

Atomkraft: Auslaufmodell mit ungelöster Endlagerfrage

Von Christian von Hirschhausen und Felix Reitz

Drei Jahre nach der Atomkatastrophe im japanischen Fukushima rücken Laufzeitverlängerungen bestehender Kernkraftwerke und der Bau neuer Reaktoren weltweit wieder stärker in den Fokus. Befürworter erhoffen sich eine kostengünstige Stromerzeugung, eine sichere Energieversorgung sowie einen Beitrag zum Klimaschutz. Das Referenzszenario der Europäischen Kommission – die Grundlage für die Diskussion der Energie- und Klimapolitik 2030 – legt einen massiven Ausbau der Atomkraft nahe, darunter den Neubau von sieben Atomkraftwerken in Polen. Auch in Deutschland mehren sich die Stimmen, die den bevorstehenden Atomausstieg kritisieren. Von einer Renaissance der Atomkraft kann nach Ansicht des DIW Berlin jedoch nicht die Rede sein: Laufende Ausbauprojekte konzentrieren sich auf wenige Länder, insbesondere China. Vor allem aber wird in der Diskussion vernachlässigt, dass Atomkraft bisher noch nie wirtschaftlich betrieben werden konnte, sofern Risiken für Mensch und Umwelt, Kosten für einen späteren Rückbau und die Endlagerung sowie der notwendigen Infrastruktur für Forschung und Entwicklung berücksichtigt werden. Die Fragen, wie und wo hochradioaktive Abfälle endgelagert werden sollen, sind ungelöst.

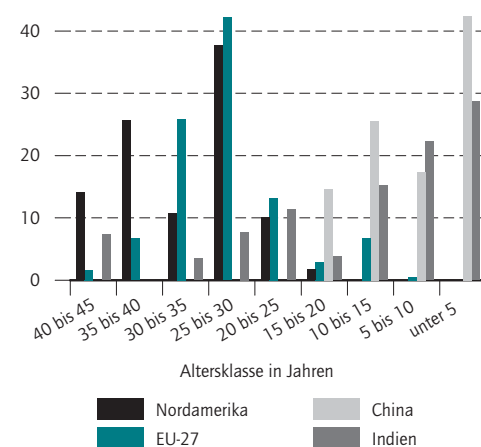
Als sicherste und kostengünstigste Antwort erscheint daher der Ausstieg aus der Atomkraft. Die europäische Diskussion sollte sich nicht an Modellrechnungen orientieren, die einen großen Teil der Kosten vernachlässigen. Deutschland kann unbeirrt an seinem Atomausstieg festhalten, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden; dies gilt auch für die Abschaltung des Atomkraftwerks Grafenrheinfeld im Jahr 2015. Parallel zum Ausstieg sollten umgehend lange vernachlässigte Fragen des Rückbaus und der Endlagerung von Atommüll geklärt werden.

Zur Energieerzeugung wird die Atomkraft derzeit hauptsächlich in westlichen Industrieländern, in Staaten der ehemaligen Sowjetunion, in Japan und Korea sowie den Schwellenländern China und Indien genutzt. Über den ältesten Atomkraftwerkspark der Welt verfügt Nordamerika (Abbildung 1). Nach zwei Wachstumsschüben infolge der Erdölkrisen in den 70er Jahren endete der dortige Bauboom unter dem Eindruck der Atomkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986; der letzte fertiggestellte Reaktor ist Watts Bar 1 in Tennessee, der 1996 ans Netz ging. In Asien hingegen wurden zuletzt noch regelmäßig Atomkraftwerke gebaut. Insbesondere China und Indien verfügen über einen relativ jungen Kraftwerkspark mit einem Durchschnittsalter von etwa zehn Jahren.

Abbildung 1

Altersstruktur der Atomkraftwerke ausgewählter Länder und Regionen 2013

Anteil eines Altersblocks an der Gesamtkapazität in Prozent



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin, basierend auf World Nuclear Association (2013).

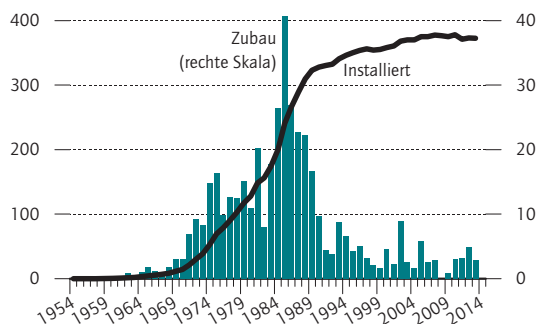
© DIW Berlin 2014

Die meisten nordamerikanischen und europäischen Atomkraftwerke sind über 25 Jahre alt.

Abbildung 2

Entwicklung der Atomkraft weltweit

In Gigawatt



Quelle: Berechnungen des DIW Berlin, basierend auf World Nuclear Association (2013).

© DIW Berlin 2014

Seit 1990 nimmt die installierte Kapazität nur noch langsam zu.

Der jährliche weltweite Ausbau der Atomkraft erreichte seinen Höhepunkt bereits Mitte der 80er Jahre und ist seitdem fast zum Erliegen gekommen (Abbildung 2). So gingen 1998 erstmalig mehr Reaktoren vom Netz als neue in Betrieb. In vier der vergangenen sechs Jahre war eine Nettoerduktion der weltweiten Kapazität zu beobachten (2008, 2009, 2011 und 2013). Angesichts der Altersstruktur der gegenwärtig laufenden Kraftwerke ist mit einem weiteren Rückgang der Kapazitäten zu rechnen: Mehr als 80 Prozent aller Reaktoren sind bereits älter als 20 Jahre, 50 Prozent älter als 28 Jahre und 25 Prozent älter als 34 Jahre.

