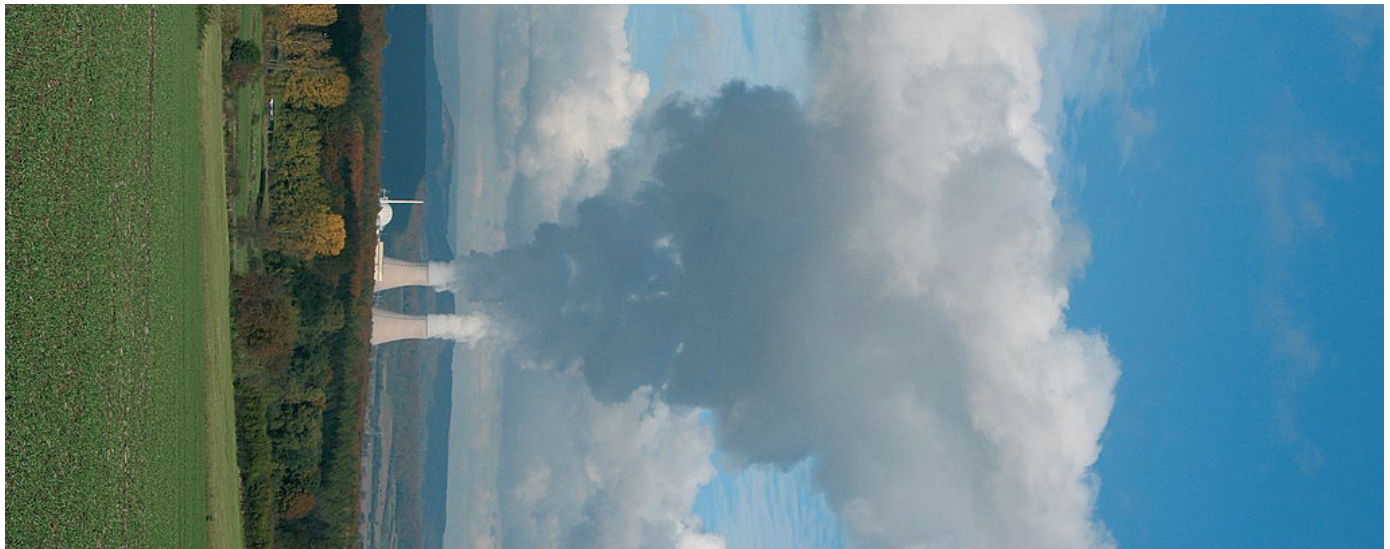
BAND 12

Mythos Atomkraft

Warum der nukleare Pfad ein Irrweg ist

Mit Beiträgen von Antony Froggatt, Mycle Schneider, Steve Thomas, Otfried Nassauer und Henry D. Sokolski



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
ÖKOLOGIE

MYTHOS ATOMKRAFT

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
SCHRIFTEN ZUR ÖKOLOGIE

BAND 12

Mythos Atomkraft

Warum der nukleare Pfad ein Irrweg ist

Mit Beiträgen von Antony Froggatt, Mycle Schneider, Steve Thomas, Otfried Nassauer und Henry D. Sokolski

Hrsg. von der Heinrich-Böll-Stiftung

Mythos Atomkraft
Warum der nukleare Pfad ein Irrweg ist
Mit Beiträgen von Antony Froggatt, Mycle Schneider, Steve Thomas, Otfried Nassauer und Henry D. Sokolski

Band 12 der Schriftenreihe Ökologie
Herausgegeben von der Heinrich-Böll-Stiftung
© Heinrich-Böll-Stiftung 2010
Alle Rechte vorbehalten

Übersetzung aus dem Englischen: Heinz Tophinke (Beitrag von Antony Froggatt und Mycle Schneider), Kurt Beginnen (Beiträge von Steve Thomas, Henry D. Sokolski)

Coverfoto: Grohnde 2007, Delkarm, flickr.com
Gestaltung: graphic syndicat, Michael Pickardt, Berlin
Druck: agit-druck, Berlin
Stand für alle Zahlenangaben: März 2010

ISBN 978-3-86928-039-4

Bestelladresse: Heinrich-Böll-Stiftung, Schumannstraße 8, 10117 Berlin
T +49 30 28534-0 **F** +49 30 28534-109 **E** info@boell.de **W** www.boell.de

INHALT

Vorwort 7

Antony Froggatt und Mycle Schneider

Energiestrategien für die Zukunft: Verhindert Atomkraft den nötigen Systemwechsel? 11

Steve Thomas

Die wirtschaftlichen Aspekte der Atomenergie 64

Anhang 1 Reaktortechnologien, aktuelle Reaktortypen und Anbieter 119

Anhang 2 Diskontierung, Kapitalkosten und Renditen 129

Anhang 3 Stilllegung 132

Anhang 4 Der aktuelle Stand der Projekte in den USA 136

Otfried Nassauer

Atomwaffen und Atomenergie – Siamesische Zwillinge oder doppelte Null-Lösung? 142

Henry D. Sokolski

Atomwaffen, Energiesicherheit, Klimawandel – Wege aus dem nuklearen Dilemma 188

Abkürzungen und Glossar 210

Die Autoren 213

VORWORT

In vielen Ländern ist der Mythos von der Atomkraft als unbegrenzte, konkurrenzlos günstige und sichere Energiequelle stark verblasst, in anderen Teilen der Welt erlebt er gerade einen Aufschwung. In Deutschland sprechen inzwischen selbst die großen Energiekonzerne davon, dass die Zukunft allein den Erneuerbaren Energien gehört. Offiziell geht der Streit nur noch darum, wie schnell die vorhandenen Atomkraftwerke vom Netz gehen können und sollen. Von den Profiteuren und Anhängern der Nuklearenergie wurde ein neuer Mythos in die Welt gesetzt: Atomkraft sei eine unabdingbare Brückentechnologie ins Solarzeitalter und unerlässlich für eine CO_2-neutrale Energieversorgung. Mit diesem Argument hat die liberal-konservative Bundesregierung den «Ausstieg aus dem Ausstieg» beschlossen. Die deutschen Atomkraftwerke sollen nun länger laufen, offiziell sind es durchschnittlich 12 Jahre, faktisch wären es wohl mehr.

Diese Entscheidung wirkt über die deutschen Grenzen hinaus als Signal. Sie stützt die Behauptung von einer globalen «Renaissance der Atomkraft». Dabei geht es weniger um Fakten – tatsächlich kann von einem Boom der Nuklearenergie keine Rede sein – als um den Versuch, die Kritiker der Atomenergie als ewig Gestrige erscheinen zu lassen, die den neuen Trend nicht mitbekommen haben. Die Auseinandersetzung um die Atomenergie ist neu eröffnet. Geblieben sind die alten Streitfragen um Uranabbau, Unfallrisiken und die Lagerung des radioaktiven Abfalls. Neu diskutiert wird die Frage, ob Atomenergie einen Beitrag gegen den Klimawandel leisten kann, ob mit ihr die Energiesicherheit wächst und wie das wachsende Risiko nuklearer Proliferation zu bewerten ist.

Vor diesem Hintergrund hat die Heinrich-Böll Stiftung namhafte Experten beauftragt, Fakten und Argumente zu den wichtigsten Mythen der Atomkraft aufzubereiten. Die Ergebnisse dieses ersten Projekts wurden 2006 in dem Sammelband *Mythos Atomkraft* publiziert, der auf große Nachfrage traf und in neun Sprachen übersetzt wurde. Die hier vorliegende Veröffentlichung ergänzt und aktualisiert diesen Band. Sie zielt nicht nur auf den Hausgebrauch, sondern auf die internationale Kontroverse um die Atomenergie.

Zunächst machen die Beiträge deutlich, dass von einer «Renaissance der Atomkraft» keine Rede sein kann. Die Zahl der Atomkraftwerke nimmt weltweit stetig ab. Aktuell sind noch 437 Reaktoren in Betrieb. In den nächsten 15-20 Jahren werden mehr alte Anlagen vom Netz gehen, als neue in Betrieb genommen werden. Angekündigt ist der Neubau von etwa 160 neuen Kraftwerksblöcken, davon allein 53 in China. Aber längst nicht alle Absichtserklärungen werden Wirklichkeit. Dafür sorgen schon die galoppierenden Kosten für neue Reaktoren.

Je stärker Strommärkte dem freien Wettbewerb geöffnet werden, desto geringer werden die Chancen der Atomkraft. Denn unterm Strich erweist sich Atomstrom als ebenso teuer wie riskant. Das zeigt Steve Thomas eindrücklich in seinem Überblick über die wirtschaftlichen Aspekte der Atomkraft. Detailliert beschreibt er die Faktoren, die die offenen und verdeckten Kosten eines Atomkraftwerkes bestimmen. Sein Fazit: Kein privatwirtschaftlich geführtes Unternehmen wagt heute den Neubau eines Atomkraftwerks ohne staatliche Subventionen und Bürgschaften. Neue Werke werden vor allem dort gebaut, wo Staat und Energiewirtschaft eine unheilige Allianz bilden. Die Gründe für die Zurückhaltung der Investmentbanken liegen auf der Hand. Die Kosten für neue Anlagen explodieren. So hat sich der Baupreis des neuen Atomkraftwerks im finnischen Olkiluoto bereits von 3 Mrd. Euro auf rund 5,4 Mrd. Euro erhöht, obwohl noch nicht einmal der Rohbau steht. Dazu kommen die ungelösten Probleme der Endlagerung, die bis dato unklaren Stilllegungskosten und die hohe Störanfälligkeit dieser Technologie. Auch neue Sicherheitsbestimmungen, wie beispielsweise der Schutz gegen terroristische Anschläge, stellen ein unkalkulierbares Kostenrisiko für die Investoren dar.

Schon bisher wurden Atomkraftwerke mit massiven öffentlichen Zuschüssen gefördert. Für Deutschland erreichen Berechnungen eine Größenordnung von über 100 Milliarden Euro. Diese Bevorzugung geht bis heute weiter. So bilden die milliardenschweren Rückstellungen für die Entsorgung des Atommülls und den Rückbau der Kraftwerke eine steuerfreie Manövriermasse der Konzerne. Und die Haftpflicht der Betreiber ist auf 2,5 Milliarden Euro begrenzt – nur ein verschwindender Bruchteil dessen, was schon bei einem mittelgroßen Atomunfall an Kosten entstehen würde.

Zu diesen bereits eingebürgerten Argumenten gegen die Atomenergie kommen neue. So wächst die Gefahr der nuklearen Proliferation im gleichen Maß, in dem neue Atomkraftwerke in aller Welt entstehen. Otfried Nassauer zeigt in seinem Beitrag wie eng die zivilen und militärischen Nutzungsmöglichkeiten der Kerntechnik miteinander verwoben sind. Es gibt keine chinesische Mauer zwischen der zivilen und der militärischen Nutzung dieser Technik, trotz aller Kontrollbemühungen der Internationalen Atomenergiekommission. Das aktuellste Beispiel ist der Iran. Wer sich ultimativ nicht kontrollieren lassen will, den kann man letztlich auch nicht zwingen.

Dass dies kein Einzelfall ist, wird durch den Beitrag von Henry Sokolski offenbar: Trotz aller Rhetorik um «Global Zero» dürfte die Zahl der Staaten mit der Fähigkeit, Atomwaffen herzustellen, in den nächsten Jahren eher steigen als sinken. Um die Proliferationsgefahr einzudämmen, schlägt der Autor jenseits einer Stärkung des globalen Nichtverbreitungsvertrags eine Reihe weiterer Schritte der internationalen Zusammenarbeit vor.

Ob die weltweiten Uranvorräte nun in 30 oder 60 Jahren erschöpft sein werden – auch Uran ist ein begrenzter Rohstoff, dessen Verknappung sich abzeichnet. Deshalb wächst mit einem Ausbau der Atomenergie die Notwendigkeit, Wiederaufbereitungsanlagen und Schnelle Brüter zu bauen, um nuklearen Brennstoff

zu erzeugen. Beides bedeutet den Einstieg in einen Plutoniumkreislauf, in dem Unmengen an hochgiftigem, bombenfähigem Spaltmaterial entstehen – eine bislang in der öffentlichen Debatte sträflich vernachlässigte Horrorvision. Letztlich gewährleistet nur der Verzicht auf die zivile Nutzung der Kerntechnik eine atomwaffenfreie Welt, weil nur unter dieser Voraussetzung zuverlässig kontrolliert werden kann, dass keine militärische Nutzung der Kerntechnik stattfindet.

In der aktuellen Diskussion spielt die Frage eine zentrale Rolle, ob die Atomenergie tatsächlich als Brücke in eine Energiezukunft mit Erneuerbaren dienen kann: Sind Atomkraftwerke kompatibel mit einem rapiden Ausbau von Windenergie, Biomassekraftwerken und Photovoltaikanlagen? Antony Froggatt und Mycle Schneider geben in ihrem Beitrag darauf eine klare Antwort. Schon eine Laufzeitverlängerung für bestehende Atomkraftwerke – und erst recht der Bau neuer Anlagen – ist eine massive Bremse für den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Die Behauptung, Atomkraft und Erneuerbare seien komplementär, ist ein weiterer Mythos. Denn sie konkurrieren nicht nur um knappes Investitionskapital und Stromleitungen; gleichzeitig begrenzen Atomkraftwerke aufgrund ihrer inflexiblen Betriebsweise das Wachstumspotenzial vor allem für Windstrom. An windreichen und verbrauchsarmen Tagen deckt das Angebot an Windenergie bereits heute einen Großteil der Stromnachfrage in Deutschland. Da die laufenden Atomkraftwerke (wie auch die großen Kohlekraftwerke) aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht kurzfristig heruntergefahren werden, muss dann der Überschussstrom mit Verlust ins Ausland exportiert werden. Ist es auch Irrsinn, so hat es doch Methode.

Atomenergie hat auch nicht das Potenzial, einen entscheidenden Beitrag für den Klimaschutz zu leisten. Zurzeit trägt sie nur etwa sechs Prozent zum weltweiten Primärenergieverbrauch bei. Um für den Schutz des Klimas relevant zu sein, wäre ein Ausbau von heute 437 auf mindestens 1.000 bis 1.500 Reaktoren erforderlich. Angesichts der Endlichkeit der Uranvorräte, der begrenzten Investitionsmittel, der Proliferationsrisiken und der ungelösten Endlagerfrage wäre ein solcher Ausbau mit inakzeptablen Kosten und Gefahren verbunden.

Wie man es dreht und wendet: Wir brauchen die Atomkraft weder für den Klimaschutz noch aus Gründen der Versorgungssicherheit. Umgekehrt wird ein Schuh daraus: Wer den Ausbau der Erneuerbaren Energien mit Zielrichtung hundert Prozent vorantreiben will, sollte sich gegen einen Neubau von Atomkraftwerken wie gegen eine Laufzeitverlängerung alter Anlagen wenden. Als Übergangsstrategie ins Solarzeitalter ist die Atomenergie untauglich.

Die energie- und klimapolitischen Weichenstellungen, die in den kommenden Jahren getroffen werden müssen, sind von enormer Tragweite für die Zukunft. Was jetzt Not tut, sind keine Mythen, sondern nüchterne Analysen und konsequente Entscheidungen für den Übergang in eine neue, nachhaltige Energiezukunft.

Wir hoffen, mit dieser Publikation einen Beitrag zur Aufklärung und Ermutigung zu leisten: Es gibt bessere Alternativen zur Atomenergie!

Wir möchten nicht versäumen, allen zu danken, die zu dieser Publikation beigetragen haben. Neben den Autoren sind das vor allem Jan Seifert, der die Anfänge des Projekts betreut hat, Dorothee Landgrebe, Ökologiereferentin der Stiftung, und Eike Botta, die mit großer Energie dafür gesorgt haben, dass es abgeschlossen werden konnte.

Berlin, im Sommer 2010

Ralf Fücks
Vorstand der Heinrich-Böll-Stiftung

ANTONY FROGGATT UND MYCLE SCHNEIDER

Energiestrategien für die Zukunft: Verhindert Atomkraft den nötigen Systemwechsel?

Wir wissen, das Land, dem es gelingt, die Kraft umweltfreundlicher, erneuerbarer Energien nutzbar zu machen, wird das 21. Jahrhundert anführen.
Barack Obama in seiner Rede zur Lage der Nation, Februar 2010

1 Einleitung

Die Rede, die US-Präsident Obama am 16. Februar 2010 in Maryland hielt[1], weist die Richtung. In Zukunft, so Obama, «werden wir Hybridfahrzeuge mit erneuerbaren Energien aufladen und damit auch energieeffiziente Wohn- und Geschäftsgebäude versorgen». Außerdem werden die USA «in unserem Land entwickelte Energietechnologie ausführen, anstatt Erdöl aus dem Ausland einzuführen». Um dieses Ziel zu erreichen, so Obama, bedarf es größerer Anstrengungen: «Wir müssen fortgesetzt in moderne Biokraftstoffe und saubere Kohletechnologien investieren und gleichzeitig die Kapazitäten erneuerbarer Energien wie Wind- und Sonnenenergie ausbauen. Und wir müssen in Amerika eine neue Generation sicherer, sauberer Atomkraftwerke bauen.»

Effizienz, Erneuerbare Energien *und* Atomkraft? Frankreichs Präsident Sarkozy stimmt mit seinem amerikanischen Kollegen überein. Am 9. Juni 2009 erklärte er: «Wir werden uns den Erneuerbaren Energien zuwenden, und diese Wende wird so bedeutend sein wie jene General de Gaulles in den 1960er Jahren hin zur Atomenergie. Es geht nicht um das Eine oder das Andere. Es geht um das Eine und das Andere.»[2] Sarkozy kündigte an, für jeden für die Atomenergie ausgegebenen Euro einen für Erneuerbare Energien zu investieren. Zudem machte er die politische Zielrichtung klar. Mit dem Gleichgewicht der Investitionen sollten «ein Konsens bezüglich der Atomenergie aufrechterhalten und ihre Gegner dazu gebracht werden, sie zu tolerieren».[3] Die seit 65 Jahren als «Franzö-

1 Rede des Präsidenten zum Thema Energie in Lanham, Maryland, am 16.2.2010, http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-energy-lanham-maryland

2 *Le Monde*, 9.6.2010. Tatsächlich brachte nicht de Gaulle das erste große Atomenergieprogramm Frankreichs auf den Weg, sondern 1974 der damalige Premierminister Messmer.

3 Ebd. Man sollte hinzufügen, dass der «Konsens» über die Atomkraft nie ein Konsens der öffentlichen Meinung war, sondern eher eine Übereinkunft der großen politischen Parteien.

sische Atomenergiekommission» (CEA) bekannte Institution wurde in «Kommission für Atom- und alternative Energie» (Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives) umbenannt.

Atomkraft als «Brückentechnologie»? Die deutsche CDU-FDP-Koalition hat angekündigt, die Laufzeit der 17 verbleibenden Atomkraftwerke über das, was in der noch gültigen Gesetzgebung zum stufenweisen Abbau der Atomenergie festgelegt ist, hinaus zu verlängern. Die Koalitionsvereinbarung der Regierungsparteien sieht vor, den «Löwenanteil» der so entstehenden zusätzlichen Einnahmen vor allem in Erneuerbare Energien und Energieeffizienz zu investieren. Das explizite Verbot, neue Atomkraftwerke zu bauen, soll nicht angetastet werden. Was die Umsetzung dieses Übereinkommens angeht, sind Kanzlerin Merkels Regierung und ihre eigene Partei jedoch gespalten. Umweltminister Röttgen erklärte, es gehe darum, «nahezu vollständig auf Erneuerbare Energien umzustellen», und er betont, er kenne «übrigens in der Koalition keinen, der sagt: Atom ist unsere Zukunftstechnologie».[4] Röttgen will das Ende der Atomenergie bis 2030 erreichen – etwa acht Jahre später, als von der derzeitig noch gültigen Gesetzgebung vorgesehen. Er geht von einer Reaktorlaufzeit von etwa 40 Jahren aus, sowie davon, dass Erneuerbare Energien dann etwa 40 Prozent der Stromversorgung decken sollen, verglichen mit 16 Prozent heute. Der Umweltminister sagt klar: «Außerdem passen viel Atomstrom und viel Ökostrom als ökonomische Konzepte nicht zusammen».[5]

Passen sie nun zusammen oder nicht? Deutschland ist wahrscheinlich der interessanteste Fall, was die Analyse potenziell komplementärer oder gegensätzlicher Aspekte von Atomenergie einerseits und Energieeffizienz und Erneuerbarer Energien andererseits anbelangt. Der mächtige Verband kommunaler Unternehmen (VKU) vertritt 1.350 kommunalwirtschaftliche Unternehmen in den Bereichen Energie, Wasser und Entsorgung, die über die Hälfte der deutschen Endverbraucher mit Strom und Heizenergie beliefern. Mit Sorge betrachtet VKU-Hauptgeschäftsführer Hans-Joachim Reck die einseitig geführte Debatte über die Verlängerung der Laufzeiten deutscher Atomkraftwerke und erklärte in einer Pressemitteilung: «Die negativen Implikationen für den Wettbewerb sowie für den Umbau des Energiesystems in Richtung Dezentralität und Erneuerbarer Energien werden völlig ausgeblendet. (…) Es ist kontraproduktiv, Investitionen der Stadtwerke in eine effiziente und zukunftsgerichtete Energieerzeugung zu entmutigen.»[6] Zurzeit befänden sich kommunale Investitionen in Kraftwerke in der Größenordnung von 6,5 Milliarden Euro in Genehmigung und Planung, die nun auf den Prüfstand müssten. Selbst bereits realisierte Projekte und Bestandsanlagen seien konkret in ihrer Wirtschaftlichkeit gefährdet, so der VKU.

---

4 *Frankfurter Rundschau*, 19.2.2010, http://www.fr-online.de/in_und_ausland/wirtschaft/debatte_die_energie_der_zukunft/?em_cnt=2331965&

5 Ebd.

6 VKU, Pressemitteilung 2/10, 19. Januar 2010. http://www.presseportal.de/pm/6556/1546921/verband_kommunaler_unternehmen_e_v

Viele systemrelevante Fragen der Kompatibilität des zentralistischen Ansatzes der Atomenergie mit der dezentralen Strategie von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien sind bislang noch nicht gründlich untersucht. Was sind die Folgen für die Netzentwicklung? Wie beeinflussen Alternativen hinsichtlich der Netzeigenschaften die Investitionsstrategien? Inwieweit ist die Betriebsgröße mitverantwortlich für strukturelle Überkapazitäten und somit für fehlende Anreize, größere Energieeffizienz herzustellen? Wie beeinflussen Subventionen die langfristigen Entscheidungsprozesse? Werden Großkraftwerke mit Erneuerbaren Energien dieselben systemischen Effekte produzieren wie große Kohle- oder Atomkraftwerke?

Eine erfolgreiche Energiepolitik muss dem Energiedienstleistungsbedarf der Menschen besser gerecht werden, als in der Vergangenheit geschehen, denn ein vermehrter Wettbewerb um endliche fossile Brennstoffe wird zu höheren Energiepreisen für alle führen. Zu lange haben energiepolitische Maßnahmen auf «Versorgungssicherheit» bei Öl, Gas und Kilowattstunden abgezielt, statt den Zugang zu bezahlbaren, stabilen und nachhaltigen Dienstleistungen wie warmes Essen, Heizung und Kühlung, Beleuchtung, Kommunikation, Mobilität und Drehmoment in den Vordergrund zu stellen.

Das Ergebnis ist bekannt. Selbst in Industrieländern mit einem hohen Anteil an Atomenergie wie den USA, Frankreich oder Großbritannien ist durch hohe Energiekosten verursachte Armut zu einem ernsten Problem geworden und steigt rapide an. Sogar eine neue Abkürzung wurde dafür geprägt: EWD – «Excess Winter Deaths» (erhöhte Sterblichkeit im Winter). Ein europäisches Projekt[7] hat gezeigt, dass die Anzahl der Menschen, die im Winter sterben, weil sie es sich nicht leisten können, ihr Zuhause ausreichend zu heizen, statistisch signifikant ist. Die EWD-Rate beläuft sich mittlerweile auf zwischen zehn Prozent in Paris und bis zu dreißig Prozent in Glasgow. Man schätzt, dass in Großbritannien jeden Winter 15.000 Menschen aufgrund von Energiearmut sterben. Im Nuklearland Frankreich geben fast acht Millionen Haushalte – das sind 28 Prozent – über zehn Prozent ihres Einkommens für Energie (inkl. Transport) aus. Etwa drei Millionen französische Familien haben Anspruch auf den sogenannten «Tarif für Grundbedürfnisse», das heißt auf verbilligte Energiepreise für einkommensschwache Familien.

Es ist offensichtlich, dass die Atomenergie nicht zu einem für alle verfügbaren, gerechten Zugang zu Energiedienstleistungen geführt hat. Aber ist eine Nuklearstrategie sogar kontraproduktiv für die Entwicklung einer Zukunft umweltfreundlicher Energiedienstleistungen auf Basis von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien? Viel deutet darauf hin, dass eben dies der Fall ist. Das *Time Magazine* kommentierte Barack Obamas Entscheidung, der Atomindustrie Kreditbürgschaften zu gewähren, wie folgt: «Letztlich könnte eine übermäßige Freigebigkeit der Regierung zu einer Art Wiedergeburt der Atomkraft führen –

7 European Fuel Poverty and Energy Efficiency (EPEE), siehe http://www.precarite-energetique.org/

jedoch um den Preis, bessere Lösungen in den Kinderschuhen stecken zu lassen oder ihre Geburt gleich ganz zu verhindern.»[8]

Atomenergie kontra Erneuerbare Energien

Amory Lovins[9]: «Die Atomenergie ist jedoch so ziemlich das am wenigsten probate Mittel: Zwar spart man Kohlenstoff ein – *allerdings zwei- bis zwanzigmal weniger pro Dollar und zwanzig- bis vierzigmal weniger pro Jahr, als wenn man ihre überlegenen Mitbewerber kauft.*»

Bill Keepin und Gregory Kats[10]: Eine Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrads ist in den USA für die Minderung der CO_2-Emissionen fast siebenmal kosteneffektiver als die Atomkraft.

Die Umweltorganisation **Environment California**[11]: «Pro Dollar, der während der Lebenszeit der Technologie ausgegeben wird, vermeiden Energieeffizienz und Biomasse-Zufeuerung im Vergleich zur Atomkraft das Fünffache an Kohlendioxid-Emissionen, im Vergleich zur Kraft-Wärme-Kopplung mehr als das Dreifache.»

Die Warwick Business School[12]: Da die Atomkraft anderen kohlenstoffarmen Technologien das Wasser abgräbt, ist sie mit ihnen unvereinbar. Dies widerlegt die Behauptung, alle kohlenstoffarmen Technologien ließen sich, um Kohlendioxid-Emissionen zu reduzieren, harmonisch miteinander verbinden. Das Gegenteil ist der Fall: Die Regierung muss wählen zwischen einer atomaren Zukunft und einer Zukunft, die von Erneuerbaren Energien und mehr Energieeffizienz bestimmt wird.

Duke University[13]: «Die Photovoltaik ist zu einer weiteren günstigen Alternative zu neuen Atomkraftwerken geworden.» John O. Blackburn, Professor of Economics.

8 *Time Magazine*, 18. Februar 2010.

9 Amory Lovins: «Proliferation, Oil, And Climate: Solving For Pattern». Lovins erweiterte Fassung seines am 17. Januar 2010 in *Foreign Policy* erschienenen Aufsatzes «Proliferation, Climate, And Oil: Solving For Pattern».

10 B. Keepin und G. Kats, «Greenhouse Warning. Comparative Analysis of Nuclear and Efficient Abatement Strategies», *Energy Policy*, Dezember 1988, Bd. 15, Nr. 6, S. 38-61.

11 Travis Madsen, Tony Dutzik, Bernadette Del Chiario und Rob Sargent: *Environment California: Generating Failure: How Building Nuclear Power Plants Would Set America Back in the Race Against Global Warming*, November 2009.

12 Warwick Business School, 2006: *New Nuclear Power: Implications for a Sustainable Energy System*, Catherine Mitchell und Bridget Woodman, März 2006.

13 Diana S. Powers: «Nuclear Energy Loses Cost Advantage», *New York Times*, 26. Juli 2010.

2 Überblick und Trends

Der Energiebedarf und die Auswirkungen einer Welt mit begrenzten Kohle- und Ressourcenvorräten

Der Energiesektor hat sich in den vergangenen Jahren in bisher nie da gewesener Weise verändert. Die Märkte zeigten sich extrem unbeständig, vor allem der Markt für Erdöl – was sich aber auch auf die Märkte für andere Energiequellen auswirkte. Mitte 2008 kostete ein Barrel Öl fast 150 US-Dollar und damit achtmal mehr als nur ein Jahrzehnt zuvor. Innerhalb weniger Monate jedoch führte dies weltweit zu wirtschaftlichen Problemen, was die Preise auf etwa 30 Dollar pro Barrel abstürzen ließ. Die globale Rezession hat den Verbrauch sämtlicher Energieträger zurückgehen lassen. Erstmals seit Ende des Zweiten Weltkriegs fiel 2009 der globale Stromverbrauch.

Traditionelle «Prognosen» des Energieverbrauchs gehen jedoch weltweit von einer erheblichen Steigerung aus, vor allem durch die wachsenden Volkswirtschaften in Asien, insbesondere China und in geringerem Maß Indien. Die Internationale Energieagentur (IEA) geht im Referenzszenario ihres World Energy Assessment 2009 davon aus, dass der weltweite Energiebedarf bis 2030 um 40 Prozent steigen wird. Dieser Prognose zufolge würde sich der Energieverbrauch Chinas zwischen 2007 und 2030 verdoppeln, während er in der EU nur um ein und in den Vereinigten Staaten um weniger als fünf Prozent zunehmen würde. Das Referenzszenario der IEA ist nicht nachhaltig, es ist eine Fortschreibung aktueller nationaler Energiepolitik. Es gibt keinen Zweifel, dass eine derartige Entwicklung zu beispiellosen, katastrophalen Veränderungen in der Atmosphäre führen würde. Laut IEA würde «die CO_2-Konzentration gemäß Referenzszenario zu einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um bis zu sechs Grad Celsius führen».[14]

Doch die Auswirkung auf das Klima ist nicht das einzige und nicht einmal unbedingt das dringendste Problem, das mit der Verwirklichung des Referenzszenarios einhergehen würde. Es ist vielmehr die Frage der mittelfristigen Verfügbarkeit geeigneter Ressourcen, die damit verbundene Auswirkung auf die physische Verfügbarkeit und die Preise für die Verbraucher, vor allem für flüssige Brennstoffe. In den letzten Jahren hat die IEA ihre Schätzungen für den Bedarf an Erdöl im Jahre 2030 gesenkt. Im *World Energy Outlook 2004* rechnete man noch mit einem Wachstum des globalen Ölbedarfs von 1,6 Prozent pro Jahr – was für 2030 121 Millionen Barrels pro Tag ergaben. Aktuell hingegen geht man von einem jährlichen Zuwachs von einem Prozent aus, was für 2030 105 Millionen Barrels pro Tag ergibt. Insbesondere für die OECD-Länder hat die IEA die Prognose für 2009 im Vergleich zu der von 2004 um 17 Millionen Barrel pro Tag gesenkt. Allerdings lässt wegen des insgesamt wachsenden Verbrauchs (derzeit 76 Millionen Barrel/Tag) auch die niedrigere Zahl fraglich erscheinen, ob dann

14 IEA: *World Energy Outlook 2009*, International Energy Agency, S. 44, November 2009.

genügend Ressourcen zur Verfügung stehen. Eine Berechnung des britischen Energy Research Centre von 2009 ergab, dass die Förderung auf Ölfeldern, die ihre Produktionsspitze überschritten haben, weltweit um durchschnittlich mindestens 6,5 Prozent pro Jahr zurück geht, die Fördermenge auf allen derzeit Öl liefernden Feldern zusammen um mindestens vier Prozent pro Jahr. Um das derzeitige Förderniveau aufrecht zu erhalten, wären demnach jährlich drei Millionen Barrel pro Tag an neuer Kapazität erforderlich; das entspricht der Produktion von Saudi-Arabien in drei Jahren.[15]

Das derzeitige Energiesystem und die Politik, die es prägt, sind demnach, vom Standpunkt der Versorgungs- und Klimasicherheit, alles andere als nachhaltig. Unabhängig davon, welches Energiesystem man ins Auge fasst, sind neue Investitionen nötig, um den vorhergesagten Bedarf zu befriedigen, um neue Energiequellen zu erschließen und Infrastruktur und Produktionsanlagen zu ersetzen. Die IEA geht für den Zeitraum 2008 bis 2030 von einem Investitionsvolumen von etwa 26 Billionen US-Dollar aus. Das entspricht jährlich 1,1 Billionen Dollar – das sind 1,4 Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukt pro Jahr. Mehr als die Hälfte dieses Geldes würde für den Stromsektor gebraucht. Die IEA hat auch ein wichtiges Szenario ausgearbeitet, nach dem die Emissionen so reduziert würden, dass sich das Zwei-Grad-Ziel erreichen ließe. In diesem «450-Szenario» ist das Investitionsvolumen beträchtlich höher – um 10,5 Billionen Dollar. Allerdings rechnet die IEA auch damit, dass dies bis 2030 zu einer Verringerung der Energiekosten von etwa 8,6 Billionen und zu Gesamteinsparungen über die Lebensdauer der Anlagen von 17 Billionen Dollar führen wird.

