichen Positionen. Die eine ist Historikerin mit Schwerpunkt in der Sicherheitsforschung und Forschungspraxis in Kernkraftwerken und zugleich ehemalige Atomgegnerin, der andere ist Naturwissenschaftler mit Kernforschungserfahrung u. a. im Hochtemperaturreaktorprojekt und ausgewiesener Kernkraftkritiker.

Beide sind wir uns darüber einig, dass außergewöhnliche Situationen nach außergewöhnlichen Lösungen verlangen. Beide sind wir uns einig, dass für eine gelingende Energiewende – im Sinne einer sozial gerechten und ökologisch gelungenen Dekarbonisierung unserer Industriegesellschaft – herkömmliche Überzeugungen noch einmal auf den Prüfstand gehören. Wir sind beide einerseits der Meinung, dass eine Energiewende ohne Erfüllung der Paris-Kriterien im Interesse des Klimaschutzes nicht angestrebt werden darf.³⁵ Auf der anderen Seite halten wir die Herausforderungen bei einer fast vollständig EE-basierten Energiewende für so hoch, dass nicht verlässlich mit ihrer Umsetzung bis 2050 gerechnet werden darf. Aus diesem Grunde haben wir uns zusammengetan und überlegt, wie man die CO₂-Reduktionsziele rascher erreichen kann als mit den bisherigen Methoden. Wir sind zu dem Schluss gekommen, dass vor allem die Reihenfolge der Verabschiedung der konventionellen Großkraftwerkstechnik unter dem Eindruck der Reaktorunfälle von Fukushima 2011 falsch gewählt wurde. Am Anfang hätte statt des Atomausstiegs der Kohleausstieg stehen müssen. Wir schlagen daher folgende Schritte vor:

- 1 *Der Atomausstieg sollte per Moratorium ausgesetzt werden, indem die Laufzeit der verbliebenen deutschen Anlagen (GER6) nach § 7 Abs. 1 Atomgesetz bis maximal 2036 verlängert wird.*
- 2 *Die GER6 sollten möglichst, nach dem Vorbild der Zwischenlager und des zu errichtenden Endlagers für nukleare Abfälle, in staatliche Obhut überführt werden und als Unternehmen öffentlichen Rechts mit dem alleinigen Auftrag der Sicherung der Versorgungssicherheit durch CO₂-freies Backup von VRE weiterbetrieben werden.*
- 3 *Die Unabhängigkeit der Aufsichtsbehörden sollte gestärkt werden, da die aktuelle Einbindung in die Ministerialbürokratie eine echte Unabhängigkeit – ähnlich den Gerichten – nicht hinreichend gewährleisten kann.*
- 4 *Statt der GER6 sollten zügig die emissionsstärksten Braunkohlekraftwerke vom Netz genommen werden. Gegebenenfalls könnten einzelne dieser Braunkohlekraftwerke temporär in Wartestellung gehalten werden.³⁶ Systemrelevante Braunkohlekraftwerke, die Fernwärme für ihre Regionen bereitstellen, sind von der*

35 Das heißt, dass wir ein Szenario wie das vom FZJ untersuchte 80%-Einsparzenario mit verbleibendem hohem Fossilanteil nicht für tragbar halten.

36 Im Falle Leipzig / KW Lippendorf beispielsweise durch Errichtung eines neuen Gasturbinen-Heizkraftwerks mit Warmwasserspeicher (thermische Leistung 150 MW_{th}, elektrische Leistung 120 MW_{el}), das die Fernwärmeleistung aus dem Braunkohlekraftwerk Lippendorf ab 2023 ersetzen soll.
<https://www.l.de/gruppe/wir-fuer-leipzig/investitionen/energie/das-neue-hkw-leipzig-sued>.

Stilllegung auszunehmen, bis Ersatz gefunden ist. Nach unseren Berechnungen könnten 60 % der deutschen Braunkohle-Nettostromproduktion durch Kernenergie ersetzt werden.³⁷ Die Gesamt-CO₂-Emissionen Deutschlands könnten (Basis Prognose für 2023) so um ca. 10 % gesenkt werden³⁸. Das entspräche einem Zeitgewinn bei der Dekarbonisierung von ca. 3 Jahren.

- 5 Die Anpassungen und Nachrüstungen der GER6, die von ihren Betreiberinnen eigentlich im Zuge der Laufzeitverlängerung 2010 vorgesehen waren und wegen des Atomausstiegs zurückgestellt wurden, sollten staatsfinanziert durchgeführt werden. Gleichzeitig sollten massive Anstrengungen erfolgen, um die Großspeichertechnik voranzutreiben. Wir sehen ein deutliches CO₂-Preissignal (beginnend mit einer CO₂-Bepreisung von mindestens 30 €/t in 2021, die sich bis 2030*

37 Nach den oben zitierten Produktionsdaten aus 2018 und 2019 (nach Burger, Nettostromproduktion: Kernenergie 71 TWh, Braunkohle 102 TWh (2019), Schätzung für 2020 minus geschätzte 10 TWh des weggefallenen Blocks Philippsburg-2. Diese Extrapolation bezieht den Stromverbrauchseinbruch und den Rückgang der Stromproduktion im Coronajahr 2020 noch nicht ein. Es dürften von dieser Entwicklung aber der Anteile der EE und der Kernenergie (jedoch in weniger hohem Maße) am meisten profitiert haben: Christian Schubert, Internationale Energieagentur: Historischer Einbruch beim Energieverbrauch, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 30.04.2020, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-energie-und-umwelt/energieverbrauch-erlebt-durch-corona-krise-historischen-einbruch-16748418.html>

