



Atomenergie ist keine Lösung für die Klimapolitik

**Klimapolitische Stellungnahme des
Klimabeirats Hamburg**

Klimabeirat Hamburg – Mitglieder

Prof. Dr. Daniela Jacob (Vorsitz) · Climate Service Center Germany (GERICS)

Prof. Dr.-Ing. Jörg Knieling (stellv. Vorsitz) · HafenCity Universität Hamburg (HCU)

Prof. Dr. Wolfgang Dickhaut · HafenCity Universität Hamburg (HCU)

Prof. Dr. Anita Engels · Universität Hamburg (UHH)

Prof. Dr.-Ing. Manfred N. Fisch · Steinbeis-Innovationszentrum energieplus, Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle · Technische Universität Hamburg (TUHH)

Dr. Philine Gaffron · Technische Universität Hamburg (TUHH)

Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn · Technische Universität Hamburg (TUHH)

Prof. Dr. Claudia Kemfert · Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)

Prof. Dr.-Ing. Kerstin Kuchta · Technische Universität Hamburg (TUHH)

Prof. Dr. rer. nat. Barbara Lenz · Humboldt Universität zu Berlin (HUB)

Prof. Dr. Martin Pehnt · Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU)

Prof. Dr. Hans Schäfers · Hochschule für angewandte Wissenschaft (HAW)

Prof. Dr. Heinke Schlünzen · Universität Hamburg (UHH)

Prof. Dr. Martin Wickel · HafenCity Universität Hamburg (HCU)

Der Hamburger Klimabeirat berät auf Grundlage von § 7 des Hamburgischen Klimaschutzgesetzes den Hamburger Senat.

Impressum

Herausgeber: Klimabeirat Hamburg – www.klimabeirat.hamburg

Hamburg, Juli 2025

Geschäftsstelle Klimabeirat Hamburg

c/o BUKEA

Neuenfelder Straße 19

21109 Hamburg

Atomenergie ist keine Lösung für die Klimapolitik

Klimapolitische Stellungnahme des Klimabeirats Hamburg

Juni 2025

Zusammenfassung

- 5 Immer wieder wird die Nutzung der Atomenergie als Lösung für eine klimaneutrale Energieerzeugung diskutiert. Der Klimabeirat Hamburg weist Forderungen nach einem Wiedereinstieg in die Nutzung der Atomenergie entschieden zurück. Ein Wiedereinstieg in die Atomenergie ist klima- und umweltpolitisch falsch sowie volkswirtschaftlich und energiewirtschaftlich nicht begründet.
- 10 - Atomenergie ist zu Erneuerbaren Energien nicht konkurrenzfähig und könnte in dem für das Erreichen von Klimaneutralität gesetzten Zeitraum keinen nennenswerten Beitrag zur Dekarbonisierung des Stromsektors leisten.
- 15 - Die Nutzung der Atomenergie ist mit extrem hohen Risiken verbunden, die sich weder vollständig beherrschen noch versichern lassen. Dies hat die Atomkatastrophe von Fukushima 2011 drastisch gezeigt; der Atomausstieg war die richtige und angemessene Reaktion auf dieses Ereignis und frühere Atomunfälle.
- 20 - Nach sieben Jahrzehnten Atomenergienutzung ist das Problem der Entsorgung des Atommülls weiterhin global ungelöst. Die Suche nach einem deutschen Endlagerstandort wird voraussichtlich noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen.
- 25 - Atomenergienutzung schafft keine Energiesouveränität, sondern neue Abhängigkeiten von Uran-Förderländern.
- Alle europäischen Reaktor-Neubauten sind durch mehrjährige Verzögerungen und hohe Kostensteigerungen gekennzeichnet. Ohne staatliche Garantien, also das Abwälzen der finanziellen Risiken auf die Allgemeinheit, wäre kein Atomprojekt wirtschaftlich realisierbar.
- Atomkraftwerke brauchen zur Refinanzierung der hohen Kapitalkosten eine hohe Zahl an Vollaststunden und sind zudem schlecht regelbar. Sie sind daher ungeeignet, in einem Stromsystem mit hohem Anteil an volatiler regenerativer Erzeugung Regelleistung oder Backupkapazität bereitzustellen.
- 30 Hamburg ist als Stadtstaat seit jeher auf Stromimporte angewiesen. Die Stadt kann durch den Ausbau der Windenergie und vor allem durch die Umsetzung einer ambitionierten Photovoltaikstrategie Beiträge zur Erzeugung Erneuerbarer Energien leisten. Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung resultieren aus der Einbindung in ein überregional vernetztes Energiesystem.
- Der Klimabeirat unterstreicht, dass die Transformation des Energiesystems zu Erneuerbaren Energien für Hamburg große wirtschaftliche Chancen bietet. Dies gilt insbesondere für den Aufbau einer regenerativen Wasserstoffwirtschaft. Die Stadt sollte diesen Pfad konsequent weiterverfolgen.

35 Einleitung

Immer wieder wird die Nutzung der Atomenergie als Lösung für eine klimaneutrale Energieerzeugung diskutiert. Der Klimabeirat Hamburg weist Forderungen nach einem Wiedereinstieg in die Nutzung der Atomenergie entschieden zurück. Ein Wiedereinstieg in die Atomenergie ist klima- und umweltpolitisch falsch sowie volkswirtschaftlich und energiewirtschaftlich nicht begründet.

- 40 Ein Wiedereinstieg in die Nutzung der Atomenergie kann keinen relevanten Beitrag zum Erreichen der Hamburger oder der nationalen Klimaschutzziele leisten. Er würde unter den Gesichtspunkten von Kosten, Versorgungssicherheit, Energiesouveränität und Umweltverträglichkeit keine Vorteile gegenüber dem Ausbau der Erneuerbaren Energien bieten. Hinzu kommen die hohen Risiken der Atomenergie¹.
- 45 Der Klimabeirat spricht sich stattdessen dafür aus, die Energiewende konsequent fortzusetzen. Diese ist klimapolitisch und volkswirtschaftlich notwendig. Der Klimabeirat plädiert deshalb für eine pragmatische und ideologiefreie energiepolitische Diskussion, die sich auf die relevanten Themen konzentriert, d.h. den Ausbau der Erneuerbaren Energien, Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie die in diesem Zusammenhang notwendigen Transformationsaufgaben in Wirtschaft und Gesellschaft.

50 **Atomkraftwerke in Europa: Lange Bauzeiten und hohe Kosten**

Neben Baubestrebungen in China, den USA und Russland gibt es in Europa gegenwärtig erneut Diskussionen mit unterschiedlichem Stand zu potenziellen Neubauprojekten für Atomkraftwerke in Bulgarien, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Polen, Rumänien, Schweden, der Slowakei, Slowenien, Tschechien, der Türkei und Ungarn.²



55

Abbildung 1: Bekannte Neubauprojekte in Europa (inkl. Türkei) und Ländern mit Bestrebungen (hellblau)
Quelle: Weibezahn und Steigerwald (2024)

- Nur einige wenige Reaktoren haben in Europa in letzter Zeit den Leistungsbetrieb aufgenommen. Bei der Realisierung von Projekten ist regelmäßig zu beobachten, dass es zu – teils deutlichen – Bauverzögerungen und damit verbunden zu steigenden Kosten kommt (University of Chicago 2004; Wealer u.a. 2019b; Eash-Gates u.a. 2020; Rothwell 2022; OECD Nuclear Energy Agency 2024a; Wealer u.a. 2019a). Mit dem finnischen AKW Olkiluoto 3 wurde Ende 2022 erstmals seit 16 Jahren in Europa wieder ein Atomkraftwerk neu an das Stromnetz angeschlossen; die Bauzeit hatte sich von geplanten fünf auf 18 Jahre verlängert, verbunden mit einer entsprechenden Vervielfachung der Kosten (Reu-

¹ Nicht betrachtet wird die Fusionstechnologie. Der Wissenschaftliche Klimabeirat der Hessischen Landesregierung hat Ende 2024 eine in seinem Auftrag erstellte Übersichtsstudie zur laserbasierten Kernfusion veröffentlicht. Er kommt in einer darauf gestützten Stellungnahme zu dem Schluss, dass Kernfusion absehbar keinen Beitrag zur Erreichung der hessischen Klimaziele leisten wird. (s. <https://www.klimabeirat-hessen.de/presse/kernfusion-kann-absehbar-keinen-beitrag-zur-erreichung-der-hessischen-klimaziele-leisten>)

² Siehe Appendix (Tabelle 1) für weitere Informationen und Quellen.