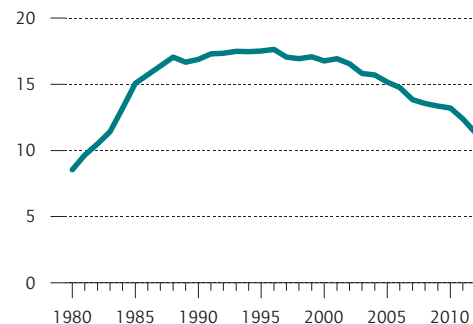
Nach Angaben der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) sind gegenwärtig Reaktoren mit einer Kapazität von circa 70 Gigawatt offiziell in Bau, davon entfallen etwa 28 Gigawatt auf China. Dieser Zubau erscheint zunächst erheblich, allerdings ist der Anteil der tatsächlich ausgeführten Atomkraftwerksprojekte traditionell gering.¹ Zudem ist der Anteil des Atomstroms an der weltweiten Stromproduktion niedrig (Abbildung 3). Die weltweit 440 Atomreaktoren, die 2012 in Betrieb waren, erzeugten mit einer Kapazität von insgesamt 370 Gigawatt gut 2300 Terawattstunden, was rund elf Prozent

¹ Investitionen in Atomkraftwerke, die niemals oder nur kaum in Betrieb waren, belaufen sich weltweit auf mindestens 524 Milliarden Euro (bis 2012); zieht man alle kerntechnischen Anlagen wie gescheiterte Endlagerprojekte oder Atomunfälle ein, liegt der Betrag bei über 1 000 Milliarden Euro. Vgl. Döschner, J. (2014): Das Billionen-Dollar Desaster. www.tagesschau.de/inland/milliardengrab-atomkraft100.html, heruntergeladen am 12. März 2014.

Abbildung 3

Anteil des Atomstroms an weltweiter Stromproduktion

In Prozent



Quelle: Darstellung des DIW Berlin, basierend auf EIA (2014).

© DIW Berlin 2014

Der weltweite Anteil der Atomkraft an der Stromerzeugung sinkt.

der globalen Stromproduktion entsprach.² Ein weiterer Rückgang des Anteils ist zu erwarten: Allein in China wurden die erneuerbaren Energien im Jahr 2012 um eine Leistung von 57 Gigawatt ausgebaut, die Kohleenergie um eine Leistung von 40 Gigawatt.³ Im Verhältnis dazu ist der in China geplante Zubau von knapp drei Gigawatt Atomkraft jährlich gering. Die These von der „Renaissance der Atomkraft“⁴, derzufolge die Technologie nach einer gewissen Ruhepause wieder hohe Wachstumsraten zu erwarten hätte, bestätigt sich auch im weltweiten Vergleich nicht.

Atomkraft jenseits ökonomischer Rationalität

Bei der Diskussion um die Atomkraft wird übersehen, dass sie unter Berücksichtigung der Risiken des Betriebs und der immensen Kosten für Forschung und Entwicklung sowie des Rückbaus und der Endlagerung niemals wirtschaftlich war. Hinzu kommt: Bis heute, über sechs Jahrzehnte nach Beginn der zivilen Nutzung der Atomkraft, ist die Endlagerung hochradioaktiven Abfalls ungelöst.

² Vgl. EIA (2014): www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=12, heruntergeladen am 20. März 2014.

³ Quelle: bizenergytoday.com/china_erneuerbare_%C3%BCberholen_kohle, heruntergeladen am 12. März 2014.

⁴ Vgl. zum Beispiel Joskow, P., Parsons, J. (2012): The Future of Nuclear Power After Fukushima. *Economics of Energy&Environmental Policy*, Vol. 1, No. 2, 99-114; sowie Nuttall and Newbery (2009): European electricity supply security and nuclear power: an overview. In: Leveque, Glachant, Barquin, Hirschhausen, Holz, Nuttall (Hrsg.): *Security of Energy Supply in Europe*.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Atomkraft muss zwischen betrieblichen und gesamtwirtschaftlichen Kosten unterschieden werden; letztere umfassen auch Umwelteffekte und technische Risiken. Der Bau eines Atomkraftwerks kann sich aus einzelwirtschaftlicher Betrachtung, beispielsweise der eines Investors, lohnen, wenn der Staat oder die Stromkunden einen großen Teil der gesamtwirtschaftlichen Kosten übernehmen. Der Betrieb eines gebauten Atomkraftwerks kann gewinnbringend sein, sofern der Staat die nicht bepreisten Sicherheitsrisiken trägt und für den Rückbau, die Endlagerung sowie Forschungs- und Infrastrukturinvestitionen Verantwortung übernimmt. Für eine sinnvolle Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der Atomkraftnutzung kann jedoch nur die gesamtwirtschaftliche Perspektive eingenommen werden.

Die tatsächlichen Motive zur Entwicklung der Atomtechnologie liegen jedoch jenseits ökonomischer Erwägungen. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen militärischer und ziviler Nutzung der Atomkraft sowie der ausschließlich (national-)politischen Entscheidungsfindung unterliegen Entscheidungen zum Atomkraftausbau keiner ökonomischen Rationalität. Infrastrukturelle, regulatorische und sicherheitstechnische Anforderungen sind das Ergebnis politischer Entscheidungen. Diese sind sehr unterschiedlich motiviert und können in der Regel auf besonders gut organisierte Interessengruppen zurückgeführt werden, etwa aus den Bereichen Wissenschaft und Militär.⁵

Kostengünstige Atomkraft? Nur ein Mythos der Nachkriegszeit ...

Die selbst in Fachkreisen verbreitete Vorstellung der günstigen Atomkraft entspricht keiner empirischen Erfahrung, sondern ist das Ergebnis einer politischen Vorgabe der USA und der angehenden europäischen Atomkräfte der 50er Jahre mit dem Ziel, die zivile und militärische Nutzung der Atomkraft weltweit zu kontrollieren. In der historischen Rede „Atoms for Peace“ vor der Vollversammlung der Vereinten Nationen am 8. Dezember 1953 entwickelte der damalige Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika, Dwight D. Eisenhower, die Idee einer kollektiven Verwaltung von radioaktivem Material unter der Aufsicht einer internationalen Behörde. Die daraufhin gegründete Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) in Wien sollte den Missbrauch von Spaltmaterial zum Bau von Atombomben verhindern. Die gemeinsame Vorstellung einer kostengünsti-

gen Atomkraft wurde dabei von Eisenhower als Grundlage einer fruchtbaren Zusammenarbeit herausgestellt.⁶

Allerdings zeichnete sich rasch ein Scheitern der „Atoms for Peace“ ab, da sich weder die Sowjetunion noch die Schwellenländer an die vorgeschlagene Arbeitsteilung halten wollten. Neben England und Frankreich, die die militärische und zivile Nutzung parallel zu den USA vorantrieben, entwickelte die Sowjetunion ein eigenes Atomprogramm und baute dieses im Kalten Krieg konsequent aus. Auch in anderen Ländern hat sich die militärische und zivile Nutzung der Atomkraft entwickelt, etwa in China, Indien und Pakistan. Heute werden Länder wie der Iran und Nordkorea verdächtigt, unter dem Deckmantel der zivilen Nutzung die Entwicklung der Atombombe voranzutreiben.

