



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Mai 2019
Kurz erklärt!

Welche Bedeutung hat die Kernenergie für die künftige Weltstromerzeugung?

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Kurz erklärt!

Im Jahr 2018 haben Kernkraftwerke (KKWs) weltweit 10,2 Prozent des Stroms erzeugt. Folgende Aspekte prägen die künftige Entwicklung:

- 1. Auf liberalisierten Märkten ökonomisch kaum konkurrenzfähig:** In westlichen Ländern wurden KKWs in den letzten Jahrzehnten nur noch geplant, wenn Staaten die Abnahme des Stroms garantieren oder in anderer Form unternehmerische Risiken übernehmen.
- 2. Kein sicherer Kostenvergleich möglich:** Die Erzeugungskosten für Kernenergie lassen sich nur schwer mit denjenigen für erneuerbare Energien vergleichen, denn es müssen auch Systemkosten berücksichtigt werden: Bei Erneuerbaren etwa die Kosten für Flexibilitätsoptionen, um die wetterbedingt schwankende Einspeisung auszugleichen, bei Kernkraft hingegen Kosten für Zwischen- und Endlagerung. Die Herausforderungen der Endlagerung und sinkende Investitionskosten für Erneuerbare sorgen aber dafür, dass das Verhältnis sich voraussichtlich zugunsten der erneuerbaren Energien verschieben wird.
- 3. CO₂-arm, aber in vielen Ländern politisch umstritten:** Strom aus KKWs ist sehr CO₂-arm. Dennoch setzen die meisten Staaten bei den „angestrebten nationalen Beiträgen“ (INDCs) zum Klimaabkommen von Paris auf erneuerbare Energien und nur wenige auf Kernenergie.
- 4. Weltweit noch Jahrzehnte präsent:** Vor allem außerhalb Europas wird die Kernenergie noch jahrzehntelang eine wichtige Rolle spielen. In den letzten Jahren wurden mehr KKWs in Betrieb genommen als abgeschaltet, insbesondere in China und Japan.

Ökonomische Aspekte: immer weniger konkurrenzfähig

Wie hoch die Kosten für die Stromerzeugung aus Kernenergie in Zukunft sein werden, ist umstritten. Studien zu den Kostenentwicklungen liegen weit auseinander: Auf der einen Seite steht das Ergebnis, dass KKWs im Erzeugungsmix die Kosten von CO₂-armem Strom deutlich senken [1]. Andere Autoren kommen zum Schluss, dass in den USA sowohl neuere als auch Kleinreaktoren in den kommenden Jahrzehnten ökonomisch nicht mehr konkurrenzfähig sein werden [2]. Tatsache ist jedoch, dass die USA bereits Subventionen über Emissionskredite für acht KKWs gewähren, um so die vorzeitige Schließung zu verhindern. Bis zu 35 weitere Kraftwerke seien nicht konkurrenzfähig, sechs weitere haben bereits ihre Schließung angemeldet [3].

In den USA jedenfalls sind erneuerbare Energien inzwischen günstiger als Atomstrom [4] [5]. Weltweit allerdings unterscheiden sich die **Erzeugungskosten pro Kilowattstunde Strom** aus erneuerbaren Energien und aus Kernkraftwerken von Land zu Land [6][7]. In Deutschland bewegen sich die Kosten für Strom aus Solar- und Windkraftanlagen in der gleichen Größenordnung wie Atomstrom [8][9][10], während erneuerbare Energien in Südkorea teurer sind als Atomstrom [6]. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird sich das Verhältnis der Kosten in den kommenden Jahrzehnten aber zugunsten der erneuerbaren Energien verschieben:

- In den letzten Jahren sind die **Investitionskosten** für erneuerbare Energien kontinuierlich gefallen, während diejenigen für KKWs unter anderem aufgrund verschärfter Sicherheitsanforderungen gestiegen sind [3][11][12]. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden die Kosten für erneuerbare Energien weiter sinken [10]. Zudem sind die notwendigen Investitionssummen für kleinere Produktionseinheiten wie Photovoltaik-Dachanlagen, Windräder oder kleine Windparks an Land um ein Vielfaches niedriger als diejenigen für Kernkraftwerke. Für Investitionen in erneuerbare Energien kommen daher mehr Akteure infrage, etwa Privatleute oder kleine Genossenschaften. Um die wetterbedingten Schwankungen in der Einspeisung von Wind- und Sonnenstrom auszugleichen, fallen zusätzliche Investitionen für Flexibilitätsoptionen wie Netze oder Speicher an. Umfassende Vergleiche dieser Systemkosten stehen bislang aus. Untersuchungen für Großbritannien deuten jedoch darauf hin, dass die Systemkosten von Wind- und Sonnenstrom überschaubar („modest“) sind.¹

