

2.5 Globale Entwicklung der Kernenergie

Der Ausstieg aus der Kernenergie ist ein wesentlicher Aspekt der Energiewende in Deutschland. Mit der 13. Änderung des Atomgesetzes beschloss die Bundesregierung im Jahr 2011 das Ende der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung. Das Gesetz sieht vor, spätestens im Jahr 2022 das letzte Kernkraftwerk in Deutschland abzuschalten. Aus globaler Sicht bleibt die Kernenergie jedoch ein wichtiger Energieträger mit Zubau vor allem in Asien.

Seit 1962 wurden in Deutschland insgesamt 37 Kernkraftwerke errichtet, die in den kommerziellen Leistungsbetrieb übergegangen sind. In 2018 sind noch sieben Kernkraftwerke in Betrieb, die nach folgendem Zeitplan jeweils zum Jahresende abgeschaltet werden: 2019: Philippsburg 2; 2021: Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf; 2022: Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2.

Damit gibt es erstmals ein verbindliches Datum für den Kernenergieausstieg in Deutschland, der von einem breiten gesellschaftlichen Konsens getragen wird. Der Rückbau der kerntechnischen Anlagen sowie die Vorbereitung der Endlagerung des zu entsorgenden radioaktiven Materials werden darüber hinaus noch einige Jahrzehnte in Anspruch nehmen, wie zum Beispiel der Rückbau an den Standorten Lubmin und Rheinsberg zeigt.

➔ Breiter Konsens für den Kernenergieausstieg in Deutschland

Der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung in Deutschland fällt entsprechend weiter und lag 2017 bei 11,7 % (2016: 13,1 %); der Beitrag zum Primärenergieverbrauch lag bei 6,1 % (2016: 6,9 %).

Weltweit nach wie vor relevant

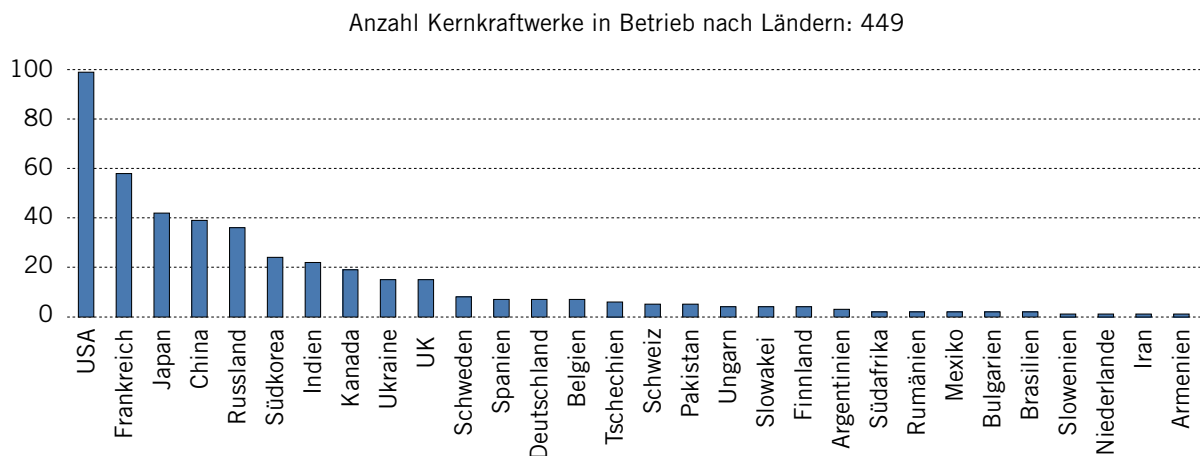
Aus globaler Sicht bleibt die Kernenergie ein nachgefragter Energieträger. Sie deckt heute etwa 11 % des weltweiten Strombedarfs aus 449 Reaktoren mit einer Nettokapazität von rund 392 GWe. Asien hat mit 139 Reaktoren insgesamt die größte Anzahl von Kernkraftwerken in Betrieb, gefolgt von Nordamerika mit 118, Westeuropa mit 112, Zentral- und Osteuropa mit 71, Lateinamerika mit 7 sowie Afrika mit 2.