Auch in Europa verband man die Vorstellung kostengünstiger Atomkraft mit den Zielen einer politischen Zusammenarbeit und wirtschaftlichen Entwicklung. So sollte der 1957 in Rom unterzeichnete Vertrag über die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom) zu einer länderübergreifenden Kooperation bei der Atomkraft als Grundlage der Modernisierung und der Industrialisierung dienen.⁷

Atomkraft in wettbewerblichen Strommärkten aussichtslos

Angesichts bis heute ungelöster technischer und institutioneller Probleme wie Fragen der Sicherheit und Endlagerung sowie des Primats der Politik überrascht es nicht, dass bis heute kein einziges Atomkraftwerk weltweit unter marktwirtschaftlich-wettbewerblichen Bedingungen von privaten Investoren vollkostendeckend finanziert und gebaut worden ist. Sowohl der hohe Bedarf an Forschung und Entwicklung, Kapitalinvestitionen, Versicherung gegen Unfallrisiken sowie die langfristige Endlagerung machen Atomkraft gesamtwirtschaftlich unrentabel.⁸

⁵ Lévêque, F. (2013): *Nucléaire On/Off*. Paris, 171: „L'énergie atomique est fille de science et de la guerre.“ («Atomkraft ist die Tochter von Wissenschaft und Krieg», eigene Übersetzung).

⁶ Vgl. Lévêque, F. (2013), a. a. O., 172; die Originalstelle zur Erläuterung der kostengünstigen Atomkraft wird in Eisenhower's Rede folgendermaßen beschrieben: "Who can doubt, if the entire body of the world's scientists and engineers had adequate amounts of fissionable material with which to test and develop their ideas, that this capability would rapidly be transformed into universal, efficient, and economic usage." web.archive.org/web/20070524054513/http://www.eisenhower.archives.gov/atoms.htm, heruntergeladen am 19. Februar 2014.

⁷ Die Unterzeichner schrieben sogar in die Präambel, dass der Vertrag „... in dem Bewusstsein, dass die Kernenergie eine unentbehrliche Hilfsquelle für die Entwicklung und Belebung der Wirtschaft und für den friedlichen Fortschritt darstellt ...“ geschlossen wird, und zwar „... in dem Wunsch, andere Länder an ihrem Werk zu beteiligen und mit den zwischenstaatlichen Einrichtungen zusammen zu arbeiten, die sich mit der friedlichen Entwicklung der Kernenergie befassen ...“, vgl. Euratom-Vertrag, eur-lex.europa.eu/de/treaties/dat/11957K/tif/TRAITES_1957_EURATOM_1_XM_0122_link111.pdf, heruntergeladen am 12. März 2014.

⁸ Dabei ist unerheblich, dass Schätzungen zu den Kostenkategorien teilweise erheblich voneinander abweichen, vgl. FÖS (2012): Was Strom wirklich kostet. Berlin; oder auch D'haeseleer, W. (2013): *Synthesis on the Economics of Nuclear Energy*. Study for the European Commission, Final Report, ec.europa.eu/energy/nuclear/forum/doc/final_report_dhaeseleer/synthesis_economics_nuclear_20131127-0.pdf.

Weltweit haben sich unterschiedliche Organisationsmodelle entwickelt, von denen keines auf einen marktgetriebenen Bau von Atomkraftwerken setzt.⁹ In sozialistischen Ländern wie der Sowjetunion und später in deren Satelliten (etwa der DDR), China und anderen Schwellenländern unterlagen alle großen energiewirtschaftlichen Entwicklungen grundsätzlich politischen Entscheidungen. Aber auch in Marktwirtschaften betraute der Staat entweder eigene Unternehmen mit der Aufgabe (Großbritannien, Frankreich) oder gab privaten Unternehmen staatliche Zuschüsse oder Garantien, um Anreize zur Atomkraftentwicklung zu setzen (Deutschland, USA).¹⁰ Sämtliche der in den USA geplanten Atomkraftwerke befinden sich in Bundesstaaten, die eine staatlich zugesicherte Gewinnmarge ermöglichen. Für die Lösung der langfristigen Entsorgung radioaktiver Abfälle sind sämtliche Organisationsmodelle der vergangenen 60 Jahre gescheitert: Bis zum heutigen Tag gibt es kein einziges Endlager für hochradioaktive Abfälle.

Europäische Energie- und Klimastrategie 2030: Rettet Atomkraft das Klima?

In Europa bestehen sehr unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich der künftigen Atomkraftnutzung. Neben Deutschland haben sich auch Belgien und die Schweiz für den Atomausstieg entschieden; Italien hat sich in einem Referendum 2011 gegen einen Wiedereinstieg ausgesprochen. In Litauen lehnte die Bevölkerung die Beteiligung an einem Kernkraftwerksprojekt mit den anderen baltischen Staaten und Polen ab, das Projekt steht nunmehr vor dem Aus. Die bulgarische Regierung stoppte im Jahr 2012 den Bau des Kernkraftwerks Belene mit zwei geplanten Reaktorblöcken, nachdem das Projekt bereits seit den 80er Jahren unregelmäßig verfolgt wurde. Ebenso erklärte ein slowakisches Gericht 2013 die Baugenehmigung für zwei Reaktoren als nichtig.¹¹ Parallel hierzu laufen derzeit zwei Neubauprojekte, eines in Finnland und ein weiteres in Frankreich.¹² Europäische Länder, die weiterhin Neubaupläne

verfolgen, sind insbesondere das Vereinigte Königreich, Polen (mit Neubauplänen von bis zu drei Kraftwerken zu je 1,6 Gigawatt bis zum Jahr 2030¹³) sowie Ungarn, dessen Regierung in Verhandlung mit dem russischen Rosatom-Konzern über einen Ersatzbau am Standort Paks steht.