¹ Die Autoren der Studie betonen, dass die Systemkosten von schwankend einspeisenden Stromerzeugern schwer zu berechnen sind und in einer großen Bandbreite liegen können. Sie hängen von Faktoren ab wie dem Anteil volatiler Quellen im Gesamtsystem, der Zusammensetzung der Erneuerbaren (Wind an Land/auf See, PV), der Flexibilitätsoptionen im System, dem Netzausbau, aber auch dem Marktdesign. Insgesamt kommen die Autoren zum Ergebnis, dass die Mehrkosten überschaubar („modest“) sind; vor allem ein inflexibles System führe zu höheren Gesamtkosten [13].

- Zu den Systemkosten der Kernenergie wiederum trägt die Lagerung des radioaktiven Abfalls bei. In Deutschland ist die Suche nach einem Endlager weiterhin nicht abgeschlossen.² Derartige – auch politisch bedingte – Unsicherheiten erhöhen die Kosten; privatwirtschaftliche Investoren kalkulieren in solchen Fällen Risikozuschläge ein. In Deutschland ging die **Verantwortung für Zwischen- und Endlagerung** allerdings im Jahr 2017 an den Bund über. Kosten [15], die die 24 Milliarden Euro des dafür eingerichteten Fonds übersteigen, sind somit auf die Gesellschaft übertragen worden [16][17]. Auch die Kosten von großen Nuklearunfällen vergleichbar mit denen von Tschernobyl oder Fukushima³ sind so hoch, dass KKW's dagegen nicht vollumfänglich versichert sind.⁴ Überdies haben einige Länder wie Frankreich die Haftung der KKW-Betreiber bewusst beschränkt.

Diese Kostenverschiebungen spiegeln sich ebenfalls in den Investitionen wider: In westlichen Ländern bauen Konzerne oder Konsortien Kernkraftwerke nur noch, wenn Staaten Abnahmepreise garantieren oder in anderer Form finanzielle Rückendeckung zusichern. Im Fall des geplanten KKW's Hinkley Point C in Großbritannien hat der französische Konzern EDF, der dieses errichtet, eine garantierte Einspeisevergütung durch die britische Regierung ausgehandelt, die sich in den kommenden Jahren kontinuierlich erhöhen wird [21].⁵ Dies hat dazu geführt, dass Greenpeace Energy sowie die Staaten Luxemburg und Österreich Klage wegen unzulässiger Subventionen in Höhe von bis zu 108 Milliarden Euro vor dem Europäischen Gerichtshof erhoben haben [23][24].

Bei einer Energieversorgung mit einem hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien kommt ein weiterer Kostenaspekt hinzu: Werden KKW's weiter in Grundlast betrieben, passen sie schlecht zur schwankenden Einspeisung aus Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen, die in künftigen Energiesystemen voraussichtlich eine zentrale Rolle spielen werden. Werden sie flexibler betrieben, steigen die Kosten pro Kilowattstunde Atomstrom. Das liegt daran, dass KKW's nur bei hoher Auslastung wirtschaftlich sind, weil der größte Teil ihrer Kosten Fixkosten sind.⁶

² Als erstes Land wird Finnland voraussichtlich 2020 ein „Endlager“ für hochradioaktive Abfälle in Betrieb nehmen, in dem bei einer Tiefe von bis zu 450 Metern die Abfälle für 100.000 Jahre sicher gelagert werden sollen [14].

³ Die japanische Regierung geht von Gesamtkosten der Reaktorkatastrophe in Höhe von 170 Milliarden Euro aus. Andere Schätzungen belaufen sich auf 400 bis 560 Milliarden Euro [18].

⁴ Eine Studie zeigt, dass die 2,5 Milliarden Euro, die die Betreiber der deutschen KKW's entsprechend der gesetzlichen Vorgaben als Deckungsvorsorge vorhalten müssen, zum Begleichen der Kosten großer Unfälle bei weitem nicht ausreichen [19]. Die Haftung für Betreiber ist gemäß § 31 AtG summenmäßig unbegrenzt [20], wird in der Realität aber durch das Eigenkapital bestimmt.