➔ Weltweit erzeugen 449 Reaktoren 11 % des Strombedarfs mit Kernenergie

Kernkraftwerke sind in 30 Ländern weltweit in Betrieb und kommen insgesamt auf eine Erfahrung von rund 17.500 Reaktorjahren. Durch grenzüberschreitende Übertragungsnetze werden darüber hinaus weitere Länder zum Teil von der Kernenergie mit versorgt: Italien und Dänemark zum Beispiel beziehen einen Teil ihres Strombedarfs aus importierter Kernenergie.

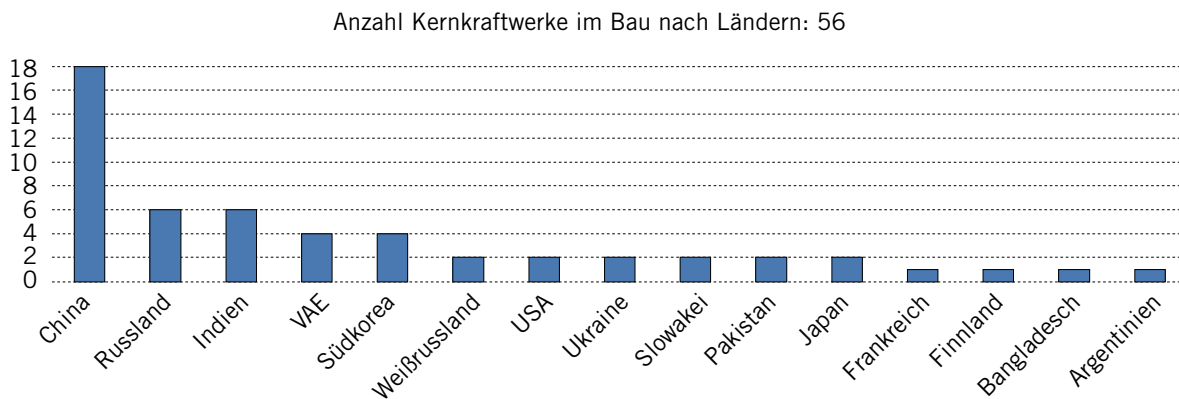
Darüber hinaus nutzen 50 Länder die Kerntechnik in rund 225 Forschungsreaktoren. Neben der Forschung

Abbildung 2.26: Anzahl der Kernkraftwerke in Betrieb nach Ländern



Quelle: IAEA, Power Reactor Information System (PRIS)

Abbildung 2.27: Anzahl der Kernkraftwerke in Bau nach Ländern



Quelle: IAEA, Power Reactor Information System (PRIS)

werden diese Reaktoren zur Herstellung medizinischer und industrieller Isotope sowie zur Ausbildung eingesetzt.

In Bau und in Planung

Im März 2018 befanden sich 56 Kernreaktoren in 15 Ländern im Bau mit einer Nettokapazität von rund 57 GWe – darunter allein 18 in China, jeweils sechs in Indien und Russland, sowie jeweils vier in den Vereinigten Arabischen Emiraten und Korea. Über 150 weitere Reaktoren in rund 25 Ländern befinden sich im Planungsstadium. Gemäß Prognosen wird die Nachfrage nach Kernenergie vornehmlich in Asien langfristig weiter steigen, ebenso in Zentral- und Osteuropa.

Es gibt daneben einige Länder, die überlegen, in die Nutzung der Kernenergie einzusteigen, darunter zum Beispiel Polen, die Türkei, Vietnam und Ägypten.

Unterschiedlich hoher Kernenergieanteil im Strommix der Länder

Die Länder setzen zu unterschiedlich hohen Anteilen auf Kernenergie in ihrem Portfolio der Stromerzeugung. Frankreich bezieht mit rund 70 % den meisten Strom aus Kernenergie. In Ungarn, der Slowakei und der Ukraine sind es mehr als 50 %. Belgien, Tschechien, Finnland, Schweden, der Schweiz, Slowenien, Südkorea und Bulgaren kommen jeweils auf mehr als 30 %. Mit gut

20 % sind die USA, Großbritannien, Spanien, Rumänien und Russland aus Kernenergie versorgt.