Insbesondere seit dem Atomunfall von Fukushima unternimmt die EU-Kommission Anstrengungen, die Sicherheitsvorschriften und Haftungsbedingungen zu verschärfen, obwohl die Aufsicht der Atomkraftwerke laut Euratom-Vertrag den jeweiligen Mitgliedsstaaten obliegt. In einem ersten Schritt wurden noch im Jahr 2011 alle Atomreaktoren einem sogenannten Stresstest unterzogen und die Sicherheitsanforderungen überprüft. Im Ergebnis mussten fast alle Atomkraftwerke nachgerüstet werden; dabei fielen für die 132 betrachteten Reaktorblöcke Kosten in Höhe von etwa 25 Milliarden Euro an.¹⁴ Der von der Kommission im Nachgang vorgelegte Gesetzentwurf sieht die Institutionalisierung der Stresstests vor, die fortan mindestens alle sechs Jahre nach einem vorgegebenen Schema stattfinden sollen.¹⁵ Zusätzlich bereitet die Europäische Kommission derzeit einen Vorschlag mit dem Ziel der Internalisierung externer Risikokosten vor.

EU-Referenzszenario sieht umfangreiche Neubauten vor ...

Mehrere Szenarioanalysen der EU bewerten die Wirtschaftlichkeit der Atomkraft als sehr günstig und sehen in ihr einen wichtigen Pfeiler der Stromversorgung bis 2030 und bis 2050. Dies gilt sowohl für die *Energy Roadmap* („Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050“) als auch für das Referenzszenario 2030/2050 vom Dezember 2013.¹⁶ Das dem sogenannten Weißbuch („Ein Rahmen der Klima- und Energiepolitik im Zeitraum 2020 bis 2030“) zugrundeliegende „Referenzszenario“ sieht für das Jahr 2030 ähnlich hohe Atomkraftwerkskapazitäten wie heute vor (Abbildung 4): Von gegenwärtig 125 Gigawatt wird der Bestand zwar bis 2025 auf 97 Gigawatt sinken, bis 2050 jedoch wieder auf 122 Gigawatt steigen. Nach einer Periode, die stark von Kraftwerksabschaltungen geprägt ist, werden zwar bis 2025 in der

⁹ Vgl. Lévêque, F. (2013), a. a. O. insbesondere Teil 4; Joskow, P., Parsons, J. (2012), a. a. O.; sowie Thomas, S. (1998): *The Realities of Nuclear Power, International economic and regulatory experience*. Cambridge.

¹⁰ Vgl. Thomas, S. (1998), a. a. O. insbesondere Kapitel 4 (USA) sowie 6 (Deutschland) sowie für Deutschland auch Radkau, J., Hahn, L. (2013): *Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft*. München.

¹¹ Ein Baustopp wurde dort jedoch paradoxerweise von der zuständigen Atomaufsichtsbehörde UJD rechtskräftig verboten, da ein Ende des Kraftwerksbaus „... dem öffentlichen Interesse schweren Schaden zugefügt ...“ hätte. Der Bau geht trotz Gerichtsurteil weiter. orf.at/stories/2195771/, heruntergeladen am 21. Februar 2014.

¹² Dabei handelt es sich um Kernkraftwerke des von Areva und Siemens entwickelten Europäischen Druckwasserreaktors (EPR). Beide Projekte sind jedoch ihren Zeit- und Finanzierungsplänen weit hinterher: Der französische Betreiber EDF rechnet mit einer Inbetriebnahme in Flamanville frühestens 2016, Olkiluoto wird nicht vor 2017 einsatzbereit sein.

¹³ Vgl. Polnisches Kernenergieprogramm, www.mg.gov.pl/files/upload/19990/PPEI_2014_01_28_po_RM.pdf.

¹⁴ Vgl. European Commission (2012): *Communication from the commission to the council and the european parliament on the comprehensive risk and safety assessments ("stress tests") of nuclear power plants in the European Union and related activities*. eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0571:FIN:EN:PDF, 8.

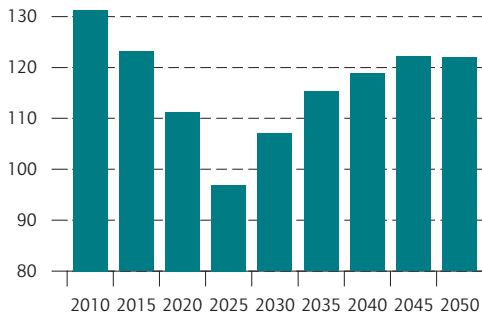
¹⁵ europa.eu/rapid/press-release_IP-13-532_en.htm, heruntergeladen am 21. Februar 2014.

¹⁶ Vgl. European Commission (2013): *Trends to 2050 - Reference Scenario 2013*. Brüssel.

Abbildung 4

Prognose der EU-weit installierten Kapazität der Atomkraft im EU-Referenzszenario

In Gigawatt



Quelle: Darstellung des DIW Berlin, basierend auf Europäische Kommission (2013).

© DIW Berlin 2014

Nach 2025 muss wieder mit einem Ausbau der Atomenergie gerechnet werden.

Summe jährlich etwa drei Gigawatt Kapazität zurückgebaut, danach kommt es jedoch zu einer drastischen Trendwende: Allein zwischen 2025 und 2030 sollen laut Modell netto wieder rund zehn Gigawatt hinzugebaut werden (Abbildung 5).

... basiert jedoch auf unplausiblen Annahmen

Die im Referenzszenario getroffenen Annahmen sind allerdings unplausibel, insbesondere bezüglich der Investitionskosten sowie deren Kostendegression, des angenommenen Entscheidungskalküls bei Investitionen sowie der unzureichenden Berücksichtigung von Versicherungs-, Rückbau- und Endlagerkosten.

