

# Europäische Klimaschutzziele sind auch ohne Atomkraft erreichbar

Von Claudia Kemfert, Clemens Gerbaulet, Christian von Hirschhausen, Casimir Lorenz und Felix Reitz

Die kommende Klimakonferenz in Paris wird einmal mehr den Handlungsbedarf zur globalen Minderung von Treibhausgasemissionen verdeutlichen, um die Auswirkungen des Klimawandels einzudämmen. Relevante globale Energieszenarien gehen oftmals noch davon aus, dass der Ausbau der Atomkraft einen Beitrag zum Klimaschutz leisten wird. Die deutlich gestiegenen Investitionskosten für neue Atomkraftwerke, zunehmende Betriebskosten, ungelöste Fragen des Rückbaus und der Endlagerung und die nach wie vor fehlende Versicherbarkeit von Atomunfällen machen die Atomenergie wirtschaftlich jedoch äußerst unattraktiv. Dem entsprechend befinden sich viele Atomkonzerne in finanziellen Schwierigkeiten. Eine angebliche Renaissance der Atomenergie gibt es nicht: Die meisten der weltweit rund 400 Atomkraftwerke, die derzeit betrieben werden, sind alt und müssen nach ihrer Stilllegung zurückgebaut werden. Der Kraftwerksneubau beschränkt sich auf wenige Länder, vor allem China.

Szenarioanalysen des DIW Berlin für die europäische Stromversorgung bis 2050 zeigen, dass Europa seine Klimaschutzziele bei einem deutlichen Ausbau erneuerbarer Energien auch ohne Atomkraft erreichen kann. Dank zunehmend kostengünstiger Technologien, insbesondere Windkraft und Photovoltaik, kann der zu erwartende Rückgang der Atomkraft kompensiert werden. In einem Szenario gänzlich ohne Neubauten von Atomkraftwerken stellen die erneuerbaren Energien im Jahr 2050 88 Prozent der Stromerzeugungskapazitäten dar. Atomkraft war, ist und wird keine nachhaltige Energiequelle und ist daher für eine effiziente Klimapolitik ungeeignet. Der Umbau hin zu einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien ist gesamtwirtschaftlich die kostengünstigere Variante.

Mit der im kommenden Dezember in Paris stattfindenden Klimaschutzkonferenz ist die Hoffnung verbunden, dass der internationale Klimaschutz ein entscheidendes Stück vorankommt. Die Weltstaatengemeinschaft ist aufgefordert, verbindliche Klimaschutzziele zur Senkung der globalen Treibhausgasemissionen zu definieren. Wenn das Zwei-Grad-Ziel mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eingehalten werden soll, müssen die globalen Treibhausgasemissionen stark reduziert werden. Zuletzt hatten sich die G7-Staaten darauf verständigt, dass dringend Maßnahmen zum Klimaschutz ergriffen werden müssen und dass die Weltwirtschaft im Laufe des Jahrhunderts dekarbonisiert werden soll.<sup>1</sup> Noch immer decken fossile Energieträger etwa 84 Prozent des weltweiten Primärenergiebedarfs.<sup>2</sup> Um den Klimawandel einzudämmen, müssen CO<sub>2</sub>-arme Energien fossile Energieträger ersetzen. Insbesondere erneuerbare Energien werden immer wettbewerbsfähiger und auch eine Steigerung der Energieeffizienz kann einen wichtigen Beitrag leisten.

## Rolle der Atomkraft in aktuellen Energieszenarien uneinheitlich

Bisher gehen viele relevante globale Energie- und Klimaschuttszenarien von einer künftig deutlich intensiveren Nutzung der Atomenergie aus. Weil die Atomenergie jedoch mit immer größeren finanziellen Unsicherheiten verbunden ist und erneuerbare Energien immer preiswerter werden, sollten die entsprechenden Szenarien neu bewertet werden.

Die aktuelle Version des World Energy Outlook (WEO) aus dem Jahr 2014, der von der Internationalen Energieagentur (IEA) publiziert wird, beinhaltet mehrere mögliche Entwicklungspfade.<sup>3</sup> Im als Hauptszenario geführ-

<sup>1</sup> Abschlusserklärung G7-Gipfel, 7. – 8. Juni 2015.

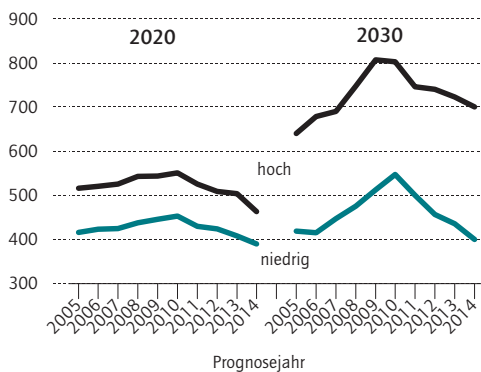
<sup>2</sup> Vgl. British Petroleum (2015): Energy Outlook 2035. Excel-Tabellen, [www.bp.com/content/dam/bp/excel/energy-economics/energy-outlook-2015/BPEnergy-Outlet-2035-Summary-Tables-2015.xls](http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/energy-economics/energy-outlook-2015/BPEnergy-Outlet-2035-Summary-Tables-2015.xls).