⁵ In Preisen von 2012 beträgt der „strike price“ für gelieferten Strom aus dem Kraftwerk Hinkley Point C 92,5 Britische Pfund pro Megawattstunde [21]. Umgerechnet in Euro (Wechselkurs vom 04.02.2019) wären das 10,55 Euro-Cent pro Kilowattstunde. Demgegenüber liegt die EEG-Einspeisevergütung für ab Februar 2019 errichtete Windkraftanlagen an Land bei 4,63 Euro-Cent und für Photovoltaik-Anlagen mit einer Leistung von 750 Kilowatt bei Standard-Testbedingungen bei 8,24 Euro-Cent [22]. Überdies sinkt die EEG-Einspeisevergütung über die Jahre, während sich die Einspeisevergütung für Strom aus Hinkley Point erhöht.

⁶ Beispielhafte Rechnungen zeigen, dass die Kosten pro Kilowattstunde Atomstrom, die bei 80 Prozent Auslastung des Kraftwerks 11,6 US-Cent betragen, bei 40 Prozent Auslastung auf 21,3 und bei 20 Prozent Auslastung auf 40,6 US-Cent steigen (Grundlage sind die Zahlen für Frankreich aus [1], S. 151 und 153).

Nationale Positionen: von abschalten bis ausbauen

Derzeit dominieren wenige Länder die Kernenergieerzeugung. Die USA und Frankreich produzieren zusammen fast die Hälfte des globalen Atomstroms; Frankreich allein die Hälfte des europäischen. Die USA, Frankreich, China, Russland und Südkorea erzeugten rund 70 Prozent des im Jahr 2017 weltweit durch Kernspaltung erzeugten Stroms [3][25].

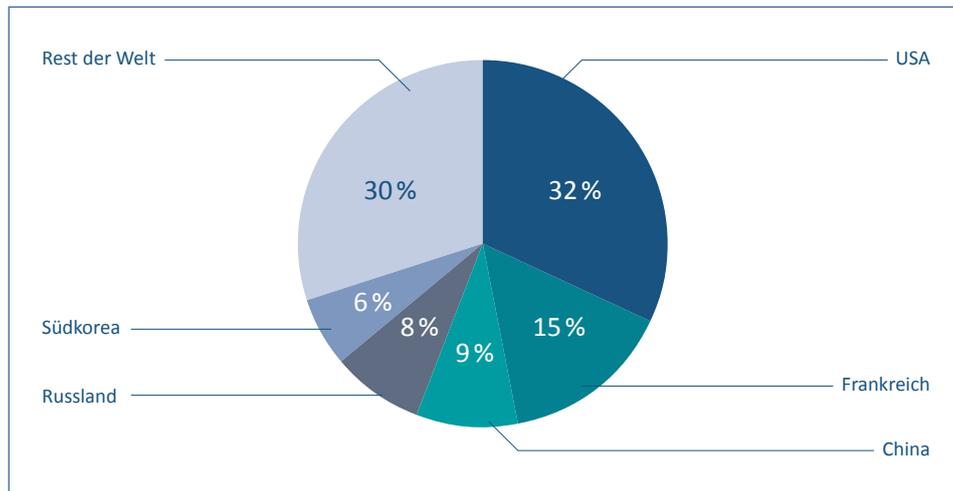


Abbildung 1: Anteile an der globalen Atomstromerzeugung für ausgewählte Länder, 2017
(eigene Darstellung mit Daten aus [25])

Falls der Großteil der 2011 abgeschalteten japanischen Reaktoren wieder ans Netz geht, würde auch Japan zu dieser Gruppe zählen [25]. Diese Länder haben unterschiedliche Positionen zur Zukunft der Kernenergie:

- Die Regierung von **US-Präsident Donald Trump** steht der Kernenergie wohlwollend gegenüber – anders als die Mehrheit der US-Amerikaner, die sich 2016 erstmals gegen Kernenergie aussprach [26].
- **Frankreich** will bis 2025 den Anteil der Kernenergie an seiner gesamten Stromproduktion von circa 75 Prozent auf 50 Prozent reduzieren [27]. Derzeit befindet sich nur ein Reaktor im Bau. Atomstrom soll aber weiterhin ein zentraler Bestandteil der französischen Energieversorgung bleiben.
- In **China** wächst die Stromerzeugung aus Kernenergie weltweit am stärksten. Dort werden momentan elf neue Reaktoren errichtet [25][28]. Auch hinter dem Bau mehrerer Kernkraftwerke in anderen Ländern stehen chinesische Unternehmen. Allerdings baut China parallel dazu auch erneuerbare Energien aus; und zwar noch stärker und mit höheren Investitionen als die Kernenergie [29][30].
- **Russland** plant einen Ausbau der Kernenergie. Derzeit befinden sich dort sechs Reaktoren im Bau [28].
- Die 2017 neu gewählte **südkoreanische Regierung** steht der Kernenergie kritisch gegenüber und visiert eine langsame Reduktion der Atomstromerzeugung an. Allerdings befinden sich derzeit noch fünf Reaktoren im Bau [28].
- Nach den Unfällen in Fukushima wurden sämtliche **japanischen** KKW abgeschaltet. Inzwischen sind neun Reaktoren wieder in Betrieb, bis zu 33 weitere sollen in den nächsten Jahren wieder ans Netz gehen. 2030 sollen KKW gut 20 Prozent des japanischen Stroms bereitstellen [31].