38 Unser Rechengang ist wie folgt: Wir gehen von einer jährlichen Stromproduktion von 61 TWh durch die GER6 aus (Stromproduktion der GER6 von 2019, entsprechend ca. 90 % Auslastung oder ca. 7940 Volllaststunden/a). Bei Braunkohlekraftwerken nehmen wir den gemäß Kohleausstiegsgesetz geplanten Bestand vom Jahresanfang 2023, der bezogen auf die Nennleistung ca. 15 % geringer sein wird als 2020 (gemäß <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/fragen-und-antworten-zum-kohleausstieg-in-deutschland/>) und setzen voraus, dass Leistung entsprechend einer effektiven Stromproduktion von 61 TWh/a stillgelegt wird, vorzugsweise ältere Anlagen (auf Fernwärmeproduktion durch Braunkohle ist dabei Rücksicht zu nehmen). Um gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, gehen wir davon aus, dass das Maßnahmenbündel, das zum Ersetzen der GER6 geplant ist (GasKW, VRE, Einsparen....) bei GER6-Weiterlauf unverändert in Kraft bleibt. Wir halten es für gesichert, dass die Stromerzeugungscharakteristik von KKW derjenigen von Kohlekraftwerken hinreichend entspricht. Die Flexibilität von KKW dürfte sogar deutlich höher sein als bei den meisten vorhandenen Typen von KohleKW. Für die CO₂-Emission dieser älteren, ineffizienteren stillzulegenden Braunkohlekraftwerke unterstellen wir einen Wert von 1100 g/kWh. Damit erzielen wir eine CO₂-Einsparung von ca. 67 Mt/a. Bezogen auf den geplanten CO₂-Ausstoß im Jahr 2023 und den Folgejahren resultiert damit eine Einsparung von ca. 10 % (der maximal zulässige CO₂-Ausstoß in 2020 beträgt laut Parisabkommen ca. 750 Mt/a und muss bis 2030 gemäß der im Herbst 2020 verschärften EU-Beschlusslage auf 500 Mt/a reduziert werden, vorher galten 560 Mt/a für 2030. Der mittlere zulässige Ausstoß für die auf den aktuell gültigen Atomausstieg folgenden Jahre 2023 bis 2025 wäre also ca. 675 Mt/a). Eine Beendigung der Braunkohleverstromung ließe sich so Ende 2028 erreichen (ermittelt aus aktuellen Plänen zum Kohleausstieg nach <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/fragen-und-antworten-zum-kohleausstieg-in-deutschland/>). Ende 2028 geht die nach Kohleausstiegsplan noch vorhandene BraunkohleKW-Leistung vermindert um die GER6-Leistung nämlich gegen null), eine Beendigung der Kohleverstromung insgesamt vor Ende 2033. Für den Ersatz des Fernwärmeanteils, das sind ca. 15 TWh Wärme aus der zuerst stillzulegenden Braunkohle, gelten die im Kohleausstiegsbeschluss gefundenen Wege.

Bei 12 Jahren Laufzeitverlängerung werden rund 600 - 650 Mt CO₂ eingespart (unter Berücksichtigung des Umstands, dass neuere Braunkohlekraftwerke, mit denen ab ca. 2028 zu vergleichen wäre, einen CO₂-Ausstoß von 1000 g/kWh haben, Steinkohlekraftwerke von 900 g/kWh, sowie 450 g/kWh von GuD-Gaskraftwerken, deren Leistung ab 2029 ggf. ersetzt werden könnten, und 12 g/kWh bei AKW). Ein Wert von 625 Mt CO₂ entspricht ca. 13 % des CO₂-Gesamtbudgets, das 2023 für Deutschland zur Erfüllung der Kriterien des Pariser Klimaschutzabkommens noch zur Verfügung steht (für 2020 liegt dieses Budget bei rund 6000 Mt).

auf mindestens 90 €/t, sowie bis 2040 auf 180 €/t linear steigert und damit den vom Umweltbundesamt als realen Schaden genannten Wert erreicht)³⁹ und eine Umformung der EEG-Förderung (s. u.) als mögliche Finanzierungsinstrumente an. Wie halten es zusätzlich für notwendig, den Treibhauseffekt von Methanleckagen in der Bepreisung zu berücksichtigen, sobald belastbare Daten dafür zur Verfügung stehen. Parallel dazu halten wir es für sinnvoll, ein schrittweises Abschmelzen des VRE-Einspeisevorrangs zu überlegen, um den Speicherausbau zu forcieren.

- 6 Die Bundesregierung sollte bei einer unabhängigen Forschungsinstitution im Ausland eine Risikostudie über die Verwundbarkeit eines EE-Speichersystems mit digitaler Netzleittechnik in Auftrag geben.*
- 7 Nach zehn Jahren sollte evaluiert werden, ob wesentliche Fortschritte bei der Verwirklichung von Großspeichern gemacht wurden. Dafür sind die Evaluierungsinstrumente zu nutzen, welche die Bundesregierung bei ihren bisherigen Monitoring-Maßnahmen im Rahmen der Energiewende anwendet. Als ein Kriterium empfehlen wir den Preis von über P2X-X2P erzeugten Strom, der spätestens ab 2040 nicht über dem Preis von aus fossilem Erdgas erzeugtem Strom bei voller CO₂-Bepreisung (180 €/t CO₂) liegen darf, also ca. 20 Ct/kWh⁴⁰. Sollten nach Ablauf dieser Frist begründete Zweifel an der Machbarkeit eines Technologiewechsels zu einem weitgehend EE-basierten System bestehen, ist zu überlegen, ein komplementäres erneuerbar-nukleares System⁴¹ mit Reaktoren der Generationen 3+ (oder, falls dann verfügbar, SMR⁴² auf der Basis von Leichtwasserreaktoren) anzustreben.⁴³*

39 Im Dezember 2020 lag der Börsenwert von CO₂-Zertifikaten bei ca 30 €/t. Wir glauben mit dieser Bepreisung die Kohle bis ca. 2028 und fossiles Gas (GuD) bis ca. 2035 vom Markt weitgehend verdrängen zu können, wenn keine Ausnahmen zugelassen werden.