Klar ist, es müssen neue Wege beschritten werden, um einen zukunftsfähigen und sicheren Energiesektor zu schaffen. Die derzeitige Politik und die Trends der Märkte in aller Welt müssen sich radikal und rasch verändern. Langfristig ist eine kohlenstoffarme und umweltsichere Energiewirtschaft nicht nur möglich, sie ist auch günstiger als der Versuch, weiterzumachen wie gehabt. Allein der Umstieg von einer stark umweltschädlichen Energiequelle auf eine, die weniger schädlich ist, wird die Energiewirtschaft nicht zukunftsfähig machen. Notwendig ist ein neues, ein erheblich effizienteres System, das nicht nur die Nutzung von Energie stark verbessert, sondern auch deren Erzeugung, Umwandlung und Übertragung.

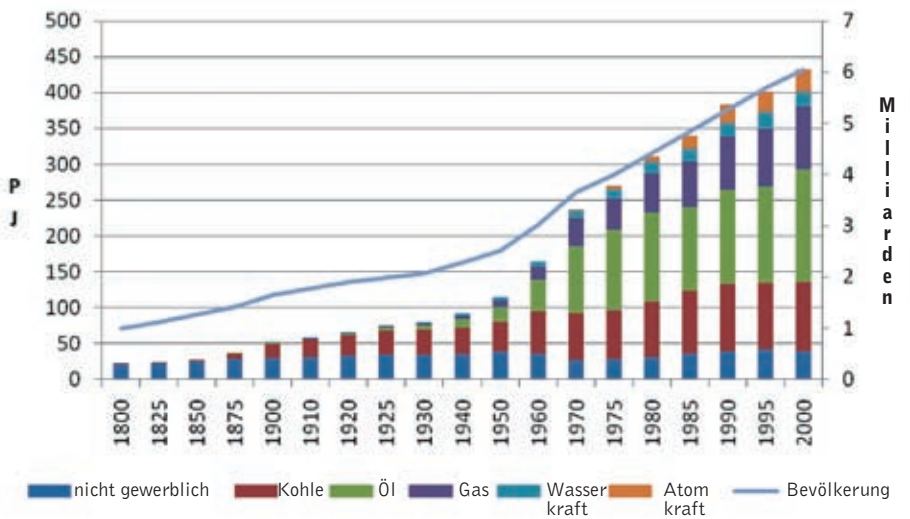
Das Energieangebot umbauen

Der weltweite Energieverbrauch steigt, da die Bevölkerung wächst und der Pro-Kopf-Verbrauch zunimmt. Auf der folgenden Grafik ist zu sehen, in welchem Maß der Energieverbrauch in den letzten beiden Jahrhunderten gestiegen ist – er hat sich zwischen 1800 und 1900 verdoppelt und ist in den letzten 100 Jahren um das Achtfache gewachsen. Die IEA und andere haben angemerkt, dass sich dieser

15 UKERC 2009: *Global Oil Depletion, An Assessment of the Evidence for a Near Term Peak in Global Oil Production*, August 2009.

Trend fortsetzen wird, da sich die weniger entwickelten Länder darum bemühen, den Lebensstandard ihrer Bevölkerung zu heben und eine wenigstens grundlegende Versorgung mit Energiedienstleistungen sicherzustellen. Derzeit hat etwa ein Viertel der Weltbevölkerung keinen Zugang zu Energiedienstleistungen auf Strombasis, und in den OECD-Ländern wird pro Kopf fünfmal so viel Energie verbraucht wie in den Entwicklungsländern. Die Grafik zeigt ferner das Ausmaß, in dem auf dem Markt gehandelte fossile Brennstoffe – Kohle, Gas und Erdöl – zu diesem Wachstum beigetragen haben. Zwar ist die Weltbevölkerung in den letzten Jahren nur noch um 1,3 Prozent pro Jahr gewachsen, die UNO rechnet aber damit, dass sie erst nach dem Jahr 2200 mit zehn Milliarden Menschen (heutige: sechs Milliarden) ihr größtes Ausmaß erreichen wird.[16]

Abb. 1: Zunahme des globalen Energiebedarfs
Quelle: Arnulf Grübler, 2008.[17]



Die historische und vorhergesagte Entwicklung Erneuerbarer Energien

Erneuerbare Energie war Jahrhunderte lang die Hauptenergiequelle der Menschheit, ursprünglich durch die Verbrennung von Biomasse – vor allem Holz –, später auch durch die Nutzung von Wasser- und Windkraft. In den letzten Jahrhunderten ging, mit dem Aufkommen fossiler Energieträger, die Abhängigkeit von Erneuerbaren Energien jedoch stetig zurück. Fossile Brennstoffe, vor allem in Form von Kohle, Erdöl und schließlich Gas, ermöglichten eine beispiel-

16 UN 2004: Six Billion. http://www.un.org/esa/population/Publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf

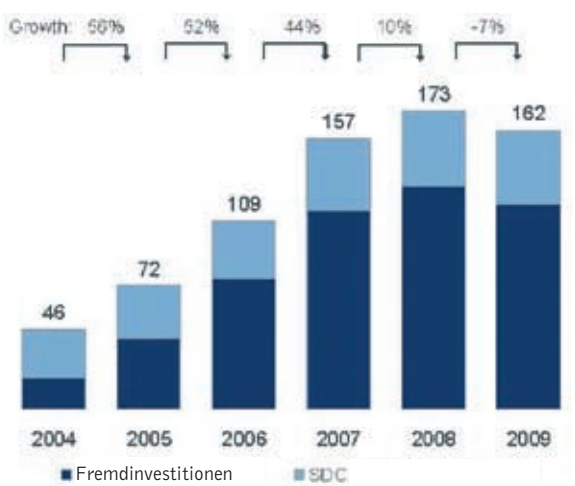
17 Arnulf Grübler: «Energy transitions» in: *Encyclopedia of Earth*. Hg.: Cutler J. Cleveland (Washington, DC: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment) 2008.

lose Freisetzung von Energie. Der Grund ist die relativ hohe Energiedichte dieser Stoffe, weshalb der Verbraucher, trotz der bei Umwandlung und Transport verbrauchten Energie, große Mengen nutzbarer Energie erhält.

Jedoch ist in den letzten Jahren in gewissen Regionen und Sektoren eine Umkehr dieses Trends zu beobachten. Am bemerkenswertesten ist dabei die Energiewirtschaft der EU. In Europa wurden 2009 13 Milliarden Euro in Windenergie investiert, womit Windkraftanlagen 39 Prozent der neuen Kraftwerkskapazitäten ausmachten. Für das zweite Jahr in Folge wurde mehr in Windkraft investiert als in jede andere Energietechnologie. 2009 flossen 61 Prozent aller neuen Investitionen in Anlagen für Erneuerbare Energien. Die Energiewirtschaft der EU bewegt sich weg von Kohle, Öl und Atomkraft; in jedem dieser Bereiche werden weiterhin mehr Anlagen stillgelegt, als ans Netz angeschlossen.[18]

Abbildung 2 zeigt, dass sich im weltweiten Stromsektor eine ähnliche Entwicklung abzeichnet. 2009 flossen fast 162 Milliarden US-Dollar in Quellen für Erneuerbare Energie (aufgrund der weltweiten Wirtschaftskrise ein Rückgang von sieben Prozent gegenüber den Rekordzahlen von 2008). Dennoch handelte es sich dabei um die zweithöchste Investitionssumme innerhalb eines Jahres (und um das Vierfache dessen, was 2004 ausgegeben wurde). Zudem übertrafen – das zweite Jahr in Folge – die Investitionen für nachhaltige Energieproduktion jene, die in fossile Kapazitäten flossen.

Abb. 2: Neuinvestitionen in saubere Energie nach Bereichen: 2004-2009 (in Milliarden US-Dollar)



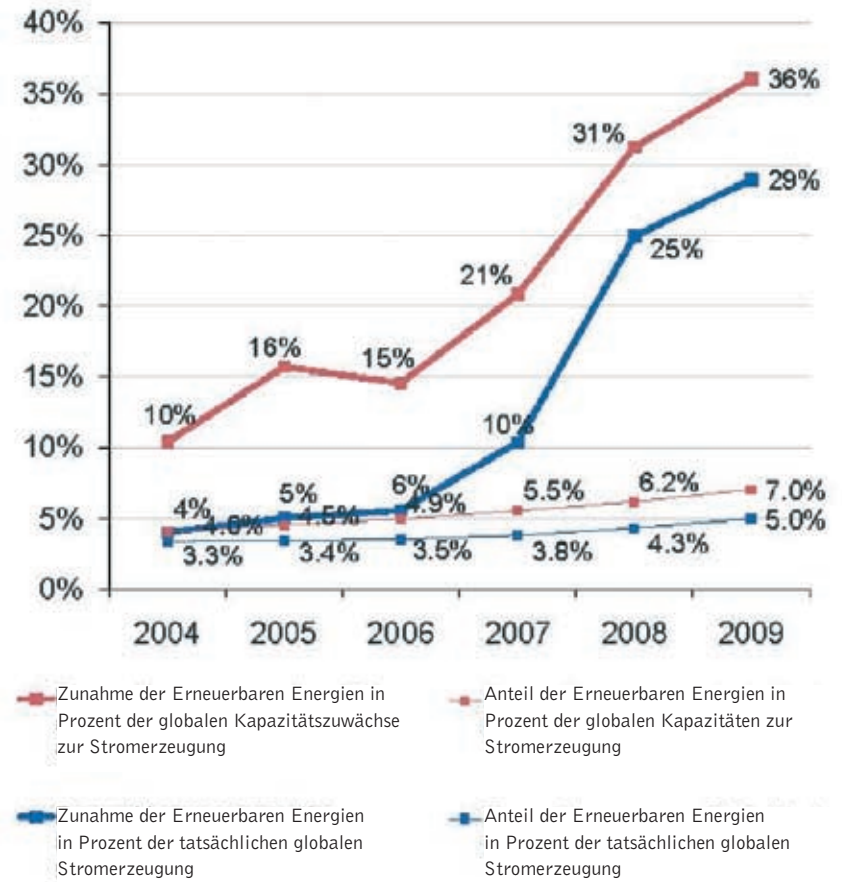
Quelle: UNEP u.a.: *Global Trends in Sustainable Energy Investment*, 2010[19]

18 EWEA: *More Wind Power Capacity Installed Last Year in the EU Than Any Other Power Technology*, European Wind Energy Association, Februar 2010.

19 SDC = small distributed capacity, d.h. kleine, verteilte Kapazitäten. In den neuen Investitionsvolumen berücksichtigt ist reinvestiertes Firmenkapital. In die Gesamtwerte mit einberechnet sind Schätzungen für nicht offengelegte Vertragsabschlüsse (Quelle: *New Energiy Finance*).

Wie Abbildung 3 zeigt, entfielen 36 Prozent der neu installierten Stromkapazitäten auf Erneuerbare Energien (Großwasserkraft ausgeschlossen). Ihr Anteil an der weltweiten Stromversorgung ist jedoch mit nur fünf Prozent immer noch gering.

Abb. 3: Globale Zunahme Erneuerbarer Energie im Stromsektor (ausgenommen große Wasserkraftwerke)



Wasserkraft

Die Entwicklung und Nutzung der Elektrizität hat zu einem beträchtlichen Einsatz der Wasserkraft geführt – sie erzeugte 2009 etwa 3.200 TWh Strom pro Jahr (das entspricht 740 Millionen Tonnen Öläquivalent, mtoe) – etwa 15 Prozent aller Elektrizität. Die Kapazität von Wasserkraft beträgt 923 GW – damit hat die Wasserkraft den weitaus größten Anteil bei den Erneuerbaren Energien. Hinsichtlich der Umweltbelastungen und Akzeptanz bestehen jedoch erhebliche Unterschiede, vor allem, was die Größe der Anlagen betrifft.

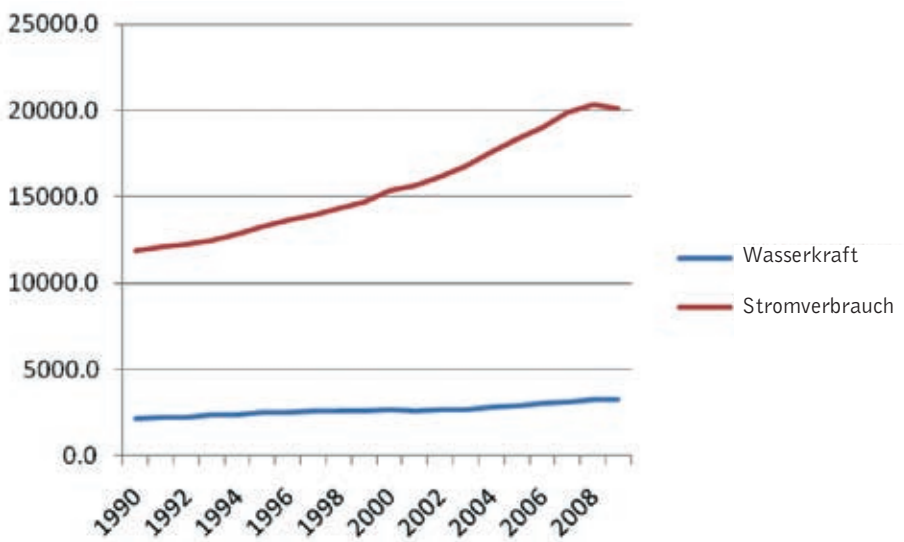
Da in gut zu erschließenden Gebieten viele große Kraftwerke bereits in Betrieb sind, hat es vor allem in Nordamerika und Europa keine bedeutsame Zunahme bei der Nutzung von Wasserkraft mehr gegeben. Tatsächlich ist seit 2000 weltweit

die Leistungskapazität der Wasserkraft nur um 20 Prozent gestiegen, d.h. um weniger als der Stromverbrauch insgesamt. Entsprechend ist seit 2000 der Anteil der Wasserkraft am Weltstromverbrauch um 17 Prozent gesunken. Im Referenzszenario der IEA wird die Stromerzeugung durch Wasserkraft bis 2030 um etwa 50 Prozent zunehmen, ihr relativer Beitrag aber auf nahezu 14 Prozent sinken. Selbst im «450-Szenario» nimmt sie bis 2030 lediglich etwa 19 Prozent ein.

Auch Szenarien anderer Organisationen gehen davon aus, dass der Anteil von Wasserkraft nicht oder kaum zunehmen wird. Greenpeace geht sogar von einem geringeren Anteil der Wasserkraft aus als die IEA.[20] Schätzungen zeigen allerdings, dass das Potenzial von Wasserkraft womöglich um vieles größer ist. Im World Energy Assessment wird ihr ökonomisches Potenzial auf ungefähr 8.100 TWh veranschlagt, ihr technisches Potenzial auf etwa 14.000 TWh und ihr theoretisches Potenzial auf etwa 40.000 TWh.[21] Wollte man diese Kapazitäten ausschöpfen, hätte dies jedoch weitreichende, nicht hinnehmbare umweltpolitische und soziale Folgen. Ein gewisser Zuwachs ließe sich jedoch durch kleinere Laufwasserkraftwerke und durch die Steigerung des Wirkungsgrades bei bereits bestehenden Anlagen erreichen.

Abbildung 4 zeigt die Bedeutung der Wasserkraft. Der relative Anteil der Wasserkraft fällt.

Abb. 4: Globaler Stromverbrauch und Stromerzeugung durch Wasserkraft (in Terawattstunden)



Quelle: BP 2009[22]

20 Greenpeace: *Energy Revolution, Global Energy Scenario*, hrsg. von DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology Assessment, Eureopean Renewable Energy Council und Greenpeace International, 2008.

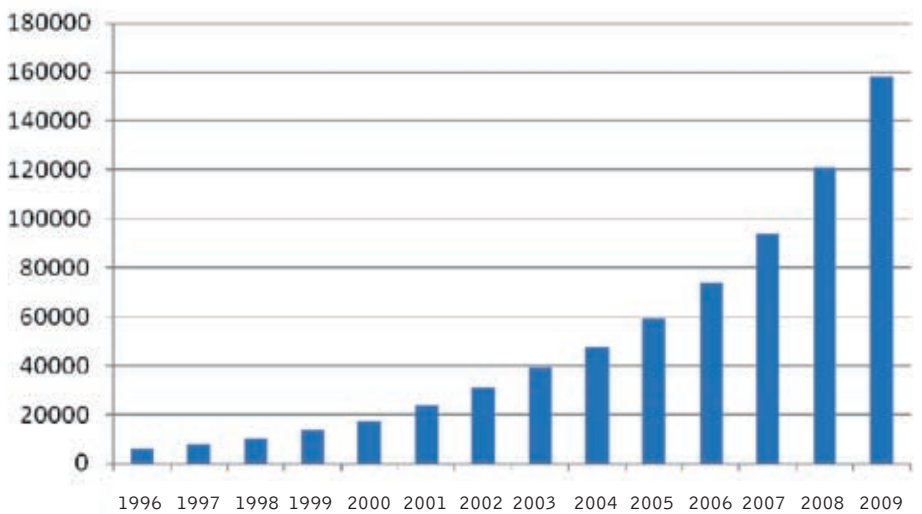
21 WEA: *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*, Kapitel 4: Energy Resources, United Nations Development Programme, 2004.

22 BP: *Statistical Review of World Energy*, Juni 2009.

Windkraft

Wie bereits erwähnt, hat die wirtschaftliche Nutzung der Windkraft in den letzten Jahren in einer Reihe von Ländern stark zugenommen. Die folgenden Grafiken zeigen sowohl die Zunahme der vorhandenen Produktionskapazitäten in den letzten zehn Jahren wie auch deren weltweite Verteilung. Im vergangenen Jahrzehnt hat das jährliche Wachstum 30 Prozent erreicht. Ein weiterer Anstieg, insbesondere durch Maßnahmen zur Energie- und Klimasicherheit, wird erwartet. Der Global Wind Energy Council (GWEC) rechnet mit einer Zunahme von 261 Twh im Jahr 2008 auf 680 TWh im Jahr 2012. Das entspräche insgesamt 42 Prozent der Verpflichtungen nach Anhang 1 der ersten Bindungsdauer des Kyoto-Protokolls. Des weiteren schätzt der GWEC, dass die Windkraft, geht man ehrgeiziger vor, 21 bis 34 Prozent der erforderlichen Emissionsreduktionen für entwickelte Länder liefern könnte. Das würde etwa eine Leistung von 1000 GW bis 2020 erfordern – weniger als nach dem derzeitigen Wachstum zu erwarten.[23] Allerdings nennen andere Prognosen wesentlich niedrigere Windkraftkapazitäten für das Jahr 2020: Die IEA rechnet in ihrem «450-Szenario» mit 650 GW, Greenpeace mit etwa 900 GW.

Abb. 5: Weltweite Windkraftkapazitäten (in Megawatt)

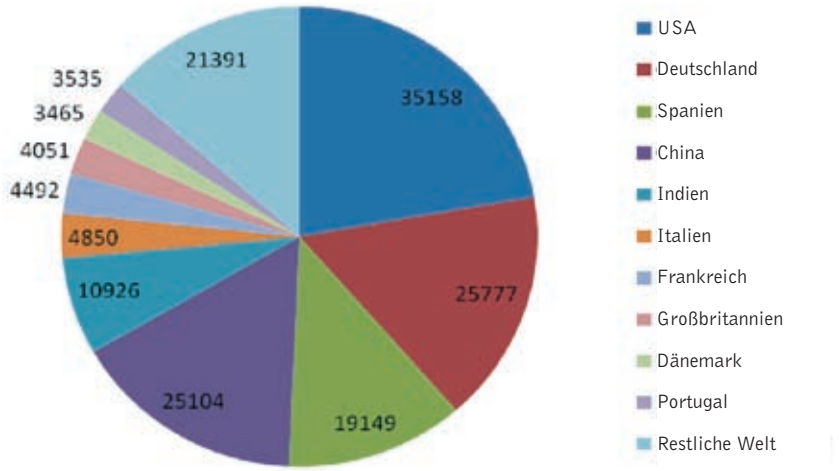


Quelle: Global Wind Energy Council, 2010[24]

23 GWEC: *Wind power is crucial for combating climate change*. Global Wind Energy Council, Dezember 2009.

24 GWEC: *Global Installed Wind Power Capacity*, Global Wind Energy Council, Februar 2010. http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_2010/Annex%20stats%20PR%202009.pdf

Abb. 6: Installierte Windkraftanlagenkapazität nach Ländern, 2008 (in Megawatt)

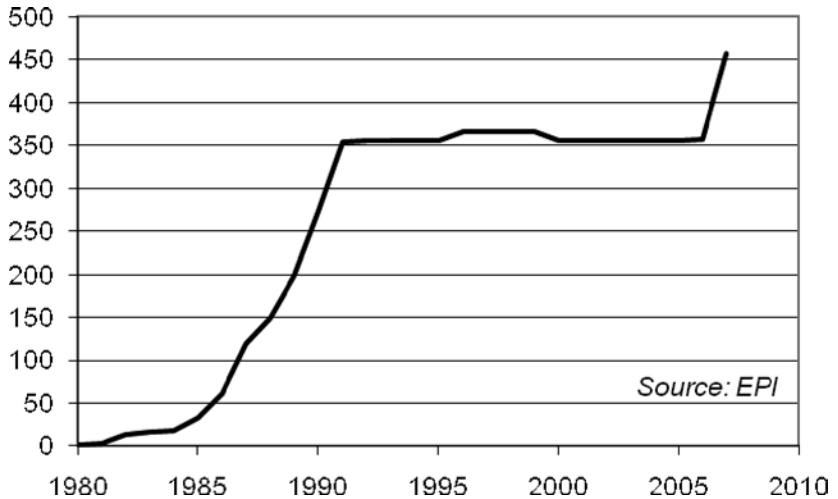


Quelle: Global Wind Energy Council, 2010

Solarenergie

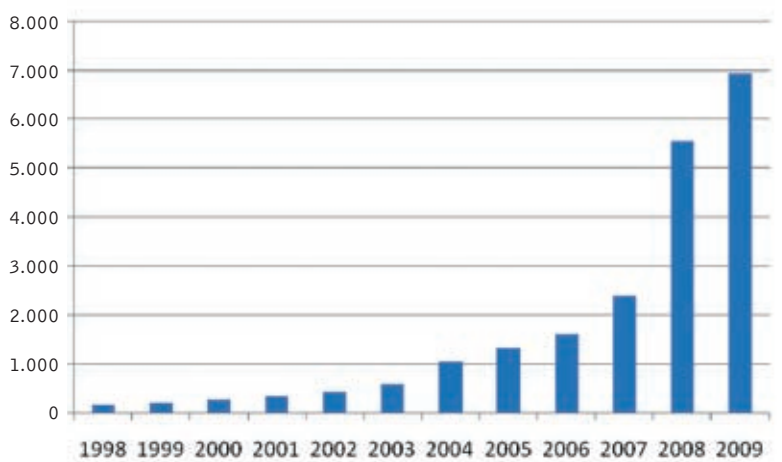
Es gibt zwei Arten von Solartechnologie, mit denen Strom erzeugt wird: thermische Solaranlagen, deren Kollektoren mit Hilfe der Sonnenwärme Dampf produzieren, welcher Turbinen antreibt, die dann auf konventionelle Art und Weise Strom erzeugen, und die Photovoltaik, die die Energie der Sonne direkt in elektrische Energie umwandelt. In wesentlich größerem Umfang wird Solarenergie auch zum Erhitzen von Wasser und zur Gebäudeheizung benutzt (Solarthermie). Die beiden Stromerzeugungstechnologien entwickelten sich unterschiedlich: Während die größeren, zentralisierten Solaranlagen bislang wirtschaftliche Höhen und Tiefen durchlebt haben (siehe Abb. 7), zeigt Abbildung 8 die relativ stetig verlaufene Entwicklung der Photovoltaik.

Abb. 7: Weltweit installierte Kapazitäten von Sonnenwärmekraftwerken, 1980-2007 (in Megawatt)



Quelle: Earth Policy Institute, 2009

Abb. 8: Weltjahresproduktion von Solarzellen, 1998-2009 (in Megawatt)



Quelle: Earth Policy Institute, 2009

In den letzten Jahren erlebte die Photovoltaik ihren Durchbruch. Technologische Fortschritte und die Inbetriebnahme größerer Produktionseinheiten haben die Preise für Photovoltaik-Module sinken lassen. Von einem Spitzenwert von sieben Dollar pro Watt in 2008 fielen die Kosten für Photovoltaik 2009 auf etwa fünf Dollar pro Watt – und bei manchen Großprojekten auf bis zu drei Dollar pro Watt.[25] Das Fallen der Preise führt zu mehr und mehr Anlagen – wodurch die

25 Ron Pernick und Clint Wilder: *Clean Energy Trends 2010*, Clean Edge 2010.

Preise noch weiter fallen. Bis vor kurzem stand Deutschland hier an der Spitze des Wachstums. 2009 wurden 3.800 MW neue Kapazität in Betrieb genommen; Ende desselben Jahres waren knapp 10.000 MW Photovoltaik-Leistung in Betrieb. Für das erste Halbjahr 2010 erwartet die Bundessnetzagentur eine Zunahme um weitere gut 3.000 MW.[26]

Andere Länder, vor allem China, Italien, Japan, Spanien und die USA, werden 2010 vermutlich für 60 Prozent des Wachstums auf dem Photovoltaik-Markt verantwortlich sein. In einem Papier von John Blackburn, Wirtschaftsprofessor an der Duke University, wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die Erzeugung von Strom durch Photovoltaik in Kürze die für die Erzeugung von Atomstrom unterschreiten werden.[27] Einem führenden britischen Hersteller von Photovoltaikanlagen zufolge wird in Großbritannien – einem Land, das nicht für üppigen Sonnenschein bekannt ist – schon 2013 Strom aus Photovoltaik zu einem Preis erzeugt werden können, der dem durchschnittlichen Strompreis entspricht.[28] Andere Quellen gehen davon aus, dieser Punkt werde in Europa nicht vor 2020 erreicht werden. Aber selbst dieses Datum entspräche noch dem frühesten Zeitpunkt, an dem ein heute in Auftrag gegebenes Atomkraftwerk ans Netz gehen könnte.

Die historische und vorstellbare Entwicklung der Atomkraft

Der erste Atomreaktor ging 1954 in der damaligen Sowjetunion ans Netz. Danach stieg die Zahl der Atomkraftwerke 35 Jahre lang, bis zum Ende der 1980er Jahre, kontinuierlich an. 1989 waren weltweit 424 Atomkraftwerke in Betrieb. Ein historischer Höhepunkt wurde 2002 mit 444 Einheiten erreicht, fünf mehr als Mitte 2010. Im August 2010 führte die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) 61 Reaktoren als im Bau befindlich auf. Von diesen haben 13 seit über 20 Jahren diesen Status; bei fast der Hälfte kam es zu erheblichen Verzögerungen.[29] 2008 war das erste Jahr seit Beginn der kommerziellen Nutzung der Atomenergie, in dem kein neuer Block ans Netz ging. In den drei Jahren zwischen August 2007, als nach 24 Jahren Bauzeit das rumänische Atomkraftwerk Cernavoda-2 ans Netz ging, und Ende Juli 2010, wurden nur fünf neue Reaktoren angefahren (je einer in China, Japan und Russland sowie zwei in Indien), während fünf Einheiten in den Jahren 2008 und 2009 vom Netz gingen. Trotz umfangreicher «Leistungssteigerungen» ist auch die installierte Gesamtkapazität etwas gesunken.[30]

---

26 Pressemitteilung der Bundesnetzagentur vom 27. Juli 2010.

27 Diana S. Powers: «Nuclear Energy Loses Cost Advantage», *New York Times*, 26. Juli 2010.

28 Jeremy Leggett: «I accept George Monbiot's £100 solar PV bet», *The Guardian*, 9. März 2010.

29 Für eine detaillierte Analyse siehe Mycle Schneider u.a.: *The World Nuclear Industry Status Report 2009*, im Auftrag des deutschen Umweltministeriums, August 2009, verfügbar in Englisch und Deutsch unter http://www.bmu.de/english/nuclear_safety/downloads/doc/44832.php

30 Kapazitätssteigerung bei existierenden Anlagen mithilfe technischer Mittel (Austausch von Dampfgeneratoren, Turbinensanierung etc.).

Im Jahr2009 erzeugten die 370 GW an Nuklearkapazität etwa 2.600 TWh Strom. Das sind ungefähr 13 Prozent der kommerziell erzeugten Elektrizität oder 5,5 Prozent der kommerziellen Primärenergie oder zwischen zwei und drei Prozent der Endenergie in der Welt – und alle diese Anteile sinken.[31]

Trotz des realen, effektiven Rückgangs der Rolle der Atomkraft werden die Wachstumsprognosen der IAEA und der Internationalen Energieagentur (IEA) immer optimistischer. Die IAEA rechnet bis 2030 in ihrem «pessimistischen» Szenario mit 473 GW an Nuklearkapazität und in ihrem «optimistischen» mit bewundernswerter Genauigkeit gar mit 747,5 GW. Die IEA kommt in ihrem «450-Szenario» zur Stabilisierung des Klimas zu dem Schluss, dass die derzeitige Kapazität der Atomkraftwerke bis 2030 mehr als verdoppelt werden müßte. Die IEA schreibt:

> *Eine Renaissance der Atomenergie ist möglich, kann jedoch nicht über Nacht erfolgen. Atomenergieprojekte haben mit erheblichen Hürden zu kämpfen, unter anderem mit langen Bauzeiten und damit verbundenen Risiken, langen Genehmigungsprozessen und Arbeitskräftemangel sowie mit «alten» Fragen wie Entsorgung, Proliferation und Widerstand vor Ort. Die Finanzierung neuer Atomkraftwerke war vor allem in liberalisierten Märkten immer schwierig, und die Finanzkrise dürfte dieses Problem noch verschärft haben. Wegen des immensen Kapitalbedarfs, verbunden mit Risiken der Kostenüberschreitung und regulatorischen Unsicherheiten, neigen Investoren und Geldgeber selbst bei einem starken Wachstum des Bedarfs zu großer Vorsicht.*[32]

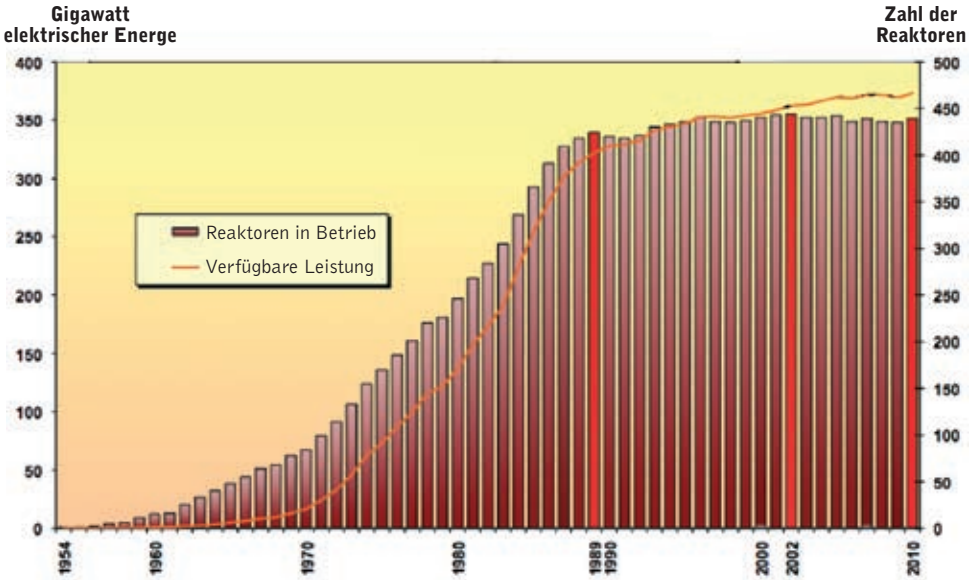
Weder die IAEA noch die IEA zeigen, wie sich diese «erheblichen Hürden» überwinden ließen. Der in Basel ansässige Think-Tank Prognos[33] verweist in einem kürzlich veröffentlichten Bericht darauf, dass sich die Zahl der in Betrieb befindlichen Reaktoren, verglichen mit dem Niveau vom Frühjahr 2009, bis 2030 eher um 29 Prozent verringern wird. Prognos schätzt, dass nur 35 Prozent der von der World Nuclear Association bis 2030 angekündigten Projekte realisiert werden – das ist nicht genug, um die Zahl der Reaktoren, die aus Altersgründen vom Netz gehen werden, zu kompensieren.