<sup>3</sup> Vgl. IEA(2014): World Energy Outlook. Paris, 345 ff.

Abbildung 1

**IAEA-Projektionen der weltweit installierten Atomkraftkapazität**

In Gigawatt



Quelle: IAEA (2014): *International Status and Prospects for Nuclear Power*, 4. August 2014.

© DIW Berlin 2015

Die Internationale Atomenergiebehörde hat ihre Prognosen für die weltweite Atomkraftleistung zuletzt deutlich gesenkt.

ten „New Policies Scenario“ (NPS) erwarten die Autoren einen Anstieg der weltweiten Atomkraftkapazität auf 624 Gigawatt (GW) bis zum Jahr 2040. Die höchsten Nettowachse liegen in China (+132 GW), Indien (+33 GW), Südkorea (+27 GW) und Russland (+19 GW). Die Kapazitäten in den OECD-Staaten stagnieren hingegen. Zwar bauen die USA ihre Flotte moderat aus (+13 GW), dafür sinkt die Kapazität in Europa (-18 GW). Der Rückgang wird durch Neubauten und Laufzeitverlängerungen verlangsamt: Durch altersbedingte Abgänge würde die derzeitige europäische Atomkraftwerksflotte andernfalls bis 2040 auf nur noch sechs Gigawatt sinken. Trotz des massiven Ausbaus der weltweiten Kapazitäten um etwa 60 Prozent geht das IEA-Szenario von einem konstant bleibenden Anteil der Atomkraft an der weltweiten Stromerzeugung in Höhe von zwölf Prozent aus.

Der WEO 2014 beinhaltet noch weitere Szenarien, unter anderem eines mit einem geringeren Ausbau der Atomkraft bei leichtem Rückgang der weltweiten Kapazitäten auf 366 Gigawatt im Jahr 2040 und ein Szenario mit hohem Ausbau der Atomkraft (bis auf 767 GW). Auch in diesen Prognosen steigen die Anteile der Nicht-OECD-Länder wie China und Indien an der gesamten installierten Kraftwerksleistung. Ein weiteres Szenario, bei dessen Umsetzung das Zwei-Grad-Ziel mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht würde (450-Szenario), enthält mit 862 GW im Jahr 2040 die höchste installierte Atomkraftkapazität.

Die Sachstandsberichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bezeichneten die Atomkraft stets als ein wichtiges Instrument zur Bekämpfung des Klimawandels. Im aktuellen fünften Sachstandsbericht werden jedoch auch erhebliche Risiken eines Atomkraftausbaus dargestellt. Dazu zählen Betriebsrisiken, Risiken beim Uranbergbau, finanzielle und regulatorische Risiken, ungelöste Fragen des Abfallmanagements sowie die unkontrollierte Verbreitung von Atomwaffen (Proliferation).<sup>4</sup> Hinzu kommt: Ein Technologiemix, der auf den weiteren Ausbau von Atomkraft verzichtet und das Zwei-Grad-Ziel dennoch erreicht, soll einer Metaanalyse des IPCC zufolge durchschnittlich nur um etwa sieben Prozent teurer sein als ein Energieträgermix, der nicht auf Kernenergie verzichtet.

Die in jährlichem Abstand für die Jahre 2020 und 2030 veröffentlichten Prognosen der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) zeichnen kein eindeutiges Bild der Entwicklung der weltweiten Atomkraftleistung.<sup>5</sup> In ihren Prognosen unterscheidet die IAEA zwischen einem Szenario mit hohem Ausbau und einem mit geringem. In letzterem stagniert die installierte Leistung trotz Zubaus aufgrund von Stilllegungen. Doch auch im Szenario mit einem stärkeren Atomkraftausbau fallen die Prognosen der installierten Kapazitäten mittlerweile geringer aus. So korrigierte die IAEA ihre Prognose für 2030 in den letzten Jahren um 100 bis 150 Gigawatt nach unten (Abbildung 1).

**Keine Renaissance der Atomkraft**

In der westlichen Welt ist der Ausbau der Atomkraft fast zum Erliegen gekommen. Bereits heute gehen mehr Kapazitäten vom Netz, als neue hinzukommen. Die Neubauprojekte konzentrieren sich vor allem auf China (23 von 67 Projekten) und auf wenige weitere Nicht-OECD-Länder wie Russland (neun), Indien (sechs) und die Vereinigten Arabischen Emirate (vier).<sup>6</sup> Das durchschnittliche Alter der weltweit 435 Atomkraftwerke beträgt derzeit 29 Jahre, 58 Atomkraftwerke haben ein Alter von 40 Jahren überschritten (Abbildung 2).

Die Stromerzeugung aus Atomkraft hat bereits in den vergangenen zwei Jahrzehnten weltweit an Bedeutung verloren und fiel seit dem Jahr 2006 um etwa neun Prozent; der Anteil der Stromproduktion aus Atomkraft an

<sup>4</sup> Vgl. IPCC (2014): *Summary for Policymakers*. In: Edenhofer, O. R. et al. (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.

<sup>5</sup> Vgl. IAEA (2014): *International Status and Prospects for Nuclear Power*. 4. August, 16.