40 Annahmen Stromgestehungskosten 8 – 10 Ct/kWh (Wert 2018 für GasGuD laut ISI), CO₂ Emission Erdgas 450g/kWh. Daraus resultiert eine CO₂-Bepreisung von 10 Ct/kWh und ein Gesamtpreis von ca. 20 Ct/kWh.

41 Berechnungen zu erneuerbar-nuklearen Systemen in: OECD Nuclear Energy Agency, The Costs of Decarbonization: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables, Boulogne-Billancourt 2019; Massachusetts Institute of Technology, The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World. An interdisciplinary MIT study, Boston 2018, <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>

42 Small and Medium Sized Reactors, z.B. der NuScale Reaktor, der im September 2020 von der US Nuclear Regulatory Commission NRC nach umfangreicher Prüfung als sicherheitstechnisch in den USA genehmigungsfähig eingestuft wurde, siehe US DOE: NRC approves first US SMR design. September 2020 <https://www.energy.gov/ne/articles/nrc-approves-first-us-small-modular-reactor-design>. Die US Regierung wird gut 1,3 Mrd US\$ zum Bau des ersten NuScale Reaktorparks in Utah beisteuern.

43 Wir halten es für notwendig, vorbereitend dazu ein Energiewendeszenario entsprechend dem vorher skizzierten 80%-Fall des FZJ zu untersuchen (also die FZJ-Studie von Fn 16 entsprechend zu ergänzen), welches den Fossilanteil soweit wie möglich durch CO₂-arme, schon verfügbare Technologien ersetzt. Nach aktuellem Stand käme dafür nur Kerntechnik der Generation 3+ infrage, später eventuell auch LWR basierte SMR, siehe Fn 38). Unserer Einschätzung nach ließen sich durch AKW, kombiniert mit Elektrolyseuren, die CO₂-Emissionen von 260 Mio t/a auf unter 100 Mio t/a deutlich mehr als halbieren und damit die Erfüllung der Paris-Kriterien erheblich erleichtern, schon wenn die 654 TWh fossiles Methan sowie zusätzlich Kohle entsprechend ersetzt werden. Konkrete Potenziale sehen wir vor allem bei Prozesswärme (Ersetzen von 150 TWh/a fossilem Methan durch AKW-Wasserstoff), Wasserstoffbereitstellung (Ersetzen von fast 100 TWh/a aus Fossilmethan durch Reformierung gewonnenem Wasserstoff durch solchen aus AKW), Stahlproduktion (Ersetzen von 40 TWh/a Kohle durch Wasserstoff oder Strom aus AKW), Raumheizung (Ersetzen des Fossilbeitrags von fast 100 TWh/a durch Fernwärme und Strom aus AKW), Spitzenlastbedarf (Ersetzen von

- 8 *Um die Pfadoffenheit und Nachwuchssicherung zu gewährleisten, sollten Forschungsvorhaben mit einem deutlichen Schwerpunkt auf Speichertechnologien, Sicherheit digitaler Netzleittechnik in EE-Speichersystemen, Geothermie, nuklearer Entsorgung sowie kerntechnischer Sicherheit der ggf. nach 2030 neu zu errichtenden Kernkraftwerke bevorzugt Förderung erfahren. Überdies erscheinen zur Vorbereitung eines eventuellen schnellen KKW-Neubaus Sicherheitsforschung sowie ein standortunabhängiges Konzeptgenehmigungsverfahren für den EPR oder ein anderes erprobtes Gen3+ Konzept besonders wichtig.⁴⁴*
- 9 *Die EEG-Umlage sollte durch eine steuerfinanzierte Förderung für Decarb-Technologien ersetzt werden und somit auch zur Finanzierung der notwendigen*