65 ters 2023, SZ 2023). 2023 folgte das slowakische AKW Mochovce 3, nach einer Bauzeit, die sich – einschließlich 17 Jahre Baustillstand – über 38 Jahre erstreckt hatte (IAEA 2024b, 978; Schneider u.a. 2024, 471).

70 2024 ist in Frankreich das AKW Flamanville 3 an das Netz gegangen, der Betreiber Électricité de France (EDF) plant die Aufnahme des Leistungsbetriebs für den Sommer 2025 (EDF 2024). Die Bauzeit
75 hatte sich von geplanten fünf auf 17 Jahre verlängert, verbunden mit einer Versechsfachung der Kosten von ursprünglich geplanten 3,3 auf, nach Angaben von EDF, 19,2 Milliarden Euro (Le Monde 2024; Libération und AFP 2024). Im Januar 2025 hat der französische Rechnungshof seinen zweiten Bericht zum französischen Atomprogramm vorgelegt. Er beziffert die Baukosten für Flamanville 3 auf 23,7 Milliarden Euro und empfiehlt, die Investitionsentscheidungen für das französische Atomprogramm so lange auszusetzen, bis eine auf realistische Kostenschätzungen gestützte Finanzierung sichergestellt ist (Cour des comptes 2025). Angesichts der langen Realisierungszeiträume für die nächste Generation von Atommileilen prüft Frankreich für den bestehenden Kraftwerkspark Laufzeitverlängerungen auf sechzig Jahre und mehr (Légifrance 2023).

80 Für das 2013 genehmigte britische AKW Hinkley Point C, für das ursprünglich sieben Jahre Bauzeit veranschlagt waren, erwartet der Realisierungsträger EDF mittlerweile die Inbetriebnahme zwischen 2029 und 2031 (WNN 2024c). Im Fall von Hinkley Point garantiert die britische Regierung dem Betreiber in einem „Contract for difference“ für 35 Jahre eine Einspeisevergütung, die bei Vertragsabschluss doppelt so hoch war wie der Großhandelspreis für Strom (Becker 2016, 5).

85 Es gibt darüber hinaus weiterhin Diskussionen über den Einstieg in die Kernenergie in Osteuropa und dem Nahen Osten (Neumann u.a. 2020). Aktuell gibt es kein Projekt und keinen Vorschlag für einen groß angelegten AKW-Neubau, bei dem nicht mindestens eine nationale Regierung – direkt oder indirekt – an der Finanzierung beteiligt ist (Weibezahl und Steigerwald 2024).

Small Modular Reactors

90 Sogenannte Small Modular Reactors (SMR) werden im Vergleich zu Atomkraftwerken mit einer hohen Kapazität als einfacher und daher schneller und kostengünstiger zu realisieren diskutiert (Boarin u.a. 2021; Mignacca und Locatelli 2020). Die EU-Kommission hat Anfang 2024 eine „European SMR Industrial Alliance“ als Plattform zur Förderung dieser Technologie ins Leben gerufen.³

95 SMR Konzepte, können definiert werden als Reaktoren, bei denen ein einzelner Reaktor über eine elektrische Leistung von weniger als 300 MW_e (oder eine thermische Leistung von weniger als 1000 MW_{th}) verfügt, wobei er wassergekühlt oder nicht-wassergekühlt sein kann (Pistner u.a. 2021, S.16)⁴. Eine breite Einführung solcher meist wassergekühlten Konzepte mit einer bereits sehr langen Entwicklungshistorie ist bis heute trotz vergleichsweise geringer Entwicklungsrisiken nicht erfolgt, obwohl grundsätzlich eine umfangreiche betriebliche Erfahrung und bereits ausgebaute Infrastruktur zur Verfügung stehen (IAEA 2024c; Pistner u.a. 2021). Grundsätzlich sind allerdings keine Unterschiede im Bereich der Ver- und Entsorgung gegenüber Atomkraftwerken mit großer Leistung zu erwarten (Pistner u.a. 2021; Krall u.a. 2022).

100 Nicht-wassergekühlte SMR-Konzepte beinhalten grundsätzliche Neuerungen gegenüber heutigen Atomkraftwerken wie eine effizientere Brennstoffnutzung durch einen größeren Abbrand und höhere Betriebstemperaturen, mit denen ein höherer Wirkungsgrad erzielt werden soll, um weitere Anwendungsfelder, insbesondere die Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozesswärme, oder die Nutzung

³ Eine Liste der Industriepartner ist online verfügbar unter https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors_en (zuletzt aufgerufen am 10. 06. 2025, dies gilt auch für alle weiteren URL soweit nicht anders erwähnt).

⁴ Zu den Letzteren, nicht Wasser gekühlten Reaktoren, zählen unter anderem Hochtemperaturreaktoren (HTR), Reaktoren mit einem schnellen Neutronenspektrum oder Salzschnmelzreaktoren (MSR) und überwiegend auch Konzepte mit besonders niedriger Leistung als sogenannte Mikroreaktoren (MR) (Pistner u.a. 2021, 17)

- in entlegenen Regionen zu ermöglichen (IAEA 2024c; Froese u.a. 2020). Einige dieser Konzepte zielen dabei auf einen sogenannten geschlossenen Brennstoffkreislauf ab, mit dem hohe technologische Risiken im Bereich der Brennstoffentwicklung und Wiederaufarbeitungstechnologien verbunden sind (Pistner u.a. 2021; von Hirschhausen 2022). Hier schätzen Pistner u.a. (2021) ein, dass eine geringere Betriebserfahrung, vorwiegend aus Prototyp- und Demonstrationsreaktoren, sowie der geplante Einsatz neuartiger technologischer Lösungen und neuer Materialien längere Entwicklungszeiträume sowie höhere technologische Entwicklungsrisiken gegenüber wassergekühlten SMR-Konzepten erwarten lassen.
- Der Einsatz von SMR-Konzepten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei der Stromproduktion wird in der Literatur vielfach diskutiert (Roulstone, Lloyd, und Lyons 2020; Ramana 2024; Böse, Wimmers, Neugebauer, u.a. 2024; OECD Nuclear Energy Agency 2024b; Präger u.a. 2024). Heutige neue Atomkraftwerke weisen elektrische Leistungen im Bereich von 1.000 bis 1.600 MW_e auf, wohingegen SMR-Konzepte elektrische Leistungen von 1,5 bis 300 MW_e vorsehen, wie sie etwa die ersten überhaupt gebauten Atomkraftwerke hatten (IAEA 2024c; Reed 2021). Entsprechend wäre zur Bereitstellung derselben elektrischen Leistung eine drei- bis tausendmal größere Zahl an Anlagen erforderlich. Anstelle von heute ca. 400 Reaktoren mit großer Leistung würde dies also den Bau von vielen tausend bis zehntausend SMR-Anlagen bedeuten, so das sich ebenfalls Fragen des Transports und des Rückbaus sowie der Zwischenlagerung und der bisher noch nicht geklärten Lösung für die Endlagerung stellen (Pistner u.a. 2021; Kendziorski u.a. 2021; Ramana 2021).
- Wirtschaftlich wird die Entwicklung, neben einer möglichen größeren Modularität, mit der Erwartung kürzerer Zeithorizonte, insbesondere geringerer Bauzeiten, und unter Umständen auch unkomplizierterem Rückbau begründet (Lloyd Peterhouse 2019; OECD Nuclear Energy Agency 2024b). Die Be trachtung aktuell geplanter, im Bau oder in Betrieb befindlicher Anlagen bestätigt diese Vermutung jedoch nicht, sondern das Gegenteil zeigt sich: Planungs-, Entwicklungs- und Bauzeiten übersteigen die ursprünglichen Zeithorizonte in der Regel um ein Vielfaches und historische Erfahrungen mit nicht-wassergekühlten SMR deuten auf einen langfristigen Rückbau hin (Pistner u.a. 2021). Eine Monte-Carlo-Analyse potenzieller Projektlaufzeiten mit Hilfe der Simulation potenzieller Kapitalwerte (NPVs) und Stromgestehungskosten (LCOE) weist zudem darauf hin, dass SMR-Konzepte keine wirtschaftliche Alternative zu bestehenden kohlenstoffarmen Technologien sind (Steigerwald u.a. 2023).⁵
- Selbst wenn die Baukosten nicht höher eintreten als von den Herstellern angegeben, kann die Mehrheit der untersuchten SMR-Konzepte keinen positiven Kapitalwert liefern (Steigerwald u.a. 2023).
- Allgemein, also vor dem Hintergrund aktueller europäischer Projekte und Entwicklungen von SMR, wäre, falls sich Deutschland zum Neubau von Atomkraftwerken entschließen und damit den aktuellen Prozess der Suche nach einem Endlager erneut stören wollte, ein Beitrag zur Stromversorgung realistischerweise nicht vor 2045 zu erwarten).⁶ Zu diesem Zeitpunkt soll laut den Klimaschutzgesetzen des Bundes und von Hamburg bereits Klimaneutralität (bzw. CO₂-Neutralität) erreicht sein.⁷ In noch weiterer Ferne steht ein kommerzieller Einsatz der sogenannten neuartigen Reaktortechnologien, welche trotz zum Teil Jahrzehntelanger Entwicklung bisher entweder technologisch noch nicht ausgereift sind oder sich aus kommerziellen oder sicherheitstechnischen Gründen nicht durchgesetzt haben (Pistner u.a. 2024).⁸