<sup>6</sup> Vgl. IAEA (2015): *Power Reactor Information System*. [www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx](http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx).

der weltweiten Stromerzeugung ging von 17 auf etwa elf Prozent zurück (Abbildung 3). Selbst in anspruchsvollen Ausbauszenarien kann die Atomkraft frühere Anteile an der Stromerzeugung nicht wieder erreichen, in niedrigen Ausbauszenarien führt sie weltweit sogar nur noch ein Nischendasein. Im Jahr 2014 wurden nur noch drei Neubauprojekte gestartet. Zum Vergleich: 2010 waren es noch 15 und 2013 zehn Projekte.<sup>7</sup> Drei Viertel aller Neubauprojekte hinken den ursprünglichen Zeitplänen zudem hinterher.<sup>8</sup>

Das zunehmende Durchschnittsalter der weltweit betriebenen Atomkraftwerke bringt immer größere technische und finanzielle Risiken mit sich. Laufzeitverlängerungen sind vor allem in OECD-Ländern ein Thema, doch gerade in diesen wächst das Misstrauen. Der WEO 2014 nimmt für die Europäische Union im Jahr 2040 eine Atomkraftkapazität von etwa 60 Gigawatt an, die allein aufgrund von Laufzeitverlängerungen bereits existierender Anlagen zustande kommt; das entspricht etwa der Hälfte der gegenwärtigen Kapazität.<sup>9</sup> Nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Konkurrenz durch erneuerbare Energien erscheint dies sehr unwahrscheinlich.

### Veränderte Rahmenbedingungen machen der Atomwirtschaft zu schaffen

Nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen westlichen Industrieländern hat sich gezeigt, dass Atomkraft keine nachhaltige Investition für privatwirtschaftliche Investoren darstellt.<sup>10</sup> Sie ist seit ihrer Entwicklung in den 60er Jahren systematisch teurer geworden, insbesondere weil die Sicherheitsanforderungen und damit die Designs der Kraftwerke immer anspruchsvoller und komplexer wurden.<sup>11</sup> Neben den daraus folgenden Kostensteigerungen beim Bau nehmen auch die Aufwendungen für den Rückbau der Kraftwerke und die Lagerung der radioaktiven Abfälle immer weiter zu und belasten die Bilanzen der Unternehmen. Die Atomwirtschaft in Europa, den USA oder Japan steht angesichts der alternden Kraftwerksflotte und massiver Probleme bei Neubauprojekten vor existenziellen Herausforderungen.<sup>12</sup>

7 Vgl. Schneider, M. et al. (2015): World Nuclear Industry Status Report. Paris/London, Juli 2015, WNISR, 14.

8 Vgl. Schneider, M. et al. (2015): a. a. O., 12.

9 IEA (2014), a. a. O., 397.

10 Vgl. für die ausführliche Erläuterung von Hirschhausen, C., Reitz, F. (2014): Atomkraft ohne Zukunftsaussichten. DIW Wochenbericht Nr. 13/2014.

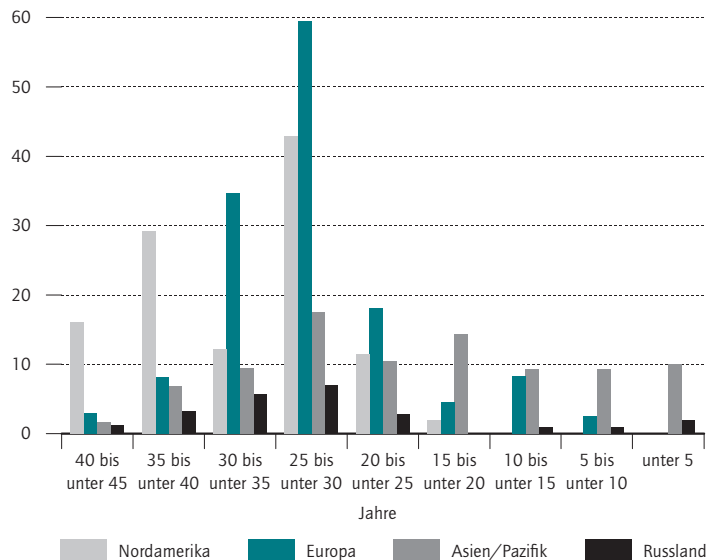
11 Vgl. Leveque, F. (2014): The Economics and Uncertainties of Nuclear Power. Cambridge, UK.

12 Dieser Abschnitt beruht weitgehend auf Schneider, M. et al. (2015), a. a. O.

Abbildung 2

### Altersstruktur von Atomkraftwerken in ausgewählten Regionen im Jahr 2013

In Gigawatt



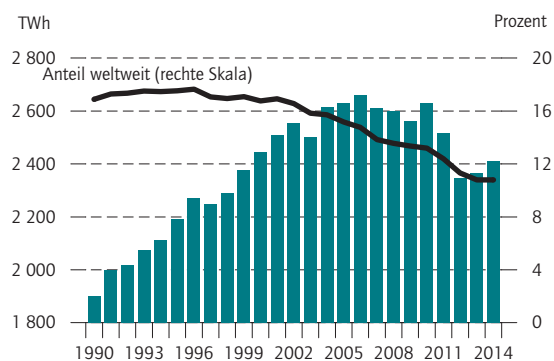
Quelle: World Nuclear Association.