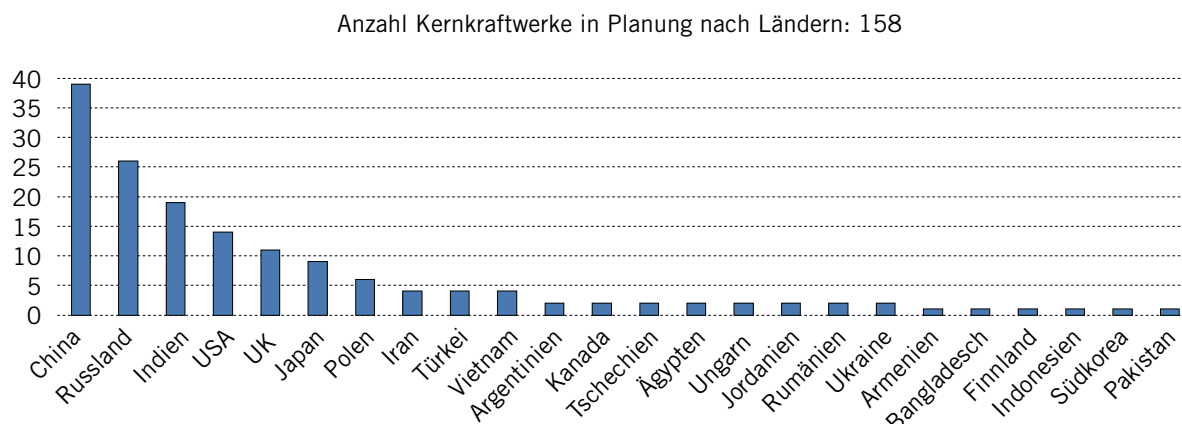
Internationale Szenarien sehen Zukunft vor allem in Asien

Die Aussichten für die Kernenergie haben sich im World Energy Outlook der **Internationalen Energieagentur** (IEA) in 2017 gegenüber dem Vorjahr etwas eingetrübt, aber China führt weiterhin einen allmählichen Anstieg der Kernkraftkapazität an und überholt die Vereinigten Staaten bis 2030 als größten Produzenten von Kernenergiestrom. Im ehrgeizigen „Sustainable Development Szenario“ verdoppelt sich der Anteil kohlenstoffarmer Quellen am Energiemix bis 2040 auf 40 %. Mit unter anderem einem Anteil der erneuerbaren Energien von über 60 % und der Kernenergie von 15 % wäre die Stromerzeugung 2040 in diesem Szenario überwiegend dekarbonisiert.

➔ **Stabiler Anteil von 10 % an der globalen Stromerzeugung prognostiziert**

Der **World Energy Council** (WEC) kam in seinen Szenarien in 2016 zu der Einschätzung, dass die Rolle der Kernenergie mittel- und längerfristig mit einem Beitrag von etwa 10 % zur globalen Stromerzeugung weitgehend stabil bleibt, auch durch ihren Beitrag zum Klimaschutz. Ein Zubau an Kernenergie-Kapazitäten kann nur in den Ländern erwartet werden, in denen eine starke regierungs-

Abbildung 2.28: Anzahl der Kernkraftwerke in Planung nach Ländern



Quelle: IAEA, Power Reactor Information System (PRIS)

seitige Unterstützung zugunsten dieser Technologie erfolgt. Das gilt insbesondere für China, Indien, Russland, den Mittleren Osten sowie einigen Staaten in Europa. In den Industriestaaten, insbesondere in Europa, aber auch in den USA, werde der Marktanteil der Kernenergie künftig zurückgehen.

Bevölkerungswachstum und Dekarbonisierung als Gründe für die Kernenergie

Deutschland hat sich vor allem zur Befriedung eines langjährigen gesellschaftlichen Konflikts durch mangelnde Akzeptanz der Kernenergie für den Ausstieg entschieden. Global gesehen erklären das Ausmaß des künftigen Strombedarfs und die Herausforderung der Dekarbonisierung der Stromversorgung das Festhalten anderer Länder an der Kernenergie.

Für einige Länder sprechen der Klimaschutz und die knapper werdenden Rohstoffe für die Nutzung dieser Technologie, bei der nahezu keine klimaschädlichen Treibhausgase emittiert werden. In dem im November 2016 in Kraft getretenen Pariser Klimaabkommen haben mehrere Länder die Kernenergie in ihren nationalen Strategien zur Emissionsreduzierung explizit erwähnt. Den hohen Anfangsinvestitionen in die Technologie, die praktisch nur mit staatlicher Unterstützung getragen werden können, sowie den Kosten für den Rückbau der Kernkraftwerke inklusive Endlagerung der radioaktiven Abfälle, steht die Preisstabilität von Kernenergie gegenüber, die anders als bei fossilen Energieträgern kaum vom Preis des Brennstoffs abhängt.