⁵ Monte-Carlo-Analyse als eine mathematische Methode, lange Projektlaufzeiten zu nutzen, s. Graham, Carl, & Talay, Denis. 2024: Stochastic Simulation and Monte Carlo Methods, 2024, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-39363-1>.

⁶ s. Wimmers, Boese u.a. (2023) bzw. Boese, Wimmers u.a. (2024) für eine detaillierte Diskussion.

⁷ Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) §3(2), https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/_3.html; Hamburgisches Klimaschutzgesetz (HmbKliSchG) §4(2), <https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-KlimaSchGHA2020V7P4>.

⁸ Eine Gruppe von Reaktoren, die den folgenden Technologielinien angehören: Natriumgekühlte Schnelle Reaktoren (Sodium-cooled Fast Reactor, SFR), bleigekühlte Schnelle Reaktoren (Lead-cooled Fast Reactor, LFR),

Einer Wiederaufnahme des Betriebs der im April 2023 als letzte abgeschalteten Kraftwerke haben alle drei Betreiberfirmen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine deutliche Absage erteilt (Witsch 2024; Tageschau 2024; Welt 2024, VDI 2025).

Risiken im Betrieb von Atomkraftwerken

- 150 In Arbeiten zehn Jahre nach der Atomkatastrophe von Fukushima haben Wealer u.a. (2021) unter anderem gezeigt, dass es beim kommerziellen Einsatz von Atomenergie immer wieder zu größeren Zwischenfällen gekommen und die Atomenergie störanfällig ist. Die Frage einer Versicherung solcher Zwischenfälle bzw. Störfälle ist nur in sehr geringem Umfang gelöst (Wealer u.a. 2021).
- 155 Es stellt sich ebenfalls die Frage, ob ein Einsatz neuerer Technologien wie modularer Niedrigkapazitätsreaktoren (SMR) dabei nicht zu weiteren neuen Risiken führt, etwa durch einen potentiellen Transport von radioaktiv beladenen Reaktoren zu ihrem Einsatzort (Pistner u.a. 2021). Daneben führt der Einsatz neuartiger flüssiger Brennstoffe in einem geschlossenen Brennstoffkreislauf zu neuartigen Risiken (Pistner u.a. 2021; Downer und Ramana 2021; Ramana 2021).
- 160 Auch im störungsfreien Betrieb sind die Umweltauswirkungen durch Atomkraftwerke nicht zu vernachlässigen. Atomkraftwerke weisen Wirkungsgrade um 35 Prozent auf, was bedeutet, dass rund zwei Drittel der erzeugten Energie als Abwärme an die Umgebung abgegeben werden. Wie alle Wärmekraftwerke sind Atomkraftwerke daher auf Kühlwasser aus Oberflächengewässern angewiesen. Der Wasserbedarf für die Kühlung ist beträchtlich, 2022 verbrauchte die Energiewirtschaft 6,59 Milliarden Kubikmeter Wasser. Ein Rückgang um 2,02 Milliarden Kubikmeter gegenüber 2019 war im Wesentlichen auf die zwischenzeitliche Stilllegung dreier Atomkraftwerke zurückzuführen. Gleichwohl bleibt die Energiewirtschaft mit einem Anteil von rund 52 Prozent an der gesamten Wassernutzung der Wirtschaft der Sektor mit dem höchsten Wasserverbrauch (Destatis 2025).
- 165 Die Belastung der Gewässer durch die Entnahme und Wiedereinleitung von Kühlwasser verschärft sich durch den Klimawandel. Mit dem klimawandelbedingten Anstieg der durchschnittlichen Lufttemperatur steigen auch die Wassertemperaturen. Die sommerlichen Abflussmengen gehen infolge veränderter jahreszeitlicher Niederschlagsverteilung zurück; in einem Abflussregime vom Regen-Schnee-Typus, wie es die Elbe charakterisiert, wirkt sich zusätzlich aus, dass die Niederschläge in den Mittelgebirgen immer weniger als Schnee fallen. Dies führt zu längeren Phasen sommerlicher Niedrigwasser mit hohen Gewässertemperaturen (FGG Elbe 2021, S.60f., IKSE 2022).
- 170 175 Nachdem im Sommer 2022 mehrere Atomkraftwerke an Rhône und Garonne ihre Produktion einschränken mussten, hat die französische Atomaufsicht Ausnahmeregelungen geschaffen, um den Kraftwerksbetrieb trotz hoher Gewässertemperaturen aufrechtzuerhalten (ASN 2022; ASN 2024). In ähnlicher Weise gestattet seit 2024 ein Erlass des ungarischen Energieministeriums dem Atomkraftwerk Paks 1, das seit 2018 mehrfach seine Produktion drosseln musste, den Grenzwert von 30° C Wassertemperatur der Donau zu überschreiten, sofern dies aus Gründen der Versorgungssicherheit geboten ist (Népszava 2024).
- 180 185 In Hamburg sind die mit der Wasserentnahme für die Kraftwerkskühlung verbundenen Umweltbelastungen, die unabhängig vom Brennstoff für alle Wärmekraftwerke prinzipiell gleich sind, im Zusammenhang mit dem Kohlekraftwerk Moorburg auch öffentlich intensiv debattiert worden. Der Betreiber Vattenfall musste den Betrieb 2017 von Durchlauf- auf Kreislaufkühlung mit einem Hybridkühlturm umstellen, nachdem der EuGH die wasserrechtliche Genehmigung wegen unzureichender Berücksichtigung der Schädigung von unter der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie geschützten Fischarten

gasgekühlte Schnelle Reaktoren (Gas-cooled Fast Reactor, GFR), Hochtemperaturreaktoren (Very High Temperature Reactor, VHTR), mit superkritischem Wasser gekühlte Reaktoren (Supercritical Water-cooled Reactor, SCWR), Salzschnelzreaktoren (Molten Salt Reactor, MSR) sowie beschleunigergetriebene unterkritische Reaktoren (Accelerator Driven System, ADS).

beanstandet hatte (EuGH 2017). Die Umstellung der Kühlung reduzierte die Wasserentnahme von 64 auf 1 m³/s (BUE 2017), was für den Betreiber einen geringeren Wirkungsgrad und damit wirtschaftliche Einbußen bedeutete.

Betriebsbedingungen und Umweltauswirkungen eines Wärmekraftwerks wären für jeden potenziellen Standort spezifisch zu untersuchen. Zwischen 1972 und 2002 war Hamburg über die Hamburgischen Elektricitäts-Werke (HEW) an vier Atomkraftwerken an der Unterelbe – Brunsbüttel, Krümmel, Stade und Brokdorf – beteiligt. Vor dem Hintergrund des Moorburg-Urteils und der Entscheidung des EuGH zur Auslegung des Verschlechterungsverbots der Wasserrahmenrichtlinie (EuGH 2015) wäre die Genehmigungsfähigkeit großer Wärmekraftwerke an diesen oder vergleichbaren Standorten heute sehr kritisch zu sehen.