31 Wir benutzen die Bezeichnung «kommerziell», da in Statistiken in der Regel die nicht ans Netz angeschlossene Leistung sowie die nichtkommerzielle Biomasse, die in vielen Teilen der Welt einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung leisten, nicht berücksichtigt werden.

32 IEA: *World Energy Outlook 2009*, Paris 2009, S. 160.

33 Matthias Deutsch u.a.: *Renaissance der Kernenergie?*, im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS), Berlin/Basel, September 2009.

Abb. 9: Atomreaktoren und ihre Leistung weltweit 1954-2010 (in Gigawatt)

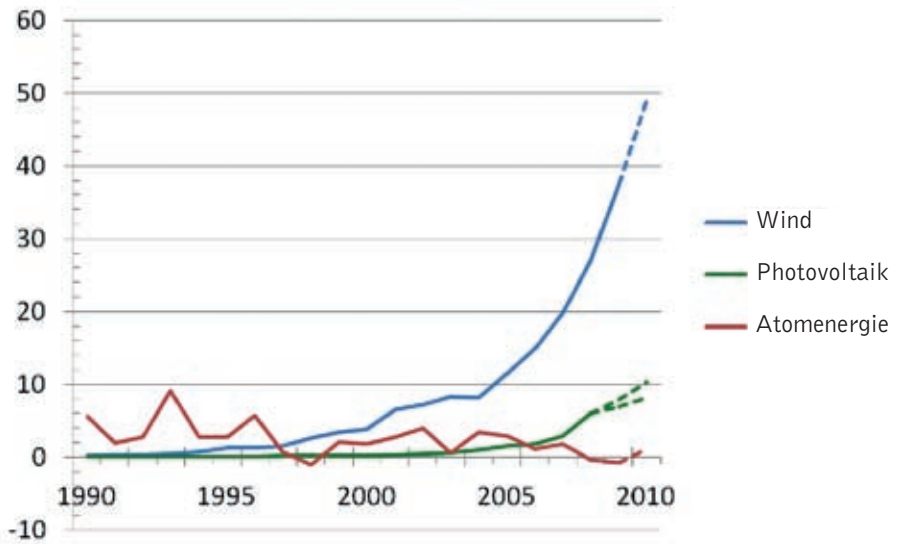


© Mycle Schneider Consulting
Quellen: IAEA-PRIS, MSC, 2010

Vergleich der Atomenergie und der Erneuerbaren Energien

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen den Nettozuwachs der neuen Erneuerbaren Energien (ausgenommen große Wasserkraftanlagen) und der Atomenergie sowie die Beiträge aller sogenannter «kohlenstoffarmen» Energiequellen zum globalen Strommix. Obwohl diese Zahlen auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinen mögen, sind sie doch zwei Seiten ein und derselben Medaille. Abbildung 10 zeigt den jährlichen Nettozuwachs im weltweiten Stromnetz im Verlauf des letzten Jahrzehnts. Wegen der geringen Anzahl, der relativen Größe der einzelnen Kraftwerke und der Stilllegung von Reaktoren weist der Trend für die Atomenergie keine eindeutige Gesamtrichtung auf; er ließe sich jedoch, zu Beginn des Zeitraums, zu einer durchschnittlichen zusätzlichen Nettokapazität von etwa zwei GW pro Jahr summieren, im Vergleich zu einer weltweit installierten Kapazität von 370 GW. Allerdings stagniert bzw. sinkt diese Menge seit 2005. Die installierte Windkraftkapazität hingegen stieg über den gesamten Zeitraum um durchschnittlich über zehn GW pro Jahr. Der jährliche Kapazitätszuwachs nahm stetig zu und erreichte 2009 über 37 GW.

Abb. 10: Weltweite Nettozuwächse für Erneuerbare Energien und Atomkraft, 1990-2010 (in Gigawatt)

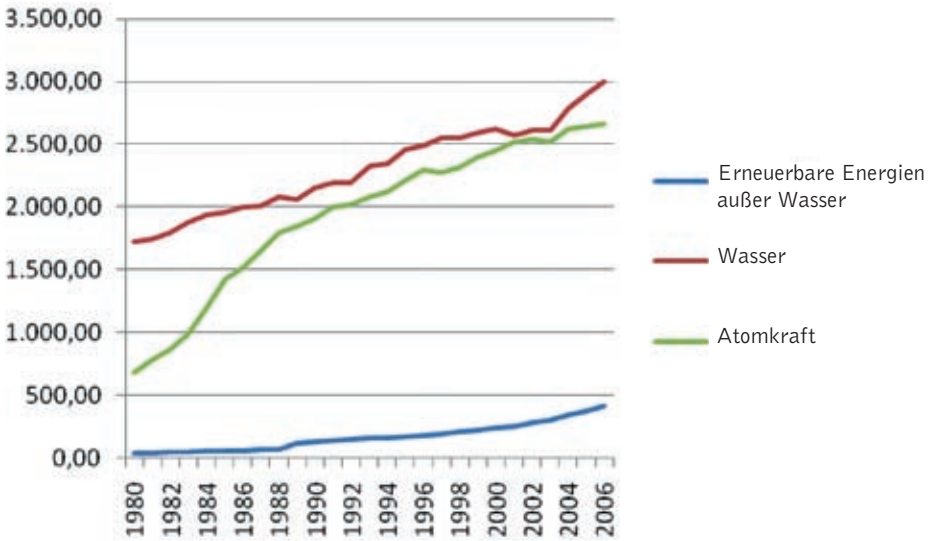


Quelle: Amory Lovins, 2010[34]

Es ist jedoch von Bedeutung, auch die tatsächliche, aus den verschiedenen nichtfossilen Brennstoffquellen erzeugte Elektrizität zu betrachten (Abbildung 11). Hier zeigt sich, dass trotz des Wachstums der neuen Erneuerbaren Energien in den letzten Jahren ihr Beitrag im Vergleich zu dem der Atomkraft und der Großwasserkraft noch gering ist. Diese Situation wird sich ändern. Die IEA geht davon aus, dass die Nutzung von Wasserkraft bis 2030 die derzeitige Kapazität der Atomkraft um das Doppelte übersteigen wird, während die Windkraft ebenso wie andere Erneuerbare Energiequellen dieses Niveau bis dahin erreichen werden.[35]

34 Amory Lovins in einer Mitteilung an den Autor.
35 IEA: *World Energy Outlook 2009*, Tabelle 9.2, S. 324.

Abb. 11: Stromerzeugung aus nichtfossilen Brennstoffen



Quelle: Earth Policy Institute, 2009

3 Systemfragen

> *Sie wollen den Leuten weismachen, man brauche die Atomenergie in der Grundlast, weil die Erneuerbaren Energien nicht ausreichten. Ich sage Ihnen: Das Gegenteil ist richtig. Wer öffentlich erklärt, man brauche wegen der fluktuierenden Energie im Netz aus Wind oder Sonne die Atomenergie in der Grundlast, der hat entweder nicht verstanden, wie ein Elektrizitätsnetz oder ein Atomkraftwerk funktioniert, oder er sagt der Öffentlichkeit bewusst die Unwahrheit.*
>
> Sigmar Gabriel, damals Bundesumweltminister[36]

Die politische Entscheidung, Atomkraft und/oder Energieeffizienz und Erneuerbare Energien zu fördern, beschränkt sich bei weitem nicht nur auf die Wahl technischer Lösungen. Häufig werden solche Entscheidungen von bereits bestehenden politischen Systemen, Entscheidungsfindungsprozessen, Marktstrukturen und Großinfrastruktur ausgelöst oder doch zumindest stark beeinflusst. Andererseits haben grundlegende Entscheidungen wie etwa jene für oder gegen eine zentralisierte oder dezentralisierte Energieerzeugung erhebliche Auswirkungen auf die Flexibilität und Wettbewerbsfähigkeit der Energietechnologien und -systeme. So steht zum Beispiel außer Zweifel, dass eine auf Wärme und Strom basierende Energieversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wesent-

36 Deutscher Bundestag, 16. Wahlperiode, 211. Sitzung. Berlin, 19. März 2009. http://dipbt.bundestag.de/dip21/btp/16/16211.pdf dort S. 22750

lich effizienter zu leisten ist als mit getrennter Erzeugung; dennoch tut sich KWK schwer, mit bestehenden zentralisierten und häufig überdimensionierten Kraftwerken oder bereits bestehenden Erdgasnetzen zu konkurrieren.

In vielen Entwicklungsländern stehen solche Infrastrukturentscheidungen noch aus. Folglich ist es von größter Bedeutung, die Folgen derartiger grundlegender Entscheidungen abschätzen zu können. Die Industrieländer zeigen, welche Folgen solche, in der Vergangenheit getroffenen, strategische Entscheidungen haben. Bedauerlicherweise gibt es zwar viele erfolgreiche lokale und regionale Beispiele für eine bezahlbare, zukunftsfähige Energieversorgung, jedoch kein einziges «gutes» Beispiel für eine derartige nationale Energiepolitik. Alle Länder haben auf Strategien gesetzt, die entscheidende Nachteile mit sich bringen und die nur unter großen Anstrengungen behoben werden können.

Beispiel Frankreich: Zentralismus auch in der Energieversorgung

Frankreich, mit seinem stark zentralistischen politischen System, hat auch bei der Energieversorgung immer nach zentralistischen Lösungen gesucht. Die Atomkraft war die logische Wahl einer «Top-down»-Entscheidungsfindung und das Resultat des Unwillens des französischen Zentralstaates, die politische Macht in Energiefragen mit Regional- oder Lokalverwaltungen zu teilen. Gleich einer Dampfwalze erdrückte die staatlich geförderte Atomlogik kleine und mittlere Industrien, die versuchten, neue und erneuerbare Energiequellen zu entwickeln. In ähnlicher Weise wurden häufig auch Bemühungen, eine höhere Energieeffizienz zu erreichen, erstickt. Mitte der 1980er Jahre war klar geworden, dass das staatliche Stromunternehmen EDF eine enorme Überkapazität von etwa 16 Atomkraftwerken aufgebaut hatte. Anstatt aber die Anlagenplanung anzupassen, strich der Staat die Mittel der Agentur für Energieeffizienz zusammen, und EDF entschied sich für zwei strategische Optionen: langfristige Abkommen über Stromexporte und die Förderung von Elektroheizung und elektrischer Warmwasserversorgung. Diese Strategie hat die Entwicklung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien in Frankreich außerordentlich behindert: Hunderttausende Gebäude wurden ohne Schornstein gebaut – wodurch es unmöglich ist, kostengünstig auf wirtschaftlichere und umweltverträglichere Wärmequellen umzustellen. Die Tendenz hat sich in den letzten Jahren sogar noch verstärkt. Heute werden drei Viertel aller Neubauwohnungen und Wohnhäuser in Frankreich mit einer Elektroheizung ausgestattet. Mancherorts befinden sich neue städtische Heiznetzwerke in der Nähe elektrisch beheizter Gebäude – ohne dass es möglich wäre, diese ans Netz anzuschließen, da Schornsteine fehlen und die Investitionen als unverhältnismäßig hoch angesehen werden.

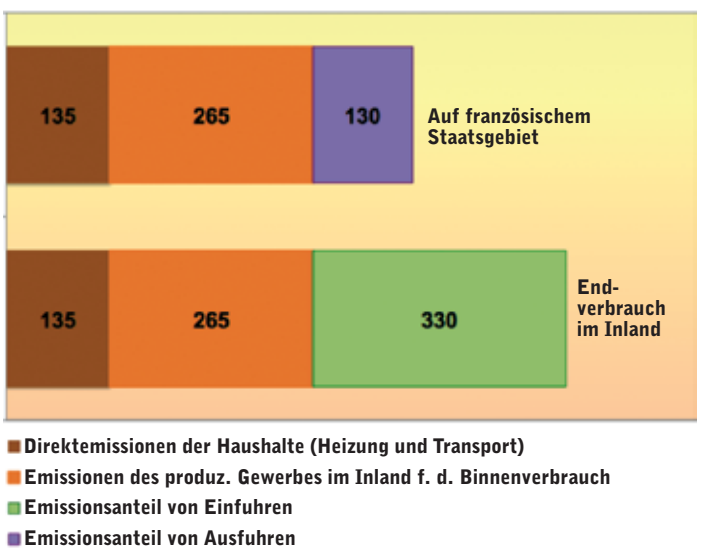
Die andere Nebenwirkung der massiven thermischen Nutzung von Elektrizität – in Frankreich fast die Hälfte des Verbrauchs des Haushaltssektors – ist der spektakuläre Anstieg der Spitzenlast im Winter, die mittlerweile das Dreifache des Tages mit der geringsten Belastung im Sommer übersteigt. Das Ergebnis ist ein beträchtlicher Anstieg des Verbrauchs fossiler Brennstoffe zur Stromerzeu-

gung (um etwa 25 Prozent seit 1990), die Wiederinbetriebnahme von bis zu 40 Jahre alten, mit Erdöl betriebenen Kraftwerken und rasant steigende Stromimporte, vor allem von mit Kohle befeuerten Anlagen aus Deutschland. Im Januar 2010 war Frankreich zum zweiten Mal (nach Oktober 2009) in 27 Jahren über einen Monat Nettostromimporteur.

Energieeffizienz und Erneuerbare Energien sind in Frankreich bislang sehr unterentwickelt. Die logische Folge ist, dass der Stromverbrauch pro Kopf erheblich über dem EU-Durchschnitt oder dem eines Landes wie Italien liegt, das die Atomkraft nach der Katastrophe von Tschernobyl komplett aufgegeben hat. Spanien hat allein im Jahr 2008 mehr Windkraftanlagen in Betrieb genommen (4600 MW), als Frankreich insgesamt bis 2007 (4060 MW).

Die Vorstellung, die Atomenergie habe zu einer CO_2-armen französischen Volkswirtschaft geführt, ist falsch. Neue, von der französischen Regierung veröffentlichte Zahlen[37] zeigen, dass, rechnet man den Kohlenstoffgehalt importierter Güter (abzüglich des Kohlenstoffgehalts der Exporte) mit ein, sich der Ausstoß an Treibhausgasen pro Kopf von 8,7 auf 12 Tonnen erhöht – und damit nicht weit entfernt vom Kohleland Deutschland liegt.[38] Frankreich hat ein hohes Handelsdefizit, während Deutschland – bis China ihm 2009 den Rang ablief – Exportweltmeister war.

Abb. 12: Treibhausgasemissionen nach Endverbrauch für Frankreich (in Tonnen CO_2-Äquivalent)[39]



Quelle: Frz. Umweltministerium, August 2010

37 Ministère de l'Ecologie: *L'empreinte carbone de la demande finale intérieure de la France*, August 2010.

38 Für 2001 kommt der «Carbon Footprint Calculator» für die sechs Treibhausgase für Frankreich auf einen Wert von 13,1 t CO_2-Äquivalent und auf 15,1 t für Deutschland, vgl. http://carbonfootprintofnations.com

39 Zu beachten ist, dass in diese Berechnungen nur die Werte für CO_2, CH_4 und N_2O eingeflossen sind.

Beispiel Deutschland: Stufenweise Abwicklung der Atomenergie und Ausbau Erneuerbarer Energien

Deutschland verfolgte eine völlig andere Strategie als Frankreich. Während die Atomkraft bis zu 30 Prozent der Elektrizität lieferte, war man hier immer stark von Stein- und Braunkohle abhängig. Im Jahr 2000 unterzeichnete die Regierung ein Abkommen mit den Betreibern von Atomkraftwerken, und 2002 wurde der stufenweise Ausstieg aus der Atomkraft Gesetz. Parallel dazu wurden im Jahr 2000 Einspeisungstarife gesetzlich festgeschrieben, die für Strom aus Erneuerbaren Energien feste Preise vorsehen, und Programme aufgelegt, um Erneuerbare Energien im Wärmemarkt zu fördern. Die Kombination von stufenweisem Atomausstieg und starken Anreizen für die Entwicklung Erneuerbarer Energien schuf ein außergewöhnlich dynamisches Umfeld. Regionale Energieagenturen unter Leitung der Länder trugen wesentlich zur Umsetzung bei. Seit Ende der 1990er Jahre haben die Erneuerbaren Energien um das Dreifache zugelegt, Hunderttausende Arbeitsplätze wurden geschaffen, und Technologien zur Erzeugung Erneuerbarer Energien sind zum Exportschlager geworden.

Allerdings lief nicht alles gut. Während die Stromerzeugung aus Erneuerbarer Energie, hauptsächlich Windkraft, von 1990 bis 2007 um etwa 70 TWh oder den Faktor fünf zunahm, stieg der Gesamtstromverbrauch in derselben Zeit um über 12 Prozent oder fast 68 TWh. Das Resultat: Im Jahr 2007 emittierte der deutsche Stromsektor dieselbe Menge CO_2 wie 1990. Dies ist vor allem deshalb schockierend, weil die deutsche Vereinigung im Osten des Landes zur Schließung veralteter Kraftwerke[40] und Industrieanlagen und damit automatisch zu einem massiven Rückgang von Kohlenstoffemissionen *und* des Stromverbrauchs geführt hatte.

Energieexperten und Umweltgruppen weisen seit einiger Zeit auf dieses Problem hin. Weder die Große Koalition noch die neue konservative Regierung waren jedoch bislang in der Lage, auch nur die in der EU-Gesetzgebung vorgesehenen, minimalen Anforderungen an Energieeffizienz umzusetzen. Gleichzeitig wird durch die diskutierten Laufzeitverlängerungen für Atomkraftwerke der Umbau des deutschen Energiesystems in Frage gestellt. Eine umfassende, vom Umweltministerium in Auftrag gegebene Studie von Joachim Nitsch kam 2008 zu folgendem Schluss[41]:

> *Bei einer etwaigen **Laufzeitverlängerung der Atomenergie** müssten die jetzigen Planungen zum Neubau fossiler Kraftwerke völlig revidiert*

40 Das älteste, mit Kohle befeuerte Kraftwerk, das 1989 in Ostberlin noch in Betrieb war, stammte aus dem Jahr 1919.

41 Joachim Nitsch: *Leitstudie 2008 «Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas,* im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Oktober 2008. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2008.pdf (dort S. 11).

werden, um das 30%-Ausbauziel der EE für 2020 nicht zu gefährden. Das KWK-Ausbauziel wäre nicht erreichbar. Der erforderliche ***Strukturwandel der Stromversorgung*** *in Richtung deutlich gesteigerter Stromeffizienz, deutlich höherem KWK-Anteil und hoher Ausbaudynamik der EE wäre* ***grundsätzlich in Frage*** *gestellt. Das Energiesystem wäre somit kaum in der Lage, das bis 2050 zu erfüllende Klimaschutzziel einer 80%igen CO_2-Minderung zu erreichen.*[42]

Will man die Erneuerbaren Energien erheblich ausbauen, sind dazu keine zusätzlichen großen Grundlastkapazitäten, die das ganze Jahr über mit hohen Lastfaktoren arbeiten, nötig, sondern flexible Mittellastkraftwerke, die sich an verschiedene Typen intermittierender Kraftwerke anpassen können.[43] «Eine Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke würde Strommengen im Markt belassen, die ansonsten sukzessive durch KWK ersetzt werden könnten», betont das Wuppertal Institut.[44] Gleichzeitig würde der fortgesetzte Betrieb von Atomkraftwerken auch den Ausbau städtischer Wärmesysteme behindern.

Der Wettbewerb zwischen Strom aus Erneuerbarer Energie, Atomkraft und anderen Formen von «Grundlast»-Strom macht die Lage auf dem Markt zunehmend absurd. In Deutschland hat die Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien gesetzlich Vorrang vor der Atom- und Kohlekraft. Im Oktober 2008 zum Beispiel wurde so viel Windenergie erzeugt, dass ein Teil des nicht-erneuerbar erzeugten Stroms zu «negativen» Preisen auf dem Energiemarkt «verkauft» werden musste, da sich die Leistung der Kohle- und Atomkraftwerke nicht schnell genug herunterfahren ließ – und dies, obwohl acht GW Kapazität von Atomkraftwerken wegen Wartungsarbeiten nicht am Netz waren.[45] Seither sind «negative» Strompreise – in Deutschland erst seit September 2008 zulässig – immer häufiger auf dem deutschen Strommarkt zu beobachten. Zwischen September 2009 und Februar 2010 steckten die Energiepreise für 29 Tage in den roten Zahlen (siehe Abb. 13). Die negativen Preise haben teils erstaunliche Größen angenommen: Am 4. Oktober 2009 musste ein Energieversorger bis zu 1.500 € je MWh dafür bezahlen, seinen Strom abgenommen zu bekommen.

42 Hervorhebungen im Original.

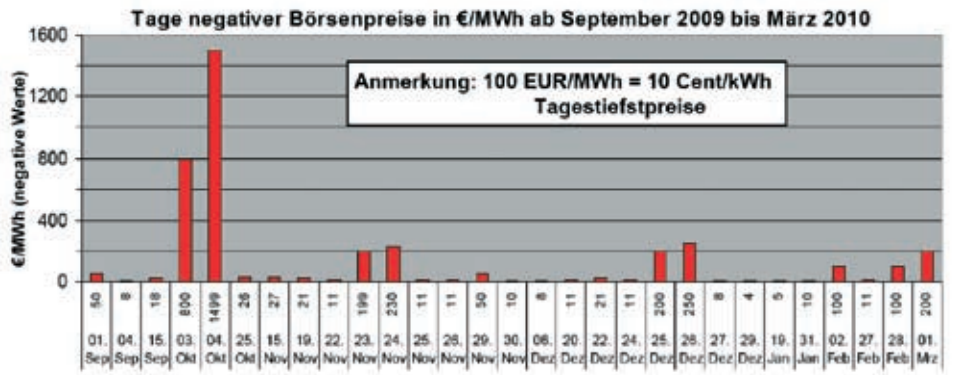
43 Man beachte, dass tatsächlich jedes Kraftwerk mehr oder weniger intermittierend (mit Produktionsschwankungen) ist, auch Atomkraftwerke. Nicht nur werden sie mehrere Wochen pro Jahr zur Wiederbeschickung heruntergefahren, viele haben auch, aufgrund von Reparaturen oder Nachrüstungen, beträchtliche Ausfallzeiten von oft bis zu über einem Jahr.

44 Manfred Fischedick u.a.: *Hindernis Atomkraft – Die Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke auf Erneuerbare Energien*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Wuppertal Institut, April 2009. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie_hindernis_atomkraft.pdf (dort S. 7).

45 Ebd.

Im Prinzip jedoch ließe sich der schrittweise Atomausstieg perfekt mit der Einführung eines sehr flexiblen Stromsystems vereinbaren, das intelligent dezentrale Energiequellen kombiniert.

Abb. 13: Negative Elektrizitätspreise auf dem deutschen Strommarkt



Beispiel Spanien: Stößt der Ausbau der Erneuerbaren Energien an seine aktuellen Grenzen?

Am frühen Morgen des 24. Februar 2010 ordnete Red Eléctrica (REE), der Betreiber des spanischen Stromnetzes, an, 800 MW Windkraftkapazität für mehrere Stunden vom Netz zu nehmen. Der Grund: Um 1:30 Uhr lieferte die Windkraft 11.961 MW (44,5 Prozent des Bedarfs von 26.674 MW zu diesem Zeitpunkt). Nach Intervention des REE wurde der Windstrom auf 10.852 MW heruntergefahren. Bis 6:30 Uhr, als der Bedarf wieder anstieg, wurde weniger durch Windkraft erzeugter Strom geliefert, als möglich. Während dieser Zeit wurde jedoch weiterhin eine gleichbleibende Menge an Atomstrom ins Netz eingespeist.

4 Ein neuer Ansatz

Eine der wichtigsten Fragen ist, wie sich das Festhalten an einem zentralisierten Energiesystem – ob durch verlängerte Laufzeiten oder neue Anlagen – auf Innovationen auswirkt. Dies betrifft nicht nur technologische Aspekte der Energie- und Wärmeerzeugung, sondern vor allem die innovative Kopplung dezentralisierter Energienutzung mit Laststeuerung in virtuellen Kraftwerken. Die 2005 von dem ehemaligen Motorola-Vorstand Robert Galvin gegründete Galvin Electricity Initiative erklärt:

> *Das System der Stromerzeugung in den USA ist veraltet, unzuverlässig, wenig effizient und unsicher. Es entspricht nicht den Anforderungen einer*

digitalen Wirtschaft und muss dringend modernisiert werden. Bestimmte technische Komponenten (…) sind Jahrzehnte alt und stehen kurz vor dem Ausfall. Zwar können und werden diese Teile ersetzt werden, doch die aktuelle Lage gibt dem Land die einzigartige Chance, das Stromnetz der USA zu verändern, es neu zu erfinden – und zwar so, dass es sowohl den Verbrauchern als auch der Umwelt als auch der Wirtschaft zugute kommt. (…) Allerdings ist es der Stromindustrie in über 50 Jahren nicht gelungen, wesentliche Neuerungen hervorzubringen, was vor allem daran liegt, dass der ordnungspolitische Rahmen der Industrie nicht den Anforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht wird.[46]

Dasselbe ließe sich auch über das europäische Stromnetz sagen, und es gilt gleichermaßen für viele Industrieländer in der Welt.

In virtuellen Kraftwerken werden dezentrale Einheiten wie kleine Anlagen für Erneuerbare Energie und für Kraft-Wärme-Kopplung gebündelt und zentral verwaltet. Es ist dies eines der am vielversprechendsten Konzepte für die Zukunft der Stromerzeugung.

Dieser Ansatz lässt sich weiter ausdehnen, indem man dezentrale Speicher wie Autobatterien oder die Reserven der Erneuerbaren Energiesysteme mit einbezieht. Dies ist das Gegenteil des Atomstromsystems: Der Energiekonsument kann in einem optimierten Netz entscheiden, wann Energie erzeugt und verbraucht wird (Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage). Energiekonsumenten werden zu Energieproduzenten – wofür im Englischen der Begriff «prosumer» geprägt wurde. In einem Land wie Deutschland erfolgt ein Großteil der Investitionen in die Stromerzeugungskapazitäten mittlerweile nicht mehr durch die Energieversorger, sondern durch Privathaushalte. Damit sich dergleichen entwickeln kann, müssen die Netze erheblich umgebaut werden. Die European Regulators Group for Electricity and Gas (ERGEG, ein Zusammenschluss der europäischen Regulierungsbehörden) erklärte in einem Positionspapier[47]:

Künftige Stromnetze müssen in der Lage sein, unterschiedliche Technologien, Anlagengrößen und Spannungspegel miteinander zu vernetzen. Manche davon lassen sich weitgehend regulieren, während die Leistung anderer in hohem Maß von der sofortigen physischen Verfügbarkeit ihrer erneuerbaren Primärenergiequelle (z.B. Windkraft) abhängt. (…) Um dem Energiebedarf mit optimaler Erzeugungs- und Netzkapazität gerecht zu werden, müssen die Systeme laufend und intelligent kontrolliert werden. Möglich wird dies durch die Entwicklung von Stromnetzwerken, auch «smart grids» genannt.

46 The Galvin Initiative: *Transforming the Grid: An Executive Summary*, http://galvinpower.org/about-galvin/transforming-grid

47 ERGEG: *Position Paper on Smart Grids « An ERGEG Public Consultation Paper*, Brüssel, 10. Dezember 2009.

Der wesentliche Unterschied zu herkömmlichen Stromtransport- und Verteilersystemen ist die Anbindung eines hoch entwickelten Kommunikationssystems an das Stromnetz. Eine erhebliche Herausforderung wird es sein, diese Kommunikationssysteme in Mittel- und Niedrigspannungsysteme zu integrieren und Synergien mit einer intelligenten Verbrauchserfassung (smart metering) herzustellen. Damit das gelingt, müssen nicht nur neue Systeme entwickelt, sondern auch Regelwerke angepasst werden. Je rascher «intelligente Netze» eingeführt werden sollen, desto mehr sind Regulierungsbehörden gefordert, so ERGEG, «Wege zu finden, um grundlegende Neuerungen auf adäquatem Niveau und in der notwendigen Breite voranzutreiben und gleichzeitig in angemessener Weise die Interessen der Verbraucher zu schützen als auch die wirtschaftlich effiziente Entwicklung der Netzwerke sicherzustellen.[48]

Das atomstromfreie Italien ist Pionier bei der intelligenten Erfassung des Stromverbrauchs. Schon 2006 verfügten die Regulierungsbehörden, dass bis 2011 alle Verbraucher «intelligente Stromzähler» («smart meters») haben müssen. Schweden führte die Technologie jedoch rascher ein und bereits im Juli 2009 waren sämtliche Verbraucher entsprechend ausgestattet. Jetzt helfen die Schweden den Dänen, Finnen und Norwegern dabei, entsprechende Programme beschleunigt umzusetzen.[49] Der Atomstaat Frankreich wird 2010 in zwei Regionen nur einen Testbetrieb mit 300.000 intelligenten Stromzählern aufnehmen. In der Zwischenzeit ist die 2008 von fünf Unternehmen gegründete European Smart Metering Industry Group (ESMIG) bis Juli 2010 auf 32 Mitglieder angewachsen und verbindet die größten Elektronik- und Telekomfirmen in Europa. In den meisten industrialisierten Staaten gibt es mittlerweile Demonstrationsprojekte, in einigen Entwicklungsländern wird ähnliches vorbereitet. Im März 2010 veröffentlichte die US-Agentur für Internationale Entwicklung (USAID) einen Plan für intelligente Stromnetze in Indien («A Smart Grid Vision for India's Power Sector»).

Auch die Hersteller von Haushaltsgeräten machen rasch große Fortschritte. Die Firma Whirlpool hat als erste angekündigt, alle Haushaltsgeräte mit elektronischen Komponenten bis 2015 smart-grid-fähig zu machen.

Eine Reihe von Modellen für eine dezentrale Stromerzeugung unter Beteiligung Erneuerbarer Energien wird bereits umgesetzt. Virtuelle Kraftwerke und Mikronetze, die Übertragungs- und Verteilungsverluste erheblich reduzieren, werden in mehreren Ländern eingerichtet.[50] Im Mai 2010 gründete die Galvin Electricity Initiative das Microgrid Hub: «Intelligente Netze sind ein ideales Mittel, um Erneuerbare Energien auf der Gemeindeebene zu integrieren und Kundenbeteiligung im Stromunternehmen zu ermöglichen. Sie stellen die

48 Ebd.

49 *Technology Action Plan « Smart Grids*, Bericht Italiens und Südkoreas an das Major Economies Forum on Energy and Climate, Dezember 2009.