➔ **Im Pariser Klimaabkommen nennen mehrere Länder die Kernenergie in ihren nationalen Strategien als Maßnahme zur Emissionsreduzierung.**

Für andere Länder ist es der Vorteil einer zuverlässigen Stromversorgung. Die Nachfrage nach Strom nimmt weltweit kontinuierlich zu, besonders in bevölkerungsreichen Ländern wie China, Indien und Brasilien, die seit Jahren ebenso ein hohes Wirtschaftswachstum zeigen. Gemäß den Schätzungen der IEA wird der weltweite Elektrizitätsbedarf bis 2040 um 40 % wachsen – zwei Drittel davon entfallen auf die Länder Asiens, der Rest auf den Nahen Osten, Afrika und Lateinamerika. Um den zunehmenden Bedarf zu decken, muss zum Beispiel China seine Strominfrastruktur bis 2040 in einem Umfang vergrößern, der dem heutigen Stromsystem der Vereinigten Staaten entspricht.

Internationale Zusammenarbeit für eine hohe Sicherheitskultur

Nach der Naturkatastrophe in Japan 2011, die zu dem schweren Reaktorunfall in Fukushima geführt hat, haben viele Länder ihre kerntechnischen Anlagen Stresstests unterzogen und ihre Energiepolitik auf den Prüfstand gestellt. Nach eingehender Analyse des Unfalls kam die japanische Regierung zu dem Schluss, dass die Ursache nicht die Technik, sondern die mangelnde Sicherheits-

kultur in Fukushima war. Der zunehmende internationale Sicherheitsstandard war nicht, wie in anderen Ländern, mittels technischer Nachrüstungen umgesetzt worden. Fast alle Kernenergienationen kamen daher zu dem Schluss, dass es bei Einhalten der internationalen Sicherheitsstandards aus technischer Sicht für sie keinen Grund gibt, auf die Kernenergie zu verzichten.

→ Deutschland wird sein Know-how weiter in die internationale Sicherheitsforschung einbringen.

Auch Deutschland wird sich trotz des Ausstiegsbeschlusses weiter in nuklearer Sicherheitsforschung engagieren und seine umfassenden Erfahrungen und Kompetenz international einbringen, damit Unfälle zukünftig verhindert werden. So ist die Bundesrepublik unter anderem in folgenden internationalen Organisationen der Kerntechnik vertreten: European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG), Nuclear Energy Agency der OECD (NEA), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Nuclear Regulators' Association (INRA), Nuclear Suppliers Group (NSG).

Zukunftsstrategien: Neue Reaktorgenerationen und Fusion

International wird bereits an Kernkraftwerken der nächsten Generation geforscht. Dem 2001 gegründeten **Generation IV International Forum** (GIF) gehören viele Staaten und Institutionen an, darunter die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM), in der auch Deutschland vertreten ist. Anlagen der neuen Generation IV sollen Brennstoff effizienter nutzen, weniger radioaktiven Abfall produzieren, wirtschaftlich wettbewerbsfähig sein und strenge Sicherheitsstandards erfüllen. Das Ziel sind sogenannte „inhärent sichere“ Systeme, die Störungen und Unfälle passiv vermeiden können.

Dazu zählen unter anderem der schnelle natriumgekühlte Reaktor SFR (Sodium-Cooled Fast Reactor), der Höchsttemperaturreaktor VHTR (Very High Temperature Reactor), der schnelle bleigekühlte Reaktor LFR (Lead-Cooled Fast Reactor) oder der Flüssigsalzreaktor MSR (Molten Salt Reactor).

→ „Inhärent sichere“ neue Reaktorgeneration soll Störungen und Unfälle passiv vermeiden.

Großes Interesse könnten in den kommenden Jahrzehnten kleinere, dezentrale Anlagen hervorrufen, so genannte **„Small Modular Reactors“** (SMR) mit einer Leistung von unter 500 MW. Sie könnten in Fabriken als Module in Masse produziert und dann vor Ort zu größeren Kraftwerkseinheiten zusammengesetzt werden. Dies würde sie als Investition günstiger machen als die großen Kernkraftwerksblöcke von heute.