Eine Möglichkeit, den Betrieb von Atomkraftwerken unter den Bedingungen des fortschreitenden Klimawandels sicherzustellen, sind Küstenstandorte, die eine Kühlung mit Seewasser ermöglichen. Tatsächlich nutzt der überwiegende Teil der gegenwärtig in Europa geplanten oder im Bau befindlichen Atomkraftwerke diese Möglichkeit (vgl. Abb. 1 und Appendix). In Deutschland würde sich damit der ohnehin bestehende Ausbaubedarf im Übertragungsnetz zwischen den Küsten mit ihrer wachsenden Windstromerzeugung und den energieintensiven Industriezentren im Süden noch einmal signifikant erhöhen (s. BNetzA 2024). Solche Überlegungen sind spekulativ, zeigen aber, dass sich eine Diskussion über Atomenergie auch Fragen nach den tatsächlichen Voraussetzungen eines Kraftwerksbetriebs stellen müsste.

Atommüll – das ungelöste Problem

Die atomaren Risiken enden nicht mit der Laufzeit eines Atomreaktors. Weltweit gibt es bisher keine Lösung für eine sichere Endlagerung des Atommülls. Erfahrungen mit der Stilllegung von Atomkraftwerken sind in der Industrie begrenzt, da bisher nur etwa ein Dutzend Reaktoren, die meisten davon kleine Forschungs- und Prototypreaktoren, in drei Ländern, nämlich Deutschland, Japan und den USA, erfolgreich stillgelegt worden sind (Wimmers, Bärenbold u.a. 2023; Wimmers, von Hirschhausen 2023; Wimmers 2023; Bärenbold u.a. 2023). Das bislang einzige bestehende Endlager in Olkiluoto (Finnland) befindet sich seit September 2024 im Probebetrieb, eine Betriebsgenehmigung wird für Ende 2025 erwartet (WNN 2024g). In der Schweiz hat die bereits 1972 gegründete Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) 2024 die Genehmigung für ein Endlager beantragt (NAGRA 2024). In Schweden hat das zuständige Land- und Umweltgericht (Mark- och miljödomstolen vid Nacka Tingsrätt) im Oktober 2024 die Genehmigung für das geplante Endlager Forsmark erteilt, jedoch nur für den Atommüll der aktuell laufenden Reaktoren und nicht für den eventuell zukünftig entstehender Atomkraftwerke (WNN 2024d). In Kanada ist die Ende 2024 getroffene Standortentscheidung für ein Endlager, das in den 2040er Jahren in Betrieb gehen soll, von einer betroffenen First Nation juristisch beklagt worden (Canadian Press 2024).

Im Übrigen gibt es weltweit nur mehr oder weniger weit fortgeschrittene Untersuchungen zu einer sicheren Endlagerung des Atommülls. Der Rückbau von Atomkraftwerken und die Endlagerung radioaktiver Abfälle bringen erhebliche weitere Kosten mit sich, die in den betriebswirtschaftlichen Kostenrechnungen der Atomkraftwerke weitgehend vernachlässigt werden, hohe Finanzierungsmittel benötigen und als Projekt teilweise über Dekaden laufen (Schrems u.a. 2020; Wimmers, Göke u.a. 2023; Hirschhausen u.a. 2015; Awawda und Wimmers In Press). In Deutschland wird die Entscheidung über den Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle mit Sicherheit nicht, wie im Standortauswahlgesetz vorgesehen (StandAG §1(5)), bis 2031 fallen, sondern erheblich später. Nachdem im Juli 2024 ein Gutachten im Auftrag des Bundesamts für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) (Krohn u.a. 2024, 267) das Jahr 2074 und zuvor schon ein Bericht der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) das Jahr 2068 (BASE 2024) als voraussichtliche Enddaten des Suchprozesses genannt hatten, hat der Präsident des BASE im März 2025 Vorschläge zur Verfahrensbeschleunigung vorgelegt, die eine Standortentscheidung bis etwa 2050 ermöglichen sollen (BASE 2025). Dieser erheblich länge-

re Suchprozess wird zu höheren Kosten (Ott u.a. 2024) und für die Zwischenlager, deren Genehmigungen zwischen 2034 und 2046 enden, zu einer rechtlich problematischen Situation führen. Die Betreiber der deutschen Atomkraftwerke haben 2017 insgesamt 24,1 Mrd. Euro in den „Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung“ (KENFO), eine Stiftung des Bundes, eingezahlt. Gleichzeitig ist

240 das Finanzierungsrisiko auf den deutschen Staat übergegangen, der für alle Kosten, die das Stiftungskapital und seine Erträge übersteigen, einstehen muss (Brunnengräber und Sieveking 2024). Ende 2023 betrug das Stiftungsvermögen 23,49 Mrd. Euro, nachdem bereits 3,66 Mrd. Euro für die Endlagersuche und die Zwischenlagerung des Atommülls ausgezahlt worden waren (KENFO 2024).

245 Für die Akzeptanz eines Endlagers in Deutschland dürfte es, unabhängig von der zeitlichen Perspektive, eine wichtige Rolle spielen, dass die Menge des zu entsorgenden hochradioaktiven Abfalls auf die bis zum Atomausstieg angefallenen rund 27.000 m³ begrenzt bleibt (Kendziorski u.a. 2021).

Keine niedrigeren Stromkosten durch Atomenergie

Heutige wassergekühlte Reaktoren (LWR) sind hinsichtlich ihrer Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Electricity, LCOE) nicht wettbewerbsfähig gegenüber verfügbaren erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien (Wealer u.a. 2019a; Steigerwald u.a. 2023; Pistner u.a. 2024). Die historische Kostenentwicklung weist darüber hinaus für wassergekühlte Reaktoren über die Zeit steigende durchschnittliche LCOE aus, während im Bereich erneuerbarer Energien insbesondere in den letzten beiden Jahrzehnten massiv fallende Kosten zu verzeichnen waren (Eash-Gates u. a. 2020; LAZARD und Roland Berger 2024, 16). Es gibt keinen Anlass zu erwarten, dass sich dieser Trend in Zukunft umkehren wird.

255 Selbst wenn man die notwendigen Systemintegrationskosten (Stromnetzausbau, Bereitstellung von Kapazitäten für Regelenergie und Backup) für erneuerbare Energien berücksichtigt, sind die Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien noch immer günstiger als die Stromproduktion mit Atomenergie (Bogdanov u.a. 2019; Steigerwald u.a. 2023). Langfristige Studien zur Modellierung von Energiesystemen mit erneuerbaren Energien zeigen einen Rückgang der Stromgestehungskosten für 260 Europa von 71 EUR/MWh im Jahr 2020 auf einen Wert unter 50 oder sogar 40 EUR/MWh (Breyer u.a. 2022).

Neue Abhängigkeiten statt Energiesouveränität

Eine weitere oder erneute Nutzung der Atomenergie würde zu einer Abhängigkeit von importierten Ressourcen führen, da die Wiederaufnahme einer deutschen Uranförderung als sehr unwahrscheinlich einzuschätzen ist, unter anderem wegen der Krankheits- und Todesfälle bei der Uranförderung der Wismut (Enderle und Friedrich 1999; ESA 2024). Der führende Akteur auf dem globalen Markt für atomare Brennstoffe und Brennstoffdienstleistungen ist Russland. Bezeichnenderweise hat die EU 265 den Atomsektor bisher von allen Sanktionen ausgenommen, die gegen Russland in Reaktion auf den Angriffskrieg gegen die Ukraine verhängt worden sind (Wimmers u.a. 2025). Die Brennelement-Lieferungen Russlands in die EU haben sich im Gegenteil zwischen 2021 und 2023 erhöht, so dass der Staatskonzern Rosatom 2023 Anteile von 23 Prozent am EU-Uranmarkt und sogar 38 Prozent bei den Anreicherungsdienstleistungen erreicht hat, was alternative Produzenten wie Westinghouse noch immer nicht weiter verringern konnten (Wimmers u.a. 2025; ESA 2024; Schneider u.a. 2024, 31ff). Ein Wiedereinstieg könnte erneut zu Abhängigkeiten von Brennstoffproduzenten wie der russischen 270 Rosatom oder der amerikanischen Westinghouse führen, die bei der Versorgung mit Erdgas unter hohen Kosten reduziert worden sind (Wimmers u.a. 2025; Holz u.a. 2024).