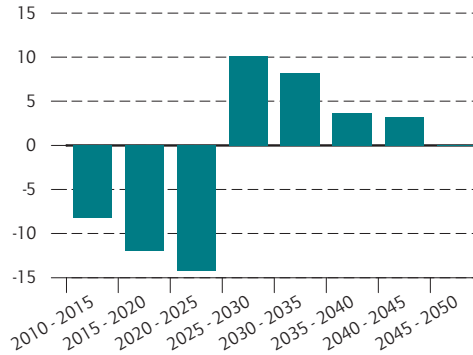
Trotz leichter Überarbeitungen¹⁷ zwischen 2011 und 2013 bleiben die Annahmen bezüglich der Investitionskosten im Referenzszenario sehr optimistisch. Zwar sind diese bezüglich der Investitionskosten im Referenzszenario im Vergleich zur Roadmap 2050 leicht nach oben korrigiert worden (4350 Euro je Kilowatt statt 3985 Euro je Kilowatt). Dabei wird allerdings unterstellt, dass es sich um die zweite Anlage einer standardisierten Serienproduktion handelt und sich mit weiteren Bauten desselben Typs Lernkurveneffekte erzielen lassen. Diese Annahme widerspricht jedoch der Erfah-

¹⁷ Die Europäische Kommission hatte in Reaktion auf Kritik ein Fachgutachten in Auftrag gegeben, das die Grundlage der Schätzungen darstellt, vgl. D'haeseleer, W. (2013), a. a. O.

Abbildung 5

Prognostizierte Veränderung der Atomkraft-Kapazität im EU-Referenzszenario

In Gigawatt



Quelle: Darstellung des DIW Berlin, basierend auf Europäische Kommission (2013).

© DIW Berlin 2014

Erst nach 2045 endet der weitere Ausbau der Atomenergie in Europa.

rung, dass die Investitionskosten für Atomkraftwerke tendenziell im Zeitverlauf steigen.¹⁸

Die EU-Kommission vernachlässigt die Risiken bei ihren Berechnungen weitgehend. Eine Internalisierung der von der Atomkraftnutzung ausgehenden Risiken würde zu erheblichen Kostensteigerungen führen. In Deutschland gilt zwar eine Haftungsbeschränkung im Fall von Schäden durch Naturkatastrophen in Höhe von 2,5 Milliarden Euro, in Frankreich bis 91,5 Millionen Euro; in osteuropäischen Ländern liegt sie noch niedriger.¹⁹ Angesichts möglicher Schäden von mehreren tausend Milliarden Euro handelt es sich dabei jedoch um vernachlässigbare Beträge.²⁰

¹⁸ Vgl. Rangel, L., Lévêque, F., Grubler, A. (2010): The cost of the french nuclear scale-up: A case of negative learning by doing. Energy Policy 38, 5174-5188; sowie Davis, L. W. (2012): Prospects for Nuclear Power. Journal of Economic Perspectives, Vol 26, 49-66. Beim ersten Bau des EPR in Olkiluoto wurden die anfangs veranschlagten Kosten von etwa 3,5 Milliarden Euro auf inzwischen 8,5 Milliarden Euro korrigiert. Die nach oben korrigierte Kostenschätzung für Flamanville beläuft sich mittlerweile ebenfalls auf 8,5 Milliarden Euro.

¹⁹ Diekmann, J. (2011): Verstärkte Haftung und Deckungsvorsorge für Schäden nuklearer Unfälle - Notwendige Schritte zur Internalisierung externer Effekte. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 122. Zur Internalisierung externer Kosten vgl. auch Fillipini, M. (2007): Strom aus dem Reaktor, ist er tatsächlich so günstig? Neue Luzerner Zeitung vom 3. März 2007, 3.

²⁰ So berechneten die Versicherungsforen Leipzig Kosten in Höhe von bis zu 6000 Milliarden Euro für einen Super-GAU in Deutschland, Versicherungsforen Leipzig GmbH (2011): Berechnung einer risikoadäquaten Versicherungsprämie zur Deckung der Haftpflichttrisiken, die aus dem Betrieb von Kernkraftwerken resultieren. Leipzig, 1. April 2011.

Ebenfalls nicht berücksichtigt werden die Unsicherheiten hinsichtlich Bau und Betrieb, die Kosten des Rückbaus von Atomkraftwerken sowie insbesondere der langfristigen Endlagerung. Aufgrund fehlender Erfahrungswerte ist die Höhe der Kosten nicht abschätzbar, sie dürfte jedoch hoch sein, insbesondere aufgrund des Fehlens eines Endlagers.

Der im Modell der EU-Kommission verwendete Algorithmus für den Kraftwerkszubau vernachlässigt risikoinduzierte Investitionskosten privater Investoren und unterschätzt daher die tatsächlichen Finanzierungskosten erheblich; dies ist insbesondere bei kapitalintensiven Technologien wie der Atomkraft von erheblicher Bedeutung. Das Modell ermittelt einen aus Investorensicht optimalen Kraftwerkspark; vernachlässigt dabei zusätzlich jedoch regulatorische Risiken. Diese sind jedoch in der privatwirtschaftlichen Praxis von erheblicher Bedeutung und reduzieren de facto das Interesse an kapitalintensiven und riskanten Kraftwerkinvestitionen.

Neubauprojekt „Hinkley Point“ in England voller offener und verdeckter Subventionen

Der aktuelle Fall des Neubauprojekts *Hinkley Point* in Großbritannien zeigt den enormen Umfang von offenen und verdeckten Subventionen, derer es heutzutage zum Bau eines neuen Atomkraftwerks bedarf. Hinkley Point ist das Projekt eines Konsortiums um die französischen Energiekonzerne EDF und Areva sowie chinesische Staatskonzerne,²¹ das den Bau der ersten Doppeleinheit des französischen Kernreakortyps EPR auf europäischem Boden mit einer Gesamtleistung von 3 200 Megawatt vorsieht.²² Nach Angaben von EDF soll das Projekt 16 Milliarden Pfund kosten;²³ dies entspricht spezifischen Investitionen von etwa 5 000 Pfund je Kilowatt (etwa 6 100 Euro je Kilowatt). Das derzeit zwischen der britischen Regierung und dem Konsortium verhandelte Paket beinhaltet mehrere direkte und verdeckte Subventionstatbestände, darunter:

- eine feste Vergütung von 92,50 Pfund pro Megawattstunde (umgerechnet circa 110 Euro je Megawattstun-

de) für 35 Jahre inklusive eines Inflationsausgleichs.²⁴ Für den Fall, dass das Kraftwerk systembedingt heruntergeregelt werden muss, enthält der Betreiber Entschädigungszahlungen; de facto entspricht dies einer garantierten Mindestzahlung. Zusätzlich bietet die britische Regierung dem Konsortium Garantien auf Kredite in Höhe von zehn Milliarden Pfund zu Vorzugskonditionen an. Die Investoren müssen somit weniger auf teurere Bankkredite zurückgreifen, die mit entsprechenden Risikozuschlägen behaftet sind;²⁵

- weiterhin schützt die britische Regierung den Investor vor Änderungen hinsichtlich der Versicherungspflicht von Atomkraftwerken auf europäischer Ebene;²⁶
- darüber hinaus wird noch eine Übernahme des Fertigstellungsrisikos durch die Regierung diskutiert;²⁷
- nicht zuletzt sieht die Vereinbarung zwischen Regierung und Investoren auch die Möglichkeit vor, die Vergütung unter gewissen, nicht weiter spezifizierten Voraussetzungen anzuheben.

Die Europäische Kommission hat nach Bekanntwerden der Vereinbarung zwischen der britischen Regierung und dem Betreiberkonsortium ein Verfahren wegen illegaler Staatsbeihilfen eingeleitet und sich in einer ersten Stellungnahme kritisch zu dem Projekt geäußert.²⁸ Auch die energiewirtschaftliche Notwendigkeit sei nicht nachgewiesen, sei doch mit dem Betrieb der Atomkraftwerke frühestens Mitte oder Ende der 2020er Jahre zu rechnen, also zu einem Zeitpunkt, zu dem der kurz bevorstehende Nachfrageüberhang bereits wieder abgebaut sein dürfte.²⁹

Atomausstieg in Deutschland bleibt sinnvoll

Deutschland hat sich im 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes im August 2011 für einen Atomausstieg bis zum Jahr 2022 entschieden. Nach den ersten Abschaltungen älterer Atomkraftwerke in Folge des Mora-

²¹ Es handelt sich hierbei um die beiden chinesischen Staatskonzerne China General Nuclear Power Group (CGN) sowie China National Nuclear Corporation (CNNC).

²² Es handelt sich dabei um den Versuch, den überalterten britischen Atomkraftwerkspark zu erneuern; mittelfristig sieht das britische Atomprogramm Neubauprojekte mit einer Gesamtleistung von 16 Gigawatt vor. Vgl. House of Commons/ Energy and Climate Change Committee: Building New Nuclear: the challenges ahead – Sixth Report of Session 2012–13 – Volume 1. 7.

²³ Vgl. uk.reuters.com/article/2013/10/21/uk-britain-nuclear-hinkley-idUKBRE99J03X20131021, heruntergeladen am 18. Februar 2014.

²⁴ UK Government (2013): Initial agreement reached on new nuclear power station at Hinkley. <https://www.gov.uk/government/news/initial-agreement-reached-on-new-nuclear-power-station-at-hinkley>, heruntergeladen am 14. Februar 2014.

²⁵ www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/energy/10611003/Nuclear-setback-as-EC-attacks-Hinkley-Point-subsidy-deal.html, heruntergeladen am 19. Februar 2014.

²⁶ Die Europäische Kommission plant einen Abschlusszwang einer Haftpflichtversicherung, die von EU-Kommissar Oettinger öffentlich erwogen und möglicherweise EU-weit verordnet werden könnte.

²⁷ House of Commons/ Energy and Climate Change Committee, a. a. O. 17.

²⁸ Vgl. ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/251157/251157_1507977_35_2.pdf, heruntergeladen am 4. Februar 2014.

²⁹ Ebenda, 18.

toriums vom März 2011 steht spätestens im Dezember 2015 die Abschaltung des Atomkraftwerks Grafenrheinfeld an; anschließen werden sich Gundremmingen B (2017), Philippsburg 2 (2019), Gundremmingen C, Grohnde und Brokdorf (alle 2021) sowie Neckarwestheim 2, Isar 2 sowie Emsland (alle 2022).

In ihrem Koalitionsvertrag hält die Bundesregierung aus CDU/CSU und SPD ausdrücklich am Atomausstieg fest.³⁰ Dennoch mehren sich mit der näherkommenen Abschaltung des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld die Stimmen, die aus unterschiedlichen Motiven den Atomausstieg stoppen wollen oder seine hohen Kosten bedauern. Es ist wieder die Rede von Atomkraft als „billiger Stromquelle“.³¹ Angesichts der Kostenstruktur der Atomkraft ist der Ausstieg in Deutschland jedoch sinnvoll. Neben Sicherheits- und Kostenargumenten gibt es auch technische Gründe für einen Ausstieg: So sind Atomkraftwerke in ihrem Betrieb sehr unflexibel und tragen somit nicht zur Flexibilität eines auf erneuerbaren Energien basierenden Systems bei.

Auch aus energiewirtschaftlicher Perspektive ist der Atomausstieg unproblematisch. Insbesondere sollte die Versorgungssicherheit in Deutschland Mitte der 2020er Jahre auch ohne Atomkraftwerke gewährleistet sein. Dies legen Forschungsergebnisse des DIW Berlin nahe, denen zufolge die Stromnachfrage auch nach dem Ausstieg aus der Kernenergie an allen Orten und auch zu Spitzenlastzeiten befriedigt werden kann, sofern verfügbare Optionen wie Lastmanagement oder Kapazitätsverträge mit dem Ausland genutzt werden.³² Im Zuge der Analysen wurden mit einem Stromsektormodell unter anderem kritische Netz- und Versorgungssituationen für das Jahr 2023 – also nach dem vollständigen Atomausstieg – simuliert. Diese Berechnungen zeigen, dass bei einer Fortschreibung der derzeit praktizierten Reservekraftwerksverordnung bis Mitte der 2020er Jahre eine ausgeglichene Leistungsbilanz im deutschen Stromsystem herrscht; diese wird durch mögliche Handelsströme aus dem Ausland weiter entlastet. Selbst für den Extremfall von besonders viel oder wenig Wind kann das gesamte Bundesgebiet bei Höchstlast sicher versorgt werden. Dies gilt selbst für den Fall, dass die beiden Höchstspannungsgleichstromübertragungs-

leitungen (HGÜ), welche die Kohleregionen des Rheinlands und Mitteldeutschlands sowie der Lausitz mit Süddeutschland verbinden sollen, nicht gebaut werden.