© DIW Berlin 2015

Die meisten Atomkraftwerke in Europa sind seit 25 oder mehr Jahren am Netz.

Abbildung 3

### Weltweite Nettostromproduktion der Atomkraft und Anteil am weltweiten Stromverbrauch



Quelle: Schneider, M. et al., a. a. O.

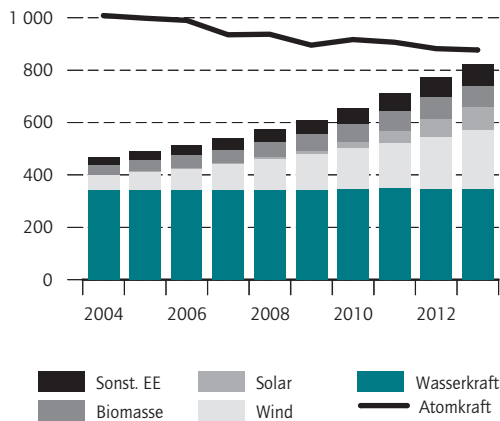
© DIW Berlin 2015

Im vergangenen Jahrzehnt hat die Atomkraft an Bedeutung verloren.

Abbildung 4

**Stromerzeugung von erneuerbaren Energien und Atomkraft in der EU**

In Terawattstunden



Quelle: Eurostat, [ec.europa.eu/eurostat/web/energy/statistics-illustrated](http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/statistics-illustrated).

© DIW Berlin 2015

Schon im Jahr 2013 wurde fast so viel Strom aus erneuerbaren Energien produziert wie aus Atomkraft.

Der französische Atomkonzern Areva, Hersteller des Europäischen Druckwasserreaktors (engl. European Pressurized Reactor, EPR), hat massive Absatzprobleme. Derzeit befinden sich vier Reaktoren in Bau (einer in Frankreich, einer in Finnland und zwei in China). Bei keinem davon kann die geplante Bauzeit eingehalten werden. Die ursprünglich kalkulierten Kosten für das Referenzkraftwerk im französischen Flamanville in Höhe von 3,2 Milliarden Euro haben sich inzwischen fast verdreifacht – vor allem, weil es erhebliche technische Schwierigkeiten gibt.<sup>13</sup> Im finnischen Olkiluoto haben sich die Kostenprognosen auch ohne dieses spezifische Problem auf inzwischen 8,5 Milliarden Euro fast verdreifacht. Der ursprünglich als Vorzeigeprojekt der französischen Atomindustrie konzipierte EPR hat die Erwartungen nicht erfüllt. Auch deshalb konnte die Kraftwerkssparte von Areva nur durch die Übernahme durch den Staatskonzern EDF vor einem Konkurs gerettet werden. Angesichts einer hohen Verschuldung, dem zunehmendem Preiswettbewerb auch im heimischen Markt und der französischen Energie-

<sup>13</sup> Nachdem im April festgestellt wurde, dass das besonders sicherheitsrelevante Herzstück, der Reaktordruckbehälter, fehlerhafte Stahlkomponenten enthält, ist die Vollendung des Projekts unsicher, denn ein Austausch ist im jetzigen Stadium wirtschaftlich nicht darstellbar. Auch die Reaktordruckbehälter der beiden chinesischen EPR-Projekte haben diesen Fehler.

Kasten

**Das Strommarktmodell „dynELMOD“**

Das am DIW Berlin entwickelte Strommarktmodell „dynELMOD“<sup>1</sup> ermittelt die kostenminimale Anpassung der Stromerzeugungskapazitäten und den Kraftwerkseinsatz für alle europäischen Länder im Zeitraum von 2015 bis 2050 deterministisch unter gegebenen Nebenbedingungen: Dazu zählen der Kraftwerksbestand, die Nachfrageentwicklung, der CO<sub>2</sub>-Vermeidungspfad und das Ausbaupotential für erneuerbare Energien bei gegebenen Investitionskosten für neue Kapazitäten und Brennstoffpreisen für die konventionelle Erzeugung. Analog zur EU-Roadmap 2050 wird ein ambitionierter CO<sub>2</sub>-Vermeidungspfad angenommen. Dabei erfolgt ein weitgehender quasi-linearer Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor von 1 273 Millionen Tonnen im Jahr 2015 auf nur noch knapp 19 Millionen Tonnen im Jahr 2050. Der Neubau der Stromerzeugungskapazitäten orientiert sich hauptsächlich an der gegebenen Stromnachfrage sowie der Höhe der Stilllegungen existierender Kraftwerke, die annahmegermäßig altersbedingt nach 50 Jahren erfolgen.

<sup>1</sup> Vgl. Gerbaulet, C. et al. (2014): Cost-Minimal Investments into Conventional Generation Capacities under a Europe-Wide Renewables Policy. 11th International Conference on the European Energy Market (EEM14), IEEE. doi:10.1109/EEM.2014.6861297.

wende („transition énergétique“) steht EDF jedoch selber vor großen Herausforderungen.

Die britische Regierung treibt ihre Pläne für den Bau eines EPR-Doppelreaktors am Standort Hinkley Point trotz dieser Probleme voran. Für Areva wäre das Projekt der erste Verkauf eines EPR seit 2007. Die für 35 Jahre staatlich garantierte, inflationsangepasste Vergütung läge mit derzeit umgerechnet knapp 13 Cent je Kilowattstunde höher als die für erneuerbaren Strom aus Windenergie.