Versorgungssicherheit ohne Wiedereinstieg in die Atomkraft

In Deutschland wurden die letzten drei Atomkraftwerke am 15. April 2023 abgeschaltet. Unter dem Eindruck der durch den Krieg in der Ukraine ausgelösten Gasmangellage hatten sie durch eine Änderung des Atomgesetzes eine Verlängerung der Laufzeiten über den im Atomkonsens vorgesehenen 280

31. 12. 2022 hinaus erhalten, so dass Atomstrom 2023 noch einen Anteil von 1,5 Prozent (6,7 TWh) an der Stromeinspeisung hatte. 2024 erreichten die Erneuerbaren Energien einen Rekordanteil von 62,7 Prozent. Der CO₂-Preis sorgte für einen weiteren Rückgang der Kohleverstromung zugunsten wachsender Stromimporte, davon rund die Hälfte (49 Prozent) regenerativ erzeugter und 29 Prozent Atomstrom. (Fraunhofer ISE 2025; Bundesnetzagentur 2025; Agora Energiewende 2025)

Selbst wenn die Gesellschaft die Risiken der Atomenergie in Kauf nehmen wollte, würden die enormen Investitionskosten für Atomkraftwerke, die betriebswirtschaftlich eine hohe Zahl von Vollaststunden notwendig machen, und ihre im Vergleich zu Gas- und auch Kohlekraftwerken schlechtere Regelbarkeit dazu führen, dass sie in einem von volatiler Erzeugung aus Erneuerbaren Energien

geprägten Stromsystem keinen adäquaten Systembeitrag mehr leisten könnten. Das Abdecken von Spitzenlasten und anderen kurzzeitigen Strombedarfen können zukünftig Batteriespeicher leisten, die 2024 bereits einen starken Zubau erlebten, der sich absehbar erheblich ausweiten wird. So liegen gegenwärtig bei den Übertragungsnetzbetreibern 650 Anschlussanfragen für große Batteriespeicher mit 226 Gigawatt Speicherleistung vor (Enkhard 2025). Geht man davon aus, dass nur 50 Prozent

dieser Projekte realisiert werden und dabei die heute üblichen Speichergrößen mit zwei Stunden Kapazität verbaut werden, ergeben sich in den nächsten wenigen Jahren für das deutsche Stromnetz Speicherkapazitäten von mindesten 200 GWh. Damit ließe sich in einer dunklen, windlosen Winternacht Deutschland etwa vier bis fünf Stunden ganz ohne weitere Erzeugung versorgen. Darüber hinaus gehender Bedarf, der nicht aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann, etwa in Dunkelflauten, wie sie im Herbst 2024 kurzzeitig zu Rekordpreisen an den Strombörsen führten, können Gaskraftwerke, die zukünftig mit Wasserstoff betrieben werden können, volkswirtschaftlich erheblich günstiger abdecken, da diese zu deutlich niedrigeren Investitionskosten gebaut werden können (s.o.).

Dunkelflauten, also Zeiten in denen weniger als 10 bis 20 Prozent der installierten Nennleistung aus EE-Stromerzeugung zur Verfügung stehen, sind selten und ihre Dauer ist begrenzt. Bowen u.a. (2021) finden für Deutschland für den Schwellwert von 20 Prozent eine Häufigkeit von fünf bis zehn Dunkelflauten pro Jahr mit einer Dauer von mehr als 24 Stunden und als längste Dauer vier bis fünf Tage. Für einen Schwellwert von 10 Prozent sind es nur noch längstens etwa zwei Tage. Diese Zeiträume lassen sich gut durch die Verwendung von grünem Wasserstoff in Gaskraftwerken überbrücken.

Wasserstoffwirtschaft mit wirtschaftlichen Chancen für Hamburg

Grüner Wasserstoff ist das zentrale Element für die Dekarbonisierung der deutschen Industrie. Er wird stofflich wie energetisch in zahlreichen Branchen benötigt. Der industrielle Wasserstoffbedarf wird in Deutschland bei etwa 250 bis 450 TWh/a liegen. Für die Absicherung der Dunkelflaute werden nur etwa 100 TWh benötigt (BMWK 2024; NWR 2024). Es liegt nahe, die zukünftig ohnehin aufzubauende Wasserstoffinfrastruktur für die Dekarbonisierung der Industrie gleichzeitig auch für die Lösung der Dunkelflauten-Problematik zu verwenden, um hier Synergieeffekte zu schaffen. Diese Transformation des Energiesystems zu Erneuerbaren Energien, insbesondere der Aufbau einer regenerativen Wasserstoffwirtschaft, bietet gerade für Hamburg große wirtschaftliche und strukturpolitische Chancen. Die Stadt hat dafür schon wichtige Schritte unternommen und sollte diesen Pfad konsequent weiterverfolgen.

Quellen / Literaturverzeichnis

ASN (Autorité de sûreté nucléaire) 2022. L'ASN modifie temporairement ses prescriptions encadrant les rejets thermiques des centrales nucléaires de Blayais, Bugey, Golfech, Saint-Alban et Tricastin, Note d'information 08.08.2022. <https://www.asn.fr/information/archives-des-actualites/modification-temporaire-des-prescriptions-encadrant-les-rejets-thermiques-de-5-centrales-nucleaires>.

ASN 2024. L'ASN fait le point sur les rejets thermiques des centrales nucléaires pendant les périodes de canicule, Note d'information 16.07.2024. <https://www.asn.fr/information/archives-des-actualites/l-asn-fait-le-point-sur-les-rejets-thermiques-des-centrales-nucleaires-pendant-les-periodes-de-canicule>

Awawda, Mahdi, und Alexander Wimmers. In Press. „Very Long-Term Financing in Nuclear Waste Management: The Case of the German Nuclear Waste Fund KENFO“. In Nuclear Power: Technology, Geopolitics, and Economics, herausgegeben von Alexander Wimmers, Fanny Böse, Christian Von Hirschhausen, und Claudia Kemfert. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Bärenbold, Rebekka, Muhammad Maladoh Bah, Rebecca Lordan-Perret, Björn Steigerwald, Christian Von Hirschhausen, Ben Wealer, Hannes Weigt, und Alexander Wimmers. 2023. „Cross-Country Survey on the Decommissioning of Commercial Nuclear Reactors: Status, Insights, and Knowledge Gaps“. Safety of Nuclear Waste Disposal 2 (September):3–4. <https://doi.org/10.5194/sand-2-3-2023>.

BASE (Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung) 2024. „BASE veröffentlicht wissenschaftlichen Bericht zur Ablaufplanung des Standortauswahlverfahrens“. <https://www.base.bund.de/shareddocs/kurzmeldungen/de/2024/forschung-pasta.html>.

BASE. 2025. „Beschleunigungspotenziale im Standortauswahlverfahren“. https://www.base.bund.de/shareddocs/downloads/de/base/beschleunigung-standortauswahlverfahren.pdf?__blob=publicationFile&v=9.

Becker, Oda. 2016. „Hinkley Point C – Underestimated long term risks and costs“. https://green-planet-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/160203_Study_Underestimated_risk_and_Costs_HPC_BECKER.pdf.

Bernath, Christiane, Gerda Deac, und Frank Sensfuß. 2021. „Impact of Sector Coupling on the Market Value of Renewable Energies – A Model-Based Scenario Analysis“. Applied Energy 281 (Januar):115985. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115985>.

BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz). 2023. Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS 2023). https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=9.

BNetzA (Bundesnetzagentur) 2024. Energiemarkt aktuell. Netzengpassmanagement im 1. Quartal 2024, 01.07.2024. <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/213808>.

Boarin, Sara, Mauro Mancini, Marco Ricotti, und Giorgio Locatelli. 2021. „Economics and Financing of Small Modular Reactors (SMRs)“. In Handbook of Small Modular Reactors, 2nd ed., 241–78. Kidlington (UK) and Cambridge (USA): Elsevier.

Bogdanov, Dmitrii, Javier Farfan, Kristina Sadovskaia, Arman Aghahosseini, Michael Child, Ashish Gulagi, Ayobami Solomon Oyewo, Larissa de Souza Noel Simas Barbosa, und Christian Breyer. 2019. „Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps“. Nature Communications 10 (1): 1077. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08855-1>.

Böse, Fanny, Alexander Wimmers, Julia Neugebauer, Theresa Lösel, Timo Hermes, Jasmin Beppler, Marie-Sophie Nickel, Pauline Morawe, Maximilian Weber, und Christian Von Hirschhausen. 2024. „Putting Radioactive Materials on the Sustainability Agenda: A Report from a Workshop on the Sustainability of Human-Made Radioactive Materials Held at the safeND Research Symposium 2023“. Radiation and Environmental Biophysics, Februar. <https://doi.org/10.1007/s00411-024-01061-8>.