In vielen Ländern wurde die öffentliche Meinung gegenüber der Kernenergie nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima deutlich kritischer [32][33]. Vollständige Ausstiege aus der Kernenergie bleiben weltweit aber die Ausnahme.

Deutschland ist derzeit der einzige Staat mit einer ehemals zweistelligen Anzahl an Kraftwerken, der konsequent aus der Kernkraft aussteigt. Im Atom-Moratorium vom 14. März 2011 hat die deutsche Regierung beschlossen, acht der damals 17 deutschen KKW sofort und die verbliebenen neun Kraftwerke bis 2022 abzuschalten [34].

Länder mit sehr wenigen Kernkraftwerken sind bereits aus der Stromerzeugung durch Kernspaltung ausgestiegen: Italien schaltete seine letzten beiden KKW 1990 ab, Österreich nahm sein einziges KKW nie in Betrieb. Umgekehrt bauen die Vereinigten Arabischen Emirate und Weißrussland gerade ihre ersten Kernkraftwerke [28].

Seit 1970 wurden weltweit rund 12 Prozent der KKW-Bauprojekte eingestellt, zuletzt zwei Reaktoren in den USA [3]. Viele weitere **Bauprojekte** in den USA **sind verzögert** oder bereits stillgelegt [2], ebenso in Bangladesch, der Türkei, Argentinien, Indonesien, Japan [3] oder Großbritannien [35].

Obwohl Strom aus Kernkraftwerken sehr CO₂-arm ist [7],⁷ spielt die Kernenergie in Plänen und Selbstverpflichtungen zum Klimaschutz nur eine Nebenrolle. Das Pariser Klimaabkommen vom 12. Dezember 2015 verpflichtet die unterzeichnenden Staaten dazu, nationale Klimaschutzbeiträge zu leisten. Insgesamt wurden 162 Pläne für solche Beiträge eingereicht („Intended Nationally Determined Contributions“). Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, sehen 111 davon den Ausbau der erneuerbaren Energien vor. Nur Weißrussland, Indien, Japan, die Türkei und die Vereinigten Arabischen Emirate planen indes den Ausbau der Kernenergie [36].

⁷ Zwar verursachen KKW im Betrieb keine Treibhausgasemissionen, über den gesamten Lebenszyklus werden allerdings 3,7 bis 110 g CO₂-Äquivalente pro erzeugter Kilowattstunde Strom ausgestoßen [7].

Globale Tendenzen: steigende Menge, sinkender Anteil

Bis etwa zum Jahr 2000 ist die Stromerzeugung aus Kernkraft weltweit gestiegen. Seitdem liegt sie relativ konstant bei etwa 2.500 Terawattstunden pro Jahr (vgl. Abbildung 2) [25].

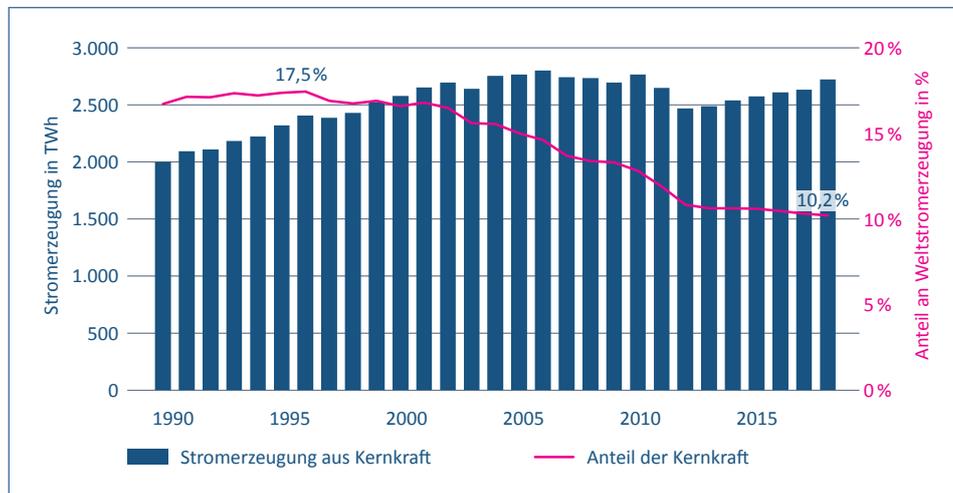


Abbildung 2: Anteil der Kernkraft an der Weltstromerzeugung, 1990–2018

(eigene Darstellung mit Daten aus [25][37])