Fossilmethan durch AKW-Wasserstoff; eine Wasserstoffturbine ist zwar noch nicht verfügbar, wird aber vor 2030 erwartet. Den hier zu ersetzenden Fossilanteil schätzen wir auf 50 - 80 TWh). In diesem Szenario würden circa 45 EPR erforderlich werden, um das fossile Methan weitestgehend zu ersetzen. Soll die Klimaneutralität vollständig erreicht werden, wären auch ca. 50 TWh Erdöl, vor allem für die chemische Industrie, zu substituieren. Eine nachhaltige Produktion von Kohlenwasserstoffen aus Synthesegas (H₂+CO) wäre möglich, wobei das im Prozessverlauf notwendige CO₂ z.T. durch Abscheidung bei der Zementproduktion gewonnen werden könnte, was eine zusätzliche Emissionsminderung bedeuten würde. Dazu würden insgesamt ca. 50 EPR nötig sein. Es würde sich um einen VRE/AKW Mix mit ca 60 % VRE handeln. Der Vorteil dieses Szenarios liegt darin, dass auf der Basis von bereits erprobter, vorhandener AKW Technologie in Verbindung mit vorhandener VRE-Technik ein adäquater Klimaschutz erreichbar scheint. So erlaubt die gesicherte konstante AKW Leistung z.B. eine optimale Elektrolyseleistung, d.h. a die effizientere Hochtemperaturelektrolyse (Wirkungsgrad 80 – 90 %) eingesetzt werden kann, während VRE in der Regel auf ineffizientere Raumtemperaturelektrolyse (Wirkungsgrad ca. 60 %) beschränkt sind. Die technologisch z.T. noch ungelösten erheblich höheren Herausforderungen des 95 % FZJ-Szenarios werden also weitgehend umgangen. Die Kosten bleiben unserer Schätzung nach deutlich unter denen des 95% Falls. Bezüglich der Kostenberechnungen sind aktuelle Entwicklungen bei der AKW-Finanzierung zu berücksichtigen: Durch die Finanzierung der geplanten Sizewell C EPR-Reaktoren in UK über das RAB-Modell (regulated asset base) werden Senkungen der Stromgestehungskosten im Vergleich zu Hinkley Point C um mindestens ca 35 % auf 4,5 – 6,5 Ct/kWh (40-60 GBP/MWh) erwartet (siehe <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/110220-uk-to-approve-new-nuclear-plant-at-sizewell-c-ahead-of-white-paper-report>).

Des Weiteren halten wir es für sinnvoll, auch eine Optimierung des 95% Szenarios des FZJ durch AKW-Einsatz zu untersuchen. Ziel sollte unter anderem das teilweise Ersetzen des ökologisch bedenklich hohen Anteils an Biomasse durch nukleare Energie sein.

- 44 Es erscheint uns sinnvoll, z. B. die verfügbaren Gen3+-Technologien (EPR-2 usw.) vorbereitend daraufhin zu untersuchen, ob diese die erhöhten Sicherheitsanforderungen der (seit 2011 durch Atomausstieg weggefallenen) Atomgesetznovelle von 1994 erfüllt. Ggf. wären dazu zusätzliche Ertüchtigungen am Sicherheitsbehälter erforderlich, die durch entsprechende Arbeiten konkretisiert werden müssten. Diese Atomgesetznovelle fügte einen Absatz (2a) in § 7 AtG ein, welcher verlangte, dass eine Genehmigung für neue Anlagen nur dann erteilt werden darf, wenn nachgewiesen wird, dass für auslegungsüberschreitende Störfälle (Kernschmelze) auf tiefgreifende Katastrophenschutzmaßnahmen (Evakuierung, Umsiedlung) außerhalb des Anlagengeländes verzichtet werden kann. Das bedeutete faktisch, dass die Kernschmelze zum Auslegungsstörfall erklärt wurde. Eine Erfüllung dieses erhöhten Sicherheitsanspruchs halten wir bei neu zu errichtenden Anlagen für zwingend. Es ist aktuell unklar, ob der EPR-1 diese Anforderungen vollständig erfüllt (passive Beherrschung einer Hochdruckkernschmelze im Falle eines Wegfalls der sekundärseitigen Wärmeabfuhr nur mit Handmaßnahmen). Für diese Zweifel spricht auch, dass nach Sicherheitsanalysen des Herstellers des britischen EPR im Kernkraftwerk Hinkley Point C bei Wahrscheinlichkeiten von $< 10^{-7}/a$ mit Unfällen zu rechnen ist, bei denen es mehr als 100 Tote geben kann (s. S. 4 im UK EPR Preconstruction Safety Report (2012): <http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/PCSR/Chapter%2015%20-%20Probabilistic%20Safety%20Analysis/Sub-Chapter%2015.0%20-%20Safety%20requirements%20and%20PSA%20objectives.pdf>).

Modernisierung der verbliebenen KKW sowie für Forschung, Entwicklung und Installierung von Stromspeichern eingesetzt werden.

10 Zur Begleitung dieses Prozesses und der Kommunikation der Evaluierungsergebnisse in die Öffentlichkeit sollte ein Gremium aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Bürgern und Bürgerinnen gegründet werden, in dem sowohl die Befürworter erneuerbarer Energien als auch Kritiker und diejenigen, die kerntechnische Lösungen als ein Instrument für die Dekarbonisierung von Industrieländern befürworten, eine Stimme haben sollten.

Wir sind uns der Herausforderung bewusst, die unser Vorschlag in den Augen vieler Menschen darstellen muss. Die von uns vorgeschlagene Lösung muss denjenigen, die Kernenergie schnell abgewickelt sehen wollen, auf den ersten Blick als harter Rückschlag erscheinen. Die Betreiber der Kernkraftwerke wiederum wünschen nach wechselnden Ausstiegspolitiken unter verschiedenen Regierungen und nach Jahren der Nachbetriebs- und Rückbauplanung keinerlei weitere Turbulenzen.

Wir wissen, dass die Personal- und Maßnahmenplanung in den deutschen Kernkraftwerken derzeit völlig auf einen möglichst raschen Rückbau ausgerichtet ist. Wir wissen, dass es auf den Anlagen bis ins Detail ausgearbeitete Pläne mit Demontagedaten für jede einzelne Komponente gibt und dass kein frischer Kernbrennstoff für weitere Zyklen mehr vorrätig ist. Wir wissen auch, dass die Anlagen vor großen Problemen stehen, Nachwuchs zu rekrutieren, und dass ein Weiterbetrieb die Neuplanung von Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich machen würde.