**Modellbasierte europäische Szenarioanalysen**

In der gesamteuropäischen Stromwirtschaft ist ein deutlicher Wandel hin zu erneuerbaren Energien zu beobachten: Sie sind dabei, die Stromerzeugung der Atomkraftwerke zu übertreffen (Abbildung 4). Neben der Zunahme der Windkraft ist seit einigen Jahren auch bei der Photovoltaik ein rasches Wachstum zu beobachten.

Kraftwerkszubauten erfolgen in Zehn-Jahres-Schritten, der Kraftwerkseinsatz wird stündlich aufgelöst. Die Marktkopplung zwischen Ländern ist begrenzt durch angenommene Net Transfer Capacities.<sup>2</sup>

Bei Kraftwerksinvestitionen können konventionelle Technologien wie Kohle- und Gaskraftwerke sowie erneuerbare Energien wie Windkraft (On- und Offshore), Photovoltaik, Concentrated Solar Power (CSP) und Speicher ausgebaut werden. Bei Speichern wird eine generische Technologie mit einem Verhältnis von Leistung zu Speicherkapazität von acht Stunden mit 80 Prozent Wirkungsgrad angenommen, was in etwa die heutigen Parameter eines Pumpspeichers darstellt.

Die den Modellrechnungen zugrundeliegenden Kostenannahmen zu spezifischen Investitionskosten und fixen und variablen O&M-Kosten stammen aus der DIW Data Documentation 68.<sup>3</sup> Weitere Rahmenbedingungen wie die Gesamtländernachfrage über den Betrachtungszeitraum bis 2050, Brennstoff-

<sup>2</sup> Vgl. Entso-E (2013): NTC Matrix. Brüssel; ENTSO-E (2014): Ten-Year Network Development Plan 2014. Brüssel; BNetzA (2014): Genehmigung des Szenariorahmens 2025 für die Netzentwicklungsplanung und Offshore-Netzentwicklungsplanung. Bonn.

<sup>3</sup> Vgl. Schröder, A. et al. (2013): Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050. Data Documentation No. 68.

preise, CO<sub>2</sub>-Emissionsobergrenzen sowie Obergrenzen für den Ausbau erneuerbarer Energien entstammen dem Szenario „Diversified Supply Technologies“ der „Energy Roadmap 2050 Impact Assessment and Scenario Analysis“ der Europäischen Kommission.<sup>4</sup> Technologische Weiterentwicklungen neuerer Anlagen sind dabei berücksichtigt, sodass neue Windkraftanlagen höhere Volllaststunden aufweisen. Die dem Modell zugrundeliegenden Einspeisezeitreihen der Windkraft wurden aus Wetterdaten generiert und nach Technologie und Baujahr auf erwartete Volllaststunden skaliert. Stromerzeugungstechnologien mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung (CCTS) sind im Modell nicht verfügbar.

Das Modell wird für alle Modellzeitpunkte integriert gelöst. Da die Lösung der Kraftwerksinvestitionen über alle 8760 Stunden eines Jahres nicht möglich ist, wird ein reduziertes Stundenset verwendet, welches saisonale und tageszeitabhängige Variationen der Eingangsparameter abdeckt und robuste Ergebnisse erreicht, die jedoch nicht alle Extremstunden berücksichtigen. Der Kraftwerkseinsatz wird regulär mit 8760 Stunden pro Jahr gelöst.

<sup>4</sup> Vgl. EC (2011): Energy Roadmap 2050: Impact Assessment, Part 2/2. SEC(2011) 1565, Commission Staff Working Paper, Brüssel.

Zur Exploration unterschiedlicher möglicher Entwicklungen der europäischen Stromwirtschaft wurden im Rahmen einer Modellanalyse vier Szenarien berechnet. Dabei kommt das am DIW Berlin entwickelte Strommarktmodell „dynELMOD“ zum Einsatz (Kasten). Es ermittelt den kostenminimalen Entwicklungspfad der Stromerzeugungskapazitäten und ihren optimalen stündlichen Einsatz für alle europäischen Länder im Zeitraum von 2015 bis 2050 unter gegebenen Rahmenbedingungen. Das Modell minimiert die Gesamtkosten, die aus den Erzeugungskosten, Kapazitätsbereithaltungskosten sowie Investitionskosten in das Netz und Kraftwerkskapazitäten bestehen.

Die installierte Leistung von Atomkraftwerken ist keine Entscheidungsvariable des Modells, sondern wird als vorgegebener Modellparameter angenommen. Die Szenarien unterscheiden sich in der Höhe der jeweils angenommenen Kapazität für Atomkraftwerke (Abbildung 5).