Darüber hinaus wird weltweit an der **Kernfusion** geforscht, die nach 2050 zum Einsatz kommen könnte. Ein Vorteil der Kernfusion liegt darin, dass beim Fusionsprozess keinerlei radioaktive Abfälle entstehen. Im experimentellen Kernfusionsreaktor „Wendelstein 7-X“ in Greifswald werden derzeit die Voraussetzungen für Kernverschmelzungsprozesse erforscht. Im französischen Cadarache soll ab 2020 die Fusionsenergie im internationalen Fusionsreaktor „ITER“ (International Thermonuclear Experimental Reactor) im Kraftwerksmaßstab untersucht werden.

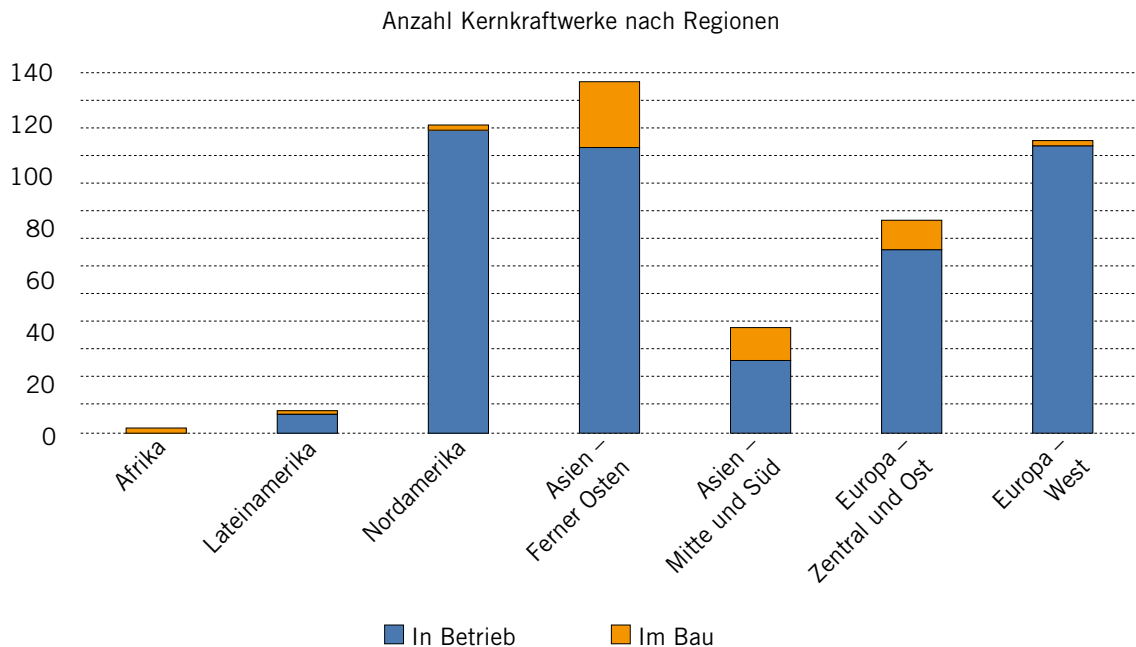
Analyse der Regionen

Russland und Asien mit ehrgeizigen Ausbauprojekten

Russland verfügt über 35 laufende Kernkraftwerke, die 17 % der Elektrizität des Landes decken. Das Land plant, jährlich zwei Neubauten in Betrieb zu nehmen. Derzeit stehen sechs Reaktoren in Bau, darunter das weltweit erste schwimmende Kernkraftwerk, das in der Küstenregion zur Arktis zum Einsatz kommen soll und voraussichtlich 2018 fertiggestellt wird. Darüber hinaus exportiert die russische Kernenergieindustrie in starkem Maße: Sie ist derzeit an neuen Reaktorprojekten in Weißrussland, China, Ungarn, Indien, Iran und der Türkei beteiligt, sowie als Investor unter anderem in Bangladesch, Indonesien, Jordanien und Südafrika.