Trotzdem halten wir gerade das zur Zeit beobachtbare rasche Schaffen von vollendeten Tatsachen mit Blick auf das Gesamtziel, den Kampf gegen die Erderwärmung, für kontraproduktiv, und diese Entwicklungen für noch reversibel.

Dies ist auch der ausschlaggebende Grund, warum wir einen Weiterbetrieb in öffentlicher Hand vorschlagen. Als Fachleute, die sich aus verschiedenen Perspektiven mit der Kernenergie beschäftigen und viele Jahre mit oder auf den Anlagen geforscht haben, wissen wir um ihre Risiken, um den vorläufig noch offenen Endlagerfindungsprozess für abgebrannten Kernbrennstoff und um die gravierenden Fehlentscheidungen, Versäumnisse und Kommunikationsversagen der Atomindustrie in der Vergangenheit. Wir wissen um die Schwierigkeiten, vor die ein Weiterbetrieb der KKW nach jahrelanger Ausdünnung der Personal- und Finanzdecke gestellt ist.

Ggf. wären dazu zusätzliche Ertüchtigungen am Sicherheitsbehälter erforderlich, die durch entsprechende Arbeiten konkretisiert werden müssten, etwa durch Wiederaufnahme der FZK-Arbeiten zum „Supercontainment“ um 1990.

Des Weiteren schlagen wir vor, die früher im Atomgesetz vorhandene Möglichkeit einer standortunabhängigen Genehmigung zu reaktivieren und ein standortunabhängiges Genehmigungsverfahren für den EPR-2 baldmöglichst im Sinne eines Konzeptgenehmigungsverfahrens bzw. einer Zertifizierung zu beginnen. Das würde eine eventuell notwendige Errichtung nach 2030 erheblich erleichtern und beschleunigen, da dann nur noch standortspezifische Aspekte genehmigt werden müssen. Die häufig gegen AKW angeführte zu lange Errichtungszeit würde damit wesentlich verkürzt und vereinfacht.

Wir sind aber auch überzeugt, dass von Menschen eingeleitete Fehlsteuerungen auch durch Menschen wieder rückgängig gemacht werden können und dass kein soziotechnisches System, auch nicht jenes der EE, vor Fehlentwicklungen grundsätzlich gefeit ist. Wir haben aus der Kernenergiegeschichte gelernt, dass ein soziotechnisches System unter übersteigerten Erwartungen an seine Leistungsfähigkeit zusammenbrechen kann.

Wir stellen fest, dass in den vielversprechendsten Szenarien des Weltklimarates zur Einhaltung von Klimazielen die Nutzung der Kernenergie durch Industrieländer eine Rolle spielt.⁴⁵ Wir halten trotz aller Vorbehalte in Details die deutschen Druckwasserreaktoranlagen vom Konvoi- und Vorkonvoityp und ihren Sicherheitsstandard unter bestimmten Voraussetzungen und unter Abwägung der andernfalls zu veranschlagenden Risiken und Opfer der fossilen Stromerzeugung für eine begrenzte Zeit für akzeptabel. Wir sehen im Betrieb von KKW in öffentlich-rechtlicher Regie, mit einzig einer Versorgungsaufgabe, ohne den ständigen Druck der Kostenoptimierung und Profitmaximierung, überdies eine Chance, die Kernenergienutzung so sicher zu gestalten, dass sie von einer Mehrheit der Gesellschaft als temporäres, aber notwendiges Instrument zur Erreichung von Klimazielen akzeptiert werden kann.

Der Chronist der globalen Ökologiebewegung und der bundesdeutschen Atomwirtschaft, der Technikhistoriker Joachim Radkau, mahnte zum Schluss seines mit Lothar Hahn verfassten Buches über „Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft“⁴⁶, die Befürworter Erneuerbarer Energien müssten aus den Fehlern der Kernenergie-Protagonisten in Deutschland die richtigen Schlüsse ziehen. Dies betreffe vor allem die Modi, welche zum Aufbau eines erfolgreichen soziotechnischen Systems gehörten: prinzipielle Offenheit der Entwicklungspfade, Vermeidung selbstgemachter Lock-ins und Pfadabhängigkeiten, Reversibilität der Entscheidungen, Skepsis gegenüber Staatsförderung als Allheilmittel, ehrliches Bekenntnis zu Unsicherheiten und offenen Fragen. Als größte Gefahr für die Energiewende konstatierten Radkau und Hahn ihr Diskursdefizit. Wir teilen diese Diagnose. Wir würden dieses Defizit gerne mit einer kontroversen, aber fairen und konstruktiven parteienübergreifenden Diskussion um gangbare und gemeinwohlorientierte Wege zur Dekarbonisierung von Industrieländern füllen.

Abschließend sei darauf verwiesen, dass sich unsere Überlegungen mit immer häufigeren Einlassungen aus Wissenschaft und Industrie über die Gestaltung der deutschen Energiezukunft überschneiden. Das gilt etwa für Friedrich Wagner, Direktor des MPI für Plasmaphysik in Garching, der eine sehr kritische Bilanz der deutschen Energiewende zieht⁴⁷ und den Weiterbetrieb der #GER6 als effizienteste Klimaschutzmaßnahme fordert⁴⁸, oder die Heidelberger Physiker Dubbers, Stachel und Uwer, die Zweifel am Erfolg der Energiewende

45 IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change: „Special Report: Global Warming of 1.5 °C“, Oktober 2018, <https://www.ip/cc.ch/sr15/>, Section C.2.2, Section 2.4.2.1, Section 4.3.1.3. Ältere Quelle mit ähnlichem Tenor: McKinsey, Transformation of Europe’s power system until 2050. Including specific considerations for Germany, Düsseldorf 2007, insbes. 35-41.