Zwischen- und Endlagerfrage bisher vernachlässigt

Neben den energiewirtschaftlichen Fragen verbleiben jedoch bis zum endgültigen Atomausstieg – und darüber hinaus – eine Reihe von technischen und organisatorischen Fragen, etwa zur bis heute unzureichenden Versicherung und Haftung im Schadensfall, zu einem geeigneten Endlagerstandort für die abgebrannten Brennelemente sowie die Übernahme der Langzeitrisiken. Insbesondere zentrale Fragen der Endlagerung sind nach wie vor ungeklärt. Zwar wurde noch vom letzten Bundestag das so genannte Standortauswahlgesetz (StandAG) verabschiedet, welches die standortoffene Prüfung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle durch eine Bund-Länder-Kommission bis zu Beginn der 2030er Jahre vorsieht;³³ parallel hierzu ist die Gründung einer neuen Behörde, des „Bundesamts für kerntechnische Entsorgung“ (BfE), in Vorbereitung. In der Folge hat das niedersächsische Umweltministerium die auf deutschem Bergrecht beruhende Betriebsgenehmigung für die Erkundung des Salzstocks Gorleben aufgehoben, da die Endlagerfindung nunmehr zwingend gemäß dem Standortauswahlgesetz erfolgen muss.³⁴ Dies lässt sich als Neustart bei der Endlagersuche und dem Eingeständnis, das Gorleben nicht alternativlos ist, interpretieren. Ursprünglich sahen die Pläne der Bundesregierung die Endlagerung aller in Deutschland erzeugten hochradioaktiven Abfälle in diesem niedersächsischen Salzstock in rund 800 Metern Tiefe vor.

Die Kosten der Endlagerung sind unsicher, werden jedoch auf einen Wert im höheren zweistelligen Milliarden-Euro-Bereich geschätzt.³⁵ Es ist unklar, ob die Rücklagen der Betreiber³⁶ hierfür ausreichen werden.³⁷ Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch in diesem Prozess weitere Gelder aus öffentlicher Hand nötig

30 Vgl. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD (2013): Deutschlands Zukunft gestalten. 59: „Wir halten am Ausstieg aus der Kernenergie fest. Spätestens 2022 wird das letzte Atomkraftwerk in Deutschland abgeschaltet.“

31 Hierzu gehört die Studie im Auftrag der Europäischen Kommission zu den Kosten der Atomkraft, welche für Szenarien mit Atomkraft in Deutschland wesentlich niedrigere Strompreise vermutete als ohne, vgl. D'haeseleer, W. (2013), a. a. O. 8. Der Chefredakteur der Wirtschaftswoche kritisierte, das Deutschland „billige Stromquellen wie Kernkraftwerke“ verbiete, vgl. Tichy, R. (2014): Strom als Müll. Wirtschaftswoche, Nr. 6.

32 Vgl. Kunz, F., von Hirschhausen, C., Gerbaulet, C. (2013): Mittelfristige Strombedarfsdeckung durch Kraftwerke und Netze nicht gefährdet. DIW Wochenbericht Nr. 48/2013.

33 Das „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und zur Änderung anderer Gesetze (Standortauswahlgesetz – StandAG)“ trat am 23. Juli 2013 in Kraft. § 1 definiert das Ziel des Gesetzes: „Ziel des Standortauswahlverfahrens ist, in einem wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahren für die im Inland verursachten, insbesondere hoch radioaktiven Abfälle den Standort für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet.“

34 www.endlagerung.de/language=de/taps=7012/17134, heruntergeladen am 21. Februar 2014.

35 Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft (2012): Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung im Atombereich – Thesen und Empfehlungen zu Reformoptionen. 10.

36 Stand 31.12.2011: circa 33,5 Milliarden Euro, vgl. Forum ökologisch-soziale Marktwirtschaft (2012), a. a. O. 37.

37 Vgl. VDI-Nachrichten, 27. Januar 2012, 5.

werden.³⁸ So formuliert der schwarz-rote Koalitionsvertrag zwar, dass „die Kosten für den Atommüll und den Rückbau der kerntechnischen Anlagen von den Verursachern getragen werden sollen“; gleichzeitig soll jedoch die „Aufteilung der Kosten neu geregelt“ werden, unter anderem für den Rückbau, die Entsorgung und sichere Aufbewahrung von radioaktiven Abfällen. Hierzu wollen Bund und Länder Gespräche führen.

Doch auch die Endlagerung mittel- und schwach-radioaktiver Abfälle ist unklar. So sind in den ehemaligen Salzbergwerken Morsleben und Asse jeweils Hunderttausende Fässer schwach- bis mittelradioaktiven Mülls eingelagert worden. Beide Endlager sind heute einsturzgefährdet. Das Endlager Morsleben und der darin enthaltene Atommüll werden mit Salzbeton verfüllt. Für die Verfüllung veranschlagt das Bundesamt für Strahlenschutz Kosten in Höhe von 2,2 Milliarden Euro.³⁹ Im Gegensatz dazu werden die mehr als 120 000 in der Asse lagernden Fässer in einer noch aufwändigeren Rückholaktion geborgen. Da die Rückholung bis in die 2030er Jahre dauern wird, soll der Einsturz des Salzstocks mit Betoninjektionen verzögert werden. Zusätzlich muss mindestens ein neuer Schacht gebohrt werden, da die bestehenden Schächte nicht für eine Bergung der Fässer geeignet sind. Die Fässer, über deren Zustand wegen ihrer Unzugänglichkeit teilweise nur Mutmaßungen existieren, müssen noch konditioniert, also endlagergerecht verpackt werden. Das Endlager Konrad besitzt zwar eine Genehmigung zur Endlagerung von schwach- bis mittelradioaktivem Atommüll, die Inbetriebnahme wird jedoch nicht mehr in diesem Jahrzehnt stattfinden. Zusätzlich ist die Kapazität beschränkt: Die genehmigten 303 000 Kubikmeter reichen nicht aus, um alle schwach- bis mittelradioaktiven Abfälle aus der Asse und den noch stillzulegenden Atomkraftwerken aufzunehmen. Deshalb plant das Bundesamt für Strahlenschutz gegenwärtig ein weiteres Zwischenlager inklusive Konditionierungsanlage, das möglichst nahe der Asse errichtet werden soll. Tragen müssen die mit diesem Prozess verbundenen Kosten wahrscheinlich die Steuerzahler.