Böse, Fanny, Alexander Wimmers, Björn Steigerwald, und Christian von Hirschhausen. 2024. „Questioning nuclear scale-up propositions: Availability and economic prospects of light water, small modular and advanced reactor technologies“. Energy Research & Social Science 110 (April 2024): 103448. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103448>.

Breyer, Christian, Dmitrii Bogdanov, Manish Ram, Siavash Khalili, Eero Vartiainen, David Moser, Eduardo Román Medina, u.a. 2022. „Reflecting the Energy Transition from a European Perspective and in the Global Context—Relevance of Solar Photovoltaics Benchmarking Two Ambitious Scenarios“. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Dezember, pip.3659. <https://doi.org/10.1002/pip.3659>.

Brunnengräber, Achim, und Jan Sieveking. 2024. „Wicked Financing der Endlagerung: Ungewissheiten, Widersprüche und Herausforderungen“. In Entscheidungen in die weite Zukunft, herausgegeben von Anne Eckhardt, Frank Becker, Volker Mintzlaff, Dirk Scheer, und Roman Seidl, 141–65. Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-42698-9_8.

BUE (Behörde für Umwelt und Energie Hamburg). 2017. Wasserentnahme gestoppt – Moorburg-Urteil wird umgesetzt, Pressemitteilung vom 01.06.2017. <https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bukea/aktuelles/pressemeldungen/2017-06-01-bue-kraftwerk-moorburg-511840>

Canadian Press. 2024. „Ontario First Nation Challenging Selection of Underground Nuclear Waste Site in Court“. <https://globalnews.ca/news/10932606/ontario-first-nation-challenge-nuclear-ignace/>.

Cour des comptes. 2025. „La filière EPR : une dynamique nouvelle, des risques persistants“. Paris. https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2025-01/20250114-La-filiere-EPR%20-une-dynamique-nouvelle-des-risques-persistants_0.pdf.

Destatis (Statistisches Bundesamt) 2025. „Deutsche Wirtschaft nutzt 12,75 Milliarden Kubikmeter Wasser im Jahr 2022. Rückgang des Wassereinsatzes um 16,7 % gegenüber 2019 vor allem durch Stilllegung von Kernkraftwerken“, Pressemitteilung Nr. 068 vom 21. Februar 2025.

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/02/PD25_068_32311.html

Downer, John, und M. V. Ramana. 2021. „Empires Built on Sand: On the Fundamental Implausibility of Reactor Safety Assessments and the Implications for Nuclear Regulation“. Regulation & Governance 15 (4): 1304–25. <https://doi.org/10.1111/rego.12300>.

Eash-Gates, Philip, Magdalena M. Klemun, Goksin Kavlak, James McNerney, Jacopo Buongiorno, und Jessika E. Trancik. 2020. „Sources of Cost Overrun in Nuclear Power Plant Construction Call for a New Approach to Engineering Design“. Joule 4 (11): 2348–73. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.10.001>.

Enderle, Gerd J., und Klaus Friedrich. 1999. „Uranium Mining in East Germany (“Wismut”): Health Consequences, Occupational Medical Care and Workers’ Compensation“. International Archives of Occupational and Environmental Health 72 (S3): M042–49. <https://doi.org/10.1007/PL00014215>.

ESA (Euratom Supply Agency). 2024. „Annual Report 2023“. https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202023%20-%20Final%20draft.pdf.

EuGH (Europäischer Gerichtshof). 2015. Urteil des Europäischen Gerichtshofs (Große Kammer) vom 1. Juli 2015, Rechtssache C-461/13. <https://curia.europa.eu/juris/liste.jsf?language=de&#num=C-461/13>

EuGH 2017. Urteil des Europäischen Gerichtshofs (Zweite Kammer) vom 26. April 2017, Rechtssache C-142/16. <https://curia.europa.eu/juris/liste.jsf?language=DE&#num=C-142/16>

FGG Elbe (Flussgebietsgemeinschaft Elbe). 2021. Zweite Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Zeitraum von 2022 bis 2027, S.60f. https://www.fgg-elbe.de/berichte/aktualisierung-nach-art-13-2021.html?file=files/Downloads/EG_WRRL/ber/bp2021/anhaenge/Bewirtschaftungsplan_FGG_Elbe_2021_Anhang_A1-4.pdf&cid=14880

Froese, Sarah, Nadja C. Kunz, und M.V. Ramana. 2020. „Too Small to Be Viable? The Potential Market for Small Modular Reactors in Mining and Remote Communities in Canada“. Energy Policy 144 (September):111587. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111587>.

Gizińska, Ilona, und Andrzej Sadecki. 2023. „Russia’s Nuclear Project in Hungary: France’s Growing Role“. 520. OSW Commentary. https://www.osw.waw.pl/sites/default/files/OSW_Commentary_520.pdf.

Hirschhausen, Christian von. 2022. „Nuclear Power in the Twenty-First Century (Part II) – The Economic Value of Plutonium“. DIW Berlin Discussion Paper 2011. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.846420.de/dp2011.pdf.

Hirschhausen, Christian von, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Felix Reitz, Dorothea Schäfer, und Cornelia Ziehm. 2015. „Rückbau und Entsorgung in der deutschen Atomwirtschaft: öffentlich-rechtlicher Atomfonds erforderlich“, DIW Wochenbericht, 45:1072–82.

Holz, Franziska, Lukas Barner, Claudia Kemfert, und Christian Von Hirschhausen. 2024. „Sanktionen gegen russisches Erdgas würden Versorgung in EU und Deutschland nicht gefährden“. DIW Wochenbericht 91:S. 307315. https://doi.org/10.18723/DIW_WB:2024-21-1.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2024a. Nuclear Power Reactors in the World. Reference Data Series No. 2, IAEA-RDS-2/44. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. <https://www.iaea.org/publications/15748/nuclear-power-reactors-in-the-world>.

—. 2024b. Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States. Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States. Vienna: International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/15752/operating-experience-with-nuclear-power-stations-in-member-states-2024-edition>.

—. 2024c. „Small Modular Reactor Technology Catalogue“. IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). https://aris.iaea.org/publications/SMR_Catalogue_2024.pdf.

IKSE (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe). 2022. Entwicklung des Abflussregimes und der Saisonalität der Hoch- und Niedrigwasserabflüsse der Elbe zwischen 1931 und 2010. <https://www.ikse-mkol.org/themen/die-elbe/zahlentafeln/abflussregime-und-saisonalitaet>

IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien). 2024a. „Fast 2,5 Monate kein Strom — Finnisches Atomkraftwerk Olkiluoto 3 (OL3) fällt noch länger aus“. IWR Online. <https://www.iwr.de/ticker/fast-2-5-monate-kein-strom-finnisches-atomkraftwerk-olkiluoto-3-ol3-faellt-noch-laenger-aus-artikel6585>.

—. 2024b. „Steuerstab fällt in Reaktor: Störung im finnischen Atomkraftwerk Olkiluoto 3 — Fehler behoben“. <https://www.offshore-windindustrie.de/news/ticker/steuerstab-faellt-in-reaktor-stoerung-im-finnischen-atomkraftwerk-olkiluoto-3-fehler-behoben-artikel6995>.

Kendziorски, Mario, Claudia Kemfert, Fabian Präger, Christian von Hirschhausen, Robin Sogalla, Björn Steigerwald, Ben Wealer, Richard Weinhold, und Christoph Weyhing. 2021. „Atomwende: Abschaltung von Kernkraftwerken eröffnet Perspektiven für die Endlagersuche“. DIW Wochenbericht 88:S. 767774. https://doi.org/10.18723/DIW_WB:2021-47-1.

KENFO (Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung). 2024. „Ausgewogene Anlagestrategie des KENFO zahlt sich aus“. Pressemitteilung. <https://www.kenfo.de/presse/medien/pressemitteilungen>.

Krall, Lindsay M., Allison M. Macfarlane, und Rodney C. Ewing. 2022. „Nuclear Waste from Small Modular Reactors“. Proceedings of the National Academy of Sciences 119 (23): e2111833119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111833119>.

Krohn, Judith, Angelika Spieth-Achtnich, Silvia Schütte, Melanie Mbah, Alexandra Lampke, Katja Hünecke, Dörte Fouquet, Jörg Kuhbier, und Tobias Rheinhardt. 2024. „Unterstützung des BASE bei der Prozessanalyse des Standortauswahlverfahrens (PaSta)“. Vorhaben FKZ 4718F10001.

https://www.base.bund.de/shareddocs/downloads/de/fachinfo/fa/pasta_abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

LAZARD und Roland Berger. 2024. „LAZARD Levelized Cost of Energy +“. https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024-_vf.pdf.