Die Entwicklung des weltweiten Kraftwerksparks lässt erwarten, dass die **Menge produzierten Atomstroms** in den kommenden Jahren **leicht steigen** wird: In den letzten Jahren wurden **mehr neue Atomreaktoren** ans Netz gebracht als abgeschaltet. Die wegfallende Leistung, die durch das Abschalten von KKW in Deutschland und anderen, vor allem westlichen Ländern verursacht wird, wird in Summe überkompensiert.

Da weltweit insgesamt immer mehr Strom erzeugt wird, nimmt der **Anteil der Kernenergie an der Weltstromerzeugung** jedoch ab. Er ist von 17,5 Prozent im Jahr 1996 auf 10,2 Prozent im Jahr 2018 gesunken [25][37]. Demgegenüber produzierten Windkraftanlagen im Jahr 2017 etwa 1.200 Terawattstunden, Solaranlagen etwa 570 Terawattstunden Strom. Das entspricht etwa 4,6 beziehungsweise 2,1 Prozent der Weltstromerzeugung [37]. In Windkraft- und Photovoltaikanlagen wird seit Anfang der 2000er Jahre mehr investiert und ihre Kapazität wächst inzwischen stärker als diejenige der Kernkraftwerke [38]. Daher ist zu erwarten, dass der Anteil der Kernenergie an der Weltstromerzeugung in den kommenden Jahren weiter **sinken** wird.

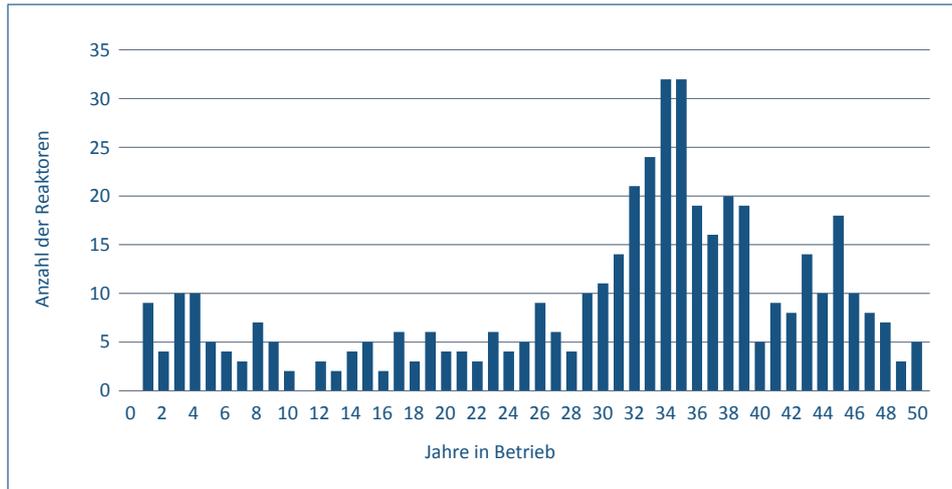


Abbildung 3: Alter des Kraftwerksparks, Stand März 2019

(eigene Darstellung mit Daten aus [39])

Weltweit werden derzeit 55 neue **Reaktoren gebaut**, vor allem in China [39]. Dadurch verschiebt sich der Schwerpunkt der Kernenergienutzung: Westliche Länder nutzen tendenziell weniger KKW, insbesondere China baut neue. Viele der Neubauten gehören zur „dritten Generation“ von Reaktoren.⁸ Jedoch ist der bestehende **Kraftwerkspark** vergleichsweise **alt**. Die Mehrheit der 450 Reaktoren ist über 30 Jahre alt (vgl. Abbildung 3). Viele Kernkraftwerke werden nach 40 Jahren Laufzeit überprüft und benötigen neue Betriebsgenehmigungen, beispielsweise in den USA [3]. Allerdings können KKW auch danach noch jahrzehntelang in Betrieb bleiben.