50 Beispiele sind Dardesheim (Sachsen-Anhalt), Hoogkerk (Niederlande) und die University of California in San Diego, siehe http://rdmag.com/News/2010/04/Industries-Energy-Utilities-Microgrid-to-deploy-at-UC-San-Diego-campus/

Bausteine des ‹perfekten Stromsystems› [Perfect Power System] dar».[51] Das Perfect Power System wurde von der Galvin Initiative entwickelt und ist «ein innovativer Business- und Technologieentwurf für das ultimative intelligente Netz». Das Technologieinstitut der Universität von Illinois hat vor kurzem mit der Umsetzungsphase eines Demonstrationsprojektes in Realgröße begonnen.

Im Juli 2010 wurde das International Smart Grid Action Network (ISGAN) gegründet. Der Ausdruck «smart grid» wird vielfältig benutzt. Entscheidend wird sein, ob bestimmte Komponenten solcher Netze (vor allem smart-metering) einfach nur als nützliche Ergänzung an das alte, zentralisierte Top-down-System angehängt werden – oder ob sie in einer Art entwickelt werden, die es zulässt, all ihre Möglichkeiten auszuschöpfen. Letzteres würde einen Umbau des Stromnetzes auf Basis von Mikronetzen bedeuten. Wo möglich würden solche Mikronetze wahrscheinlich zu Verbünden (cluster) zusammengeschlossen, um wechselseitige Ergänzungen zu fördern und das Gesamtsystem stabiler zu gestalten.

In Großbritannien, ähnlich wie in Frankreich, versteht man intelligente Stromnetze in erster Linie als technische Aufrüstung und weniger als ein Instrument, um die Energiewirtschaft grundlegend auf mehr Effizienz und Erneuerbare umzustellen. Im Gegenteil, das britische Ministerium für Energie und Klimaschutz rechnet sogar mit einer kontinuierlichen Zunahme des Energieverbrauchs.

> *Wir müssen 2050 mehr Strom erzeugen als heute, doch muss dies weitgehend ohne Emission von Treibhausgasen geschehen. Wir müssen Elektrizität aus kohlenstoffarmen Quellen wie Erneuerbaren Energien, Atomkraft und fossilen, mit CO_2-Abtrennung und -speicherung ausgerüsteten Kraftwerken erzeugen.*[52]

Zwar gibt es noch beträchtliche Wissenslücken, doch überwiegen die Hinweise, dass einige der systemischen Effekte einer auf Atomenergie fußenden Elektrizitätsinfrastruktur die Entwicklung der Energieversorgung auf der Basis von Effizienz und Erneuerbaren Energien nicht nur behindert, sondern dass in einigen Fällen – vor allem wenn der Anteil Erneuerbarer Energien steigt – beide Ansätze einander ausschließen.

51 Siehe z.B. http://galvinpower.org/microgrids

52 Department of Energy and Climate Change: Developing a UK Smart Grid, Dezember 2009, S. 5. http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/network/smart_grid/smart_grid.aspx

5 Zeit für Investitionen

Schnelles Handeln gegen den Klimawandel ist dringend geboten

Es gibt einen allgemeinen Konsens darüber, dass von Menschen gemachte Emissionen von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid (CO_2) aus der Stromproduktion, das globale Klima verändern. Der vierte Report des Weltklimarats (IPCC) kommt zu dem Schluss, dass «die Erwärmung des Klimasystems eindeutig ist» und dass dies mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90 Prozent auf menschliche Aktivitäten seit Beginn der Industriellen Revolution zurückzuführen ist. Im 20. Jahrhundert ist die globale Temperatur um rund 0,6 Grad Celsius angestiegen. Geht der derzeitige Energie- und Landverbrauch weiter, wird die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre so weit zunehmen, dass bis zum Ende dieses Jahrhunderts die Temperatur womöglich um mehrere Grad ansteigt. Dies hätte katastrophale Folgen für die Menschheit und die Ökosysteme der Erde.

Um die gefährlichsten Folgen des Klimawandels abzuwenden, hat sich die internationale Gemeinschaft ein «Zwei-Grad-Ziel» gesetzt. Das heißt, die Emissionen sollen vermindert und so sichergestellt werden, dass die globale Durchschnittstemperatur nicht um mehr als zwei Grad über das Niveau des vorindustriellen Zeitalters steigt. Dieses Ziel wurde von einer großen Zahl internationaler Organisationen und Foren gebilligt, einschließlich der EU, dem Weltklimarat und kürzlich auch durch die Übereinkunft von Kopenhagen, in der es heißt: «Wir sind uns einig, dass enorme Reduzierungen bei den weltweiten Emissionen nach wissenschaftlichen Erkenntnissen notwendig sind, ebenso wie es durch den vierten Sachstandsbericht des IPCC dokumentiert wird, in der Absicht, die weltweiten Emissionen so zu verringern, dass der weltweite Temperaturanstieg unter zwei Grad Celsius gehalten wird, und ergreifen Maßnahmen zur Umsetzung dieses Ziels, die im Einklang mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen und dem Grundsatz der Gleichheit stehen.»[53]

Um dieses Ziel zu erreichen, muss es bis 2050 zu einer drastischen Verringerung der Treibhausgase um mehr als 80 Prozent kommen. In vieler Hinsicht sind jedoch kurzfristige Ziele bedeutender. Schnelle Veränderungen in Technologie und Verhalten werden zeigen, dass sich Emissionen senken lassen und man verhindern kann, dass Investitionen in energie- und emissionsintensive Strategien fließen. Verzögert sich die Senkung der Emissionen, bedeutet dies für die Zukunft wesentlich höhere Einschnitte, für die erheblich mehr Geld aufgewendet werden muss.

53 Kopenhagen-Vereinbarung vom 18. Dezember 2009. Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, 15. Sitzung, Kopenhagen, 7-18. Dezember 2009. Inoffizielle Übersetzung des BMU: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/copenhagen_accord_bf.pdf (S. 2)

6 Die Verbreitung neuer Technologien – Erfahrungen und Erwartungen

Atomenergie

Angesichts des Zeitdrucks für Emissionsreduktionen ist die Vorlaufzeit der Masseneinführung neuer Technologien ein wichtiger, doch unterschätzter Faktor. Die Errichtung neuer Kraftwerke kann man in zwei Zeitabschnitte einteilen: die Vorentwicklung und den Bau.

Zur Phase der Vorentwicklung gehören häufig eine ganze Reihe von Anhörungen, und in der Regel müssen während dieser Phase die notwendigen Bau- und Betriebsgenehmigungen eingeholt, Zustimmung auf örtlicher und nationaler Ebene gewonnen und die Finanzierung gesichert werden. In manchen Fällen können neue Technologien schneller eingeführt werden, sind erst einmal allgemeine Sicherheitsfragen geklärt. Umgekehrt kann sich die Phase der Vorentwicklung auch in die Länge ziehen, sollten die Bedingungen vor Ort schwierig sein oder sich neue Probleme ergeben. Die IEA veranschlagt für Atomkraftwerke eine Vorentwicklungsphase von etwa acht Jahren.[54] Mit eingerechnet wurde dabei die Zeit, die nötig ist, um politische Zustimmung zu bekommen; vorausgesetzt wurde, dass die erforderliche industrielle Infrastruktur, qualifizierte Arbeitskräfte und ein ordnungspolitisches System vorhanden sind. Tony Blair sagte im Mai 2006, die Atomkraft sei «mit aller Macht» zurück – doch dauerte es dann einige Jahre, bis überhaupt eine Art Vorentwicklung begann.

In der Geschichte der Atomkraft gab es zahlreiche Bauverzögerungen. Eine Analyse des Weltenergierats[55] zeigt, dass weltweit die Bauzeiten für Atomreaktoren zugenommen haben. Der erhebliche Anstieg, der von Ende der 1980er Jahre bis 2000 stattfand, hing teilweise mit politischen und öffentlichen Einstellungen zur Atomtechnik nach der Katastrophe von Tschernobyl zusammen sowie mit den in der Folge verschärften Genehmigungsbestimmungen. Wie wir im *Welt-Statusreport Atomindustrie 2009* gezeigt haben[56], ist die Kalkulation eines weltweiten Durchschnitts für die Bauzeit – sie läge für die 16 zuletzt ans Netz gegangenen Anlagen bei etwa neun Jahren – wegen der Unterschiede zwischen den Ländern wenig sinnvoll. Die Bauzeit für vier Reaktoren, die in Rumänien, Russland und der Ukraine ans Netz gingen, lag zwischen 18 und 24 Jahren. Im Gegensatz dazu dauerte es kaum mehr als durchschnittlich fünf Jahre, die zwölf Einheiten zu bauen, die in China, Indien, Japan und Südkorea ans Netz gingen.

---

54 IEA: *Nuclear Power in the OECD*, International Energy Agency 2001.

55 Siehe World Energy Council, Alexandro Clerici et al.: The future role of nuclear energy in Europe, 13. Juni 2006, und für Zahlen vor 2000 die auf den Daten von PRIS basierenden Berechnungen unter http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html

56 Mycle Schneider, Steve Thomas, Antony Froggatt, Doug Koplow: *Der Welt-Statusreport Atomindustrie 2009*. In Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Paris und Berlin, August 2009. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/welt_statusbericht_atomindustrie_0908_de_bf.pdf

Verlängerungen der Bauzeiten lassen sich weltweit feststellen. Betrug die Bauzeit eines AKWs in Deutschland zwischen 1965 und 1976 76 Monate, so stieg sie zwischen 1983 und 1989 auf 110 Monate an. In Japan betrug die Bauzeit von 1965 bis 2004 im Durchschnitt 44 bis 51 Monate. In Russland lag die Bauzeit zwischen 1965 und 1976 im Schnitt bei 57, von 1977 bis 1993 zwischen 72 und 89 Monaten. Bei den vier Kraftwerken, die seither fertiggestellt wurden, dauerte der Bau etwa 180 Monate (15 Jahre).[57] Die Gründe dafür waren die zunehmende Opposition in Folge der Tschernobyl-Katastrophe, wirtschaftliche Probleme und die politischen Veränderungen nach 1992.

Tabelle 1: Bauzeiten von Atomkraftwerken weltweit

Zeitraum	Anzahl d. Reaktoren	Durchschnittliche Bauzeit (Monate)
1965-1970	48	60
1971-1976	112	66
1977-1982	109	80
1983-1988	151	98
1995-2000	28	116
2001-2005	18	82
2005-2009	6	77

Quelle: Clerici (2006) und IAEA[58]

Der erste Reaktor neuester Bauart, der sogenannten Generation III+, ist in Finnland im Bau.[59] Die Auftragsvergabe für Olkiluoto-3 erfolgte im Dezember 2003; ans Netz gehen sollte der Reaktor am 1. Mai 2009. Das Datum der Fertigstellung hat sich mittlerweile um mindestens dreieinhalb Jahre verschoben, die Kosten übersteigen das ursprüngliche Budget um nahezu 100 Prozent (derzeitige Schätzungen gehen davon aus, dass bis zur Fertigstellung 5,7 Milliarden Euro verbaut sein werden, ursprünglich waren drei Milliarden veranschlagt). Der zweite Reaktor der Generation III+ – wie in Finnland handelt es sich um einen EPR (European Pressurized Reactor) – wird in Frankreich gebaut. Nach dreijähriger Bauzeit befindet sich das Projekt Flamanville-3 nun offiziell mindestens zwei Jahre in Verzug, der Kostenrahmen wurde um zwei Milliarden Euro oder 50% überschritten. Aufgrund dieser Probleme hat die Agentur Standard & Poor's die Kreditwürdigkeit des Erbauers AREVA herabgestuft.

57 World Energy Council, Alexandro Clerici, et al.: The future role of nuclear energy in Europe, 13. Juni 2006, und für Zahlen nach 2000 die auf der Datenbank PRIS basierende Kalkulation unter http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html

58 Ebd. Der Zeitraum 2005-2009 schließt nicht die Fertigstellung der Einheit Cernavoda 2 in Rumänien mit ein, die aufgrund einer langen Baupause 279 Monate betrug.

59 Für mehr Informationen siehe Steve Thomas: The Economics of Nuclear Power: An Update. Hg. von der Heinrich-Böll-Stiftung, März 2010. http://www.boell.de/downloads/ecology/Thomas_economics.pdf. Deutsche Fassung in diesem Band.

Angesichts der Komplexität und der Kosten tendiert man dazu, Atomreaktoren nacheinander anstatt gleichzeitig zu bauen. Das heißt, die Erbauer warten, bis ein Reaktor fertiggestellt ist, bevor sie mit dem nächsten beginnen. Folglich dauert es weitere Jahre, bis eine neue Kraftwerksserie voll einsatzfähig ist.

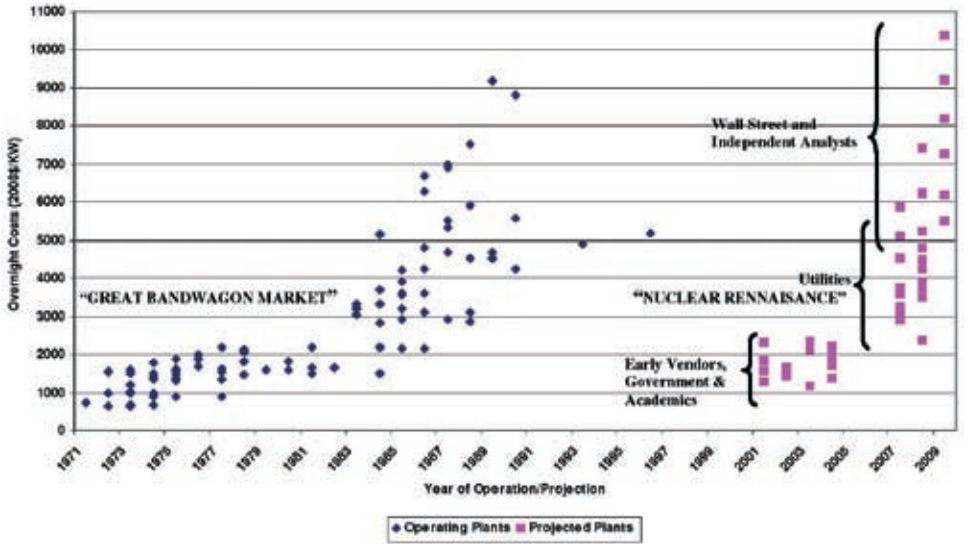
Man könnte erwarten, dass die Erfahrungen aus dem Bau vieler Reaktoren überall auf der Welt den Bau beschleunigen und die Kosten fallen lassen. Das ist bei der Atomkraft bis heute nicht der Fall, was zum Teil mit der Komplexität der Technologie, dem damit verbundenen Zuliefersystem und der Vielfalt der eingesetzten Technologien zu tun hat. Im Stern Report, dem Bericht der britischen Regierung über die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels, heißt es:

> *Die Kosten der Energieproduktion und -nutzung sind bei allen Technologien durch Innovation und Größenvorteile bei Herstellung und Nutzung systematisch gefallen – jedoch nicht bei der Atomkraft seit den 1970er Jahren.*[60]

Dies spiegelt sich bei den beiden weltweit größten Atomprogrammen – dem der USA (Abb. 14) und dem Frankreichs (Abb. 15) – wider. Beide zeigen trotz beträchtlicher Erfahrungen einen starken Anstieg der Baukosten. In den USA stiegen die Kosten pro installiertem Kilowatt um etwa das Fünffache, in Frankreich um mehr als das Dreifache. Die Zahlen für die USA (Abb. 14, violett markiert) belaufen sich auf über 10.000 Dollar pro installiertem Kilowatt. Basis dieser Angaben sind Schätzungen unabhängiger Experten und von Fachleuten an der Wall Street. Ebenfalls bemerkenswert ist, dass dies in Frankreich für ein einzelnes Unternehmen festgestellt wurde, denn nur ein einziges, in Staatsbesitz befindliches Unternehmen war in der Lage, Reaktoren zu bauen und zu betreiben.

60 Dennis Andersen: *Cost and finance of abating carbon emissions in the energy sector*, S. 18; Imperial College London, Oktober 2006 (Begleitpapier für den Stern Review).

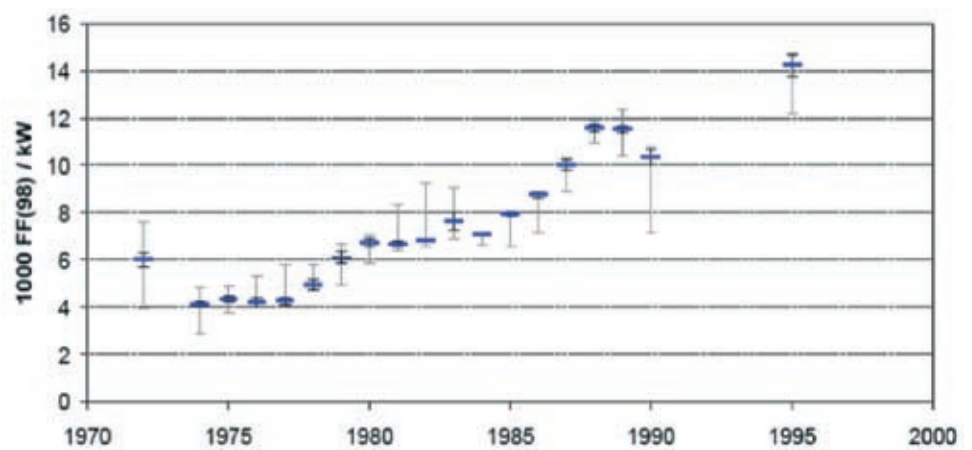
Abb. 14: Entwicklung der Investitionskosten («Lernkurve») für Atomkraftwerke in den USA



Quelle: Mark Cooper, 2009[61]

*A.d.Red.: «Overnight Costs» lassen Kapitalzinsen und Preissteigerungen durch Inflation unberücksichtigt, stellen also dar, mit welchen Kosten der Anbieter oder zukünftige Betreiber eines Atomkraftwerks rechnen müsste, wenn das Kraftwerk «über Nacht» fertig gestellt wäre und sämtliche Kosten nach heutigen Preisen zu begleichen wären. Siehe http://www.streitpunkt-kernenergie.de/index.php?id=5

Abb. 15: Entwicklung der Investitionskosten («Lernkurve») der Atomkraftwerke in Frankreich



Quelle: Arnulf Grubler, 2009[62]

61 Mark Cooper: *The Economics Of Nuclear Reactors: Renaissance Or Relapse?* Vermont Law School, Juni 2009. http://www.vermontlaw.edu/Documents/Cooper%20Report%20on%20Nuclear%20Economics%20FINAL%5B1%5D.pdf. Abbildung im Original belassen.

62 Arnulf Grubler: *An assessment of the costs of the French nuclear PWR program 1970-2000*, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Oktober 2009. http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-09-036.pdf. Abbildung im Original belassen.

Für die niedrige, wenn nicht negative Lernrate der Atomkraft wurden verschiedene Gründe genannt: die relativ geringe Bestellrate nach den 1970er Jahren, die schwierig zu managenden Schnittstellen zwischen den Komplexitäten der Atomkraft und regulatorischen und politischen Prozessen sowie die Vielfalt der zur Anwendung kommenden Bautypen.[63] Einige dieser Hürden lassen sich künftig vielleicht überwinden. Die Performance and Innovation Unit der britischen Regierung hat jedoch darauf hingewiesen, dass, im Vergleich zu anderen Technologien, Atomkraftwerke aus mehreren Gründen auch in Zukunft möglicherweise keine steile Lernkurve haben werden:

- Atomenergietechnologie ist relativ ausgereift. Ein großer Entwicklungssprung ist weniger wahrscheinlich als in anderen Technologien.
- Die relativ langen Planungs- und Bauphasen führen dazu, dass Wechselwirkungen aus den Erfahrungen von Bau und Betrieb der ersten Einheiten nur langsam greifen können.
- In der Atomenergie ist das Potenzial für Wirtschaftlichkeitsvorteile durch große Serien geringer als bei den Erneuerbaren Energien. Bei letzteren sind die Anfangsgrößen geringer, und es gibt vielfältigere Anwendungsmöglichkeiten.

Darüber hinaus hat sich die das industrielle Umfeld radikal verändert, seit die Atomindustrie ihren Höchststand um 1980 erreichte. Unternehmen, die 1980 führend waren, haben sich komplett aus dem Geschäft zurückgezogen, mit anderen Firmen der Branche fusioniert oder ihr Geschäftsfeld auf Stilllegung und Entsorgung verlegt – beides Bereiche, die in den vergangenen Jahren gewachsen sind. Dies hat dazu geführt, dass nur eine kleine Gruppe von Unternehmen aus wenigen Ländern in der Lage ist, den Bau eines Atomkraftwerks komplett abzuwickeln.[64]

Die Atomindustrie befindet sich in einer Phase der grundlegenden Neuorganisation und der Nachrüstung. Viel Kapital ist nötig, will man in großindustrielle Anlagen investieren. Die Fertigungsindustrie wird nicht Hunderte Millionen in Projekte stecken, ohne die Sicherheit, dass die Auftragsbücher auf Jahre gefüllt sind.

Erneuerbare Energien

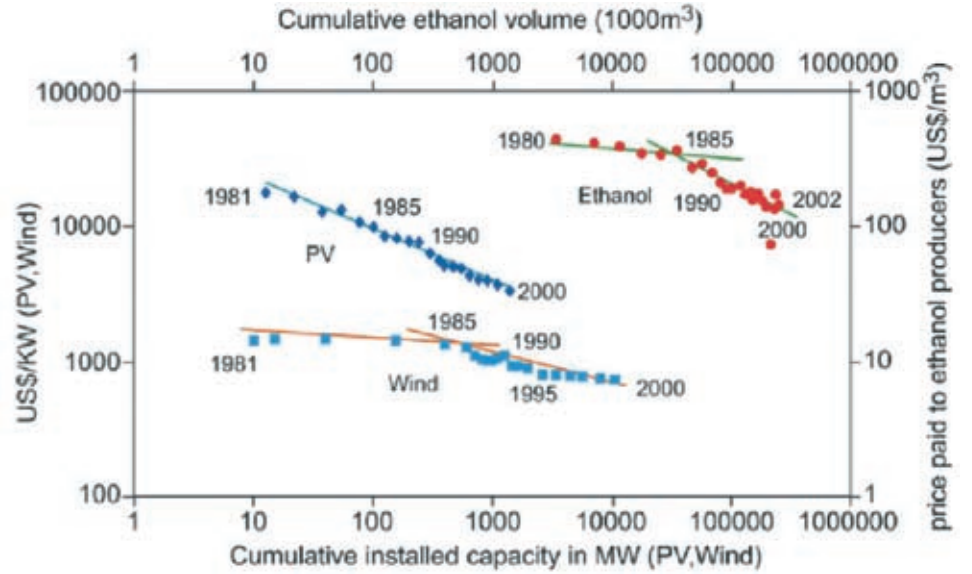
Wie Abbildung 16 zeigt, haben die Erneuerbaren Energien nicht mit den Problemen der Atomkraft zu kämpfen. Die dezentrale Infrastruktur von Windkraft, Solarstrom und Ethanol hat die Installations- oder Produktionskosten erheblich fallen lassen.

---

63 Performance and Innovation Unit (PIU): *Energy Review Working Paper, The Economics of Nuclear Power*, 2002. www.cabinetoffice.gov.uk/media/cabinetoffice/strategy/assets/pii.pdf

64 IAEA: *International Status and Prospects of Nuclear Power*, 2008. http://www.iaea.org/Publications/Booklets/NuclearPower/np08.pdf

Abb. 16: Technologie-Lernkurven



Quelle: IPCC 4th Assessment Report, report 3, Mitigation of Climate Change, Abbildung im Original belassen.

Im Jahr 2002 berechnete die Performance and Innovation Unit der britischen Regierung die Produktionskosten für verschiedene Versorgungsoptionen im Jahr 2020. Tabelle 2 zeigt, dass die Kosten für Atomkraft bedeutend höher ausfallen als für Windkraftanlagen zu Land oder zu See und sich in etwa auf der Ebene von Energiepflanzen und Wellenenergie bewegen.

Tabelle 2: Kostenprojektion für Brennstoffe zur Stromerzeugung 2020

Technologie	Kosten p/kWh	Zuverlässigkeit der Schätzung	Kostentrends bis 2050
Konventionelle Brennstoffe			
Kohle (IGCC)*	3,0-3,5	moderat	Rückgang
Gas (CCGT)**	2,0-2,3	hoch	begrenzter Rückgang
CCS***	3,0-4,5	moderat	ungewiss
Große KWK (Gas)	< 2	hoch	begrenzter Rückgang
Mikro KWK (Gas)	2,5-3,5	moderat	anhaltender Rückgang
Atomkraft	3,0-4,0	moderat	Rückgang
Erneuerbare			
Wind (Land)	1,5-2,5	hoch	begrenzter Rückgang
Wind (See)	2,0-3,0	moderat	Rückgang
Energiepflanzen	2,5-4,0	moderat	Rückgang
Wellenenergie	3-6	gering	ungewiss
Solar PV	10-16	hoch	anhaltender Rückgang

Quelle: PIU 2002[65]
* A.d.Redaktion: Kombianlage mit integrierter Kohlevergasung
** A.d.Redaktion: Kombikraftwerk
*** A.d.Redaktion: CO_2-Abtrennung und -speicherung

Die Windkraft hat in den vergangenen Jahren in einigen britischen Landkreisen Schwierigkeiten bekommen. Eine Reihe von Projekten scheiterte dadurch, oder ihre Umsetzung verzögerte sich. 2009 wurden nur 25 Prozent aller geplanten landgestützten Windkraftanlagen von den örtlichen Behörden genehmigt – ein Rückgang von 63 Prozent zum Jahr 2007. Die Planungsvorlage der britischen Regierung für Erneuerbare Energien vom Juli 2009 gibt als Ziel für landgestützte Windanlagen bis 2020 eine Kapazität von 14 GW vor. Mitte 2010 waren davon 3,2 GW installiert, 0,8 GW gebaut (aber noch nicht in Betrieb) und 3,4 GW im Bau – zusammen 7,4 GW, knapp über die Hälfte der Zielvorgabe. Weitere 7,4 GW sind geplant – genug, um das Ziel zu erreichen, sollten die Anlagen genehmigt werden.[66] Im Vergleich zu Atomkraftwerken können sogar größere seegestützte Projekte schnell gebaut werden. Im Januar 2010 kündigte die britische Regierung an, zusätzlich zu den 8 GW in der Planung, weitere Windkraftanlagen mit einer Kapazität von 32 GW bauen zu lassen. Die Anlagen sollen bis 2020 ans Netz gehen.

65 PIU: *The Energy Review: A Performance and Innovation Unit Report*, The Cabinet Office, Februar 2002, S. 199. http://www.cabinetoffice.gov.uk/media/cabinetoffice/strategy/assets/theenergyreview.pdf

66 British Wind Energy Association: *Wind farm planning approvals by local councils slump to record low of 25%*, Pressemitteilung der British Wind Energy Association, 20. Oktober 2009. http://www.bwea.com/pdf/press/PR20091020_25pc_approval.pdf

Es ist wichtig, sich die Unterschiede zwischen einer Windfarm und einem konventionellen Kraftwerk klarzumachen. Der Europäische Verband für Windenergie (EWEA) vergleicht den Bau einer Windfarm mit dem Kauf einer LKW-Flotte: Die Turbinen werden zu einem im voraus vereinbarten Fixpreis gekauft, und ein Lieferplan wird erstellt. Auch die elektrische Infrastruktur kann gut im voraus spezifiziert werden. Beim Bau können die Kosten schwanken, doch der Anteil der Baukosten an den Gesamtkosten ist sehr gering.[67] Die Bauzeit für landgestützte Windturbinen ist relativ kurz; kleinere Anlagen können innerhalb weniger Monate fertiggestellt werden, die meisten innerhalb eines Jahres. Für die Windenergiebranche ist die rasche Umsetzung ein wichtiges Verkaufsinstrument.[68]

Opportunitätskosten[69]

Einschätzungen der Internationalen Energieagentur und anderer weisen zwei bedeutende, etwas gegenläufige Tendenzen auf. Erstens sind im Energiesektor im Verlauf des nächsten Jahrzehnts noch nie dagewesene Investitionen notwendig. Dies ergibt sich aus einer Reihe von Sachzwängen:

- der wachsende Energiebedarf vor allem in städtischen Gebieten der Entwicklungsländer;
- die Notwendigkeit, in den OECD-Ländern große Kraftwerkskapazitäten stillzulegen, da sie das Ende ihrer Lebensdauer erreichen und in einigen Fällen aufgrund neuer Umweltgesetze;
- die Erschöpfung bestehender und die Erschließung neuer Energiereserven und -quellen.

Zweitens sind aber in den letzten Jahren im Energiesektor die Investitionen gesunken, da weniger Kapital zu höheren Kosten verfügbar war, da der Energiebedarf infolge der globalen Rezession fiel und der gesunkene Energiebedarf zu Unsicherheit unter den Investoren führte. Da nunmehr viele Experten das Ende der Rezession vorhersagen, könnten diese Faktoren, die zu wenig oder keinen Investitionen führten, nun wieder ganz oder teilweise wegfallen. Es ist wahrscheinlich, dass die Investitionen im Energiesektor wieder steigen. Jedoch wird trotz der vorhergesagten wirtschaftlichen Erholung vor allem im öffentlichen Bereich das Kapital für Investitionen knapp bleiben. Zudem dürfte es zwischen

67 European Wind Energy Association: *Wind Energy, The Facts: Volume 1, Technology*, 2009. http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/WETF.pdf

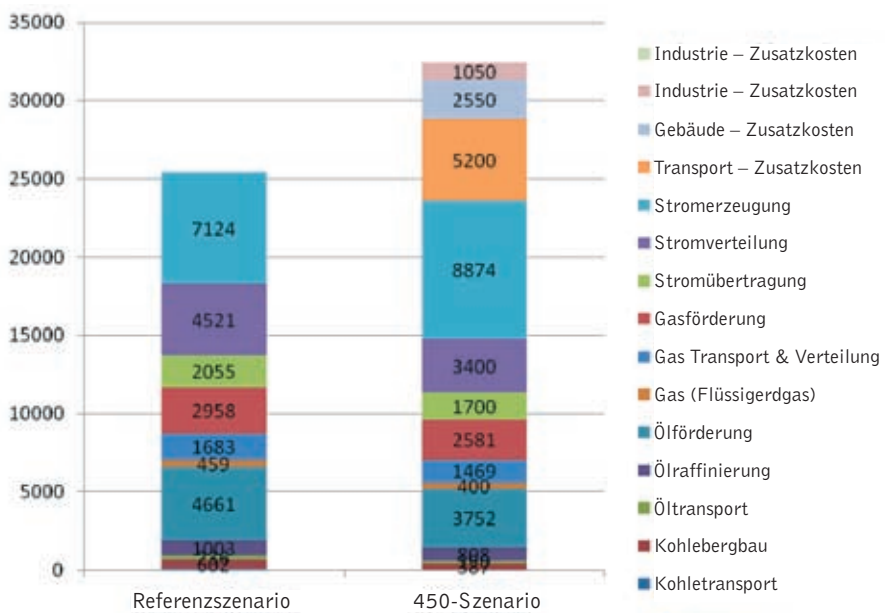
68 «Eine Vestas-Windkraftanlage kann innerhalb eines Jahres komplett fertiggestellt werden – sehr viel schneller als konventionelle Kraftwerke – und das bedeutet einen raschen Investitionsrücklauf». Werbung der Firma Vestas.

69 Als Opportunitätskosten bezeichnet man Erlöse, die deshalb nicht erzielt wurden, weil vorhandene Möglichkeiten (Opportunitäten) zur Nutzung von Ressourcen nicht wahrgenommen wurden.

den verschiedenen Methoden der Energieerzeugung zu einem beträchtlichen Wettbewerb um Kapital kommen.