Le Monde. 2024. „Le réacteur EPR de Flamanville a été connecté au réseau électrique, au terme de dix-sept ans de chantier“. https://www.lemonde.fr/economie/article/2024/12/21/le-reacteur-epr-de-flamanville-a-ete-connecte-au-reseau-electrique-au-terme-de-dix-sept-ans-de-chantier_6460899_3234.html.

Légifrance. 2023. „LOI n° 2023-491 du 22 juin 2023 relative à l'accélération des procédures liées à la construction de nouvelles installations nucléaires à proximité de sites nucléaires existants et au fonctionnement des installations existantes“. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047715784>.

Liberation, und AFP. 2024. „Fumée blanche. Nucléaire : l'EPR de Flamanville a été raccordé au réseau électrique national“. https://www.liberation.fr/environnement/nucleaire/nucleaire-le-raccordement-de-lepr-de-flamanville-encore-retarde-20241221_FL7NLHL435F2HFEIAASF67UPBE/.

Lloyd Peterhouse, Clara Anne. 2019. „Modular Manufacture and Construction of Small Nuclear Power Generation Systems“. Thesis, Cambridge: Department of Engineering University of Cambridge. <https://doi.org/10.17863/CAM.46941>.

Mignacca, Benito, und Giorgio Locatelli. 2020. „Economics and Finance of Small Modular Reactors: A Systematic Review and Research Agenda“. Renewable and Sustainable Energy Reviews 118 (Februar):109519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519>.

NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle). 2024. „Tiefenlager braucht möglichst breite Debatte“. <https://nagra.ch/tiefenlager-braucht-moeglichst-breite-debatte/>.

Népszava 2024. Marnitz István, Lehét melegíteni a Dunát Paksnál, az atomerőművet pont akkor menthetik fel a vízhőfok-korlátozás alól, amikor is emiatt újból vissza kellett fognia a termelését, in: Népszava, 17.08.24. https://nepszava.hu/3246997_paksi-atomeromu-duna-viz-homerseklet-korlatoz_as-felmentes.

Neumann, Anne, Lars Sorge, Christian von Hirschhausen, und Ben Wealer. 2020. „Democratic Quality and Nuclear Power: Reviewing the Global Determinants for the Introduction of Nuclear Energy in 166 Countries“. Energy Research & Social Science 63 (Mai):101389. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101389>.

NWR (Nationaler Wasserstoffrat) 2024. Informations- und Grundlagenpapier, Update 2024: Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland. https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2024/2024-05-03_NWR-Grundlagenpapier_Update_2024_Wasserstoffbedarfe.pdf.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Nuclear Energy Agency. 2024a. „Effective Frameworks and Strategies for Financing Nuclear New Build“. 7684. Nuclear Technology Development and Economics. https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2024-09/nea_publication_2_2024-09-18_16-50-13_471.pdf.

———. 2024b. „The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition“. 7671. Dashboard: Second Edition. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition.

Ott, Konrad, Klaus-Jürgen Röhlig, Fabian Präger, und Christian von Hirschhausen. 2024. „Für mehr Tempo in der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle“. Forschungsjournal Soziale Bewegungen Plus 37 (4). https://forschungsjournal.de/fjsb/wp-content/uploads/fjsb-plus_2024-4_ott.pdf.

Pistner, Christoph, Matthias Englert, Christian von Hirschhausen, Fanny Böse, Björn Steigerwald, Lukas Gast, und Richard Donderer. 2024. „Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte“. Vorhaben 4721F5050. Forschungsberichte zur Sicherheit der nuklearen Entsorgung BASE-018/24. Berlin: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung.

https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/fachinfo/fa/Abschlussbericht_neuartige_Reaktorkonzepte_2024.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

Pistner, Christoph, Matthias Englert, Christian Küppers, Ben Wealer, Björn Steigerwald, Christian von Hirschhausen, und Richard Donderer. 2021. „Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung einer Anwendung von SMR-Konzepten (Small Modular Reactors)“. Vorhaben 4720F50500. Forschungsberichte zur Sicherheit der nuklearen Entsorgung. Berlin: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-small-modular-reactors.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Präger, Fabian, Christian Breyer, Hans-Josef Fell, Christian Von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, Thure Traber, und Ben Wealer. 2024. „Evaluating nuclear power’s suitability for climate change mitigation: technical risks, economic implications and incompatibility with renewable energy systems“. *Frontiers in Environmental Economics* 3 (April):1242818. <https://doi.org/10.3389/frevc.2024.1242818>.

Ramana, M. V. 2021. „Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check“. *IEEE Access* 9:42090–99. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064948>.

———. 2024. Nuclear Is Not the Solution: The Folly of Atomic Power in the Age of Climate Change. London New York: Verso.

Reed, B. Cameron. 2021. „Manhattan Project“. In *Encyclopaedia of Nuclear Energy*, 78–91. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819725-7.00042-8>.

Rothwell, Geoffrey. 2022. „Projected Electricity Costs in International Nuclear Power Markets“. *Energy Policy* 164 (Mai):112905. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112905>.

Roulstone, Tony, Clara Lloyd, und Robbie Lyons. 2020. „Expanding Nuclear’s Contribution to Climate Change with SMRs“. *Nuclear Future* 2020 (September/October): 39–45.

Schneider, Mycle, Antony Frogatt, Julie Hazemann, Özgür Gürbüz, Paul Jobin, Phil Johnstone, Timothy Judson, u.a. 2024. „The World Nuclear Industry Status Report 2024“. Paris, France: Mycle Schneider Consulting. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v2.pdf>.

Steigerwald, Björn, Jens Weibezahn, Martin Slowik, und Christian von Hirschhausen. 2023. „Uncertainties in Estimating Production Costs of Future Nuclear Technologies: A Model-Based Analysis of Small Modular Reactors“. *Energy* 281 (Oktober):128204. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>.

Tageschau. 2024. „EnBW hält Rückkehr zur Atomkraft für ausgeschlossen“. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/enbw-atomkraft-deutschland-100.html>.

TVO (Teollisuuden Voima Oyj Olkiluoto). 2015. „TVO Will Not Now Apply for Construction License for OL4“. <https://www.tvo.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangereleases/2015/hcSNX6R0u.html>.

University of Chicago. 2004. „The Economic Future of Nuclear Power“. Chicago, IL: University of Chicago. https://www.eusustel.be/public/documents_publ/links_to_docs/cost/uoc-study.pdf.

VDI 2025. Stephan W. Eder, RWE-Chef Krebber: „Thema Kernenergie entscheidet sich rein kommerziell“, VDI-nachrichten 10.02.2025. <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/energie/rwe-chef-krebber-investitionen-in-kernkraftwerke-sind-harakiri/>

Wealer, Ben, Simon Bauer, Leonard Göke, Christian von Hirschhausen, und Claudia Kemfert. 2019a. „Economics of Nuclear Power Plant Investment - Monte Carlo Simulations of Generation III/III+ Investment Projects“. DIW Discussion Paper 1833. Berlin, Germany: DIW Berlin.

Wealer, Ben, Simon Bauer, Leonard Göke, Christian Von Hirschhausen, und Claudia Kemfert. 2019b. „Zu teuer und gefährlich: Atomkraft ist keine Option für eine klimafreundliche Energieversorgung“. DIW Wochenbericht. https://doi.org/10.18723/DIW_WB:2019-30-1.