Für die kommenden Jahrzehnte ist also zu erwarten, dass ein im Durchschnitt alternder Kraftwerkspark aufgrund von Wiederinbetriebnahmen und Zubau leicht steigende Mengen Stroms produzieren wird. Der Anteil der Kernenergie an der Weltstromerzeugung wird dagegen zurückgehen. Für den Umgang mit dem Atommüll gibt es weiterhin keine konsensfähige Lösung. Die Expertise für Rückbau und Endlagerung muss erhalten bleiben und teilweise neu aufgebaut werden.

⁸ Reaktoren dieser Generation sind sicherheitstechnisch derart weiterentwickelt, dass im Fall von Kernschadensereignissen die Folgen auf die Anlage begrenzt bleiben sollen oder sogar ausgeschlossen werden können.

Literatur

[1] MIT 2018

MIT Energy Initiative: The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World, 2018. URL: <http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[2] Morgan et al. 2018

Morgan, G./Abdulla, A./Ford, M./Rath, M.: „US nuclear power: The vanishing low-carbon wedge“. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, i. E., S. 1047–1054. URL: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1804655115 [Stand: 18.03.2019].

[3] Schneider et al. 2018

Schneider, M./Froggatt, A./Hazemann, J./Johnstone, P./Katsuta, T./Ramana, M.V./Stirling, A./von Hirschhausen, C./Wealer, B./Stienne, A.: The World Nuclear Industry Status Report 2018. A Mycle Schneider Consulting Project, Paris, London, September 2018. URL: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/20180902wnsr2018-lr.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[4] Lazard 2018

Lazard: Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 12.0, 2018. URL: <https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-12-0-vfinal.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[5] EIA 2018

U.S. Energy Information Administration (EIA): Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019, 2019. URL: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf [Stand: 18.03.2019].

[6] OECD 2015

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD): Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition, 2015. URL: <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[7] Schlömer et al. 2014

Schlömer, S./Bruckner, T./Fulton, L./Hertwich, E./McKinnon, A./Perczyk, D./Roy, J./Schaffer, R./Sims, R./Smith, P./Wiser, R.: „Annex – Technology-specific cost and performance parameters“. In: Edenhofer, O./Pichs-Madruga, R./Sokona, Y./Farahani, E./Kadner, S./Seyboth, K./Adler, A./Baum, I./Brunner, S./Eickemeier, P./Kriemann, B./Savolainen, J./Schlömer, S./von Stechow, C./Zwicker, T./Minx, J. C. (Hrsg.): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK/New York, US: Cambridge University Press 2014. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf [Stand: 18.03.2019].

[8] VGB 2015

VGB Powertech: Levelised Cost of Electricity, 2015. URL: <https://www.vgb.org/lcoe2015.html?dfid=74042> [Stand: 18.03.2019].

[9] Lorenz et al. 2016

Lorenz, C./Brauers, H./Gerbaulet, C./Hirschhausen, C. von/Kemfert, C./Kendzioriski, M./Oei, P.-Y.: „Atomkraft ist nicht wettbewerbsfähig – Auch im Vereinigten Königreich und Frankreich ist Klimaschutz ohne Atomkraft möglich“. In: DIW Wochenbericht, 44: 2016, S. 1047–1054. URL: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.546298.de/16-44-1.pdf [Stand: 18.03.2019].

[10] Kost et al. 2018

Kost, C./Shammugam, S./Jülch, V./Nguyen, H.-T./Schlegl, T.: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Studie des Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2018. URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf [Stand: 18.03.2019].

[11] Davis 2012

Davis, L. W.: „Prospects for Nuclear Power“. In: Journal of Economic Perspectives, 26: 1, 2012, S. 49–66. URL: <http://faculty.haas.berkeley.edu/ldavis/Davis%202012%20JEP.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[12] EWI et al. 2014

Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln (EWI)/Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS)/Prognos AG: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht (Projekt Nr. 57/12, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie), 2014. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [Stand: 18.03.2019].

[13] Evans 2017

Evans, S.: In-depth: The whole system costs of renewables, 2017. URL: <https://www.carbonbrief.org/in-depth-whole-system-costs-renewables> [Stand: 18.03.2019].

[14] MEE 2010

Ministry of Employment and the Economy (MEE): Nuclear Energy in Finland, 2010. URL: http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/adamson1/docs/Nuclear_Energy_in_Finland.pdf [Stand: 18.03.2019].