China ist erst Anfang der 1990er-Jahre in die Kernenergie eingestiegen, verfügt jedoch inzwischen über fast 40 Kernkraftwerke. Deren Anteil am Strommix beträgt nur rund 5 %, jedoch mit stark wachsender Tendenz: 18 Kernkraftwerke stehen im Bau und fast 40 weitere sind geplant. Der starke Impuls für die Entwicklung neuer

Abbildung 2.29: Anzahl Kernkraftwerke in Betrieb und im Bau nach Regionen



Quelle: IAEA, Power Reactor Information System (PRIS)

Kernkraftwerke in China resultiert aus der Notwendigkeit, die Luftqualität in den Städten zu verbessern und die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

→ China plant Kernkraftwerke zur Verbesserung der Luftqualität und Reduktion der Treibhausgasemissionen

Konkrete Baupläne gibt es zudem in **Bangladesch**. Das Land hat 2017 mit dem Bau des ersten von zwei russischen Reaktoren begonnen, der bis 2023 in Betrieb genommen werden soll. Derzeit produziert Bangladesch nahezu seinen gesamten Strom aus fossilen Brennstoffen.

In **Indien** werden sechs Reaktoren gebaut, rund 20 weitere sind in Planung. Die 22 bestehenden Kernkraftwerke mit einer Nettoleistung von 6,2 GWe erzeugen rund 3 % der Elektrizität des Landes. Die indische Regierung hat sich verpflichtet, ihre Kernenergiekapazitäten im Rahmen ihres massiven Infrastrukturentwicklungsprogramms auszubauen. Bis 2024 sollen rund 15 GWe

Kernkraftkapazität bestehen. Auch **Pakistan** baut zu den bestehenden fünf noch zwei weitere Anlagen.

Japan verfügt über 42 Kernreaktoren mit einer Nettoleistung von 40 GWe. Anfang 2018 waren erst fünf Reaktoren wieder in Betrieb, weitere 21 befinden sich nach dem Unfall von Fukushima im Jahr 2011 im Prozess der Wiederanfahr genehmigung. Vor Fukushima stammten rund 30 % des Stroms aus der Kernenergie; zuletzt waren es nur etwa 2 %.

→ Japan nach Fukushima im langwierigen Prozess des Wiederanfahrens

Die neue Regierung Südkoreas kündigte in 2017 erste Pläne an, aus der Kernenergie auszusteigen. Derzeit baut das Land neben seinen 24 laufenden vier neue Anlagen. Eine weitere in Planung befindliche Anlage könnte bei einem tatsächlichen Ausstiegsbeschluss gestrichen werden. Südkorea verfügt über eine stark exportorientierte Kernenergieindustrie, die zum Beispiel die Vereinigten Arabischen Emirate beim Bau der ersten Kernkraftwerke des Landes unterstützt.

USA und Westeuropa mit nur geringem Zubau

Die **USA** erzeugen rund 20 % ihres Strombedarfs mit Kernenergie. Es werden derzeit zwei Reaktoren amerikanischer Bauart errichtet. Zwei weitere Bauprojekte wurden gestoppt, vor allem bedingt durch Leistungserhöhungen bestehender Anlagen, aber auch durch günstig verfügbares Erdgas. Im Jahr 2016 wurde der erste neue Kernreaktor des Landes seit 20 Jahren in Betrieb genommen. Die Trump-Regierung hat angekündigt, die Kernenergie im Vergleich zu Erdgas und erneuerbaren Energien wettbewerbsfähiger machen zu wollen und eine Lösung für die Abfallentsorgung herbeizuführen.

In **Finnland** ist am Standort Olkiluoto das fünfte Kernkraftwerk des Landes in Bau, eine neue Generation des europäischen Druckwasserreaktors. Zudem laufen Vorbereitungen für den Bau eines russischen Druckwasserreaktors am neuen Standort Hanhikivi. Das Land versucht damit seine Abhängigkeit von russischen Stromlieferungen zu reduzieren. Finnland deckt rund 35 % seines Strombedarfs mit Kernenergie.

Ein weiterer europäischer Druckwasserreaktor neuer Generation wird derzeit in **Frankreich** am Standort Flamanville gebaut. Frankreich verfügt über 58 Kernreaktoren mit einer Gesamtnettopkapazität von 63 GWe und erzeugt rund 70 % seines Stroms aus Kernenergie. Das Ziel, den Kernenergieanteil bis 2025 auf 50 % zu reduzieren, wurde im November 2017 durch die französische Regierung zeitlich nach hinten verschoben, da es die Kohlendioxidemissionen des Landes erhöhen, sowie Versorgungssicherheit und Arbeitsplätze gefährden würde.

→ Frankreich bezieht rund 70 % seines Stroms aus Kernenergie.