Sollten sich die Investitionen im Energiebereich erhöhen, so wird durch die Entscheidungen, die wir heute treffen, festgelegt, welche Methoden der Energieerzeugung eine Generation lang zum Einsatz kommen werden. Die Abbildung unten zeigt das Volumen der Investitionen, das laut IEA (basierend auf unterschiedlichen Szenarien) im Energiebereich benötigt wird. Das IEA-Referenzszenario geht von Gesamtinvestitionen in Höhe von 25,6 Billionen Dollar bis 2030 aus; sollen die Emissionen von Treibhausgasen nicht zu mehr als zwei Grad globaler Erwärmung führen, betrügen die Gesamtinvestitionen allerdings 10,5 Billionen Dollar mehr. Der Großteil dieser Gelder muss in die Steigerung der Energieeffizienz fließen – in die Verbesserung von Gebäuden oder Fahrzeugen. Kostenzuwächse entstehen aber auch durch den Wechsel der Energieträger, durch Elektrizität aus nichtfossilen Brennstoffen und durch CO_2-Abtrennung und -speicherung. Solche zusätzlichen Investitionen lassen jedoch erstens die Nachfrage nach fossilen Brennstoffen sinken – sie reduzieren Investitionen in den Abbau und Transport um etwa 2,1 Billionen Dollar –, und zweitens den Brennstoffverbrauch. Die IEA geht von Einsparungen in Höhe von 8,6 Billionen Dollar bis 2030 aus und von etwa 17 Billionen Dollar für die gesamte Laufzeit der Investitionen.

Abb. 17: Änderungen bei Investitionen in kohlenstoffarme Energie



Quelle: World Energy Assessment 2009, IEA

Hier zeigt sich, wie wichtig es ist, Investitionen politisch zu steuern. Wird dies nicht getan, scheitert entweder die Politik, oder Investitionen werden in den Sand gesetzt.

Dieselbe Logik greift bei Investitionsoptionen im Stromsektor. Gelingt es, die Energieeffizienz beim Endverbraucher erheblich zu steigern, werden potenziell sowohl die Nachfrage nach Exploration und Abbau fossiler Brennstoffe wie auch die Investitionen in Energieübertragung sinken. Am unmittelbarsten wird sich dies jedoch auf die verschiedenen Stromquellen auswirken: Wird in eine mehr investiert, sinkt bei anderen der Investitionsbedarf.

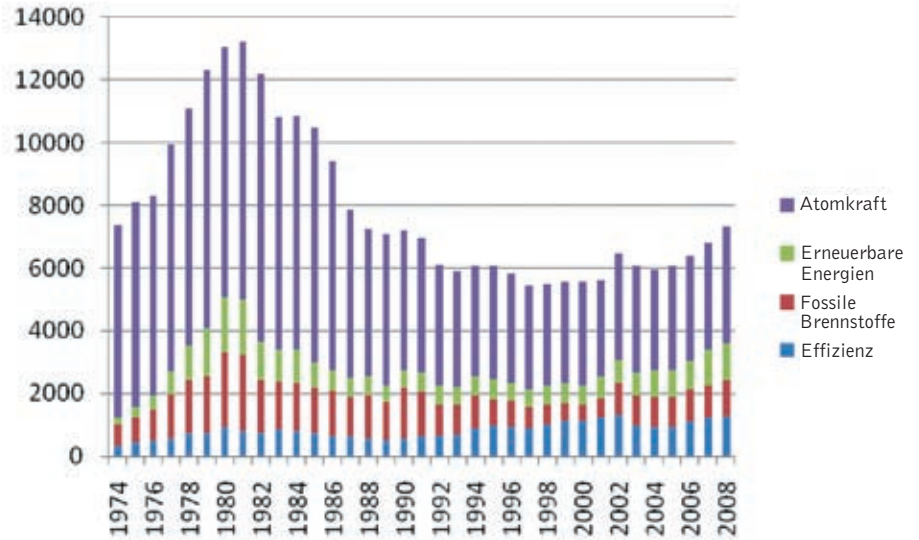
Bei praktisch allen Szenarien, die zu einem erheblich emissionsärmeren Energiesektor führen, ist der Beitrag der Atomkraft im Vergleich zu dem der Erneuerbaren Energien (abgesehen von Energieeinsparung und Effizienz) relativ gering. Es wird dennoch argumentiert, die Atomkraft müsse nichtsdestotrotz, neben der CO_2-Abtrennung und -speicherung bei Gas- und Kohlekraftwerken, als eine der «kohlenstoffarmen Energien» eine Rolle spielen.

Um Energie wirklich kohlenstoffarm und nachhaltig zu produzieren, müssen nicht nur neue Energiequellen erschlossen, es muss auch die Energieverteilung und -nutzung verändert werden. Für diesen Wandel müssen in der gesamten Technologiekette andere Prioritäten gesetzt, muss anders investiert werden – von der Forschung und Entwicklung bis hin zur Verbreitung der Technologien.

Forschung und Entwicklung

Es gibt nur wenige Gebiete, auf denen Atomkraft und Erneuerbare Energien so direkt miteinander konkurrieren, sich so gut vergleichen lassen, wie bei der staatlichen Forschung und Entwicklung. Trotz fortgesetzter Appelle, zur Energie- und Klimasicherung mehr für Forschung und Entwicklung auszugeben, haben sich die staatlichen Ausgaben hierfür seit den 1980er Jahren fast halbiert. Betroffen sind hiervon alle Energieträger. Dies ist ein Zeichen für das Verlangen sowohl allgemein nach «weniger Staat» als auch nach einer stärkeren Rolle des Privatsektors im Energiebereich in den letzten Jahrzehnten.

Abb. 18: Budgets für Forschung und Entwicklung in OECD-Ländern (für 2008, in Millionen US-Dollar)



Quelle: IEA[70]

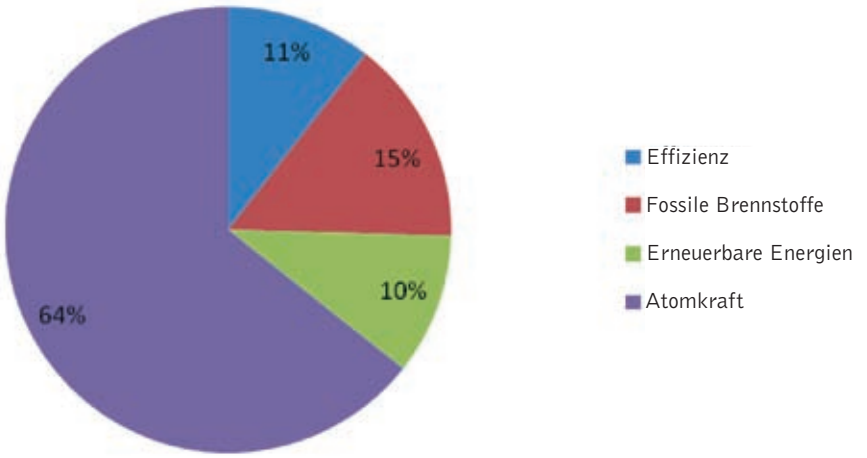
Da die Budgets geschrumpft sind, können Regierungen die Entwicklung neuer Energietechnologien heute weniger beeinflussen als früher. Abbildung 19 zeigt, wie sehr die Budgets für Forschung und Entwicklung von der Atomkraft geprägt sind; sie macht für die vergangenen Jahrzehnte nahezu zwei Drittel der Ausgaben aus. Diese Dominanz ist bemerkenswert; sie ist das Ergebnis einer Reihe von Faktoren: Erstens zählen zum Atomsektor Gelder für Kernspaltung und Kernfusion, wobei die Fusion derzeit den Löwenanteil für Forschung und Entwicklung erhält, da der Entwicklung des Versuchsreaktors ITER Priorität eingeräumt wird. Zweitens ist die Finanzierung, speziell der nuklearen Demonstrations- oder Versuchsanlagen, teuer und erfordert unverhältnismäßig hohe Geldmengen – wenn man in Betracht zieht, dass dies kurzfristig nichts zur Energieversorgung beiträgt. Zudem führt die technische Komplexität und die innovative Natur dieser Einrichtungen nach wie vor zu Kostenüberschreitungen und Verzögerungen. 2006 rechnete man für das Projekt ITER mit Baukosten um die fünf Milliarden Euro und mit weiteren fünf Milliarden für 20 Jahre Betrieb. Nachdem das Projekt inzwischen überarbeitet wurde, geht man nun von mindestens einer Verdoppelung der Baukosten aus.[71] Solche Mehrkosten dürften sich in den kommenden

70 Datenbank der IEA: Government Energy Technology R&D Budgets. http://www.iea.org/stats/rd.asp

71 «Fusion dreams delayed. International partners are likely to scale back the first version of the ITER reactor», in: *Nature* 459, 27. Mai 2009, S. 488f. http://www.nature.com/news/2009/090527/full/459488a.html

Jahrzehnten auf die öffentlichen Mittel auswirken, die für andere Projekte zur Verfügung stehen.

Abb. 19: Budgets für Forschung und Entwicklung der OECD-Länder nach Technologien (1974-2008)



Quelle: IEA[72]

Investitionskosten

Unter marktwirtschaftlichen Bedingungen beeinflusst eine Reihe von Faktoren die Entscheidung darüber, welche Energiequellen genutzt werden. Von besonderer Bedeutung sind die Produktionskosten, der Verkaufspreis und die Aufwendungen für und Risiken von Entwicklung und Einsatz.

Im Vergleich mit den meisten anderen Energiequellen ist die Atomkraft wegen hoher Beschaffungskosten, langen Bauzeiten und technologischer Komplexität finanziell im Nachteil. Der folgende Kasten zeigt, dass beim Bau von Atomkraftwerken der Kostenansatz regelmäßig überschritten wurde. Solche Überschreitungen betreffen nicht nur die Kosten des jeweiligen Projekts, sie wirken sich auch auf weitere Atomprojekte und/oder das Unternehmen im Allgemeinen aus. Die IEA stellt fest: «Die Unsicherheit der Baukosten ist ein gravierender Risikofaktor für Investoren.»[73]

72 Datenbank der IEA: Research and Development Budget. http://www.iea.org/stats/rd.asp
73 IEA: *World Energy Outlook*, 2009, S. 268.

Kostenüberschreitungen in der Atomenergie

In den 1980er und frühen 1990er Jahren waren die Baukosten für Atomkraftwerke in den USA und den meisten Teilen Europas sehr hoch – erheblich höher, als allgemein vorhergesagt.[74] MIT, 2003

… es ist erwiesen, dass die Kostenansätze der Industrie, historisch gesehen, wesentlich zu niedrig waren – eine geradezu erstaunliche Ungenauigkeit, bei der es für über 40, 50 Jahre geblieben ist.[75] Jonathan Porritt
Vorsitzender der Kommission für nachhaltige Entwicklung
der britischen Regierung, 2005

Ich habe keinen Grund, CEZ [das tschechische staatliche Unternehmen, das das Atomkraftwerk Temelin gebaut hat] zu glauben. Man hat mich neunmal belogen. Ich weiß nicht, weshalb ich ihnen beim zehnten Mal glauben sollte.[76] Vaclav Havel
seinerzeit Präsident der Tschechischen Republik, 1999

Abbildung 14 stammt aus einem Bericht der Vermont Law School und zeigt, in welchem Ausmaß die Kosten von Reaktoren in den USA in den 1970er und 1980er Jahren gestiegen sind sowie die sich rapide verändernden Kostenansätze der Atomindustrie in den letzten Jahren. Zu beachten ist, dass die aktuelle Steigerung der Kostenschätzungen nicht auf konkreten Zahlen aus den USA fußt – dort werden derzeit keine neuen Atomreaktoren gebaut –, sondern vermutlich abgeleitet ist von fundierteren wirtschaftlichen Analysen und Erfahrungen aus anderen Teilen der Welt.

Häufig fließen die höheren Baukosten nicht in die wirtschaftlichen Analysen ein, mit denen die Kosten der Energieerzeugung bestimmt werden.

So erklärt zum Beispiel die IEA, dass sich die Overnight-Baukosten[77] für Atomkraftwerke im Bereich von 3.200 bis 4.500 US-Dollar pro kW bewegen.[78] Dieser Wert ist erheblich niedriger, als der von der Vermont Law School und anderen ermittelte.[79] Auf Basis ihrer eigenen Zahlen nimmt die IEA an, dass

74 Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Power, MIT, 2003. http://web.mit.edu/nuclearpower/

75 Zitiert im House of Commons Trade and Industry Committee «New nuclear? Examining the issues», Fourth Report of Session 2005-06, Volume 1.

76 Presseerklärung vom 12. Mai 1999, Pressestelle, Büro des Präsidenten.

77 Vgl. Anm. Abb. 12

78 IEA: *World Energy Outlook 2009*, S. 266.

79 Siehe auch Citi Investment Research & Analysis: *New Nuclear – The Economics Say No*, November 2009.

die Produktionskosten für Elektrizität im Bereich von 55 bis 80 Dollar pro MWh liegen werden.

Höhere Baukosten wirken sich signifikant auf die Gesamtkosten von Atom-Strom aus. Die Studie der Universität Vermont nennt dafür drei Quellen:

- Laut MIT-Modell steigen die Busbar-Kosten[80] für je 1.000 Dollar zusätzlicher Overnight-Kosten um 1,8 US-Cents pro kWh im Versorger-Finanzmodell und um 2,4 Cents im Merchant-Finanzmodell.
- In der Harding-Studie steigen die Busbar-Kosten um etwa 2,4 US-Cents pro kWh für je 1.000 Dollar Zunahme der Overnight-Kosten.
- In der Studie der University of Chicago betrug die Zunahme der Busbar-Kosten pro 1.000 Dollar an Overnight-Kosten 3,0 US-Cents pro kWh.

Im Durchschnitt ergeben diese Zahlen eine Steigerung von 40 US-Dollar pro MWh. Das entspräche dem oberen Ende des Spektrums dessen, was derzeit für die Strompreise prognostiziert wird und dem unteren Ende dessen, was an der Wall Street und von unabhängigen Experten vorhergesagt wird (siehe Abbildung 14). Die Zahlen der IEA müssten demnach auf 95 bis 120 US-Dollar pro MWh korrigiert werden.

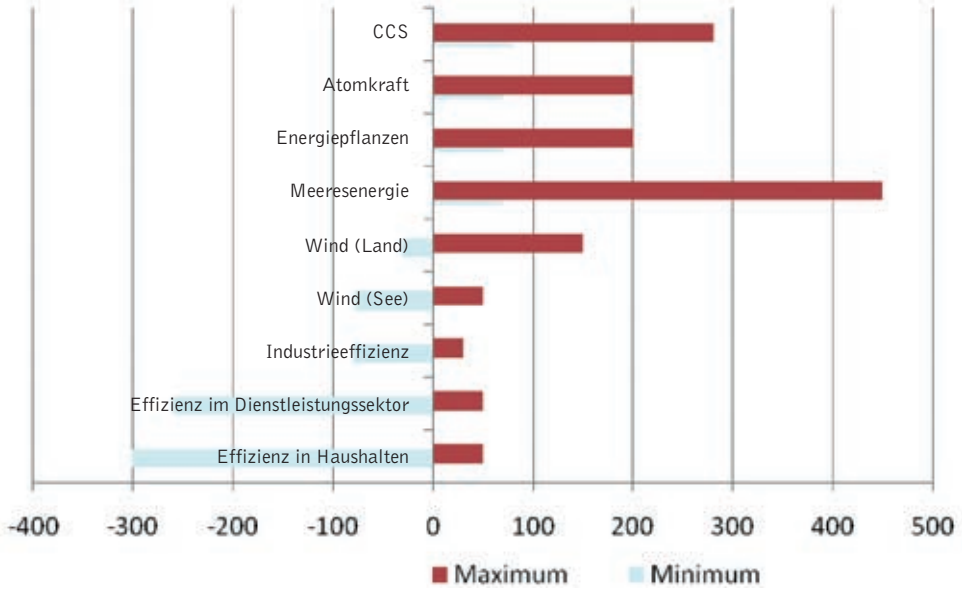
Auch in Europa fallen die Kosten höher aus als erwartet. 2004, bei Beauftragung des finnischen Reaktors Olkiluoto, wurde der Preis mit etwa 3 Milliarden Euro veranschlagt. Mittlerweile, nach fünfjähriger Bauzeit (und ein Jahr nach der geplanten Fertigstellung) liegen die geschätzten Kosten 90 Prozent über dem Budget (bei etwa 5,7 Milliarden Euro).

Wahrscheinlich verringern sich durch die höheren Baukosten von AKWs auch die Investitionen in andere Kraftwerke oder alternative Formen des Energiemanagements. Die IEA geht davon aus, dass für den vermehrten Einsatz von Atomkraft 16 Prozent aller Investitionen nötig sind. Wenn man allerdings von Kosten ausgeht, die mehr den derzeitigen US-amerikanischen oder europäischen Prognosen entsprechen, so würden sich dadurch die Investitionen in andere Bereiche um etwa 40 Prozent verringern – oder eine entsprechende Erhöhung der Ausgaben wäre nötig. Beide Optionen wären für den Stromsektor ein potenzielles Problem.

Die folgenden Zahlen zeigen die Kosten der Kohlenstoffminderung durch unterschiedliche nichtfossile Ansätze und durch mehr Energieeffizienz. Das Ergebnis: Die Atomkraft ist weitaus teurer als alle Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, teurer als land- oder seegestützte Windkraft, bewegt sich etwa im Bereich der Produktion von Energiepflanzen und ist möglicherweise billiger als die Nutzung von Meeresenergie.

80 Die Kosten pro Kilowattstunde der Energieerzeugung; sie schließen die Kosten für Kapital, Schuldendienst, Betrieb und Wartung sowie Brennstoff mit ein. Die Sammelschiene (engl. busbar) des Kraftwerks ist der Punkt hinter dem Generator, aber vor dem Spannungstransformator in der Freiluftschaltanlage des Kraftwerks.

Abb. 20: Geschätzte Kosten für die Kohlenstoffminderung in Großbritannien 2020 (GBP/Tonne Kohlenstoff)



Quelle: PIU, 2002

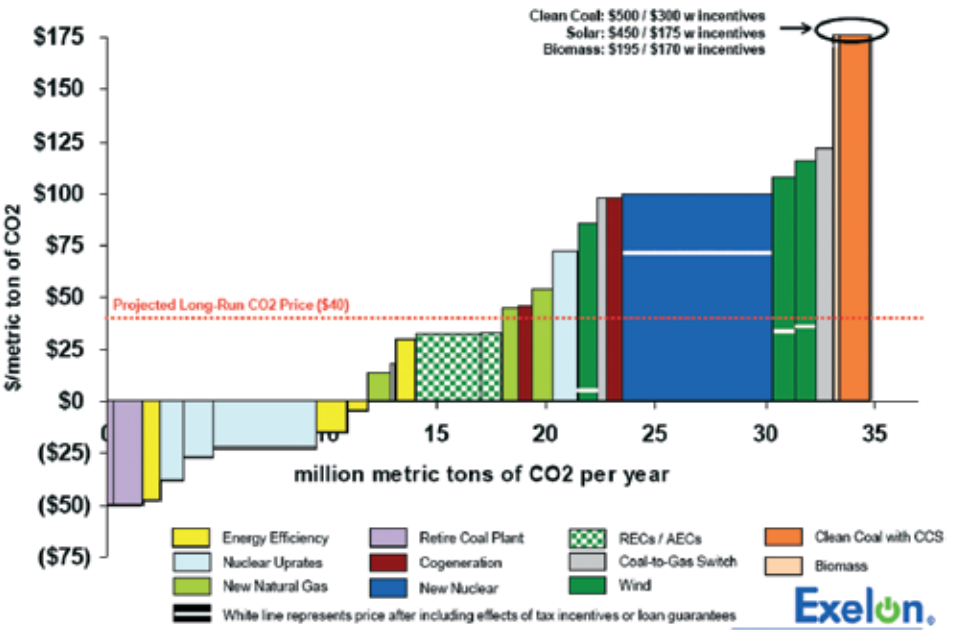
Neuere Analysen legen nahe, dass die Kosten für Atomkraft und Erneuerbare Energien womöglich wesentlich mehr den Zahlen der britischen Regierung entsprechen. Eine 2009 von McKinsey erstellte Untersuchung veranschlagt die unterschiedlichen Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen und kommt zu dem Schluss, dass «mehrere kohlenstoffarme Technologien bis 2030 ähnliche Vermeidungskosten aufweisen; dies zeigt, wie schwer zu sagen ist, welche Technologien sich durchsetzen werden».[81] Allerdings nimmt McKinsey für Atomkraft für 2005 einen Wert von 3.000 Euro pro kW in entwickelten Ländern an (2.000 US-Dollar pro kW für Entwicklungsländer). Diese Schätzung liegt unter den derzeitigen tatsächlichen Baukosten und unter dem, was unabhängige Analysen annehmen.

Der Vorstandsvorsitzende des größten US-Energieversorgers Exelon räumte kürzlich ein, dass sich innerhalb von nur zwei Jahren «die Wirtschaftlichkeit CO_2-armer Optionen dramatisch verändert» hat und seine Firma inzwischen die

81 McKinsey: *Pathway to a low Carbon Economy – Version 2 of the Global Greenhouse Gas Carbon Abatement Cost Curve*, McKinsey and Company 2009. Der McKinsey-Analyse zufolge hat eine Reihe von Atom- und Erneuerbaren Technologien CO_2-Vermeidungskosten zwischen 5 und 20 Euro pro Tonne bei Neubau, Geothermie (5 €/tCO_2-Äquivalent), Atomkraft (10 €/tCO_2-Äquivalent), Low Penetration Wind (12 €/tCO_2-Äquivalent); Solarthermie (13 €/tCO_2-Äquivalent); High Penetration Wind (20 €/tCO_2-Äquivalent).

Kosten für neue Atomkraftwerke auf 100 Dollar pro Tonne CO_2 schätzt (siehe Abb. 21) – das Zehnfache des von McKinsey angenommenen Wertes.[82]

Abb. 21: Kostenschätzungen von Exelon für die CO_2-Mitigation (US-Dollar pro Tonne CO_2)



Infrastruktur und Stromnetze

Die Investitionen in die elektrische Infrastruktur müssen im kommenden Jahrzehnt beschleunigt werden, gleich welche Energieform zur Stromerzeugung genutzt wird. Die IEA kommt im Referenz-Szenario ihres letzten World Energy Outlook zu dem Schluss, bis 2030 seien Investitionen von 13,7 Billionen US-Dollar erforderlich, davon 48 Prozent für Übertragung und Verteilung (zwei Billionen US-Dollar für Übertragung und 4,5 Billionen für Verteilung). Die Investitionskosten für ein System, das weniger Kohlenstoff-Emissionen produzieren soll, werden wahrscheinlich höher ausfallen.

Die bestehenden Netze gehen von großen, zentralisierten Erzeugern aus, die Strom in Hochspannungsleitungen über große Distanzen zu städtischen oder industriellen Zentren leiten. Von dort aus bringen Leitungen mit niedrigeren Spannungswerten die Elektrizität zum Endverbraucher. Die meisten dieser Netze entstanden, als der Stromsektor noch vollständig in staatlicher Hand war. Folglich mussten neue Kraftwerke nicht die Kosten für die zu ihrem Betrieb nötigen Netzanschlüsse decken. Dieser Umstand kann Zusatzkosten und einen Wettbewerbsnachteil für neue Erzeuger schaffen, die nicht in das bestehende

82 John Rowe: *Fixing the Carbon Problem Without Breaking the Economy*, Exelon, 12. Mai 2010.

Netz integriert sind, sollten sie für den Anschluss oder eine Verstärkung des Netzes bezahlen müssen.

Das derzeitige System basiert großenteils auf einem Modell der Prognose und Lieferung, in dem die zentralisierten Versorgungsunternehmen versuchen sicherzustellen, dass die Nachfrage des Verbrauchers zu jeder Zeit befriedigt werden kann. Dieses System ist jedoch ineffizient. Ein kohlenstoffarmer, zukunftsfähiger Energiesektor kann so nicht entstehen. Um zu ermöglichen, dass Erneuerbare Energie von weiträumig verteilten, unterschiedlich großen Erzeugern produziert werden kann, müssen die Netze grundlegend geändert und entwickelt werden. In einigen Fällen, etwa bei der seegestützten Windkraft, sind solche Investitionen Grundvoraussetzung – ohne sie kann diese Energiequelle nicht genutzt werden.

Der Wille zu solchen Veränderungen findet sich wieder in politischen Statements, in Investitions- und vor allem in Konjunkturprogrammen. Vielfach fehlt es jedoch an Details und an unmissverständlichen Definitionen, und es bleibt unklar, ob, oder in welchem Ausmaß, ein grundlegender Wandel im Gang ist. Vor allem der Begriff «smart» ist inzwischen zu einem Synonym für «Wandel» geworden, doch gibt es bislang keinen Konsens über seine Bedeutung. Ein schlagendes Beispiele hierfür war eine Presseerklärung, die das britische Ministerium für Energie und Klimaschutz kurz vor der Klimakonferenz von Kopenhagen herausgab. Sie trug den Titel «Das britische Energiesystem wird smart», und der Begriff tauchte in 19 Sätzen 22 Mal auf.[83]

Die als Reaktion auf die Wirtschaftskrise in Großbritannien aufgelegten Konjunkturprogramme betonen umweltfreundliche Maßnahmen und besonders die Notwendigkeit, in «Smart Grids» – «kluge Stromnetze» – zu investieren. Der Bank HSBC zufolge beliefen sich die Finanzierungszusagen für neue Netze weltweit auf 92 Milliarden Dollar, wenngleich sich der Löwenanteil, etwa 70 Milliarden, auf China beschränkt (das gesamte Finanzvolumen für Umweltmaßnahmen beläuft sich auf 430 Milliarden Dollar).[84] Allerdings unterscheiden sich manche Projekte, die als «kohlenstoffarm» oder umweltfreundlich klassifiziert werden, nicht sehr von bestehenden Wartungs- oder Ausbauplänen.

Die EU legt den Schwerpunkt auf das Europäische Energieprogramm zur Konjunkturbelebung (EEPR). Darin wird die Grundlage für eine umfangreiche Co-Finanzierung von Schlüsselprojekten im Energiebereich geschaffen. Vier Milliarden Euro sollen für den «Schutz von Arbeitsplätzen und Kaufkraft, die Förderung der Infrastruktur und die Schaffung neuer Arbeitsplätze in den kohlenstoffarmen Sektoren der Zukunft» ausgegeben werden. Der größte Anteil (2,365 Milliarden Euro, ca. 60 Prozent des Budgets) waren Investitionen in Gas- und Strominfrastruktur, 1,05 Milliarden (26%) flossen in die CO_2-Abtrennung und -speicherung (CCS) und 0,565 Milliarden (14%) in seegestützte Windkraftprojekte. Einzelheiten zu den CCS- und Windkraftprojekten wurden öffentlich

83 Siehe http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/pn139/pn139.aspx

84 HSBC: A Climate for Recovery; The Colour of Stimulus Goes Green, Februar 2009. http://www.globaldashboard.org/wp-content/uploads/2009/HSBC_Green_New_Deal.pdf

gemacht, nicht jedoch zu den Projekten zum Ausbau der Gas- und Strominfrastruktur – sie werden noch überprüft. Letztere Projekte scheinen mit kohlenstoffarmer, Erneuerbarer Energie nichts zu tun zu haben, sondern zielen auf eine Stärkung des bestehenden Strommarkts.[85]

Nur zehn Prozent der Kriterien für die Förderung haben mit Umweltpolitik zu tun – und selbst dabei fehlt noch der Hinweis auf «Folgen der Maßnahme unter anderem auf die Natur, Emissionen, Lärm, Landverbrauch und die Maßnahmen zur Reduzierung oder Kompensierung negativer Auswirkungen».[86] Die Unterkategorie «Offshore Wind» listet drei Projekte zur Netzinfrastruktur auf, in die etwa 310 Millionen Euro fließen sollen. Die Kosten der Projekte werden jedoch mit etwa 1,8 Milliarden Euro veranschlagt.

Zwar sollen schwerpunktmäßig hohe Investitionen in Hochspannungsnetze fließen, eine gründliche Analyse bezüglich der widersprüchlichen Dynamiken bestimmter Investitionen ist jedoch überfällig. Die absolute Priorität, die den stetig wachsenden, mit hohen Verlusten arbeitenden, zentralisierten Hochspannungsnetzen und Verteilersystemen eingeräumt wird, behindert die rasche Einführung hoch effizienter, dezentralisierter «smart grids». Nur mit diesen lassen sich Übertragungsverluste vermindern, und sie sind der Schlüssel für zukünftige intelligente Systeme, die die Rollen von Stromerzeugern und -verbrauchern von Grund auf verändern werden.

Ein Beispiel: Ein Elektroauto wandelt Strom wesentlich effektiver in mechanische Leistung um als ein Verbrennungsmotor den Kraftstoff. Wichtig ist aber vor allem, dass der Strom nachhaltig erzeugt wird. Die Investitionen in die Infrastruktur müssen ganz neu ausgerichtet werden; es reicht nicht, alte, ineffiziente Infrastruktur mit neuen Anlagenteilen aufzumöbeln – was die Gesamtleistung des Systems nicht verbessert.

In den letzten Jahren haben sich die Kapazitätsprobleme bei der Integration größerer Mengen intermittierender Erneuerbarer Energie in das Netz bereits in einigen Fällen gezeigt. Diese Probleme wurden noch verschlimmert durch große und schwerfällige Atomkraftwerke, die einen *permanenten* Zugang zum Netz erfordern. Das Wachstum der Erneuerbaren Energie in den letzten Jahren hat gezeigt, dass Bauzeiten eingehalten werden und dass Kostenkontrolle und Netzanschluss keine Probleme darstellen. Zudem ist es zweifellos sinnvoll, Erneuerbaren Energien Vorrang einzuräumen, da sie ohne Brennstoff arbeiten. Kommt es aber zu keinem Systemwechsel, wird die ineffiziente Nutzung Erneuerbarer Energien zunehmen. Notwendig sind grundsätzliche Reformen beim Management der Stromnetze, erhebliche Investitionen in neue Infrastruktur und die Entwicklung neuer Produkte. Grundlage solcher Reformen muss eine

85 Verordnung (EG) Nr. 663/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über ein Programm zur Konjunkturbelebung durch eine finanzielle Unterstützung der Gemeinschaft zugunsten von Vorhaben im Energiebereich, L/200/31, 31.7.2009. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:200:0031:0045:DE:PDF

86 European Commission: European Energy Programme for Recovery. http://ec.europa.eu/energy/grants/docs/eepr/eepr_info_day_presentation_interconnections.pdf

bessere, effizientere Versorgung sein, bei der die Erzeugung und Nutzung von Energie vor Ort im Vordergrund steht, die reaktive Nutzung und Speicherung erlaubt, die regionale Stromnetze integriert, Verbünde von Mikronetzen schafft (und so den Bedarf an Reservekapazität verringert) und, wo nötig, leistungsstarke erneuerbare Ressourcen wie etwa seegestützter Windkraftwerke einsetzt.

Die Mechanismen des Marktes

Der weltweite Trend zu mehr Liberalisierung hat in den vergangenen Jahrzehnten zu weniger staatlichen Eingriffen in den Gas- und Strommärkten geführt. Dies führte jedoch nicht dazu, dass der Staat die Finger von der Energieversorgung ließ, er führte stattdessen vermehrt marktwirtschaftliche Mechanismen ein, um bestimmte Technologien zu unterstützen.

In manchen, wenngleich nicht allen Fällen werden solche Mechanismen des Marktes seit kurzem dazu genutzt, Erneuerbare Energien durchzusetzen – so wurden auf dem Strommarkt garantierte Einspeisetarife und Marktanteile eingeführt. Anfang 2009 hatten mindestens 73 Länder politische Zielvorgaben für Erneuerbare Energien definiert (eingeschlossen Bundesstaaten und Provinzen in den USA und Kanada, wo es derartige Vorgaben auf nationaler Ebene nicht gibt).[87] Derartige politische Mechanismen sind Grundlage des Erfolgs der Erneuerbaren Energien.