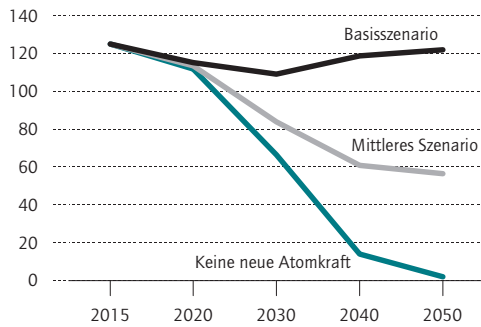
- Im „Basisszenario“ werden die von der Europäischen Kommission angenommenen Werte für den Atom-

kraftausbau, das sogenannte „Referenzszenario“ (Update 2013) angenommen. In diesem werden in Europa weitreichende Laufzeitverlängerungen vorgenommen und neue Atomkraftwerke gebaut, insbesondere ab dem Jahr 2030. Eine langfristig in etwa konstante Kapazität erfordert Reaktorneubauten mit einer Kapazität von rund 120 GW bis 2050, der größte Teil davon in den Jahren bis 2030 und 2040. Ungefähr die Hälfte der zugebauten Kapazität entfällt auf Frankreich.

- In einem „mittleren Szenario“ erfolgen annahmego- gemäß 50 Prozent des im EU-Referenzszenario prognostizierten Zubaus der Atomkraftwerkskapazitäten.
- Dagegen wird im Szenario „Keine neue Atomkraft“ angenommen, dass es in Zukunft gar keine Neubauten von Atomkraftwerken mehr gibt. Bestandskraftwerke werden nach Ende einer Betriebszeit von 50 Jahren stillgelegt.
- Das Szenario „Energieeffizienz“ baut auf dem Szenario „Keine neue Atomkraft“ auf. Hier ist die Strom-

Abbildung 5

**Atomkraftkapazität in den Modellszenarien**  
 Installierte Kapazität in Gigawatt



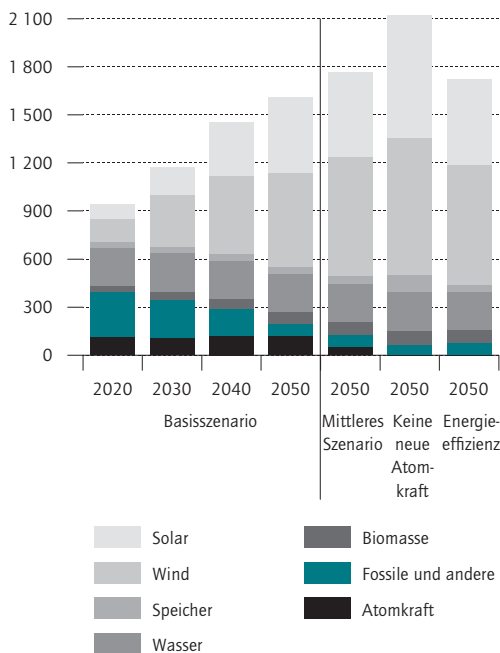
Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2015

Im Szenario „Keine neue Atomkraft“ wären im Jahr 2050 sämtliche Atomkraftwerke vom Netz.

Abbildung 6

**Stromerzeugungskapazitäten in Europa in unterschiedlichen Modellszenarien**  
 Installierte Kapazität in Gigawatt



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2015

Bei sinkenden Atomkraftkapazitäten werden die erneuerbaren Energien stärker ausgebaut.

nachfrage über die Zeit durch die Annahme einer linear steigenden Energieeffizienz im Jahr 2050 um zehn Prozent geringer als im Ausgangsfall.

Produktionsrückgänge bei den Atomkraftwerken werden hauptsächlich durch erneuerbare Energien, insbesondere Windkraft und Photovoltaik, ersetzt. Im Szenario „Keine neue Atomkraft“ ist die Kapazität der erneuerbaren Energien entsprechend höher, da diese Technologien geringere Volllaststunden aufweisen (Abbildung 6). Weiterhin finden Investitionen in Speicher statt, um die Fluktuation der Einspeisung dieser Energieträger aufzufangen. Kohle- und Gaskraftwerke spielen in diesen Berechnungen in den Jahren 2040 und 2050 eine untergeordnete Rolle, da das Modell den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verlauf der Zeit immer stärker beschränkt. Im Szenario „Energieeffizienz“ sind die benötigten Stromerzeugungskapazitäten gegenüber dem Szenario „Keine neue Atomkraft“ vor allem in den Jahren 2030 und 2050 deutlich geringer. Insbesondere der Speicherausbau ist reduziert,<sup>14</sup> die Kapazitäten zur Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie gehen ebenso leicht zurück (Abbildung 7).

Die jährlichen durchschnittlichen diskontierten Gesamtkosten des modellierten europäischen Stromsektors betragen im Basisszenario etwa 200 Milliarden Euro,<sup>15</sup> variieren in den anderen Szenarien jedoch nur geringfügig (Abbildung 8). Investitionen in neue Kraftwerkskapazitäten machen ungefähr die Hälfte der Gesamtsystemkosten aus. Investitionen in Atomkraftwerke belaufen sich auf rund ein Fünftel der Gesamtsystemkosten und werden im Szenario „Keine neue Atomkraft“ vollständig durch Investitionen in erneuerbare Energien und Speicher ersetzt. Den dadurch sinkenden variablen Erzeugungskosten stehen jedoch leicht höhere Fixkosten gegenüber. Somit ergeben sich für das Szenario „Keine neue Atomkraft“ etwas höhere Gesamtsystemkosten als im Basisszenario.