[15] Warth & Klein Gran Thornton 2015

Warth & Klein Grant Thornton: Gutachtliche Stellungnahme zur Bewertung der Rückstellungen im Kernenergiebereich, 2015. URL: <http://bmwi.pro.contentstream.de/18004initag/ondemand/3706initag/bmwi/pdf/stresstestkernenergie.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[16] BMUB 2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bericht über Kosten und Finanzierung der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, 2015. URL: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_finanzierung_bf.pdf [Stand: 18.03.2019].

[17] Bundesregierung 2017

Bundesregierung: „Gesetz in Kraft getreten – Finanzierung des Atomausstiegs sichern“ (Pressemitteilung vom 19.06.2017). URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/finanzierung-des-atomausstiegs-sichern-394318> [Stand: 18.03.2019].

[18] JCER 2017

Japan Center for Economic Research: Accident Cleanup Cost May Rise to 50–70 Trillion Yen, 2017. URL: <https://www.jcer.or.jp/eng/research/policy.html> [Stand: 18.03.2018].

[19] Günther et al. 2011

Günther, B./Karau, T./Kastner, E.-M./Warmuth, W.: Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichtrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren, 2011. URL: https://www.versicherungsforen.net/portal/media/forschung/studienundumfragen/versicherungsprämiefkkw/KKW-Studie_Versicherungsforen_Leipzig.pdf [Stand: 18.03.2019].

[20] AtG 2018

Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1122, 1124) geändert worden ist.

[21] BEIS 2018

Department for Business, Energy & Industrial Strategy of the UK: Collection Hinkley Point C, 2018. URL: <https://www.gov.uk/government/collections/hinkley-point-c> [Stand: 18.03.2019].

[22] Bundesnetzagentur 2019

Bundesnetzagentur: EEG-Registerdaten und -Fördersätze, 2019. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html [Stand: 18.03.2019].

[23] Energy Brainpool 2015

Energy Brainpool: Höhe der staatlichen Förderung von Hinkley Point C. Kurzanalyse im Auftrag von Greenpeace Energy eG, 2015. URL: http://www.no-point.de/wp-content/uploads/2015/06/2015-06-09_GreenpeaceEnergy_Kurzanalyse-HinkleyPoint_F%C3%B6rderkosten_EnergyBrainpool-final.pdf [Stand: 18.03.2019].

[24] Greenpeace 2018

Greenpeace Luxembourg: „AKW Hinkley Point: EuGH weist Österreichs und Luxemburgs Klage ab“ (Pressemitteilung vom 12.07.2018). URL: <https://www.greenpeace.org/luxembourg/de/aktualitaet/1781/akw-hinkley-point-eugh-weist-osterreichs-und-luxemburgs-klage-ab/> [Stand: 18.03.2019].

[25] BP 2019

BP p.l.c.: BP Statistical Review of World Energy June 2018, 2018. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-all-data.xlsx> [Stand: 18.03.2019].

[26] Gallup 2016

Gallup: For First Time, Majority in U.S. Oppose Nuclear Energy, 2016. URL: http://news.gallup.com/poll/190064/first-time-majority-oppose-nuclear-energy.aspx?g_source=nuclear&g_medium=search&g_campaign=tiles, [Stand: 18.03.2019].

[27] République Française 2018

République Française: Des mesures pour réduire la part du nucléaire à l'horizon 2025, 2018. URL: <https://www.gouvernement.fr/des-mesures-pour-reduire-la-part-du-nucleaire-a-50-a-l-horizon-2025> [Stand: 18.03.2019].

[28] IAEA 2019-1

International Atomic Energy Agency: Power Reactor Information System – Under Construction Reactors, 2019. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx> [Stand: 18.03.2019].

[29] Buckley et al. 2018

Buckley, T./Nicolas, S./Brown, M.: China 2017 Review. World's Second-Biggest Economy Continues to Drive Global Trends in Energy Investment, 2018. URL: <http://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/01/China-Review-2017.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[30] U.S. Commercial Service 2017

U.S. Commercial Service: China – Nuclear Energy, 2017. URL: <https://www.export.gov/article?id=China-Nuclear-Energy> [Stand: 18.03.2019].

[31] Nippon 2018

Nippon: Japan's Nuclear Power Plants, 2018. URL: <https://www.nippon.com/en/features/h00238/> [Stand: 18.03.2019].

[32] Gallup 2011

Gallup: Japan Earthquake and its impact on views about nuclear energy. A WIN-Gallup International Report, 2011. URL: http://gallup.com.pk/bb_old_site/JapanSurvey2011/Volume%203%20_Japan%20Survey_.pdf [Stand: 18.03.2019].