Wichtig ist, dass Europa klargestellt hat, dass es sich bei diesen Mechanismen nicht um Staatshilfen handelt. In einem Präzedenzurteil stellte der Europäische Gerichtshof 2001 fest, dass strukturierte Einspeisetarife keine Staatshilfe sind, sondern ein Mittel, um externe, nicht in die Preisgestaltung einfließende Kosten auszugleichen. Dieses Urteil wurde von der Europäischen Kommission aufgenommen und dahin gehend erweitert, dass, vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus, wiederholtes Marktversagen staatliche Interventionen in die Märkte für Erneuerbare Energien rechtfertigt.[88] Als Grund dafür wurde unter anderem folgendes angegeben:

- «Da sich Externalitäten in den meisten Ländern politisch gegenwärtig nicht vollständig internalisieren lassen (…) kann es aus Gründen der Effizienz gerechtfertigt sein, Erneuerbare Energien zu unterstützen, um so ihrem niedrigen Emissionsprofil Rechnung zu tragen.»
- «Obwohl manche Erneuerbaren Energien, etwa Windkraft an sehr guten Standorten, in ihren Kostenstrukturen konventionellen Energiequellen nahe kommen, werden Erneuerbare Energien auf einem ungeschützten Strommarkt meist noch nicht als wettbewerbsfähig betrachtet – vor allem, da

87 REN21: Renewables Global Status Report 2009 Update: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2009. www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf

88 Kommission der Europäischen Gemeinschaften – Mitteilungen der Kommission: Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, SEK(2005) 1571, KOM(2005) 627 endgültig, Dezember 2005. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0627:FIN:DE:PDF

dieser Markt nach wie vor von zahlreichen direkten und indirekten Subventionen für das bestehende Elektrizitätssystem verzerrt wird und auf einer Infrastruktur beruht, die größtenteils gebaut wurde, als sich der Stromsektor noch in öffentlicher Hand befand … Trotz der langfristigen Perspektiven der Erneuerbaren Energien investiert der Markt noch immer in unzureichendem Maß in Forschung und Entwicklung; Regierungen sollten deshalb Innovationsanreize geben.»

- «Die heutigen Regulierungssysteme begünstigen konventionelle Energieformen, die zudem in der Vergangenheit stark von massiver staatlicher Unterstützung für Forschung und Entwicklung profitiert haben.»[89]

US-Subventionen für Atomkraft im Vergleich

In ihren ersten 15 Jahren erzeugten Atomkraft und Windkraft vergleichbare Energiemengen (Atomkraft 2,6 Milliarden, Wind 1,9 Milliarden kWh). Die Subventionierung der Atomkraft überwog die der Windkraft jedoch um den Faktor vierzig – 39,4 Milliarden zu 900 Millionen Dollar.

Marshall Goldberg: «Federal Energy Subsidies: Not All Technologies Are Created Equal», *REPP* Nr. 11, Juli 2000

Da in den meisten liberalisierten Märkten der Bau von immer weniger Atomkraftwerken in Auftrag gegeben wird, wird auf die Mechanismen zur Förderung dieser Technologie immer weniger zurückgegriffen – und das, obwohl vermehrt Geld zur Verfügung gestellt oder vorgemerkt wird. Das beste Beispiel hierfür sind die USA. Das Energiegesetz von 2005 sieht zur Subventionierung der Atomkraft unter anderem folgendes vor:

- Steuergutschriften bei der Produktion: 1,8 Cents Steuergutschrift für jede kWh von neuen Reaktoren über acht Jahre für sechs Reaktoren – Kosten für den Staat: 5,7 Milliarden Dollar
- Kreditbürgschaften für die ersten sechs bis acht Reaktoren – das sind bis zu 18,5 Milliarden Dollar
- Unterstützung bei behördlich oder gerichtlich bedingten Verzögerungen – Wert bis zu 500 Millionen Dollar für die ersten beiden Reaktoren und 250 Millionen für die nächsten vier
- weitere Gelder für Forschung und Entwicklung in Höhe von 850 Millionen Dollar
- Hilfe bei der Stilllegung – bis zu 1,3 Milliarden Dollar.

89 European Commission: *Commission staff working document – Annex to the Communication from the Commission The support for electricity from renewable energy sources – Impact assessment* {COM(2005) 627 final} /* SEC/2005/1571 */ http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SEC:2005:1571:FIN:EN:HTML

Im Dezember 2007 erklärte Christopher Crane, Präsident von Exelon Generation, einem der Unternehmen, das neue Atomkraftwerke plant: «Wenn das Kreditgarantieprogramm bis 2009 nicht da ist, machen wir nicht weiter.»[90] Wie wichtig dieser spezielle Marktmechanismus ist, wurde im Januar 2010 klar, als Präsident Obama die potenziell verfügbare Finanzierung verdreifachte und erklärte, das von ihm vorgelegte Energiegesetz würde Garantien von bis zu 54 Milliarden Dollar vorsehen.

Wie schon gesagt, gibt es in anderen Ländern mit liberalisierten Strommärkten derzeit weniger Marktanreize speziell für die Atomkraft. Es werden jedoch aktuell Programme entwickelt, die zu einer weiteren Subventionierung führen könnten. Bei dem informellen EU-Gipfel in Hampton Court (Oktober 2005, während der britischen EU-Präsidentschaft) stellte Dieter Helm ein Papier vor, mit dem Titel «Europäische Energiepolitik, Versorgungssicherheit und die Herausforderung des Klimawandels».[91] Darin heißt es, der Investitionsbedarf, der wegen der Stilllegung eines großen Teils der derzeitigen Kraftwerkskapazität eintreten werde, sei eine ideale Gelegenheit, in «kohlenstofffreie Energiequellen» zu investieren. Des weiteren wird gefordert, die EU solle «in Betracht ziehen, die Definition der Erneuerbaren Energien so auszuweiten, dass sie verschiedene Technologien zur Verminderung von Emissionen einschließt».

In einigen Fällen wurden noch offensichtlichere Versuche unternommen, die Atomkraft als erneuerbare Energiequelle zu kategorisieren. Im US-Bundesstaat Arizona wurde im Februar 2010 eine Gesetzesvorlage zurückgewiesen, in der die Atomkraft zu den Erneuerbaren Energien gezählt wurde. Eine solche Definition hätte es der Atomindustrie ermöglicht, sich auf eine Klausel zu berufen, der zufolge Energieversorger 15 Prozent ihres Stroms aus erneuerbaren Quellen beziehen müssen. Nachdem die Atomenergie aus dem Gesetz gestrichen war, gab Jan Brewer, die Gouverneurin von Arizona, folgende Erklärung ab: «Dies ist eine klare und deutliche Botschaft für Unternehmer überall auf der Welt – Arizona bleibt für die Solarindustrie ein erstklassiger Standort.»[92]

Die Europäische Kommission veröffentlichte am 8. März 2006 das Grünbuch *Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie*.[93] Es enthält folgenden Abschnitt zu kohlenstoffarmen Technologien:

> *Ferner könnte es zweckmäßig sein, ein übergeordnetes strategisches Ziel zu vereinbaren, durch das die Ziele nachhaltige Energienutzung, Wettbe-*

90 «Loan Guarantees Target as Key for Nuclear Builds», *Power, Finance and Risk*, 21. Dezember 2007.

91 Dieter Helm: European Energy Policy, Securing Supplies and Meeting the Challenge of Climate Change, 25. Oktober 2005. www.offnews.info/downloads/european_energy.pdf

92 «Bill to classify nuclear as renewable energy killed», *Phoenix Business Journal*, 22. Februar 2010. http://phoenix.bizjournals.com/phoenix/stories/2010/02/22/daily51.html

93 Europäische Kommission: *Grünbuch: Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie*, 8. März 2006. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27062_de.htm

werbsfähigkeit und Versorgungssicherheit in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander gebracht werden. Dies müsste ausgehend von einer gründlichen Folgenabschätzung mit einem Bezugswert, anhand dessen sich der in Veränderung begriffene Energieträgermix der EU beurteilen ließe, erfolgen und würde der EU helfen, die wachsende Importabhängigkeit einzudämmen. Ein Ziel könnte zum Beispiel sein, dass sichere und CO_2 -arme Energiequellen einen bestimmten Mindestanteil am gesamten Energieträgermix in der EU ausmachen. Eine solche Bezugsmarke würde die potenziellen Risiken der Importabhängigkeit widerspiegeln, das allgemeine Streben nach einer langfristigen Entwicklung von Energiequellen mit niedrigem CO_2-Ausstoß deutlich machen und es ermöglichen, die im Wesentlichen internen Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele aufzuzeigen.

Im Februar 2010 erklärte OFGEM, die britische Aufsichtsbehörde für den Strommarkt, dass zur Sicherung der Energieversorgung und des Umweltschutzes «zunehmend Übereinstimmung darüber besteht, dass die gegenwärtigen Regeln des Energiemarkts sowie andere finanzielle Anreize reformiert werden müssen».[94] Eine Maßnahme, die die OFGEM erwägt, ist es Leistungskapazitäten für alle Energieformen – einschließlich Erneuerbare Energien und Atomenergie – auszuschreiben. Investoren soll dadurch langfristige Sicherheit gegeben werden.

In Europa wurde der Einsatz von Marktmechanismen mit dem Ziel, Erneuerbare Energien durchzusetzen, von Gerichten gebilligt, da hiermit versucht werde, im Markt bestehende Verzerrungen auszugleichen. Die Mechanismen des Marktes machen es auch leichter, Technologien zu entwickeln, die weder früher von den üppigen Budgets für Forschung und Entwicklung profitiert haben noch vom Bau der Energieinfrastruktur in einer Zeit, in der diese sich noch in Staatsbesitz befand. Auf solche Gründe kann sich die Atomkraft nicht berufen: Sie erhält nach wie vor den Löwenanteil der Forschungsgelder, wird von der bestehenden Infrastruktur begünstigt und muss nicht in vollem Umfang für die von ihr verursachten Umweltkosten aufkommen. Dennoch gibt es, wie bereits erwähnt, in den USA Anstrengungen, die Atomkraft erneut zu subventionieren und in Europa Versuche, die Förderung Erneuerbarer Energie umzumodeln in die allgemeinere Zielvorgabe der «Kohlenstoffarmut». Solche Schritte schwächen eine Politik für Erneuerbare Energien. Und noch wichtiger ist: Sie lassen Investoren an der Ernsthaftigkeit des staatlichen Engagements für Erneuerbare Energien zweifeln.

In diesem Kapitel haben wir die Opportunitätskosten von Atomkraft und Erneuerbarer Energie analysiert. Es gibt jedoch noch viele weitere Fragen, die

94 OFGEM: *Action Needed To Ensure Britain's Energy Supplies Remain Secure*, Pressemitteilung, 4. Februar 2010. http://www.ofgem.gov.uk/Media/PressRel/Documents1/Ofgem%20-%20Discovery%20phase%20II%20Draft%20v15.pdf

behandelt werden müssten. Eine Studie von Mark Jacobson[95] befasst sich mit verschiedenen Energiequellen und ihren potenziellen Auswirkungen auf Klimawandel, Luftverschmutzung und Energiesicherheit; gleichzeitig betrachtet sie auch eine Reihe weiterer Fragen betreffend Wasserversorgung, Landnutzung, Flora und Fauna, Ressourcenverfügbarkeit, Umweltschädigung durch Wärme, Wasserverschmutzung, Verbreitung von Atomwaffen und Unterernährung. Die Atomkraft rangiert an letzter Stelle – hinter sämtlichen Formen erneuerbarer elektrischer Energie.[96] Jacobson hat sich mit Photovoltaik, Solarthermie, Wind, Geothermie, Wasserkraft, Wellenenergie, Gezeitenenergie, Atomenergie und Kohle mit CCS, ferner mit den Biokraftstoffen Getreide und Zellulose beschäftigt.

Schlussfolgerungen

Die Atomkraft wird nach wie vor von staatlicher Seite in großem Maß gefördert. Wie ein Beispiel zeigt, erzeugten Atom- und Windtechnologie in den USA in ihren ersten 15 Jahren vergleichbare Mengen an Energie (Atomkraft 2,6 Milliarden, Windkraft 1,9 Milliarden kWh), doch die Subventionen für Atomkraft überwogen die für Windkraft um den Faktor vierzig. Selbst heute noch, obwohl weniger Atomkraftwerke gebaut werden und andere Technologien in den Vordergrund rücken, erhält die Atomenergie weiterhin staatliche Forschungsgelder und Zuschüsse im großen Stil.

Darüber hinaus gibt es hohe indirekte Subventionen für Atomkraft, da die Umweltkosten in die Strompreise nicht eingerechnet werden. Dies betrifft im Besonderen staatliche Garantien für die Endlagerung und die Entsorgung radioaktiven Abfalls.[97] Weitere direkte Finanzhilfen gibt es durch Haftungsbeschränkungen und staatliche Garantien bei der Haftpflichtversicherung, durch Garantien bei Exportkrediten und durch Steuervergünstigungen bei der Produktion sowie durch Kreditgarantien.

Weltweit werden beim Bau von Atomkraftwerken Kosten und Zeitplanungen überschritten. Die größten Atomprogramme, das der USA und das Frankreichs, weisen eine Kostensteigerung um das Fünf- beziehungsweise um das Dreifache auf. Dies lässt sich nicht durch «Kinderkrankheiten» erklären; es handelt sich um

95 Mark Jacobson: «Review of solutions to global warming, air pollution and energy security.» In: *Energy and Environmental Science*, 1. Dezember 2008. http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/PDF%20files/ReviewSolGW09.pdf

96 Die Auswirkung der Atompolitik auf Klimawandel und Umwelt wurde eingehender untersucht in einem Artikel von Felix Matthes, siehe Felix Chr. Matthes: «Atomenergie und Klimawandel». Kapitel 6 in: *Mythos Atomkraft. Ein Wegweiser*. Hg. von der Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin 2005. http://www.boell.de/downloads/oekologie/Mythos_Weg_Inh_Buch_bearbeitet_ohne_Fotos_kommentierbar.pdf

97 Für eine tiefer gehende Diskussion staatlicher Subventionen für die Atomkraft in Deutschland siehe FÖS / Green Budget Germany: *Staatliche Förderung der Atomenergie im Zeitraum 1950 bis 2008*, Berlin 2009. http://www.foes.de/pdf/90903-Subventionen_Atomkraft_Endbericht-3%20li.pdf

systemische Probleme, die bei derart großen, politisch belasteten, komplizierten Projekten auftritt. Aktuelle Erfahrungen in Olkiluoto (Finnland) und Flamanville (Frankreich) zeigen, dass diese Probleme weiter bestehen. Der Anstieg der Kosten und Verzögerungen beim Bau von Atomkraftwerken lassen nicht nur die nötigen Investitionen steigen, sie führen auch zu höheren Emissionen des Sektors.

Atomkraft einerseits und die Steigerung der Energieeffizienz und die Einführung Erneuerbarer Energien andererseits schließen sich eindeutig aus. Das gilt aus einer systemischen Perspektive und nicht nur im Hinblick auf Neuinvestitionen. Dies wird auch in Ländern und Regionen immer deutlicher, in denen Erneuerbare Energien einen großen Teil der Stromerzeugung leisten, etwa in Deutschland oder Spanien. Die wesentlichen Gründe hierfür sind:

- **Wettbewerb um begrenztes Kapital**. Ein Euro, Dollar oder Yuan kann nur einmal ausgegeben werden. Er sollte deshalb in die Technologie fließen, die Emissionen am umfangreichsten und am schnellsten senkt. Die Atomkraft ist nicht nur eine der teuersten, sie ist auch die langsamste Option.
- **Überkapazitäten vernichten jeden Anreiz für Effizienz**. Zentralisierte große Energieeinheiten führen tendenziell zu strukturellen Überkapazitäten. Überkapazitäten lassen keinen Raum für Effizienz.
- **Flexible komplementäre Kapazitäten sind notwendig**. Die Ausweitung erneuerbarer Stromquellen muss durch flexible Mittellastanlagen ergänzt werden, nicht durch unflexible, große Grundlastkraftwerke.
- **Stromnetze der Zukunft funktionieren in beide Richtungen**. «Intelligente Stromzähler», «intelligente Haushaltsgeräte» und «intelligente Netze» sind im Kommen. Das Konzept ist ein vollkommen neu gestaltetes System, in dem der Nutzer auch eine Erzeuger- und Speicherfunktion erhält. Dies unterscheidet sich radikal vom zentralisierten, vertikalen Top-down-Ansatz.

Für künftige Planungen, besonders in Entwicklungsländern, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die widersprüchlichen systemischen Eigenschaften von Strategien, die auf Atomenergie beruhen im Gegensatz zu Strategien, die auf Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien basieren, klar herausgearbeitet werden. Zahlreiche systembedingte Effekte sind bisher nicht ausreichend dokumentiert oder werden nicht einmal verstanden. Weitere Forschung und Analyse auf diesem Gebiet ist dringend notwendig.

Dies ist zum jetzigen Zeitpunkt besonders wichtig, da das nächste Jahrzehnt für mindestens eine Generation über die Zukunftsfähigkeit, Sicherheit und finanzielle Lebensfähigkeit des Energiesektors entscheiden wird. Drei wichtige Antriebe für Politik und Erörterungen sind zusammengekommen, um die Art und Weise zu verändern, wie Energiedienstleistungen erbracht und Energieträger (Elektrizität, Wasserstoff etc.) und Brennstoffe erzeugt, transportiert und genutzt werden. Dies sind:

- das wachsende Bewusstsein, dass wir brauchen, um die Risiken gravierenden Klimawandels zu verringern, und die Erkenntnis, wie wichtig hierzu der Beitrag des Energiesektors ist;

- die wachsende Intensität des globalen Wettbewerbs um klassische Energiequellen – wobei der steigende Bedarf nicht durch neue Vorräte an Ressourcen gedeckt werden kann;
- die Notwendigkeit, Investitionen in den Energiebereich zu beschleunigen – in den OECD-Ländern, da die bestehende Infrastruktur veraltet ist; in den Entwicklungsländern als Ergebnis der beschleunigten Urbanisierung und damit der Nachfrage nach verschiedenen und intensivierten Energiedienstleistungen.

«Business as usual» – Weitermachen wie bisher – ist keine Option, das haben die Internationale Energieagentur der OECD und andere festgestellt. Erneuerbare Energie ist eine, wenn nicht *die* große Erfolgsgeschichte des vergangenen Jahrzehnts. Weltweit fielen 2009 die Ausgaben für Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien – große Wasserkraftwerke ausgenommen – das zweite Jahr in Folge höher aus als die Investitionen in neue Anlagen auf der Basis fossiler Brennstoffe. In Europa wurden 2009 13 Milliarden Euro in Windenergie investiert. Windkraftanlagen machten damit 39 Prozent der neu gebauten Stromkapazität aus. Es war das zweite Jahr in Folge, in dem mehr Windkraft in Europa installiert wurde als jede andere Energietechnologie. Ferner kamen in Europa 2009 Erneuerbaren Energien allgemein auf über 61 Prozent aller neuen Netzanschlüsse. Der EU-Stromsektor bewegt sich weiterhin weg von Kohle, Erdöl und Atomkraft – hier wird mehr stillgelegt, als neu gebaut. Natürlich sind manche Länder erfolgreicher als andere, doch gibt es weltweit in mindestens 73 Ländern politische Zielvorgaben für den Ausbau dieser Technologien. Bedeutsam ist, dass viele Entwicklungsländer bei der Anlagenherstellung und Nutzung Erneuerbarer Energien in vorderster Linie stehen. China ist bereits Weltführer in der Solarthermie, dürfte bald der weltgrößte Hersteller von Windturbinen werden und hatte 2009 den größten Zuwachs an installierter Windkapazität weltweit. Ferner wird erwartet, dass sich die Nutzung Erneuerbarer Energie in Europa im kommenden Jahrzehnt verdreifacht und dass sie in den meisten OECD-Ländern signifikant zunehmen wird.

Der Einsatz Erneuerbarer Energie hat gezeigt: Sie sind eine Schlüsseltechnologie, will man die Emission von Treibhausgasen im Strombereich senken. Die Rolle, die sie in anderen Bereichen spielen können – vor allem Transport, Wärme und Kälte – ist bislang noch nicht voll erkannt. Infolgedessen ist ihr Beitrag zum Energiemix in vielen Ländern hier noch beträchtlich geringer als bei der Elektrizität (lässt man traditionelle und nichtkommerzielle Energiequellen außer Acht).

Entscheidend ist: Auch eine Politik der Erneuerbaren Energien wird ohne massive Anstrengungen im Bereich Energieeffizienz in allen Energiesystemen nicht das Resultat unerlässlicher Emissionssenkungen erreichen. Deutschlands Stromsektor ist ein frappierendes Beispiel. Hier hat der Verbrauch schneller zugenommen als die Dekarbonisierung der Kilowattstunde – wodurch ein Großteil der positiven Umwelteffekte des sehr erfolgreichen Erneuerbaren

Energienprogramms zunichte gemacht wurde. Der Anfang muss mit vernünftigen Konzepten für langfristige Infrastrukturinvestitionen gemacht werden, insbesondere bei der Stadtplanung und beim Gebäudedesign sowie bei den Flächennutzungsplänen. Wir können es uns nicht leisten, weiterhin Transportbedarf dadurch zu schaffen, dass wir Bürogebäude und Einkaufszentren dort bauen, wo niemand wohnt. Und wir dürfen weder Zeit noch Ressourcen vergeuden, indem wir zunächst in energieintensive Gebäude investieren, um sie dann später (vielleicht) nachzurüsten.

Um Energieeffizienz und Erneuerbare Energie für die private Finanzwirtschaft attraktiv zu machen, muss Vertrauen in die Beständigkeit und Wirksamkeit politischen Handelns geschaffen werden. Die Anlagebonität[98] von Erneuerbaren Energien muss langfristig gesichert werden. Im Idealfall sollte die Politik das Potenzial aller Erneuerbaren Energien darlegen und die Chancen der Technologien am Markt definieren, um so sicherzustellen, dass adäquate, aber nicht übermäßige Unterstützung zur Verfügung steht. Der relativ geringe Beitrag, den die Erneuerbaren Energien (abgesehen von Wasserkraft) aktuell zur globalen Stromversorgung leisten, zeigt, dass der potenzielle Markt existiert und wieviel hier kurz- und langfristig investiert werden muss. Eben deshalb muss es auf Langfristigkeit angelegte, klare Signale geben, die zeigen, dass die Regierungen hinter diesem Energiesektor stehen. Gibt es gemischte Signale mit Vorschlägen, Zielvorgaben für Erneuerbare Energien mit Zielvorgaben für «kohlenstoffarme» zu verdünnen, dann schafft man Unsicherheit und wird zweifellos Investitionen verhindern oder verzögern.

98 Siehe Kirsty Hamilton: *Unlocking Finance for Clean Energy: The Need for «Investment Grade» Policy*, Chatham House, Dezember 2009. http://www.chathamhouse.org.uk/files/15510_bp1209cleanenergy.pdf

STEVE THOMAS

Die wirtschaftlichen Aspekte der Atomenergie

1 Einleitung

Die insbesondere bei der Stromerzeugung erforderliche Senkung der Emissionen von Treibhausgasen ist eine große Herausforderung, die das Interesse am Bau neuer Atomkraftwerke geweckt hat. Solche Kraftwerke würden zunächst einmal den alternden Bestand an vorhandenen Reaktoren ersetzen, dann aber auch den wachsenden Strombedarf decken und schließlich einige mit fossilen Brennstoffen betriebene Kraftwerke ablösen. Sie würden außerdem für neue Absatzfelder gebaut, in denen bisher keine Atomenergie eingesetzt wird. Man hofft, dass die Atomenergie auf lange Sicht einen Teil des Energiebedarfs abdecken kann, für den zurzeit noch fossile Brennstoffe benutzt werden. So könnten beispielsweise Atomkraftwerke Wasserstoff erzeugen, durch den sich in Autos die Kohlenwasserstoffe ersetzen ließen.

In der Öffentlichkeit herrscht verständlicherweise Unklarheit darüber, ob mit Atomenergie wirklich günstig Strom produziert werden kann. Die geschätzten Kosten neuer Atomkraftwerke sind in einer alarmierenden Weise gestiegen – allein die Baukosten im letzten Jahrzehnt um einen Faktor 5 – und man kann mit Sicherheit davon ausgehen, dass die Kosten auch noch weiter steigen werden, liegen die Entwürfe erst einmal auf dem Tisch. In den letzten Jahren haben sich jedoch Regierungen wie die der USA, Großbritanniens, Deutschlands und Italiens immer entschiedener dafür eingesetzt, die Laufzeiten vorhandener Atomkraftwerke zu verlängern, und die Auftragsvergabe von Atomkraftwerken erneut mit der Begründung angekurbelt, mit Atomenergie ließe sich dem Klimawandel mit vorhandenen Mitteln am effizientesten begegnen. Die Versorgungsunternehmen wollen ihre Kraftwerke möglichst lange laufen lassen. Sie haben zwar die Forderung nach neuen Atomkraftwerken klar unterstützt, zögern allerdings mit dem Bau, solange weder Kreditbürgschaften noch Absatzgarantien noch Fördermittel vorhanden sind. Dieser Widerspruch lässt sich teilweise relativ leicht mit dem Unterschied zwischen den Betriebskosten und den Gesamtkosten erklären. Während die laufenden Kosten, die ausschließlich für die Atomenergie aufgebracht werden müssen, in der Regel relativ gering sind, sind die Gesamtkosten einschließlich der Tilgung der Baukosten erheblich höher. Ist ein Atomkraft-

werk daher erst einmal gebaut, ist es wirtschaftlich durchaus sinnvoll, es weiter zu betreiben, selbst wenn die Gesamtkosten, die einschließlich der Baukosten bei seiner Entstehung angefallen sind, höher sind als bei den Alternativen. Die Kosten für den Bau eines Kraftwerks sind «irreversible» Kosten. Sie sind in der Vergangenheit entstanden und können nicht mehr zurückgeholt werden. Die bei der Produktion einer zusätzlichen Kilowattstunde anfallenden Grenz- oder Marginalkosten hingegen sind unter Umständen nur gering.

Der vorliegende Text soll deutlich machen, welche wirtschaftlichen Parameter den Preis des aus Atomenergie gewonnenen Stroms bestimmen, und die wesentlichen Faktoren kritisch beleuchten. Dabei wird aufgezeigt, dass neue Atomkraftwerke nicht gebaut werden, wenn die Verbraucher und Steuerzahler keine Zuschüsse zahlen, keine Bürgschaften übernehmen.

2 Der Weltmarkt für Atomkraftwerke: vorhandene Aufträge und Aussichten

Während des letzten Jahrzehnts war immer häufiger von einer «Renaissance der Atomenergie» die Rede. Dafür gab es zwei Gründe. Eine neue Generation von Kraftwerken, die sogenannte Generation III+, sei billiger und einfacher zu bauen, sei sicherer, und es würde weniger Atommüll anfallen (eine Beschreibung dieser Bauart findet man in Anhang 1, S. 119). Dieser Kraftwerkstyp, so die Annahme, würde nicht nur von Ländern wie Frankreich, Indien und Südkorea in Auftrag gegeben werden – Länder, in denen der Bau von Atomkraftwerken bislang schon unproblematisch war –, sondern auch von den USA, Großbritannien, Italien und Deutschland, von Ländern also, die sich scheinbar von der Atomenergie verabschiedet haben. Aus verschiedenen Gründen hat die Atomindustrie dabei vor allem die USA und Großbritannien im Blick:

- In Großbritannien und den USA sind Aufträge für Atomkraftwerke der Generation III+ bereits geplant; damit sind diese Länder sehr viel weiter als andere in Europa und Nordamerika (abgesehen von Finnland und Frankreich).
- Da Großbritannien und die USA als Pioniere der Atomenergie gelten, würden neue Aufträge aus diesen Ländern prestigeträchtig sein.
- Großbritannien und die USA haben so schlechte wirtschaftliche Erfahrungen mit der Atomenergie gemacht, dass Neuaufträge dort vor zehn Jahren noch undenkbar erschienen; ein Erfolg auf diesen Märkten wäre ein besonderer Coup.

Aus der Liste der derzeit in Auftrag gegebenen Kraftwerke (siehe die Tabellen 2, 3, und 4) geht hervor, dass zwar viel von einer Renaissance der Atomenergie die Rede, diese allerdings geographisch sehr begrenzt ist. Im Januar 2010 waren weltweit nur 55 Kraftwerke mit einer Kapazität von 51 GW (Gigawatt) im Bau, hingegen 443 Kraftwerke mit einer Kapazität von 375 GW in Betrieb (Tabelle 1). Von den 32 Anlagen, mit deren Bau nach 2005 begonnen wurde, befinden

sich bis auf zwei (in Frankreich und Japan) alle in China (20), Südkorea (6) oder Russland (4) (Tabelle 3). Nur fünf dieser Reaktoren wurden nicht von einheimischen Unternehmen gebaut. Die in Europa aktiven Anbieter Westinghouse und Areva NP haben außerhalb Chinas nur zwei Aufträge ergattert: Areva NP baut in Olkiluoto (Finnland) und in Flamanville (Frankreich) ein Kraftwerk. Diese sieben Aufträge sowie die vier Atomkraftwerke, die die Vereinigten Arabischen Emirate im Dezember 2009 in Südkorea bestellt haben, sind die einzigen, die zur Generation III/III+ gehören.

Ohne China wären die Auftragsbücher für neue Atomkraftwerke bei weitem nicht so gefüllt. China vergibt seine Aufträge meist an chinesische Unternehmen. Die Anlagen basieren auf einem französischen Modell, das China 1980 für das Atomkraftwerk in Daya Bay bestellt hatte. Es bleibt abzuwarten, ob China die Arbeitskräfte und finanziellen Mittel hat, um weiterhin in dem Tempo, das es in den Jahren 2008 und 2009 vorgelegt hat, Neubauten zu finanzieren; in diesen beiden Jahren begann die Arbeit an 15 neuen Reaktoren. Da China mit seinen beschränkten Finanzreserven sorgfältig wirtschaften muss, wird es wahrscheinlich weiterhin auf dem internationalen Markt einige wenige Atomkraftwerke bestellen – allerdings sehr viel weniger, als von der chinesischen Regierung oder der Atomindustrie angenommen –, gleichzeitig aber versuchen, seine Kapazitäten im Inland auszubauen. Die Reaktortypen, die China anbietet, sind zu alt, um für den Westen in Frage zu kommen.

Wie China hatte auch Russland ehrgeizige Pläne zum Ausbau der Atomenergie. Im Jahr 2008 wollte man bis zum Jahr 2025 26 neue Atomreaktoren (etwa 30 Gigawatt) in Auftrag gegeben haben – ein Ziel, das 2009 jedoch schon auf 2030 verschoben wurde.[1] Von vier Reaktoren aus den 1980er Jahren heißt es weiterhin, sie seien «im Bau» und «fast fertig» – doch hat sich daran seit mindestens zehn Jahren nichts geändert (siehe Tabelle 3). Wenn wirklich dringend mehr Atomstrom benötigt würde und man die finanziellen Mittel hätte, wären diese Anlagen inzwischen sicher fertig. Es ist schwer, aus Russland zuverlässige Informationen über den Stand der Bauarbeiten zu bekommen; vielleicht wird an diesen Anlagen nicht mehr gebaut. Besondere Zweifel sind beim Reaktor Kursk 5 angebracht – dort soll die Technologie des Reaktors von Tschernobyl eingesetzt werden. Sollte dieses Kraftwerk ans Netz gehen, würde das erhebliche Kontroversen auslösen.

1 *Nucleonics Week:* «Russia Stretches Out Schedule for New Reactor Construction», 26. März 2009.