Die angenommenen Investitionskosten beinhalten weder den Rückbau der Atomkraftwerke, noch die Zwischen- und Endlagerung der radioaktiven Abfälle sowie eventuelle Versicherungen. Würden diese in Betracht gezogen, wäre davon auszugehen, dass das Szenario „Keine neue Atomkraft“ die geringsten Gesamtsystemkosten aufweist. So ist jedoch das Szenario „Energieeffizienz“ erwartungsgemäß das kostengünstigste, da die gesun-

<sup>14</sup> Für eine detaillierte Analyse des Bedarfs unterschiedlicher Arten von Stromspeichern in Szenarien mit sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien siehe Schill, W.-P., Diekmann, J., Zerrahn, A. (2015): Stromspeicher: eine wichtige Option für die Energiewende. DIW Wochenbericht Nr. 10/2015.

<sup>15</sup> Dies entspricht durchschnittlichen Stromgestehungskosten von ungefähr 55 bis 60 Euro/MWh.

kene Stromnachfrage mit geringeren Investitions- sowie Erzeugungskosten einhergeht.<sup>16</sup>

**Fazit**

Die kommende Klimakonferenz in Paris wird einmal mehr verdeutlichen, dass dringender Handlungsbedarf zur Senkung der globalen Treibhausgasemissionen besteht, um den Klimawandel einzudämmen. Die Weltstategemeinschaft hat beschlossen, den globalen Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts auf zwei Grad Celsius zu begrenzen. Dafür wird es notwendig sein, vor allem die Energiewirtschaft weitgehend zu dekarbonisieren und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf nahezu Null zu senken. Viele relevante Energieszenarien gehen nach wie vor davon aus, dass dieses Ziel eine stärkere Nutzung der Atomenergie erfordert. Verstärkte Sicherheitsanforderungen, Risiken beim Bau, Betrieb, Rückbau und nicht zuletzt der Endlagerung der Atomabfälle lassen Atomkraft jedoch als eine Technologie ohne Perspektiven erscheinen. Die enormen technischen, marktbezogenen und regulatorischen Risiken begründen auch, warum viele Atomkonzerne in finanzielle Schwierigkeiten geraten sind. Global gesehen gibt es aus diesem Grund keine Renaissance der Atomenergie – in nur wenigen Ländern werden überhaupt noch Atomkraftwerke gebaut, in erster Linie in China.

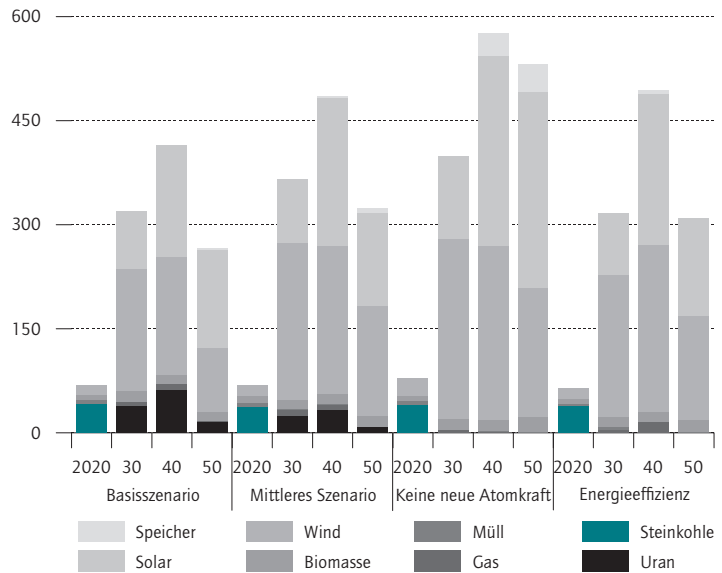
Modellrechnungen des DIW Berlin zeigen, dass Europas Klimaschutzziele bei einem deutlichen Ausbau erneuerbarer Energien auch ohne Atomenergie erreicht werden können. Dank der zunehmend kostengünstigen Windkraft und Photovoltaik kann der zu erwartende Rückgang der Atomkraft mehr als kompensiert werden; im Szenario gänzlich ohne Neubauten stellen die erneuerbaren Energien im Jahr 2050 88 Prozent der Stromerzeugungskapazitäten dar. Atomkraft war, ist und wird keine nachhaltige Energiequelle und ist für die Klimapolitik ungeeignet. Auch weil die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die Stromspeicherung immer günstiger und damit wettbewerbsfähiger werden, ist der Umbau hin zu einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien die gesamtwirtschaftlich kostengünstigere Variante.<sup>17</sup> Dies gilt umso mehr, wenn eine zusätzliche Steigerung der Energieeffizienz erreicht wird.

<sup>16</sup> Die angenommene Steigerung der Energieeffizienz kann jedoch weitere Investitionen erfordern, von denen hier abstrahiert wird.

<sup>17</sup> Vgl. hierzu im Detail unsere früheren detaillierten Analysen von Hirschhausen, C., Kemfert, C., Kunz, F., Mendelevitch, R. (2013): Europäische Stromerzeugung nach 2020: Beitrag erneuerbarer Energien nicht unterschätzen. DIW Wochenbericht Nr. 29/2013; sowie Schröder, A. et al. (2013), a. a. O.; sowie eine aktuellere Studie: Prognos (2014): Klimafreundliche Stromerzeugung: Welche Option ist am günstigsten? Berlin, Studie für Agora Energiewende.