- Wealer, Ben, Christian Breyer, Peter Hennicke, Helmut Hirsch, Christian von Hirschhausen, Björn Steigerwald, Peter Klafka, u. a. 2021. „Kernenergie und Klima“. 9. Diskussionsbeiträge der Scientists for Future. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5573718>.
- Wealer, Ben, Christian von Hirschhausen, Kemfert, Claudia, Präger, Fabian, und Steigerwald, Björn. 2021. „Zehn Jahre nach Fukushima – Kernkraft bleibt gefährlich und unzuverlässig“. 8. Wochenbericht. Berlin: DIW Berlin. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.812103.de/dwr-21-07-1.pdf.
- Weibezahl, Jens, und Björn Steigerwald. 2024. „Fission for Funds: The Financing of Nuclear Power Plants“. Energy Policy 195 (Dezember):114382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114382>.
- Welt. 2024. „AKW-Betreiber weist Söders Vorstoß zum Wiederauffahren brusk zurück“. <https://www.welt.de/wirtschaft/article254577948/Atomkraftwerk-Isar-2-AKW-Betreiber-weist-Soeders-Vorstoss-zum-Wiederauffahren-bruesk-zurueck.html>.
- Wimmers, Alexander, Paul-Jonas Ummethun, Anke Herold, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, und Christian von Hirschhausen. 2025. „Russische Exporte von Uran und Atomtechnologie in die EU – Optionen für alternative Beschaffung“. Diskussionsbeiträge der Scientists for Future. Berlin. doi:10.5281/zenodo.14728811.
- Wimmers, Alexander. 2023. „Rückbau: Die unterschätzte Aufgabe“. IPPNW Forum 174 (Juni):22–23.
- Wimmers, Alexander, Rebekka Bärenbold, Muhammad Maladoh Bah, Rebecca Lordan-Perret, Björn Steigerwald, Christian von Hirschhausen, Hannes Weigt, u. a. 2023. „Decommissioning of Nuclear Power Plants: Regulation, Financing, and Production“. Data Documentation. https://doi.org/10.18723/DIW_DDC:2023-104.
- Wimmers, Alexander, Fanny Böse, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, Christian Von Hirschhausen, und Jens Weibezahl. 2023. „Ausbau von Kernkraftwerken entbehrt technischer und ökonomischer Grundlagen“. DIW Wochenbericht 90: 111121. https://doi.org/10.18723/DIW_WB:2023-10-1.
- Wimmers, Alexander, Leonard Göke, Christian von Hirschhausen, und Claudia Kemfert. 2023. „Ökonomische Aspekte der Atomkraft“. Kurzgutachten im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen. Berlin. https://umweltfairaendern.de/wp-content/uploads/2023/07/Bundestags-Fraktion-DIE-Gruenen-Studie_Oekonomische_Aspekte_der_Atomkraft.pdf.
- Wimmers, Alexander, und Christian von Hirschhausen. 2023. „Lessons for the Organization of Nuclear Decommissioning from the UK and the US: Risks, Challenges, and Opportunities“. Safety of Nuclear Waste Disposal 2 (September):7–8. <https://doi.org/10.5194/sand-2-7-2023>.
- Witsch, Kathrin. 2024. „RWE-Chef hält deutsches Atom-Comeback für ‚sehr unrealistisch‘“. Handelsblatt. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energie-rwe-chef-haelt-deutsches-atom-comeback-fuer-sehr-unrealistisch-01/100088192.html>.
- WNN (World Nuclear News). 2024a. „Approval Sought for Preparatory Works for Polish Plant“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/approval-sought-for-preparatory-works-for-polish-p>.
- . 2024b. „Core Catcher Delivered to Paks II Site“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/core-catcher-delivered-to-paks-ii-site>.
- . 2024c. „EDF Announces Hinkley Point C Delay and Rise in Project Cos“. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/EDF-announces-Hinkley-Point-C-delay-and-big-rise-i>.
- . 2024d. „Environmental Permit Granted for Swedish Repository“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/environmental-permit-granted-for-swedish-repository>.
- . 2024e. „Key Cernavoda 3 and 4 Engineering Contract Signed“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/key-cernavoda-3-and-4-engineering-contract-signed>.
- . 2024f. „Kozloduy New Nuclear: Pre-Qualification Launched for Engineering Consulting Services“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/kozloduy-new-nuclear-pre-qualification-launched-for-engineering-consulting-services>.

- . 2024g. „Licensing of Finnish repository further delayed“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/licensing-of-finnish-repository-further-delayed>.
- . 2024h. „Paks II Gets Key Approval for Pouring of First Concrete“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/paks-ii-gets-key-approval-for-pouring-of-first-concrete>.
- . 2024i. „Slovenia’s Referendum on New Nuclear Cancelled“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/slovenias-referendum-on-new-nuclear-cancelled>.
- . 2024j. „Study Highlights Benefits of Nuclear District Heating“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/study-highlights-benefits-of-nuclear-district-heat>.
- . 2024k. „UK Now Aiming for SMR and Sizewell C Decisions in Spring 2025“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/uk-now-aiming-for-smr-and-sizewell-decisions-in-spring-2025>.
- . 2025a. „Cold Hydro Testing under Way at Slovakia’s Mochovce 4“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/cold-hydro-testing-under-way-at-slovakias-mochovce-4>.
- . 2025b. „Czech Minister Says KHN P Contract Timetable Still on Track“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/czech-minister-says-khnp-contract-timetable-still-on-track>.
- . 2025c. „French Auditor Warns of Challenges for EPR2 Programme“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/french-auditor-warns-of-risks-to-epr2-programme>.
- . 2025d. „KHN P to Cooperate with Scandinavian SMR Project Developers“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/khnp-to-cooperate-with-scandinavian-smr-project-developers>.
- . 2025e. „Reactor Vessel Installed at Third Akkuyu Unit“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/reactor-vessel-installed-at-third-akkuyu-unit>.
- . 2025f. „Sweden Breaks Ground for Used Fuel Repository“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/sweden-breaks-ground-for-used-fuel-repository>.
- . 2025g. „Agreement signed to continue work on Polish project“. <https://www.world-nuclear-news.org/articles/agreement-signed-to-continue-work-on-polish-project>.

Appendix

Tabelle 1: Aktueller Stand europäischer Diskussionen zu neuen Reaktoren aus der Literatur

Land	Aktueller Stand	Quelle
Bulgarien	Planung neuer Reaktoren in Kozloduy	(WNN 2024f)
Finnland	Olkiluoto 3 ist seit 1.5.2023 im kommerziellen Betrieb, wird jedoch aktuell immer wieder wegen Problemen heruntergefahren. Eine Baugenehmigung für einen vierten Reaktor wurde bereits 2015 nicht beantragt. Aktuell Diskussionen über Nutzung von sogenannten SMR-Konzepten zur Fernwärmeproduktion.	(IAEA 2024a), (TVO 2015), (WNN 2024j), (IWR Online 2024b), (IWR Online 2024a), (Weibezahl und Steigerwald 2024)
Frankreich	Geplant ist, in Penly, Gravelines und Bugey EPR2-Reaktoren zu errichten, die finale Investitionsentscheidung soll 2026 erfolgen und mit einem Baustart wird 2027 gerechnet. Der französische Rechnungshof (Cour de Comptes) weist hier aber bereits auf zahlreiche Versäumnisse hin, welche zu weiteren Verzögerungen führen können.	(WNN 2025c)
Großbritannien	Projekt Sizewell C: Baugenehmigung erteilt – finale Investitionsentscheidung erst im Sommer 2025	(WNN 2024k)
Polen	Erste Vorbereitende Maßnahmen am potenziellen Standort in Lubiatowo-Kopalino	(WNN 2024a; 2025g)
Rumänien	Verträge über Planung, Beschaffung und Baumanagement für die Fertigstellung der rumänischen Blöcke Cernavoda 3 und 4 wurden unterzeichnet.	(WNN 2024e)
Schweden	Spatenstich für ein Endlager, Diskussion über den Einsatz von sogenannten SMR-Konzepten mit einem ersten Reaktor	(WNN 2025f; 2025d)
Slowakei	Mochovce 3 noch immer nicht im Leistungsbetrieb, Sicherheitstests bei Mochovce 4 abgeschlossen	(IAEA 2024a; 2024b; WNN 2025a)
Slowenien	Diskussionen über die Weiterentwicklung des JEK2 Projektes und Absage eines landesweiten Referendums zum Bau neuer Kernkraftwerke	(WNN 2024i)
Tschechien	Diskussionen über neue Reaktoren an den Standorten Dukovany und Temelin	(WNN 2025b)
Türkei	Der Reaktordruckbehälter von Akkuyu 3 ist installiert, der Brennstoff für Akkuyu 2 wurde geliefert, nachdem Akkuyu 1 bereits seinen Brennstoff erhalten hat und 2025 im kommerziellen Leistungsbetrieb erwartet wird.	(WNN 2025e)
Ungarn	AKW Paks II: erste Teile des Reaktors angeliefert, Genehmigung zum Guss erster Fundament-Teile	(WNN 2024h; 2024b; Gizińska und Sadecki 2023)