Tabelle 1: Kapazitäten der im Bau und in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke im Januar 2010

	In Betrieb: Leistung in Megawatt (Anzahl der Reaktoren)	Im Bau: Leistung in Megawatt (Anzahl der Reaktoren)	% Anteil Atom-strom (2008)	Techno-logien*	Erbauer
Argentinien	935 (2)	692 (1)	6	HWR	Siemens AECL
Armenien	376 (1)	-	39	WWER	Russland
Belgien	5863 (7)	-	54	DWR	Framatome
Brasilien	1766 (2)	-	3	DWR	Westinghouse, Siemens
Bulgarien	1966 (2)	1906 (2)	33	WWER	Russland
China	8438 (11)	19920 (20)	2	DWR, HWR, WWER	Framatome, AECL, China, Russland
Deutschland	20470 (17)	-	28	DWR, SWR	Siemens
Finnland	2696 (4)	1600 (1)	30	WWER, SWR, DWR	Russland, Asea, Westinghouse
Frankreich	63260 (59)	1700 (1)	76	DWR	Framatome
Großbritannien	10097 (19)	-	13	GCR, DWR	VK, Westinghouse
Indien	3984 (18)	2708 (5)	2	HWR, FBR, WWER	AECL, Indien, Russland
Iran	-	915 (1)		WWER	Russland
Japan	46823 (53)	1325 (1)	25	SWR, DWR	Hitachi, Toshiba, Mitsubishi
Kanada	12577 (18)	-	15	HWR	AECL
Mexiko	1300 (2)	-	4	SWR	GE
Niederlande	482 (1)	-	4	DWR	Siemens
Pakistan	425 (2)	300 (1)	2	HWR, DWR	Kanada, China
Rumänien	1300 (2)		18	HWR	AECL
Russland	21743 (31)	6894 (9)	17	WWER, RBMK	Russland
Schweden	8958 (10)	-	42	DWR, SWR	Westinghouse, Asea
Schweiz	3238 (5)	-	39	DWR, SWR	Westinghouse, GE Siemens
Slowakei	1711 (4)	810 (2)	56	WWER	Russland
Slowenien	666 (1)	-	42	DWR	Westinghouse
Spanien	7450 (8)	-	18	DWR, SWR	Westinghouse, GE Siemens
Südafrika	1800 (2)	-	5	DWR	Framatome
Südkorea	17647 (20)	6520 (6)	36	DWR, HWR	Westinghouse, AECL, Südkorea
Taiwan	4949 (6)	2600 (2)	20	DWR, SWR	GE, Framatome
Tschechien	3678 (6)	-	32	WWER	Russland
Ukraine	13107 (15)	1900 (2)	47	WWER	Russland
Ungarn	1755 (4)	-	37	WWER	Russland

	In Betrieb: Leistung in Megawatt (Anzahl der Reaktoren)	Im Bau: Leistung in Megawatt (Anzahl der Reaktoren)	% Anteil Atomstrom (2008)	Technologien*	Erbauer
USA	100683 (104)	1165 (1)	20	DWR, SWR	Westinghouse, B&W, CE, GE
Weltweit	375136 (443)	50955 (55)			

Quelle: IAEA, http://www.iaea.or.at/programmes/a2/

* Für einen Überblick über die Technologien siehe Glossar und Anhang 1.

Indien bestellte in den 1960er und 1970er Jahren nur wenige Kraftwerke bei westlichen Unternehmen. Nachdem 1975 bei einem Atomwaffentest Material aus einem kanadischen Forschungsreaktor eingesetzt worden war, wurden danach sämtliche Kontakte von westlichen Lieferfirmen abgebrochen. Indien baute aber weitere Atomkraftwerke der kanadischen Bauart aus den 1960er Jahren. Diese Reaktoren sind nicht sehr zuverlässig, und die Bauarbeiten dauern häufig sehr viel länger als vorgesehen. Bei den Angaben zur Fertigstellung in Tabelle 2 ist daher Vorsicht angebracht. 1998 stellten die USA nach weiteren Waffentests Indiens ebenfalls die Zusammenarbeit ein, handelten jedoch 2005 ein Abkommen über technologische Zusammenarbeit bei der zivilen Nutzung der Atomkraft aus. Auch Kanada verkauft Indien seit 2005 wieder Kernbrennstoff. Seitdem haben sowohl Rosatom aus Russland (bis zu 4 WWER-1200-Anlagen) als auch Westinghouse (bis zu 8 AP-1000), Areva (bis zu 6 ERP) und GE-Hitachi (bis zu 8 ABWR) behauptet, sie hätten mit Indien Abkommen über eine Lieferung von Atomkraftwerken abgeschlossen. Keine dieser Vereinbarungen führte dann jedoch auch wirklich zu einem Festauftrag. Die indische Atomindustrie geht davon aus, dass sie viele Kraftwerke verschiedenster Bauart – darunter schnelle Reaktoren, Schwerwasserreaktoren sowie mit Thorium betriebene Anlagen – bauen wird. Ziel der indischen Regierung ist es, bis 2032 weitere nukleare Kapazitäten von 63.000 Megawatt in Betrieb zu nehmen. Angesichts der bisherigen Entwicklung wäre es allerdings erstaunlich, wenn dieses Ziel auch nur annähernd erreicht würde.

Tabelle 2: Atomkraftwerke weltweit, die seit 1999 in Auftrag gegeben wurden, aber noch im Bau sind

Land	Ort	Reaktortyp	Erbauer	Größe (MW)	Baubeginn	Stand der Bauarbeiten (%)	Geplante Inbetriebnahme
China	Fangjiashan 1	DWR	China	1000	2008	0	-
China	Fangjiashan 2	DWR	China	1000	2009	0	-
China	Fuqing 1	DWR	China	1000	2008	0	-
China	Fuqing 2	DWR	China	1000	2009	0	-

Land	Ort	Reaktor-typ	Erbauer	Größe (MW)	Bau-beginn	Stand der Bauarbeiten (%)	Geplante Inbetrieb-nahme
China	Haiyang 1	DWR	China	1000	2009	0	-
China	Hongyanhe 1	DWR	China	1000	2007	20	-
China	Hongyanhe 2	DWR	China	1000	2008	0	-
China	Hongyanhe 3	DWR	China	1000	2009	0	-
China	Hongyanhe 4	DWR	China	1000	2009	0	-
China	Lingao 3	DWR	China	1000	2005	60	2010
China	Lingao 4	DWR	China	1000	2006	50	2010
China	Ningde 1	DWR	China	1000	2008	10	-
China	Ningde 2	DWR	China	1000	2008	5	-
China	Ningde 3	DWR	China	1000	2010	5	-
China	Qinshan 2-3	DWR	China	610	2006	50	2010
China	Qinshan 2-4	DWR	China	610	2007	50	2011
China	Sanmen 1	DWR	Westing-house	1000	2009	10	-
China	Sanmen 2	DWR	Westing-house	1000	2009	10	-
China	Taishan 1	DWR	Areva	1700	2009	0	-
China	Yangjiang 1	DWR	Westing-house	1000	2009	10	-
China	Yangjiang 2	DWR	Westing-house	1000	2009	0	-
Taiwan	Lungmen 1	ABWR	GE	1300	1999	57	2011
Taiwan	Lungmen 2	ABWR	GE	1300	1999	57	2012
Finnland	Olkiluoto 3	EPR	Areva	1600	2005	40	2012
Frankreich	Flamanville 3	EPR	Areva	1700	2007	25	2012
Indien	Kaiga 4	Candu	Indien	202	2002	97	2010
Indien	Kudankulam 1	WWER	Russland	917	2002	90	2011
Indien	Kudankulam 2	WWER	Russland	917	2002	79	2011
Indien	PFBR	FBR	Indien	470	2005	37	-
Indien	Rajasthan 6	Candu	Indien	202	2003	92	2010
Japan	Shimane 3	BWR	Toshiba	1325	2007	57	2011
Südkorea	Shin Kori 1	DWR	Südkorea	960	2006	77	2010
Südkorea	Shin Kori 2	DWR	Südkorea	960	2007	77	2011
Südkorea	Shin Kori 3	DWR	Südkorea	1340	2008	29	2013
Südkorea	Shin Kori 4	DWR	Südkorea	1340	2009	29	2014
Südkorea	Shin Wolsong 1	DWR	Südkorea	960	2007	49	2011

Land	Ort	Reaktor-typ	Erbauer	Größe (MW)	Bau-beginn	Stand der Bauarbeiten (%)	Geplante Inbetrieb-nahme
Südkorea	Shin Wolsong 2	DWR	Südkorea	960	2008	49	2012
Pakistan	Chashma 2	DWR	China	300	2005	25	2011
Russland	Belojarski 4	FBR	Russland	750	2006	12	-
Russland	Leningrad 2-1	WWER	Russland	1085	2008	0	-
Russland	Nowoworonesch 2-1	WWER	Russland	1085	2008	5	-
Russland	Nowoworonesch 2-2	WWER	Russland	1085	2009	0	-
Gesamt				40778			

Quellen: PRIS Datenbank, http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html, *Nuclear News*, world list of nuclear plants
Anmerkung: Es sind nur Anlagen aufgeführt, die auf mehr als 100 MW ausgelegt sind. Die Angaben über den Stand der Bauarbeiten stammen aus den *Nuclear News* von März 2009.

Südkorea hat in den vergangenen 20 Jahren immer wieder Atomkraftwerke in Auftrag gegeben – allein fünf in den letzten vier Jahren. Die Südkoreaner beziehen 36 Prozent ihres Stroms aus Atomkraftwerken (siehe Tabelle 1). Dieser Anteil könnte mit den sechs Anlagen, an denen noch gebaut wird, auf 50 Prozent anwachsen. Viele weitere Aufträge sind danach nicht zu erwarten. Dies hat vielleicht mit zu der Entscheidung beigetragen, auf den Export zu setzen. Südkorea hat von den Vereinigten Arabischen Emiraten auf ein, wie zu hören, günstiges Angebot hin vier Bauaufträge erhalten.

Japan hat ebenfalls immer wieder angekündigt, seine atomaren Kapazitäten beträchtlich ausbauen zu wollen. In aktuellen Aufträgen spiegelt sich das allerdings nicht wider. Die vorhandenen Anlagen, die mit einer von Westinghouse und GE lizenzierten Technologie ausgestattet sind, werden von japanischen Unternehmen beliefert. Es kann bis zu 20 Jahren dauern, bis man für Standorte in Japan eine Baugenehmigung erhält. Wird allerdings mit dem Bau begonnen, ist dieser in der Regel auch rasch (meist innerhalb von vier Jahren) und planmäßig fertiggestellt. Aufgrund einer Reihe von Unfällen in japanischen Atomkraftwerken, bei denen die Verantwortlichen oft ungeschickt reagiert haben, steht man der Atomkraft in der Öffentlichkeit zunehmend kritisch gegenüber. Es wird daher wahrscheinlich schwierig sein, Standorte für weitere Kraftwerke zu finden. Anfang 2010 war lediglich ein Werk im Bau (siehe Tabelle 2); künftig wird Japan wahrscheinlich nur noch wenige Aufträge vergeben.

Wie Tabelle 3 zeigt, gibt es 17 Reaktoren, mit deren Bau bereits vor 1990 begonnen wurde, die aber noch nicht fertiggestellt sind. Sie könnten noch in Betrieb gehen; nicht in jedem Fall wird aber an ihnen noch gearbeitet. Die Angaben zum Stand der Bauarbeiten sind bei diesen Anlagen unter Umständen irreführend. Wenn es heißt, Kraftwerke seien noch nicht einmal zu einem Drittel fertiggestellt, wurde wahrscheinlich lediglich der Standort vorbereitet, nicht aber

am Reaktor gebaut. Der Termin für die Fertigstellung von Anlagen in Taiwan, die im Jahre 1996 in Auftrag gegeben wurden und 2004 fertig sein sollten, wurde um acht Jahre verschoben. Ein besonders interessantes Beispiel ist der Watts-Bar-Reaktor in Tennessee. Die Arbeiten an ihm und seinem Zwillingsreaktor begannen im Jahre 1973, es kam jedoch ständig zu Verzögerungen. Als Block 1 1996 endlich fertig war, hatte er über 6 Milliarden Dollar gekostet.[2] 1985 wurden die Arbeiten an Block 2, der Berichten zufolge zu 90 Prozent fertig war, praktisch eingestellt.[3] 2007 wurden die Arbeiten an Block 2 dann wieder aufgenommen. Zu diesem Zeitpunkt ging man davon aus, dass die Anlage bis zum Jahr 2013 fertig und 2,5 Milliarden Dollar kosten würde.

Tabelle 3: Atomkraftwerke, mit deren Bau vor 1990 begonnen wurde

Land	Standort	Technologie	Erbauer	Größe (MW) netto	Baubeginn	Stand der Bauarbeiten (%)	Geplante Inbetriebnahme
Argentinien	Atucha 2	HWR	Siemens	692	1981	87	2010
Brasilien	Angra 3*	DWR	Siemens	1275	1976	10	
Bulgarien	Belene 1*	WWER	Russland	953	1987	0	
Bulgarien	Belene 2*	WWER	Russland	953	1987	0	
Iran	Buschehr	WWER	Russland	915	1975	99	2010
Rumänien	Cernavoda 3*	CANDU	AECL	655	1983	23	
Rumänien	Cernavoda 4*	CANDU	AECL	655	1983	12	
Rumänien	Cernavoda 5*	Candu	AECL	655	1983	8	
Russland	Balakowo 5*	WWER	Russland	950	1986	hoch	
Russland	Kalinin 4	WWER	Russland	950	1986	hoch	
Russland	Kursk 5*	RBMK	Russland	925	1985	hoch	
Russland	Wolgodonsk 2	WWER	Russland	950	1983	hoch	2010
Slowakei	Mochovce 3	WWER	Russland	405	1983	40	
Slowakei	Mochovce 4	WWER	Russland	405	1983	30	
Ukraine	Chmelnyzkyj 3	WWER	Russland	950	1986	30	2015
Ukraine	Chmelnyzkyj 4	WWER	Russland	950	1987	15	2016
USA	Watts Bar 2	DWR	Westinghouse	1165	1972	70	2012
Gesamt				14403			

Quellen: PRIS Datenbank, http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html; *Nuclear News*, world list of nuclear plants

* Anmerkung: An den mit einem Stern markierten Reaktoren wurden die Bauarbeiten eingestellt.

2 *Chattanooga Times:* «Tennessee: Estimates Rise for Nuclear Plant», Teil A1, 12. Dezember 2008.

3 http://www.tva.gov/environment/reports/wattsbar2/seis.pdf

Tabelle 4: Atomkraftwerke, die in Auftrag gegeben wurden, bei denen die Bauarbeiten aber bis zum 1. Januar 2010 noch nicht begonnen hatten

Land	Standort	Technologie	Erbauer	Größe (MW) netto	Jahr der Auftragsvergabe
China	Taishan 2	EPR	Areva	1700	2008
VAE	unbekannt	AP-1400	Korea	4 x 1400	2009

Quelle: Verschiedene Presseberichte

Die Tennessee Valley Authority (TVA), der das Watts-Bar-Atomkraftwerk gehört, begann 2009 auch zu prüfen, ob die Arbeiten an ihren beiden Reaktoren in Bellefonte (Alabama) wieder aufgenommen werden könnten. Die Arbeiten an diesem Standort, für den ursprünglich zwei Reaktorblöcke vorgesehen waren, hatten 1974 begonnen. Als sie Mitte der 1980er Jahre gestoppt wurden,[4] war Block 1 Schätzungen zufolge zu über 90 Prozent, Block 2 zu etwa 60 Prozent fertig. Die Fertigstellung von Reaktortypen wie die in Bellefonte und Watts Bar, die vor etwa 40 Jahre konzipiert wurden, wirft, da sie heutzutage höchstwahrscheinlich aus Sicherheitsgründen nicht mehr genehmigt würden, besondere Fragen auf.

3 Die wichtigsten Kostenfaktoren in der Atomwirtschaft

Welche Kosten bei der Produktion von Strom in einem Atomkraftwerk entstehen, hängt von mehreren Faktoren ab (siehe Tabelle 5). Einige davon liegen klar auf der Hand, andere weniger. Der französische Atomkonzern Areva NP schätzt[5], dass sich die Kosten für eine Kilowattstunde Atomstrom zu 70 Prozent aus den fixen Baukosten, zu 20 Prozent aus den fixen Betriebskosten und zu 10 Prozent aus variablen Betriebskosten zusammensetzen. Zu den fixen Baukosten gehören vor allem Zinsen für Kredite sowie die Rückzahlung des Kapitals – aber auch die Kosten für die Stilllegung. Die Kosten pro Kilowattstunde hängen außerdem von der Verfügbarkeit des Kraftwerks ab. Je zuverlässiger es arbeitet, desto mehr Leistung bringt es und desto höher ist der Ertrag, auf den man die Fixkosten umlegen kann. Zu den laufenden Kosten gehören Betriebs-, Wartungs- und Reparaturkosten. Die Kosten für die Brennelemente fallen nicht sehr ins Gewicht.

4 http://web.knoxnews.com/pdf/082708bellefonte-reinstatement.pdf

5 http://www.areva.com/servlet/BlobProvider?blobcol=urluploadedfile&blobheader=application%252Fpdf&blobkey=id&blobtable=Downloads&blobwhere=1246874807296&filename=Overview_June_2009%252C0.pdf

Tabelle 5: Verteilung der Produktionskosten in der Atomwirtschaft (nach Angaben von Areva NP)

Anteil (Prozent)	Beschreibung
70	fixe Baukosten: Zinsen für Kredite/Kapitalrückzahlung
20	fixe Betriebskosten (Kosten/kWh): abhängig von der Zuverlässigkeit des Kraftwerks (etwa bei Grad der Auslastung)
10	variable Betriebskosten: für Betrieb, Wartung, Reparatur, Brennmaterial
Nicht berücksichtigt	Stilllegung, Management und Entsorgung von Atommüll; Risiko einer Kernschmelze, Gefahren für Mensch und Umwelt

Bevor wir uns die Kosten im Einzelnen ansehen, muss darauf hingewiesen werden, dass Unternehmen und Gesellschaft im Allgemeinen sehr unterschiedliche Interessen verfolgen. Hohe Kosten, die möglicherweise erst in ferner Zukunft beglichen werden müssen, fallen bei wirtschaftlichen Entscheidungen kaum ins Gewicht, weil solche Kosten «abgezinst» werden (siehe Anhang 3). Entsprechend achten Unternehmen nur wenig auf die Kosten für Entsorgung und Stilllegung, für die es gegenwärtig nur vage Schätzungen gibt. Aus moralischen Gründen darf die heutige Generation kommenden Generationen kein teures, potenziell gefährliches Erbe hinterlassen, für dessen Bewältigung sie selbst nicht die Mittel bereitstellen kann und dessen Risiken sie selbst nicht tragen muss. Auch das Unfallrisiko spielt bei wirtschaftlichen Entscheidungen keine Rolle. Die Unternehmen sind durch internationale Verträge abgesichert; das Risiko wird auf die Steuerzahler abgewälzt.

3.1 Baukosten und Bauzeit

Am meisten wird in der Regel über die Baukosten gesprochen, und das obwohl andere Faktoren wie die Kapitalkosten oder die Zuverlässigkeit eines Atomkraftwerks für die Kosten einer Kilowattstunde Strom von vergleichbarer Bedeutung sind. Um Kosten miteinander vergleichen zu können, geben die Versorgungsunternehmen im Allgemeinen nur die sogenannten Overnight-Kosten an. In diesen sind zwar außer den Kosten für das Atomkraftwerk auch die Kosten für die erste Beschickung mit Brennelementen enthalten, nicht aber die sogenannten Bauzeitzinsen, das heißt, die Summe aller während der Bauzeit anfallenden Zinsen. Um Reaktoren unterschiedlicher Leistungsstärke miteinander vergleichen zu können, gibt man oft die Kosten pro Kilowatt installierter Leistung an. Damit würden sich bei einem Atomkraftwerk, das 2.400 Millionen Dollar kostet und eine Ausgangsleistung von 1.200 MW hat, pro Kilowatt Kosten von 2.000 Dollar ergeben. Es gibt eine ganze Reihe von Faktoren, warum Prognosen hinsichtlich der Baukosten derart umstritten sind.

3.1.1 Unzuverlässige Daten

Viele Schätzungen für die Baukosten müssen kritisch gesehen werden. Die Kosten, die in der Vergangenheit angefallen sind, sind immer noch der beste Indikator dafür, wie hoch die Kosten künftig sein werden.[6] Die meisten Versorgungsunternehmen sind nicht verpflichtet, geprüfte Baukosten zu veröffentlichen und haben kaum ein Interesse daran, ihre Leistung in etwas anderem als einem guten Licht erscheinen zu lassen. In den USA allerdings müssen Versorger der Aufsichtsbehörde belastbare Berechnungen zu den Baukosten ihrer Atomkraftwerke vorlegen; nur wenn die Kosten ordnungsgemäß überprüft wurden, erlaubt die Behörde dem Unternehmen, die Kosten auf die Verbraucher abzuwälzen – weshalb man sich auf Kostenangaben aus den USA verlassen kann. Auch die Kosten für das Atomkraftwerk Sizewell B (Großbritannien) wurden einigermaßen gut durchgerechnet, weil es neben dem Betriebsgebäude kaum andere Posten gab, durch die die Baukosten «verschleiert» werden konnten.

Die zweitbeste Quelle sind Preise, die bei Ausschreibungen angegeben werden. Die tatsächlichen Kosten für ein Atomkraftwerk sind zwar im Allgemeinen – oft deutlich – höher als der Vertragspreis, der Anbieter sollte jedoch den Auftrag zumindest durchkalkulieren und einen Preis nennen. Falls wirklich eine schlüsselfertige Anlage geliefert werden soll und ein Festpreis ausgehandelt wurde, bei dem der Kunde unabhängig von der Höhe der tatsächlichen Kosten nur den im Vertrag angegebenen Preis zahlt, ist dem Lieferanten natürlich besonders daran gelegen, das Angebot so präzise wie möglich zu berechnen.

Atomkraftwerke werden nur dann schlüsselfertig übergeben, wenn sich der Anbieter völlig sicher ist, dass er die Kosten für den gesamten Bau vollständig im Griff hat. Die jetzige Generation von Gaskraftwerken wird häufig zu solchen Konditionen verkauft. Gas- und Dampfkraftwerke werden weitgehend in Fabriken gebaut, in denen der Anbieter das Sagen hat. Arbeiten vor Ort sind kaum notwendig. Mitte der 1960er Jahre verkauften die vier größten US-Unternehmen aus der Atombranche insgesamt zwölf schlüsselfertige Kraftwerke, verloren dabei aber enorm viel Geld, weil ihnen die Kosten aus dem Ruder liefen. Seitdem hat es wahrscheinlich kein Unternehmen mehr riskiert, ein komplettes Atomkraftwerk schlüsselfertig anzubieten. Einzelne Komponenten der Anlage können zwar durchaus noch schlüsselfertig verkauft werden, wenn jedoch angegeben ist, dass der Preis sich auf die Übergabe eines schlüsselfertigen Atomkraftwerks bezieht, dann sollte man diese Angabe mit äußerster Skepsis betrachten. Meist heißt es, beim Atomkraftwerk Olkiluoto sei eine schlüsselfertige Anlage in Auftrag gegeben worden, und Areva sei für das Management auf der Baustelle verantwortlich. Wie jedoch noch gezeigt wird, gab es bereits Streit zwischen Areva und dem Auftraggeber, der Teollisuuden Voima Oyj (TVO), über den Vertrag und speziell darüber, welche Partei für Mehrkosten aufkommen muss. Erwähnt werden muss

6 Aufgrund von übertriebenen Erwartungen hinsichtlich der Lern-, Skalen- und Innovationseffekte, die sich dann aber doch nicht in den Kosten niederschlugen, waren Kostenschätzungen bisher immer zu optimistisch.

noch, dass einige Anbieter den Ausdruck «schlüsselfertig» recht vage benutzen. Manchmal ist damit einfach nur gemeint, dass sich der Vertrag auf das gesamte Kraftwerk bezieht.

Wenn ein Anbieter Richtpreise angibt, müssen diese kritisch betrachtet werden. Wie GE-Hitachi eingeräumt hat, haben es Anbieter mit der Angabe der Richtpreise nicht immer allzu genau genommen, und zu optimistische Preisangaben haben sich als kontraproduktiv erwiesen. Dazu Jack Fuller, Geschäftsführer von GE-Hitachi: «Wenn der Bau eines Reaktors viel mehr kostet als geplant, dann untergräbt dies das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Industrie.»[7]

Bei Preisangaben von Industrieverbänden wie der World Nuclear Assocation und ähnlichen Organisationen, die selber ein Interesse an der Technologie, aber keinen Einfluss auf die Preise haben, ist gleichfalls Vorsicht geboten. Auch Preise, die von internationalen Behörden wie der Nuclear Energy Agency genannt werden, müssen skeptisch gesehen werden, besonders wenn sie auf Richtpreisen und nicht auf realen Kosten beruhen. Im Allgemeinen werden Mehrkosten von Regierungen beglichen, die wohl ihre eigenen Gründe haben, die Atomkraft in gutem Licht erscheinen zu lassen, und deren Zahlen in der Regel nicht auf Erfahrungswerten beruhen.

Die Baukosten werden mit schöner Regelmäßigkeit falsch eingeschätzt. Die tatsächlichen Kosten sind häufig viel zu niedrig angesetzt, und im Gegensatz zu den meisten Technologien – bei denen die Kosten für spätere Generationen aufgrund von Lern- und Skaleneffekten sowie technologischem Fortschritt gesunken sind – sind die realen Baukosten für Atomkraftwerke nie gefallen, sondern mit der Zeit sogar eher noch gestiegen. Außerdem gibt es zwangsläufig, zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Lohnkosten und unterschiedlicher Kosten für Stahl und Beton, je nach Land gewisse Unterschiede.

3.1.2 Schwierige Prognosen

Eine Reihe von Faktoren erschwert die Beurteilung der Baukosten. Erstens müssen bei allen Atomkraftwerken, die derzeit angeboten werden, sehr viele Arbeiten vor Ort durchgeführt werden. Diese Arbeiten können bis zu 60 Prozent der gesamten Baukosten ausmachen. Die größten Posten bei der technischen Ausstattung, etwa die Generatoren der Turbine, die Dampfgeneratoren und der Reaktorbehälter, sind für einen relativ geringen Anteil der Gesamtkosten verantwortlich.[8] Wenn bei großen Projekten viele Arbeiten vor Ort durchgeführt werden müssen, ist es in der Regel schwierig, die Ausgaben in den Griff zu bekommen. In Großbritannien beispielsweise fielen die Kosten für den Bau des Eurotunnels und des Flutschutzwehrs in der Themse erheblich höher aus, als erwartet. Einige Reaktortypen der Generation IV wird man voraussichtlich weitgehend

7 *Nucleonics Week*, «GEH: Cost Estimates Did Industry a ‹Disservice›,» 17. September 2009.

8 Aufgrund der Probleme bei der Kostenkontrolle vergibt die Weltbank keine Kredite für Atomenergieprojekte. Siehe *Environmental Assessment Sourcebook: Guidelines for Environmental Assessment of Energy and Industry Projects, Band III*, World Bank Technical Paper 154,1991.

in Fabriken bauen können, wo sich die Kosten sehr viel besser kontrollieren lassen.

Zweitens gibt es auch standortspezifische Faktoren wie das Kühlmittel, von denen die Kosten stark abhängen können. Dem Geschäftsführer von GE-Hitachi, Jack Fuller, zufolge lagen die Schwierigkeit bei diesen (typischen) Schätzungen darin, dass niemand erläuterte, «was die Zahlen bedeuteten (...). War darin auch der Brennstoff enthalten? Arbeitete das Kraftwerk mit Salz- oder Süßwasser?» Danny Roderick, Leiter des Geschäftsbereichs Atomkraftwerk-Projekte bei GE-Hitachi (GEH), sagte: «Bei GEH haben wir schon erlebt, dass die Kosten für Kraftwerke um eine Milliarde Dollar differierten, je nachdem, ob das Kraftwerk mit Salz- oder Süßwasser gekühlt wurde.»[9]

Drittens steigen die Kosten, wenn die Bauweise des Rektors nachträglich verändert werden muss, etwa weil sich der ursprüngliche Entwurf als unzureichend erweist, die Aufsichtsbehörde Änderungen verlangt oder der Entwurf vor Baubeginn noch nicht vollständig ausgearbeitet war. Um diesen Problemen aus dem Weg zu gehen, versuchen Anlagenbauer inzwischen, noch vor Baubeginn eine umfassende behördliche Genehmigung wie die Bau- und Betriebsgenehmigungen zu erhalten. Sie fordern darüber hinaus, dass die Entwürfe schon vor Baubeginn möglichst vollständig ausgearbeitet werden. In der Praxis behaupten die Anbieter allerdings häufig nur, ihre Entwürfe seien fertig – so beim Atomkraftwerk Olkiluoto in Finnland. 2009, nach vierjähriger Bauzeit, stellte sich jedoch heraus, dass der Entwurf alles andere als durchdacht war. Das Risiko, dass ein Entwurf verändert werden muss, kann man, speziell bei neuen Baureihen, nicht vollständig ausschließen. Während der Bauzeit können unvorhergesehene Probleme auftreten, oder die Aufsichtsbehörde kann mit Details der Konstruktion nicht einverstanden sein. So hatte die Aufsichtsbehörde beim Kraftwerk Olkiluoto 2009 ernsthafte Bedenken, ob die mess- und regeltechnischen Systeme adäquat ausgelegt waren. Ohne größere Veränderungen war die Behörde nicht bereit, das Kraftwerk zu genehmigen.

Erfahrungen mit Reaktoren, die bereits in Betrieb sind, können ebenfalls noch nach Baubeginn Änderungen im Entwurf erforderlich machen. So würde beispielsweise ein größerer Unfall in einem Atomkraftwerk zwangsläufig zu einer Überprüfung aller im Bau (und natürlich auch in Betrieb) befindlichen Kraftwerke führen. Dinge, die man aus einem Unfall lernt, kann man nicht einfach deshalb ignorieren, weil für den vorhandenen Reaktortyp eine Genehmigung vorliegt.

3.1.3 Lern- und Skaleneffekte sowie technologischer Fortschritt

Bei den meisten Technologien geht man davon aus, dass spätere Generationen im Vergleich zum Vorgänger aufgrund von Faktoren wie Lern- und Skaleneffekten sowie technologischem Fortschritt billiger und besser sind. Inwieweit es in der Atomtechnologie mit der Zeit Verbesserungen gegeben hat, ist umstritten,

9 *Nucleonics Week*: «GEH: Cost Estimates»

billiger ist sie aber definitiv nicht geworden. Die Gründe dafür sind komplex und weitgehend unbekannt. In diesem Zusammenhang wird jedoch, außer auf nicht durchdachte Kosten senkende Maßnahmen bei den Reaktoren der ersten Generation, häufig auf eine Zunahme behördlicher Auflagen verwiesen (sonderbarerweise wurden nicht die Standards erhöht, sondern die Maßnahmen, die notwendig sind, um die Standards zu erfüllen, wurden verschärft).