46 Radkau / Hahn, Aufstieg und Fall, 394-404.

47 Wagner, Zwischenbilanz der Energiewende. Physik Journal 18 (2019) Heft 10, S.43 ff

48 Wagner, Präsentation in den Freiburger Diskursen zur Energiewende, 01.12.2020 https://www.freiburger-diskurse.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Freiburger-Diskurse-Energiewende-Impuls-Wagner-2020.pdf

artikulieren und Diskussion über Kerntechnik fordern⁴⁹ Herbert Diess⁵⁰, VW-Vorstandsvorsitzender, verlangt explizit - wie wir - einen Kohleausstieg vor einem Atomausstieg.

49 Dubbers, Stachel, Uwer: Energiewende, Fakten, Missverständnisse, Lösungen (2019). <https://www.physi.uni-heidelberg.de/~dubbers/energiewende/text.pdf>

50 Handelsblatt 31.05.2019: Energiepolitik: VW Chef Diess will Atomkraft länger nutzen und früher aus Kohle aussteigen. <https://app.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiepolitik-vw-chef-diess-will-atomkraft-laenger-nutzen-und-frueher-aus-kohle-aussteigen/24408974.html>

Anhang: Stellungnahme zu Einwänden gegen unser Memorandum in der Version vom 16.07.2020

Auf unser Memorandum erfolgte eine große Zahl von Reaktionen, einige davon kritisch. Auf die uns wesentlich erscheinenden Einwände wollen wir hier eingehen und sie widerlegen.

Das betrifft vor allem den mehrfach erhobenen Vorwurf, wir würden den Einspareffekt bei Weiterlauf der GER6 überschätzen. Daher haben wir in diesem Papier unseren Rechengang mit allen Details offengelegt (s. Fn 38) und versuchen nun, soweit möglich, die Einwände zu analysieren.

Pomrehn (Atomkraft: Das letzte Gefecht?; Wolfgang Pomrehn; Telepolis; 2020-07-17; <https://www.heise.de/tp/news/Atomkraft-Das-letzte-Gefecht-4846471.html>) und **Fell** (17.08.2020 <https://hans-josef-fell.de/die-nukleare-taeschung/>) gehen in Antworten auf die erste Fassung unseres Memorandums von einem Einspareffekt von nur 4 % statt 10 % aus. Pomrehn gibt dabei eine CO₂-Einsparung von nur 30 Mt/a an. Zwar nimmt Pomrehn nur gut 80 % an KKW Auslastung an, aber das kann den großen Unterschied zu unserem Wert von 67 Mt/a nicht erklären.

Die Einsparung von 30 Mt/a in Verbindung mit einer AKW Energieproduktion von ca. 60 TWh/a lassen den Schluss zu, dass Pomrehn eine CO₂ Emission von ca. 500g/kWh unterstellt, ein Wert, typisch für Erdgas (GuD), aber viel zu niedrig für Kohle. Es dürfte allgemein bekannt sein, dass die spezifischen Emissionen von Gaskraft mit 450-650g CO₂/kWh deutlich niedriger sind als die von Kohle (900-1200g CO₂/kWh).

Offensichtlich hat Pomrehn nicht unsere Berechnung der Einsparung durch Ersetzen von Braunkohle durch AKW geprüft und ihr eine eigene, abweichende gegenübergestellt, sondern den Austausch von AKW durch Gaskraft unterstellt, also einen ganz anderen als den von uns skizzierten Fall. Für diese Interpretation spricht die Aussage im Pomrehn-Text, der Austausch der AKW durch Gaskraft ergäbe eine zusätzliche Emission von 30 Mt/a CO₂, was 4 % der Gesamtemissionen von 2018 ergäbe. Das sei viel weniger Ersparnis als unsere 10%, schreibt Pomrehn in Verkennung der Tatsache, dass wir einen ganz anderen Ersetzungsprozess beschrieben haben. Leider ist Pomrehns Text in dieser Passage sehr unklar formuliert, sodass wir versuchen müssen, seinen Gedankengang zu rekonstruieren.

Womöglich stellt Pomrehn die Überlegung an, dass *sowohl* Braunkohle *als auch* KKW durch Gaskraft zu ersetzen seien. Wenn man dann in einem zweiten Schritt unterstellt, die KKW doch am Netz zu lassen, ergäbe das tatsächlich nur eine Verbesserung der Bilanz um die genannten 30 Mt/a. Auch das ist aber eine ganz andere Rechnung als die von uns aufgemachte, in der ein Großteil der Braunkohlekapazitäten durch Kernenergie ersetzt wird. Pomrehn hat bisher nicht auf unsere Anfragen dazu reagiert.

Wir vermuten also, dass Pomrehn annimmt, dass ähnlich wie von uns vorgeschlagen, ca. 60 TWh/a BraunkohleKW im Gegenzug stillgelegt und durch Gaskraft ersetzt werden. Seine unklaren Formulierungen können aber auch dahingehend missverstanden werden, dass die Braunkohle weiterläuft und *nur* die KKW durch Gaskraft ersetzt werden. Doch dann müsste die von ihm angegebene 4 % Emissionssteigerung der von uns angegebenen 10 % Emissionsminderung im Vergleich aufaddiert werden, was aber zu einer stark verschlechterten Emissionssituation führen würde.