Fazit und wirtschaftspolitische Schlussfolgerungen

Die Atomkraft ist weltweit ein Auslaufmodell: Sie stellt keine wirtschaftliche Energiequelle dar, weil unter-

³⁸ Vgl. Koalitionsvertrag, 60.

³⁹ Der Spiegel (2008): Ausgabe 43, 43–48, www.spiegel.de/spiegel/print/d-61366517.html.

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

schiedlichste Kostenbestandteile – etwa für Versicherung, Rückbau und Endlagerung von Brennstäben – vernachlässigt werden. Weltweit ist nicht ein einziges Atomkraftwerk unter den Bedingungen von Markt und Wettbewerb gebaut worden. In den vergangenen Jahren war in westlichen Ländern insgesamt eine Reduktion von Atomkraftwerkskapazitäten zu beobachten, in Asien jedoch ein Zubau. Von einer „Renaissance der Atomkraft“ kann dennoch keine Rede sein: Laufende Ausbauprojekte konzentrieren sich auf wenige Länder, vor allem China. In Japan sind die Perspektiven nach der Atomkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 unsicher. Die weltweit installierte Leistung von Atomkraft stagniert, der relative Anteil an der Stromerzeugung sinkt.

In Europa wird die zukünftige Bedeutung der Atomkraft kontrovers diskutiert. Deutschland, die Schweiz und Belgien haben sich zu einem Ausstieg aus der Atomkraft entschieden, Italien verwehrt sich per Volksbefragung einem Wiedereinstieg. Beim derzeitigen Bau neuer Reaktoren in Finnland und Frankreich sind die Kosten explodiert; die Meiler werden die teuersten jemals gebauten Kraftwerkskapazitäten sein.

Die Szenariorahmen der Europäischen Kommission zeichnen ein sehr optimistisches Bild für die Atomkraft, das nach Ansicht des DIW Berlin aber auf unplausiblen Annahmen beruht. Die im EU-Referenzszenario ausgewiesenen Kosten decken die tatsächlichen gesellschaftlichen Kosten nicht, die hieraus abgeleitete Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken gibt es nicht. Angesichts ungelöster Fragen bezüglich der Sicherheit und der Endlagerung sollten die Mitgliedsstaaten und die EU von einer weiteren Förderung der Kernenergie Abstand nehmen. Die von der Europäischen Kommission vorgesehene Verschärfung der Sicherheitstests für bestehende Kapazitäten sollte umgehend erfolgen.

Die Politik sollte die bisher vernachlässigte Frage der Endlagerung von Atommüll aktiv angehen. Beim Rückbau bestehender Kraftwerke zeichnen sich harte Auseinandersetzungen über die Kostenverteilung ab: Getreu dem Verursacherprinzip sollten die Kernkraftbetreiber soweit als möglich zur Einhaltung ihrer Verpflichtungen angehalten werden. In der Endlagerfrage sind die Mitgliedsstaaten gefragt, belastbare Strategien vorzulegen.

Deutschland befindet sich mit seinem Atomausstieg auf dem Weg in eine nachhaltige Energiepolitik. Der deutsche Atomausstieg ist ökonomisch sinnvoll, die deutsche Versorgungssicherheit nicht gefährdet. Der Schließung des Atomkraftwerks Grafenrheinfeld bis spätestens Dezember 2015 steht nichts im Wege.

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

NUCLEAR POWER: TOWARDS PHASE-OUT WITH UNRESOLVED QUESTIONS OF STORAGE OF NUCLEAR WASTE

Abstract: Three years after the nuclear catastrophe in Fukushima one observes a certain momentum with regard to lifetime extensions as well as some interest in new building of nuclear power plants. Advocates of nuclear power argue in term of low-cost electricity generation, a secure supply as well as a contribution against climate change. The Reference Scenario of the European Commission – which sets the agenda on the EU Climate and Energy Strategy to 2030 – implies massive new buildings of nuclear power plants, not less than seven are forecasted for Poland alone. In Germany, too, voices are re-appearing that criticize the upcoming nuclear phase-out. However, DIW Berlin clearly derives that there is no “Renaissance” of nuclear power under way: the plans to construct new plants are concentrated in a few countries, mainly China. But foremost, the discussion neglects that nuclear power has never in history

been produced economically, taking into account the costs of risks for mankind and the environment, the scrapping of nuclear waste, let alone the infrastructure of R&D and the corresponding national innovation system. The question where to store the highly radioactive waste is of yet unresolved.

Phasing out nuclear is the safest and cost efficient strategy. The European discussion should not focus on analytical models that neglect a large part of the economic cost. Germany can continue its nuclear phase-out until 2022, without risking the supply security; this also holds for the upcoming closure of the Grafenrheinfeld nuclear power plant in 2015. Questions of scrapping old nuclear power plants and of long-term storage of radioactive waste have been ignored for a long time, they need to be addressed urgently now.

JEL: L50, L 94, L20

Keywords: Nuclear energy, electricity, waste disposal, 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
www.diw.de
81. 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
Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.
Dr. Kati Schindler
Prof. Dr. Jürgen Schupp
Prof. Dr. C. Katharina Spieß
Prof. Dr. Gert G. Wagner

Chefredaktion

Sabine Fiedler
Dr. Kurt Geppert

Redaktion

Renate Bogdanovic
Sebastian Kollmann
Dr. Claudia Lambert
Dr. WolfPeter Schill

Lektorat

Hendrik Hagedorn
Dr. Thure Traber

Textdokumentation

Manfred Schmidt

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.