Abbildung 7

**Zugebaute Stromerzeugungskapazitäten in den Modellszenarien**  
In Gigawatt pro Dekade



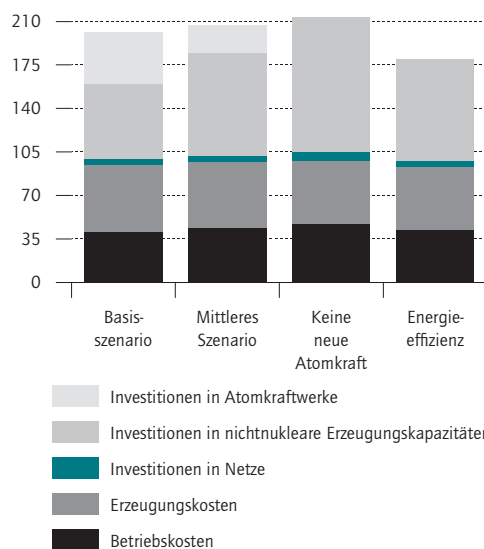
Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2015

Das Szenario „Energieeffizienz“ erfordert einen geringeren Kapazitätsausbau.

Abbildung 8

**Durchschnittliche diskontierte Erzeugungs- und Investitionskosten im Stromsektor 2015 bis 2050**  
In Milliarden Euro pro Jahr



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2015

Die Kosten unterscheiden sich in den verschiedenen Szenarien nur geringfügig.

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | ckemfert@diw.de

**Clemens Gerbaulet** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | cgerbaulet@diw.de

**Christian von Hirschhausen** ist Forschungsdirektor für Internationale Infrastrukturpolitik und Industrieökonomie am DIW Berlin | chirschhausen@diw.de

**Casimir Lorenz** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | clorenz@diw.de

**Felix Reitz** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | freitz@diw.de

---

### EUROPEAN CLIMATE TARGETS ACHIEVABLE WITHOUT NUCLEAR POWER

---

**Abstract:** The upcoming Climate Change Conference in Paris will once again highlight the need for action to reduce global greenhouse gas emissions in order to mitigate climate change. The relevant global energy scenarios are often still based on the assumption that the expansion of nuclear power can contribute to climate protection. The increasing investment and operating costs of nuclear plants, the unresolved issues concerning the dismantling of plants and permanent storage of nuclear waste, and the continuing lack of insurability against nuclear accidents make nuclear power extremely unattractive from an economic perspective. As a result, many nuclear power companies are facing financial difficulties. The nuclear renaissance is a myth: the majority of the around 400 nuclear power stations currently in operation around the world are outdated and will still need to be dismantled after they have been decommissioned. The con-

struction of new nuclear power plants is restricted to a small number of countries, predominantly China.

DIW Berlin has modeled a number of scenarios to forecast European power supply up to 2050 and they show that, with a marked expansion of renewable energy sources, Europe can meet its climate targets without nuclear power. The proliferation of more cost-effective renewable energy technologies, particularly wind and solar power, can compensate for the anticipated decline in nuclear power. In a scenario that includes no new nuclear power plant construction at all, renewables account for 88 percent of power-generation capacity. Nuclear power was, is, and will never be a sustainable energy source and is, therefore, unsuitable for an efficient climate policy. A transition to greater use of renewables is the more cost-effective option overall.

**JEL:** L95, L51, Q41

**Keywords:** Nuclear energy, electricity, modeling





DIW Berlin – Deutsches Institut  
für Wirtschaftsforschung e.V.  
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin  
T +49 30 897 89 -0  
F +49 30 897 89 -200  
82. Jahrgang

#### Herausgeber

Prof. Dr. Pio Baake  
Prof. Dr. Tomaso Duso  
Dr. Ferdinand Fichtner  
Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.  
Prof. Dr. Peter Haan  
Prof. Dr. Claudia Kemfert  
Dr. Kati Krähnert  
Prof. Dr. Lukas Menkhoff  
Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.  
Prof. Dr. Jürgen Schupp  
Prof. Dr. C. Katharina Spieß  
Prof. Dr. Gert G. Wagner

#### Chefredaktion

Sylvie Ahrens-Urbaneck  
Dr. Kurt Geppert

#### Redaktion

Renate Bogdanovic  
Sebastian Kollmann  
Marie Kristin Marten  
Dr. Wolf-Peter Schill

#### Lektorat

Dr. Jochen Diekmann  
Dr. Johannes Geyer  
Dr. Wolf-Peter Schill

#### Pressestelle

Renate Bogdanovic  
Tel. +49-30-89789-249  
presse@diw.de

#### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice  
Postfach 74  
77649 Offenburg  
leserservice@diw.de  
Tel. (01806) 14 00 50 25  
20 Cent pro Anruf  
ISSN 0012-1304

#### Gestaltung

Edenspiekermann

#### Satz

eScriptum GmbH & Co KG, Berlin

#### Druck

USE gGmbH, Berlin

Nachdruck und sonstige Verbreitung –  
auch auszugsweise – nur mit Quellen-  
angabe und unter Zusendung eines  
Belegexemplars an die Serviceabteilung  
Kommunikation des DIW Berlin  
(kundenservice@diw.de) zulässig.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.