Pomrehn schreibt, es sei schon genügend Kapazität von schnell hochzufahrenden Gaskraftwerken vorhanden, um eine Kapazität von gut 8 GW Atomstrom kurzfristig zu ersetzen. Er übersieht dabei allerdings, dass schnelle Gasturbinenkraftwerke (OCGT) eine spezielle Funktion haben, nämlich den durch den deutlich zunehmenden VRE-Anteil im Netz stark zunehmenden Spitzenlastbedarf abzudecken und als Netzreserven zu dienen. Würde man diese Gaskraftwerke als Ersatz für AKW, also Grund- und Mittellastsabdeckung einsetzen, stünden sie für Spitzenlast/Reserve nicht mehr zur Verfügung, Erheblicher weiterer Zubau von Gaskraftwerken wäre also sehr kurzfristig notwendig.

Außerdem ist der von Pomrehn berechnete Wert von 4 % zusätzlichen Emissionen bei Ersetzen von AKW durch Gaskraftwerke nur dann nachvollziehbar, wenn relativ teure und unflexible GuD- Kraftwerke die AKW ersetzen, die aber geringere spezifische CO₂-Emissionen aufweisen. Die schnell hochzufahrenden, billigeren GasturbinenKW, welche das Mittel der Wahl in einem von Erneuerbaren Energien dominierten Netz wären, haben einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad und damit höhere spezifische CO₂-Emissionen: Mit einem Emissionsanstieg von ca. 5.5 % statt der von Pomrehn genannten 4 % wäre bei GasturbinenKW zu rechnen. Im Teillastbetrieb, der im Verbund mit EE häufig anzutreffen ist, erhöhen sich die spezifischen CO₂-Emissionen von OCGT nochmals. Auch muss berücksichtigt werden, dass Methan, wie im Memorandum erläutert, selbst ein sehr starkes Treibhausgas ist, Verluste bei Förderung und Transport können die geringere spezifische CO₂ Emission bei Verbrennung kompensieren und die Klimabilanz erheblich verschlechtern. Pomrehn verweist zwar selbst darauf, spielt aber die Methanemissionen bei russischen Erdgas als gering im Vergleich zu US-Frackinggas herunter, was mindestens strittig ist.

Auch an anderer Stelle können wir Pomrehns Gedankengang nicht nachvollziehen. So setzt er seine angebliche Einsparung von nur 30 Mt/a in Beziehung zu Gesamtemissionen durch Braunkohle von 150 Mt/a, wohl um zu demonstrieren, dass unser Vorschlag kaum Wirkung hätte. Abgesehen davon, dass 150 Mt/a ein recht alter Wert ist, wäre natürlich auf 2023 (ca. 100 Mt/a) zu beziehen. Vor allem fehlen in dieser - bezogen auf unseren Vorschlag - nicht ganz sauberen Bilanz die ca. 37 Mt/a zusätzliche Einsparung, die der Moormann/Wendland Vorschlag beinhaltet und die Pomrehn nirgendwo widerlegt.

Es muss daher nochmals betont werden, dass Pomrehn sich - anders als es beim eiligen Lesen den Anschein hat - garnicht mit dem Moormann/Wendland Vorschlag auseinandersetzt, sondern einen eigenen (kaum praktikablen) Vorschlag dagegensetzt, und mit diesem vergleicht. Seine Behauptung, es ließen sich nur 4 % statt wie von uns angegeben 10 % Emissionen einsparen steht daher auf weniger als auf tönernen Füßen, denn er benutzt ein gänzlich anderes Bezugsszenario als den realen Zustand. Angesichts dieses Umstands und aus den vorgenannten technischen, ökonomischen und ökologischen Gründen erscheint der Pomrehn-Ansatz mehr als zweifelhaft.

Martin Knipfer (<https://nuklearia.de/2020/07/25/atomgegner-lieber-klimakollaps-als-atomstrom/>) kommt zu einem ähnlichen Schluss wie wir. Er weist auf weitere Ungereimtheiten im Blogbeitrag von Pomrehn hin und vermutet einen grundsätzlichen Bilanzfehler, was angesichts der unklaren Formulierungen bei Pomrehn keineswegs auszuschließen ist.

Dieser wenig überzeugende Beitrag von Pomrehn steht hinsichtlich seiner Kernaussage auch nicht in Einklang mit dem zwar KKW-kritischen, aber insgesamt seriösen Beitrag des **WDR in der Wissenschaftssendung Quarks&Co** im März 2020 (Kohlekraftwerke abschalten

statt Atomkraftwerke? Quarks&Co, WDR Wissenschaftssendung 10.03.2020 <https://www.quarks.de/technik/energie/atomkraftwerke-fuer-den-klimaschutz/#braunkohle>): Ausgehend von 61 TWh Stromproduktion der GER6, also einem identischen Wert zu dem von uns verwendeten, schätzt der WDR die eingesparte CO₂-Menge allerdings nur auf 55 Mt/a. Letzteres liegt daran, dass ein gemittelter Wert für die spezifischen Emissionen von 900g CO₂/kWh angesetzt wurde, ein typischer Wert für Steinkohle, aber zu niedrig für Braunkohle. Dass im WDR Beitrag eine relative CO₂-Einsparung von nur 6 bis 7 % angegeben wird, hat zusätzlich die Ursache, dass auf die Emissionen von 2017 (ca. 900 Mt) bezogen wird, nicht wie bei uns, auf die niedrigeren Emissionen bei Weiterbetrieb der GER6 ab 2023.