[33] Wang & Kim 2018

Wang, J./Kim, S.: „Comparative Analysis of Public Attitudes toward Nuclear Power Energy across 27 European Countries by Applying the Multilevel Model“. In: Sustainability, 10: 5, 2018, S. 1518. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1518> [Stand: 18.03.2019].

[34] Bundesregierung 2019

Bundesregierung: Bundesregierung beschließt Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022, 2019. URL: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/05-kernenergie.html> [Stand: 18.03.2019].

[35] Jack 2019

Jack, S.: Nuclear plant in Anglesey suspended by Hitachi (Pressemitteilung vom 17.01.2019). URL: <https://www.bbc.com/news/business-46900918> [Stand: 18.03.2019].

[36] UNFCCC 2019

United Nations Framework Convention on Climate Change: Nationally Determined Contributions (NDCs), 2019. URL: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions/ndc-registry> [Stand: 18.03.2019].

[37] IEA 2019

International Energy Agency: Global Energy & CO2 Status Report 2018, 2019. URL: <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018> [Stand: 26.03.2019].

[38] Schneider et al. 2017

Schneider, M./Froggatt, A./Hazemann, J./Katsuta, T./Ramana, M.V./Rodriguez, J.C./Rüdinger, A./Stienne, A.: The World Nuclear Industry Status Report 2017. A Mycle Schneider Consulting Project, Paris: 2017. URL: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/20170912wnisr2017-en-lr.pdf> [Stand: 18.03.2019].

[39] IAEA 2019-2

International Atomic Energy Agency: Power Reactor Information System – Operational Reactors by Age, 2019. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx> [Stand: 18.03.2019].

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Empfohlene Zitierweise

Achim Eberspächer, Berit Erlach, Carl Friedrich Gethmann, Ulrich Glotzbach, Karen Pittel, Dirk Uwe Sauer, Christoph M. Schmidt, Christoph Stemmler, Cyril Stephanos, Eberhard Umbach, Julika Witte: *„Welche Bedeutung hat die Kernenergie für die künftige Weltstromerzeugung? (Kurz erklärt!)“*, Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), 2019

Mitwirkende

ESYS-Direktorium:

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer (RWTH Aachen), Prof. Dr. Christoph M. Schmidt (RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung), Prof. Dr. Carl Friedrich Gethmann (Universität Siegen), Prof. Dr. Karen Pittel (ifo Institut), Prof. Dr. Indra Spiecker genannt Döhmann (Goethe-Universität Frankfurt), Prof. Dr. Eberhard Umbach (acatech)

ESYS-Koordinierungsstelle:

Achim Eberspächer, Dr. Berit Erlach, Dr. Ulrich Glotzbach, Christoph Stemmler, Dr. Cyril Stephanos, Julika Witte

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Im Akademienprojekt erarbeiten mehr als 100 Fachleute aus Wissenschaft und Forschung in interdisziplinären Arbeitsgruppen Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung.

Das Format „Kurz erklärt!“

In dem kompakten Publikationsformat „Kurz erklärt!“ werden aus der Projektarbeit heraus im Sinne der Wissenschaftskommunikation aktuelle, häufig ohne solide wissenschaftliche Grundlage in der öffentlichen Debatte aufgegriffene Fragen rund um das Energiesystem geklärt. Grafiken veranschaulichen die dargestellten Inhalte. „Kurz erklärt!“ erscheint in Autorenverantwortung und wird von einem Kreis der ESYS-Mitglieder erstellt.

Kontakt:

Dr. Ulrich Glotzbach

Leiter der Geschäftsstelle Energiesysteme der Zukunft

Markgrafenstraße 22, 10117 Berlin

Tel.: +49 30 2067957-0 | E-Mail: glotzbach@acatech.de

www.energiesysteme-zukunft.de

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

Deutsche Akademie der Naturforscher

Leopoldina e. V.

Nationale Akademie der Wissenschaften

Jägerberg 1

06108 Halle (Saale)

Tel.: 0345 47239-867

Fax: 0345 47239-839

E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büro:

Reinhardtstraße 14

10117 Berlin

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.

Geschäftsstelle München:

Karolinenplatz 4

80333 München

Tel.: 089 520309-0

Fax: 089 520309-9

E-Mail: info@acatech.de

Hauptstadtbüro:

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.

Geschwister-Scholl-Straße 2

55131 Mainz

Tel.: 06131 218528-10

Fax: 06131 218528-11

E-Mail: info@akademienunion.de

Berliner Büro:

Jägerstraße 22/23

10117 Berlin