Großbritannien hatte Anfang 2008 entschieden, alternde Kernkraftwerke durch neue zu ersetzen. Das Land plant gegenwärtig den Bau von elf Anlagen, um die Abhängigkeit von fossilen Energien und deren Emissionen zu reduzieren. Damit würde der Kernenergieanteil von heute rund 20 % auf 40 % verdoppelt. Am weitesten fortgeschritten ist das Bauprojekt von Hinkley Point im Süden Englands, wo zwei europäische Druckwasserreaktoren neuer Generation gebaut werden sollen.

Aus der Kernenergie langfristig aussteigen wird hingegen die **Schweiz**. Im Mai 2017 stimmten die Schweizer in einer Volkabstimmung für die Energiewende, die die starke Förderung erneuerbarer Energien vorsieht und den Bau

neuer Kernkraftwerke unterbindet. Zuvor hatten sich die Schweizer im November 2016 gegen eine Begrenzung des Betriebs von Kernkraftwerken auf 45 Betriebsjahre entschieden. Dies bedeutet, dass Schweizer Kernkraftwerke so lange in Betrieb bleiben können, wie die Sicherheit gewährleistet ist.

→ Die Schweiz stimmte 2017 für die Energiewende und den Kernenergieausstieg

Osteuropa will Abhängigkeit von Kohle und Gas reduzieren

Mehrere mittel- und osteuropäische Länder wollen ihre Abhängigkeit von Kohle- und Erdgasimporten verringern oder ihre bestehenden Kernkraftwerke durch moderne Anlagen ersetzen. So sind in der **Slowakei** gegenwärtig zwei russische Reaktoren in Bau. **Rumänien** hatte im Jahr 2007 sein bisher jüngstes Kernkraftwerk in Betrieb genommen, einen kanadischen Schwerwasserreaktor. Das Land plant, in den nächsten Jahren mit chinesischer Unterstützung zwei weitere Anlagen desselben Typs fertigzustellen. Auch Ungarn will neue Kernkraftwerke bauen. Es schloss deshalb mit Russland 2014 ein Abkommen zum Bau zweier Anlagen russischer Bauart ab.

Naher Osten und Südamerika mit Ausbauplänen

Da Erdöl der einzige nicht erneuerbare Energierohstoff ist, bei dem in den kommenden Jahrzehnten eine steigende Nachfrage wahrscheinlich nicht mehr gedeckt werden kann, diversifizieren Staaten wie die **Vereinigten Arabischen Emirate** (VAE) ihren Strommix weiter. So errichten die VAE derzeit vier Kernkraftwerke koreanischer Bauart, die bis 2020 in Betrieb gehen sollen. Auch die **Türkei** plant, zwei Kernkraftwerke russischer Bauart an der Mittelmeerküste errichten zu lassen, sowie zwei weitere Anlagen durch ein französisch-japanisches Konsortium am Schwarzen Meer. **Argentinien, Brasilien und Mexiko** bereiten ebenfalls den Ausbau ihres Kernkraftwerk-parks vor.

Quellen:

- BGR (2017): BGR Energiestudie 2017 – Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung (21). – 184 S.; Hannover.
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/energiestudie_2017.pdf
- Nuclear Energy Agency (OECD-NEA), „Nuclear Energy Data – 2017“. – 100 S.; Frankreich
<http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2017/7365-ned-2017.pdf>
- EURATOM Supply Agency (ESA), ANNUAL REPORT 2016. – 67 S.; Luxemburg
<http://ec.europa.eu/euratom/ar/last.pdf>
- World Nuclear Association (WNA): Nuclear Power in the World Today (Update Februar 2018)
<http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
- World Nuclear Association (WNA): World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements (Update Februar 2018)
<http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>
- Deutsches Atomforum e. V.
<http://www.kernenergie.de>
- International Atomic Energy Agency (IAEA), aktuelle Datenbank aller Kernkraftwerke auf Länderbasis
<https://www.iaea.org/pris/>
- International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2017
www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2017_weo-2017-en
- Swissnuclear: Kernenergie weltweit
<https://www.kernenergie.ch/de/strom-aus-kernenergie/kernenergie-weltweit.html>
- Spektrum.de: Kernkraftwerke der Zukunft (Dezember 2017)
<http://www.spektrum.de/news/kernkraftwerke-der-zukunft/1527265>