Fell nennt in seinem Blogbeitrag eine Gesamteinsparung von 32 Mt/a für unseren Vorschlag, begründet das aber in seinem nicht mit Belegen versehenen Beitrag ebensowenig, wie die relative Einsparung von 4 %. Wir vermuten daher, dass Fell die Zahlen von Pomrehn übernommen hat. Auf mehrere Anfragen unsererseits dazu antwortete Fell nicht. Des weiteren behauptet Fell, ein Einspareffekt würde nur wenige Jahre zum Tragen kommen, da die KKW-Laufzeit auf 40 Jahre beschränkt sei. Das entbehrt allerdings einer Grundlage, da Laufzeiten von ca. 46 Jahren bereits in der vom Bundestag verabschiedeten Laufzeitverlängerung von 2010 vorgesehen waren und auch noch längere Laufzeiten technisch möglich wären (s. auch Diskussion in Kapitel 4 dieses Memorandums). Die angebliche Beschränkung von Laufzeiten auf 40 a hat es genehmigungsrechtlich nämlich nie gegeben. Die Genehmigung war nicht befristet, ein KKW konnte so lange betrieben werden, wie der Sicherheitsnachweis zu erbringen war. Bei diesen 40 a handelt es sich lediglich um die in den 70er Jahren aus Werkstoff Sicht garantierte Mindestlaufzeit. Aus heutigem Kenntnisstand lassen sich mindestens 60 a garantieren. Dieser Fehlschluss findet sich auch im vorgenannten WDR-Beitrag.

Es gibt **weitere kritische Beiträge** zum Memorandum, die allerdings dessen konkrete Vorschläge technisch betrachtet wenig betreffen. Sie werden hier nur kurz gestreift. Die bekannten Schweizer Atomkraftkritiker Marco Buser, Walter Wildi und Andre Lambert etwa beklagen in einem Blogbeitrag hinsichtlich des Memorandums, dieses sei angesichts der großen Zahl vorhandener Atomsprengköpfe aus der Zeit gefallen (24.08.2020 Marco Buser, Walter Wildi, Andre Lambert <https://www.nuclearwaste.info/facts-and-strategies-for-the-civil-use-of-nuclear-power/>). Einen erkennbaren Zusammenhang zwischen der von uns favorisierten LWR-Technik und Proliferationsproblematik sehen wir in Einklang mit der IAEA allerdings nicht. Nicole Weinhold gehört zu den wenigen kritischen Stimmen, welche sich mit der Kernintention des Papiers, nämlich Klimaschutz durch vorzeitige Braunkohlestilllegung bei AKW-Weiterlauf, überhaupt auseinandersetzen. Sie hält das angesichts des großen Potenzials der VRE sowie der politischen Entscheidungslage aber für unrealistisch (Nicole Weinhold 27.07.2020 <https://www.erneuerbareenergien.de/falscher-weg-rolle-rueckwaerts-bei-atomkraft-fuers-klima>). Der Aachener Atomkraftkritiker Walter Schumacher beschreibt den innerhalb der Umweltbewegung aufkeimenden Konflikt um AKW-Weiterlauf in halbwegs neutraler Form (20.08.2020 <https://kraz-ac.de/klima-erhitzung-fuehrt-zu-widerspruechen-in-der-anti-akw-szene-6773>). Der IPPNW-Vorsitzende Alex Rosen wiederholt in einem Blogbeitrag die üblichen Standardargumente gegen KKW, ohne spezifisch auf das Memorandum einzugehen. Sein Text war ursprünglich von der Wochenzeitung *Die Zeit* als Antwort auf unseren dort erschienenen Beitrag angefragt worden, wurde aber von *Die Zeit*

abgelehnt (Alex Rosen 23.08.2020 <https://www.themen-der-zeit.de/vorfahrt-fuer-die-energie-wende/>).

Insgesamt sehen wir daher die skizzierten Einwände als inhaltlich unbegründet an.

Informationen zu den Autoren

Dr. Rainer Moormann ist physikalischer Chemiker und arbeitete von 1976 bis 2013 am Forschungszentrum Jülich zur Sicherheit von kerntechnischen Anlagen wie Hochtemperatur- und Fusionsreaktoren sowie Spallationsneutronenquellen. Schwerpunkte waren Freisetzung von Radionukliden bei Unfällen, chemische Phänomene im Störfallablauf sowie Entwicklung von Entsorgungsstrategien für Problemabfälle. Für seine kritischen Arbeiten zur Sicherheit des Kugelhaufenreaktors erhielt er 2011 den deutschen Whistleblowerpreis.

Dr. Anna Veronika Wendland ist Osteuropa- und Technikhistorikerin und Projektleiterin im SFB-TRR 138 „Dynamiken der Sicherheit“ (Marburg / Gießen). Sie hat seit 2012 mit Industrial-Anthropology-Feldstudien in Kernkraftwerken in Osteuropa und Deutschland gearbeitet und kürzlich ihre Habilitationsschrift „Kerntechnische Moderne. Atomstädte, nukleare Arbeit und Reaktorsicherheit in Ost- und Westeuropa“ fertiggestellt. Sie bloggt bei salonkolumnisten.com über Klima- und Energiefragen und Reaktorsicherheit.

Danksagung

Am Zustandekommen dieses Papiers hat eine seit September 2019 bestehende Twitter-Diskussionsgruppe, seltenes Beispiel einer offenen Diskussion zwischen Atomkritikern und -befürwortern, einen wichtigen Anteil. Dafür bedanken wir uns.