Aufgrund der schlechten Auftragslage für die derzeitigen Reaktorgenerationen, vor allem für jene, bei denen die Kosten genau aufgeschlüsselt wurden, ist es schwierig herauszufinden, ob sich die Kosten bereits auf einem bestimmten Niveau eingependelt haben – geschweige denn, ob sie bereits fallen. Lerneffekte – oder anders gesagt, durch Wiederholungen erzielte Leistungssteigerungen – und Skaleneffekte beeinflussen sich jedoch gegenseitig. In den 1970er Jahren erhielten die größeren Reaktoranbieter jährlich bis zu zehn Aufträge. Das erlaubte es ihnen, effiziente Produktionslinien zur Herstellung der wichtigsten Komponenten aufzubauen sowie qualifizierte Konstrukteur- und Ingenieurteams zusammenzustellen. Wie stark die Kosten aufgrund solch größerer Stückzahlen gesenkt werden konnten, ist schwer zu beurteilen. Einem Bericht der Nuclear Energy Agency aus dem Jahr 2000 zufolge trifft die gefühlsmäßige Erwartung, dass eine Massenproduktion große Vorteile hat, wohl nicht zu. In dem Bericht heißt es:[10]

> *Wenn man zwei Anlagen gleichzeitig in Auftrag gibt und sie im Abstand von mindestens 12 Monaten bauen lässt, ist die zweite Anlage um etwa 15 Prozent billiger. Gehört der zweite Reaktor zu einer Anlage mit zwei identischen Reaktoren, wird er ca. 20 Prozent billiger. Dadurch, dass man weitere Reaktoren aus derselben Baureihe bestellt, lassen sich die Kosten nicht weiter nennenswert senken. Bei mehr als zwei Anlagen vom selben Typ ist der Vorteil, der sich durch eine Standardisierung erzielen lässt, voraussichtlich vernachlässigbar gering.*

Als die Performance and Innovation Unit (PIU) des britischen Kabinetts im Jahre 2002 die Atomwirtschaft überprüfte, legten ihr das Unternehmen British Energy, das in Großbritannien acht Atomkraftwerke besitzt, sowie der staatliche Anbieter BNFL (British Nuclear Fuels) eine Kalkulation der Kosten vor, die von «erheblichen Lern- und Skaleneffekten aufgrund eines standardisierten Programms» ausging. Die PIU war skeptisch, was das Ausmaß der Lerneffekte betraf; sie räumte zwar mögliche Lerneffekte ein, hielt diese aber für eher gering: [11]

- Bei Atomkraftwerken stellen sich die Lerneffekte unter Umständen langsamer ein, und sie sind nicht so ausgeprägt wie bei Anlagen für Erneuerbare Energien, weil:

10 Nuclear Energy Agency: *Reduction of Capital Costs of Nuclear Power Plants*, Paris 2000, S. 90.

11 Performance and Innovation Unit: *The Energy Review*, Cabinet Office, London 2002, S. 195. http://www.strategy.gov.uk/downloads/su/energy/TheEnergyReview.pdf

- es aufgrund relativ langer Vorlaufzeiten bis zur Inbetriebnahme von Atomkraftwerken länger dauert, bis Erfahrungen mit dem Betrieb vorliegen;
- es deshalb, weil Reaktortypen neue Genehmigungen benötigen, länger dauert, bis Veränderungen an den Modellen vorgenommen werden;
- der Spielraum für Einsparungen durch die Produktion einzelner Komponenten in industriellem Maßstab bei Atomkraftwerken geringer ist, denn die Produktionsphase ist dort sehr viel kürzer als bei Anlagen für Erneuerbare Energien, von denen teilweise Hunderte und sogar Tausende gebaut werden.

Die größten Anbieter von Atomreaktoren haben in den vergangenen 20 Jahren nur eine Handvoll Aufträge bekommen. Sie haben eigene Produktionsanlagen geschlossen und viele erfahrene Fachleute entlassen. Westinghouse erhielt, bevor 2008 China vier Kraftwerke bestellte, in den letzten 25 Jahren nur einen einzigen Auftrag. Selbst für das französische Unternehmen Areva war der Auftrag für Finnland der erste seit etwa 15 Jahren. Bei neuen Aufträgen müssen große Komponenten in der Regel an spezialisierte Unternehmen weitervergeben werden, da es sich um Sonderanfertigungen handelt, wobei die Kosten in Ländern wie Japan – und künftig auch China – höher ausfallen dürften. [12] Mittlerweile hat man erkannt, dass es kaum noch Fertigungsstätten für solche Komponenten gibt. Ende 2009 war beispielsweise auf der ganzen Welt nur noch die Firma Japan Steel Works in der Lage, Großbauteile für bestimmte Druckbehälter des Reaktors zu gießen.

Der Mangel an Fachkräften wird ebenfalls immer gravierender. In einem Bericht für das deutsche Umweltministerium heißt es: [13]

> *Die bestehende Lücke bei Fachpersonal und Kompetenzen ist international unbestritten und als Problem erkannt. Es gab zahlreiche nationale und internationale Initiativen, um den Trend umzukehren, doch die Ergebnisse bleiben in allen atomtechnischen Bereichen weit unterhalb der personellen Mindestausstattung. Die Zahl der Absolventen akademischer und technischer Ausbildungsgänge ist unzureichend, zahlreiche Absolventen wollen zudem nicht in der Atomindustrie arbeiten oder kehren ihr schnell wieder den Rücken. Unternehmenseigene Ausbildungsprogramme schaffen nur ungenügenden Ausgleich, da viele andere Marktsektoren um ausgebildeten wissenschaftlichen bzw. ingenieurtechnischen Nachwuchs und um Facharbeiter mit der Atomwirtschaft konkurrieren.*

12 Wenn beispielsweise der EPR für den Standort Flamanville bestellt wird, würde vermutlich der Druckbehälter in Japan hergestellt.

13 M. Schneider, S. Thomas, A. Froggatt, D. Koplow: *Welt-Statusreport Atomindustrie 2009*, im Auftrag des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009). www.bmu.de/files/pdfs/…/welt_statusbericht_atomindustrie_0908_de_bf.pdf

3.1.4 Bauzeit

Eine Verlängerung der Bauzeit über die vorausgesagte Dauer hinaus erhöht zwar nicht direkt die Baukosten, häufig allerdings die Bauzeitzinsen. Außerdem ist sie oft ein Zeichen dafür, dass in der Bauphase Probleme – beispielsweise mit der Konstruktion, der Bauleitung oder der Materialbeschaffung – aufgetreten sind, die sich in höheren Baukosten niederschlagen. Für die Energieversorger, vor allem für relativ kleine Unternehmen, deren Kapazitäten durch das neue Atomkraftwerk erheblich erweitert würden, kann dies gravierende Folgen haben, insbesondere dann, wenn bereits Verträge mit Stromkunden abgeschlossen wurden.

Als die Bauverträge für das Atomkraftwerk Olkiluoto unterzeichnet wurden, rechnete man damit, dass es im Mai 2009 ans Netz gehen würde. Im Mai 2009 war man allerdings um fast vier Jahre in Verzug. Da der energieintensiven Industrie Finnlands Stromlieferungen bereits vertraglich zugesichert worden waren, musste der Versorger am Nordischen Strommarkt Ersatzstrom kaufen, um seine Kunden bis zur Fertigstellung des Atomkraftwerks beliefern zu können. Wenn das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage gestört ist, etwa weil Wasserkraftwerke infolge eines trockenen Winters weniger Strom liefern können, muss der Energieversorger für den Ersatzstrom unter Umständen deutlich mehr zahlen, als ihm der vertraglich vereinbarte Preis einbringt. Sollte der Preis auf dem Nordischen Strommarkt erheblich über dem vertraglich zugesicherten Verkaufspreis für den Strom aus dem Atomkraftwerk Olkiluoto liegen, wird der Versorger diese Verluste wahrscheinlich nicht über lange Zeit hinweg ausgleichen können.

Die Vorlaufzeit ist im Allgemeinen sehr viel länger als die Bauzeit. Sie reicht von dem Zeitpunkt, an dem entschieden wurde, das Kraftwerk zu bauen, bis zum Beginn der wirtschaftlichen Inbetriebnahme, das heißt, bis der erste Testlauf abgeschlossen ist und die Lieferfirma es dem Betreiber zur Nutzung übergeben hat. In Großbritannien wurde beispielsweise 1979 entschieden, das Atomkraftwerk Sizewell B zu bauen. Mit dem Bau wurde aber erst 1987 begonnen, weil es nicht nur wegen einer öffentlichen Untersuchung, sondern auch aufgrund von Problemen mit der Ausarbeitung des Entwurfs Verzögerungen gegeben hatte. Wirtschaftlich wurde das Kraftwerk erst ab 1995 genutzt – eine Vorlaufzeit von insgesamt 16 Jahren. Im Allgemeinen fallen in der Zeit vor dem Baubeginn im Vergleich zum Bau selbst relativ geringe Kosten an – es sei denn, es handelt sich um einen neuen Prototyp. In einem solchen Fall kann es teuer werden, bis der Entwurf genehmigt und seine Sicherheit überprüft wurde. Eine derart lange Verzögerung samt den damit verbundenen Risiken – das Projekt kann bereits in der Planungsphase scheitern, oder es können infolge von gesetzlichen Auflagen die Kosten explodieren – sind für einen Stromlieferanten, der sich auf einem hart umkämpften Markt behaupten muss, Grund genug, nicht in Atomenergie zu investieren.

3.2 Kapitalkosten

Baukosten in Form von Kapitalkosten bilden die zweite Komponente (siehe Anhang 2). Großprojekte werden im Allgemeinen durch eine Kombination aus Fremdkapital (Kredite) und Eigen- bzw. Beteiligungskapital (Erträge) finanziert. Beim Fremdkapital hängen die Kapitalkosten von den üblichen «risikolosen» Zinssätzen ab, zum Beispiel dem Zinssatz, der bei Schuldverschreibungen gezahlt wird, plus einem Risikofaktor, in den die Risikofaktoren des Projekts eingehen. Dazu kommen natürlich noch die Bankkosten sowie die Summe, die zur Absicherung hinterlegt werden muss.

Was das Eigenkapital betrifft, wird häufig angenommen, große Unternehmen könnten erhebliche Investitionen ohne weiteres aus ihren Einnahmen bestreiten, ohne Kredite aufnehmen zu müssen. Investitionen aus Eigenkapital werden jedoch im Wesentlichen so finanziert, dass das Unternehmen den Aktionären vorschlägt, Gelder zu stunden, die als Dividenden ausgeschüttet werden müssten. Diese Gelder werden dann in das Projekt investiert und den Aktionären auf lange Sicht in Form der Gewinne zurückgezahlt, die mit dem Projekt erzielt werden. Zum Ausgleich dafür, dass sich die Auszahlung ihrer Erlöse verzögert, muss die Gesellschaft den Aktionären die Zinsen zahlen, die diese hätten erzielen können, hätten sie das Geld sofort erhalten und in Kapitalanlagen mit geringem Risiko investiert – samt einem Zuschlag, der dem Risiko Rechnung trägt, das mit ihrem Geld eingegangen wird, da das Projekt unter Umständen nicht die erwartete Rendite abwerfen könnte. Aus diesen Gründen sind die Kosten für Eigenkapital oft höher als die für Fremdkapital.

Wenn die Banken keine Kredite geben wollen, ist es in der Regel nicht klug, statt Fremdkapital Eigenkapital einzusetzen, bedeutet es doch, von Aktionären Geld für ein Projekt zu borgen, mit dem die Banken nichts zu tun haben wollen. Aktionäre weigern sich daher eventuell, Großprojekte mitzutragen, deren Finanzierung auf zu viel Eigenkapital basiert. Gleichermaßen werden Banken Darlehensanträge nicht bewilligen, wenn es so aussieht, als wäre das Unternehmen nicht bereit, eigenes Geld zu investieren.

Es ist sehr bemerkenswert, dass man in den USA beim Start des Programms «Atomenergie 2010» davon ausging, die Projekte würden zu gleichen Teilen aus Fremd- und Eigenkapital finanziert. 2008 wurde klar, dass die Unternehmen die Projektkosten so weit wie möglich durch Kredite decken wollten, die mittels staatlicher Bürgschaften abgesichert würden. Die Banken machten klar, dass sie nur bei einer sehr weitreichenden Deckung durch Kreditbürgschaften bereit wären, Geld zu leihen. Sechs der größten Investmentbanken an der Wall Street machten dem US-Energieministerium klar, dass sie keine Darlehen für neue Atomkraftwerke vergeben würden, wenn nicht die Steuerzahler für sämtliche Risiken bürgten.[14]

14 Äußerungen von Investoren zu einer Mitteilung des Energieministeriums über die geplante Gesetzgebung, 2. Juli 2007.

Je nach länderspezifischem Risiko und je nach Kreditwürdigkeit des Unternehmens sind die tatsächlichen (inflationsbereinigten) Kapitalkosten sehr unterschiedlich. Auch die Art, wie die jeweilige Elektrizitätswirtschaft organisiert ist, spielt eine wesentliche Rolle. Bei einer beschränkten Monopolstellung betragen die tatsächlichen Kapitalkosten vielleicht nur 5 bis 8 Prozent. Bei einem Strommarkt mit starker Konkurrenz lägen sie dagegen wahrscheinlich bei mindestens 15 Prozent. In Florida und Georgia beispielsweise erlaubt die Aufsichtsbehörde den Energieversorgern, die Kosten für neue Atomkraftwerke bereits vor Baubeginn über regulierte Stromtarife wieder hereinzuholen. Der Energieversorger ist demnach, um zinsgünstige Kredite zu erhalten, nicht so sehr auf Kreditbürgschaften angewiesen. Der Stromerzeuger Georgia Power, der 45,7 Prozent am 2.234-Megawatt-Atomkraft-Projekt Vogtle hält, hat beantragt, die 6,4 Milliarden Dollar, die er für seinen Anteil aufbringen muss, mithilfe von steuerlichen Vergünstigungen während der 2011 beginnenden Bauzeit wieder hereinholen zu dürfen. Die Aufsichtsbehörde in Georgia hat dies genehmigt. [15] Aufgrund der Zusicherung haben die Betreiber erklärt, sie würden mit dem Bau auch ohne Kreditbürgschaften fortfahren. Der Kostenanteil von Georgia Power hat sich hierdurch auf 4,529 Milliarden Dollar reduziert.[16]

Wenn die Kapitalkosten der größte Posten beim Preis für den Atomstrom sind, dann ist, erhöht man die Rendite um mehr als das Doppelte, die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie ernsthaft gefährdet. Auf die Frage, wie die Kapitalkosten zu berechnen seien, gibt es keine «richtige» Antwort. Als die Stromindustrie noch eine Monopolstellung hatte, wurde den Energieversorgern volle Kostendeckung garantiert. Anders gesagt: Egal, wieviel Geld sie ausgaben, sie erhielten es von den Verbrauchern zurück. Diejenigen, die das Kapital zur Verfügung stellten, gingen bei einer Investition nur ein verschwindend geringes Risiko ein – die Risiken trugen die Verbraucher. Je nach Land und abhängig davon, ob ein Unternehmen in öffentlicher Hand oder in Privatbesitz war, waren die Kapitalkosten sehr unterschiedlich hoch. Staatliche Unternehmen wie das schwedische Energieunternehmen Vattenfall haben im Allgemeinen eine höhere Kreditwürdigkeit, so dass ihre Kapitalkosten niedriger sind als für Unternehmen, die, wie die beiden deutschen Energiekonzerne E.ON und RWE, teilweise oder vollständig im Besitz von privaten Aktionären sind. Bei öffentlichen Unternehmen war auch der Druck der Anteilseigner im Allgemeinen nicht so groß wie bei Aktiengesellschaften, so dass sie eher Eigenkapital einsetzen konnten. Die tatsächlichen Kapitalkosten – d.h. der jährliche inflationsbereinigte Zinssatz für Kredite – lag für ein Industrieland in der Regel im Bereich von 5 bis 8 Prozent.

Auf einem funktionierenden Strommarkt tragen die Energieerzeuger, nicht die Verbraucher, das Investitionsrisiko, das sich in den Kapitalkosten niederschlägt. Im Jahre 2002 waren in Großbritannien beispielsweise etwa 40 Prozent

15 Platts Global Power Report: *Georgia PSC Approves Two Nuclear Reactors by Georgia Power, and a Biomass Conversion*, 19. März 2009.

16 *Nucleonics Week*: «Georgia Power Lowers Estimate for New Vogtle Units», 11. November 2009.

der Kraftwerksleistung (die Hälfte aus Atomkraftwerken) im Besitz von finanziell angeschlagenen Unternehmen. Etliche Unternehmen und Banken verloren mehrere Milliarden Pfund bei Investitionen in Kraftwerke, die sie erbaut oder finanziert hatten. Unter solchen Umständen scheinen reale Kapitalkosten von über 15 Prozent durchaus gerechtfertigt zu sein. Wenn die Risiken geringer sind – etwa bei staatlichen Garantien auf dem Strommarkt und bei den Preisen –, sind auch die Kapitalkosten geringer. Solche Bürgschaften sind allerdings staatliche Subventionen, und es ist nicht klar, ob sie nach Europäischem Recht zulässig sind.

3.3 Betriebsleistung

Bei einer kapitalintensiven Technologie wie der Atomkraft ist eine gute Auslastung besonders wichtig. Nur dann lassen sich die enormen Fixkosten (Rückzahlung des Kapitals, Zinszahlungen sowie Zahlungen für die Stilllegung) auf eine möglichst hohe Stromproduktion verteilen. Außerdem ist die Stromerzeugung durch Atomkraftwerke wenig flexibel. Es empfiehlt sich nicht, die Anlage mehr als unbedingt nötig herauf- und herunterzufahren oder die Leistungsabgabe zu variieren. Entsprechend werden Atomkraftwerke für die «Grundlast» betrieben. Nur in ganz wenigen Ländern, etwa Frankreich, ist dies anders, da dort ein so großer Anteil des Stroms durch Atomkraft erzeugt wird, dass dies nicht möglich ist. Die Auslastung (in den USA redet man vom «Kapazitätsfaktor») ist ein gutes Maß dafür, wie verlässlich und effizient ein Kraftwerk ist. Sie ergibt sich aus der Leistung, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums erbracht wird, und wird als Prozentsatz derjenigen Leistung angegeben, die während des betreffenden Zeitraums bei maximalem, ständigem Betrieb und voller Leistung erreicht worden wäre. [17] In der Regel wird die Auslastung pro Jahr oder für die gesamte Laufzeit angegeben. Im Gegensatz zu den Baukosten kann man die Auslastung präzise bestimmen; die Zahlen werden regelmäßig von der Fachpresse wie *Nucleonics Week* und *Nuclear Engineering International* sowie von der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEA) veröffentlicht. Man kann darüber streiten, warum der Betrieb unterbrochen werden musste oder warum weniger Strom produziert wurde. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus ist jedoch die Tatsache, dass kein Strom produziert wird, weniger wichtig, als die Frage, warum kein Strom produziert wird.

17 Bemerkenswert ist, dass einige Organisationen wie die IAEA bei einer zu geringen Auslastung des Reaktors die Auslastung in Bezug auf die genehmigte Leistung und nicht auf die volle Leistung angeben. Auf diese Weise erhält man zwar einige nützliche Informationen über die Zuverlässigkeit der Anlage, für wirtschaftliche Analysen sollte aber die Leistungsfähigkeit des Reaktors herangezogen werden, da das die Leistung ist, für die die Kunden bezahlt haben.

Tabelle 6: Betriebsleistung deutscher Atomkraftwerke

Kraftwerk	wirtschaftlicher Betrieb seit	Auslastung 2008 (%)	Auslastung bezogen auf die gesamte Laufzeit bis 2008 (%)
Biblis A	2/1975	82,6	65,2
Biblis B	1/1977	95,2	67,7
Brokdorf	12/1986	92,4	88,5
Brunsbüttel	2/1977	0,0	53,7
Emsland	6/1988	93,3	93,3
Grafenrheinfeld	6/1982	87,2	86,2
Grohnde	2/1985	88,3	90,6
Gundremmingen B	7/1984	85,7	82,6
Gundremmingen C	1/1985	87,7	80,4
Isar 1	3/1979	98,3	79,3
Isar 2	4/1988	93,2	89,6
Krümmel	3/1984	0,0	71,6
Neckarwestheim 1	12/1976	54,9	79,5
Neckarwestheim 2	4/1989	93,0	92,7
Philippsburg 1	3/1980	78,4	79,0
Philippsburg 2	4/1985	88,7	88,2
Unterweser	9/1979	78,7	79,6

Quelle: IAEA, http://www.iaea.or.at/programmes/a2/
Anmerkung: Die Atomkraftwerke Krümmel und Brunsbüttel waren 2008 das ganze Jahr über abgeschaltet.

In Tabelle 6 ist die Auslastung deutscher Atomkraftwerke im Jahr 2008 und während ihrer gesamten Laufzeit angegeben. Man sieht, es gibt große Unterschiede bei der Verfügbarkeit: Drei Anlagen waren während ihrer Gesamtlaufzeit zu über 90 Prozent, drei andere dagegen zu weniger als 70 Prozent ausgelastet.

Die Auslastung der Atomkraftwerke ist viel geringer als prognostiziert. Anbieter und Förderer der Technologie gingen davon aus, Atomkraftwerke würden äußerst zuverlässig sein, ihr Betrieb müsse lediglich für Wartungsarbeiten und die erneute Beschickung des Reaktorkerns unterbrochen werden. Einige Reaktortypen wie der AGR und CANDU können sogar während des laufenden Betriebs beschickt werden; sie werden nur für Wartungsarbeiten heruntergefahren und sind zu 85 bis 95 Prozent ausgelastet. Das Leistungsvermögen war allerdings längst nicht so gut: Um das Jahr 1980 lag die durchschnittliche Auslastung sämtlicher Atomkraftwerke weltweit bei etwa 60 Prozent. Welche Folgen das für die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie hat, verdeutlicht folgende Überlegung: Wenn wir davon ausgehen, dass die Fixkosten bei einer Auslastung von 90 Prozent zwei Drittel der gesamten Produktionskosten pro Kilowattstunde ausmachen, dann erhöhen sich die Unkosten bei einer nur 60-prozentigen Auslastung um ein Drittel. In dem Maß, in dem technische Ausfälle für die

schlechte Auslastung verantwortlich sind, erhöht sich der Preis pro Kilowattstunde darüber hinaus noch um die Reparatur- und Wartungskosten. In einem hart umkämpften Markt muss ein Stromproduzent, der vertraglich verpflichtet ist, Strom zu liefern, diese Verpflichtung aber nicht erfüllen kann, wahrscheinlich «Ersatz»-Strom für seine Kunden kaufen und dafür unter Umständen einen sehr hohen Preis bezahlen.

Seit den späten 1980er Jahren hat die Atomindustrie weltweit große Anstrengungen unternommen, ihre Leistung zu steigern. Mittlerweile liegt die Auslastung im Durchschnitt bei über 80 Prozent. In den USA sind es inzwischen durchschnittlich fast 90 Prozent, während 1980 noch nicht einmal 60 Prozent erreicht wurden. Bezogen auf die gesamte Laufzeit sind die US-Atomkraftwerke allerdings im Durchschnitt immer noch zu nur 70 Prozent ausgelastet.

Nur sieben der 414 Reaktoren, die aktuell in Betrieb sind, mindestens ein Jahr am Netz waren und deren Betriebsdauer permanent aufgezeichnet wurde, können über ihre gesamte bisherige Laufzeit hinweg eine Auslastung von über 90 Prozent vorweisen; nur die 100 effizientesten Anlagen erreichten über 80 Prozent. Interessanterweise stehen die 13 besten Reaktoren in drei Ländern: sechs in Südkorea, fünf in Deutschland und zwei in Finnland.

Neue Reaktortypen können möglicherweise in punkto Verlässlichkeit mit den besten zwei Prozent der vorhandenen Reaktoren mithalten, werden aber wahrscheinlich wie die Generationen zuvor auch gewisse «Kinderkrankheiten» haben. Ein besonders prägnantes Beispiel sind hier die Erfahrungen mit der französischen N4-Serie Ende der 1990er Jahre. Dabei sollte man sich vor Augen führen, dass wegen der Abzinsung in Wirtschaftsanalysen vor allem das Leistungsvermögen in den ersten Betriebsjahren zählt, in denen solche Kinderkrankheiten eher zu erwarten sind als später. Im Lauf der Zeit sinkt möglicherweise die Produktivität, weil Teile der Anlage verschleißen, ausgetauscht werden müssen und eventuell Nachbesserungen erforderlich sind, damit die Anlage aktuelle Sicherheitsstandards erfüllt. Wegen der Abzinsung fällt dieser Leistungsabfall allerdings in einer Wirtschaftsanalyse nicht allzu sehr ins Gewicht. Alles in allem ist aufgrund der Erfahrungen in der Vergangenheit die Annahme, dass die Verfügbarkeit von Atomkraftwerken bei über 90 Prozent liegt, kaum zu halten.

3.4 Nicht brennstoffbedingte Betriebs- und Wartungskosten

Viele Leute halten Atomkraftwerke für automatisch arbeitende Maschinen, die lediglich Brennstoff benötigen und deren Betriebskosten ansonsten sehr gering sind. Daher spielen die reinen Betriebs- und Wartungskosten in Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Atomenergie meist nur eine untergeordnete Rolle. Wie im Folgenden erläutert wird, sind die Brennstoffkosten relativ gering und recht gut kalkulierbar. Von geringen Betriebskosten auszugehen hat sich jedoch Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre als falsch erwiesen. Damals wurden in den USA einige wenige Atomkraftwerke stillgelegt, weil man feststellen musste, dass die Betriebskosten (ohne Rückzahlung der Fixkosten)

größer waren, als die Kosten für den Bau und den Betrieb von Ersatzkapazitäten auf Erdgasbasis. Damals lagen die nicht brennstoffbedingten Betriebs- und Wartungskosten im Schnitt bei über 22 Dollar pro Megawattstunde, während die Brennstoffkosten nicht mehr als 12 Dollar pro Megawattstunde ausmachten.[18] Es wurden gewaltige Anstrengungen unternommen, diese Kosten zu senken. Mitte der 1990er Jahre lagen die reinen Betriebs- und Wartungskosten im Durchschnitt bei etwa 12,5 Dollar pro Megawattstunde, die Brennstoffkosten bei 4,5 Dollar. Man muss allerdings bedenken, dass diese Kostensenkung vor allem auf eine bessere Auslastung der Anlagen und nicht auf eine tatsächliche Verringerung der Unkosten zurückgeht. Viele Betriebskosten – Löhne, Gehälter, Wartung – sind großenteils Fixkosten und weitgehend unabhängig davon, wie viel Strom ein Atomkraftwerk produziert. Daher gilt: Je mehr Energie erzeugt wird, desto geringer sind die Betriebs- und Wartungskosten pro Megawattstunde. In den USA wurde die Gefahr, dass Atomkraftwerke aus wirtschaftlichen Gründen frühzeitig abgeschaltet werden müssen, mittlerweile weitgehend gebannt.

Bemerkenswert ist auch, dass das 1996 privatisierte Unternehmen British Energy, das seine acht Atomkraftwerke damals praktisch zum Nulltarif übernehmen konnte, im Jahre 2002 finanziell angeschlagen war, weil seine Einkünfte aus dem Betrieb der Anlagen kaum die laufenden Kosten deckten. Das lag zum Teil an den hohen Brennstoffkosten, vor allem für die Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente, die mittlerweile nur noch in Großbritannien und Frankreich durchgeführt wird (siehe unten). Die Betriebs- und Wartungskosten für die acht Anlagen von British Energy – einschließlich der Brennstoffkosten – schwankten in der Zeit von 1997 bis 2004 zwischen rund 1,65 und 2,0 Pence pro Kilowattstunde. Danach nahmen sie jedoch mit jedem Jahr weiter zu. Im letzten vollen Betriebsjahr (2007/2008), für das Angaben vorliegen, lagen die Kosten bei 3 Pence pro Kilowattstunde, in den ersten sechs Monaten des Betriebsjahres 2008/2009 sogar bei 4,13 Pence pro Kilowattstunde. Das Unternehmen wurde dann vom französischen Energieversorger EDF übernommen; neuere Angaben zu den Betriebskosten fehlen.

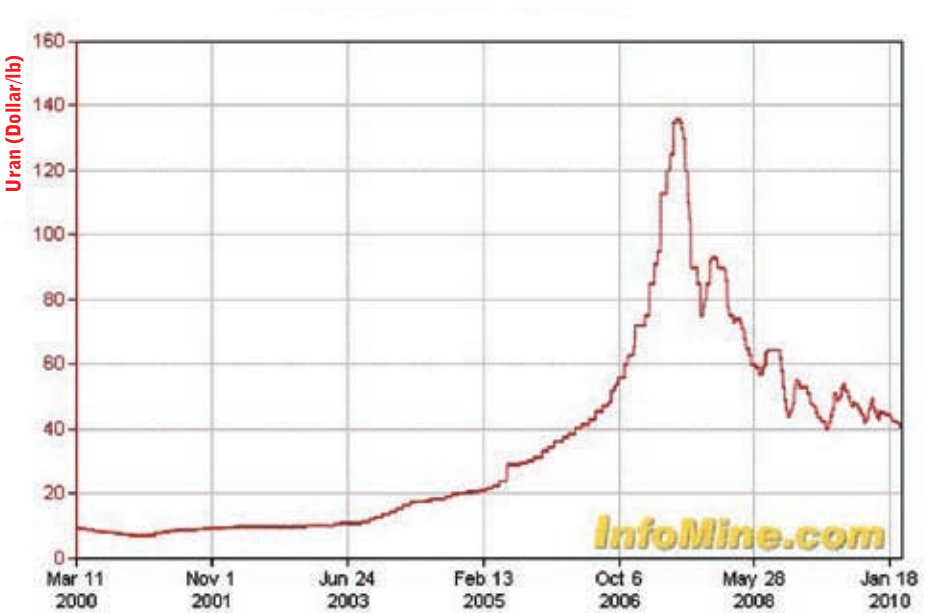
3.5 Brennstoffkosten

Zu den Brennstoffkosten, die etwa 5 Prozent der gesamten Energiekosten ausmachen, gehören die Kosten für den Abbau des Urans, dessen Anreicherung (die Erhöhung des prozentualen Anteils an verwendbaren Uranisotopen), die Verarbeitung zu Brennstäben, die Zwischenlagerung nach dem Abbrand sowie schließlich die sichere Endlagerung an einem Ort, an dem der Müll mehrere Hunderttausend Jahre lang abgeschottet werden muss. Die folgenden Überlegungen beziehen sich ausschließlich auf die Beschaffungskosten für den Brennstoff. Die Brennstoffkosten sind gefallen, weil Uran von Mitte der 1970er Jahre

18 Für Statistiken zu Betriebs- und Wartungskosten siehe: http://www.nei.org/index.asp?catnum=2&catid=95

(rund 12 Dollar pro Pfund U_3O_8) bis etwa zum Jahre 2000 auf dem Weltmarkt billig war, dann aber stieg der Preis auf etwa 150 Dollar pro Pfund (siehe Abb. 1). Bis Ende 2009 sank der Kassapreis dann wieder auf unter 50 Dollar pro Pfund. Diese Kassapreise sind etwas irreführend, da das Handelsvolumen auf dem Kassamarkt gering ist und dort nur ein sehr kleiner Prozentsatz des Urans ge- und verkauft wird – für den überwiegenden Teil bestehen langfristige bilaterale Verträge. In den USA liegen die durchschnittlichen Brennstoffkosten bei etwa 0,25 Pence pro Kilowattstunde; sie werden allerdings wohl künstlich niedrig gehalten, da die US-Regierung die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente für einen Pauschalbetrag von einem Dollar pro Megawattstunde (0,06 Pence pro Kilowattstunde) übernimmt. Diese Entsorgungspauschale wurde vor über zwei Jahrzehnten willkürlich festgesetzt, ohne dass konkrete Erfahrungswerte vorlagen. Weder in den USA noch sonst wo auf der Welt gibt es bisher Entsorgungsanlagen. Alle abgebrannten Brennelemente der USA befinden sich in Zwischenlagern, bis eines Tages – voraussichtlich im Yucca-Gebirge – ein Endlager gebaut wird. Die tatsächlichen Entsorgungskosten dürften sehr viel höher ausfallen.

Abb. 1: Der Preis für Uran 2000 – 2010
Quelle: http://www.infomine.com



Das Problem der Entsorgung abgebrannter Brennelemente ist nur schwer einzuschätzen. Eine Wiederaufbereitung ist teuer, solange das dabei produzierte Plutonium nicht gewinnbringend genutzt werden kann. Außerdem ist man mit der Lösung des Entsorgungsproblems keinen Schritt weiter. Bei der Wiederaufbereitung werden lediglich die Bestandteile der Brennelemente voneinander getrennt. Dadurch verringert sich allerdings nicht die Menge an Radioaktivität. In Wirklichkeit entsteht durch die Wiederaufbereitung zusätzlich noch

sehr viel schwach- und mittelradioaktiver Abfall, denn sowohl die gesamte Ausrüstung, als auch sämtliches dabei verwendetes Material werden radioaktiv verseucht. Berichten zufolge hatte das Unternehmen British Energy vor seiner Übernahme mit der BNFL einen Wiederaufbereitungsvertrag im Wert von 300 Millionen Pfund pro Jahr geschlossen, was etwa 0,5 Pence pro Kilowattstunde entspricht. Aufgrund des neuen Vertrags soll British Energy pro Jahr etwa 150 bis 200 Millionen Pfund sparen, was allerdings nur möglich sein wird, weil die Regierung die Verluste von BNFL übernimmt. Trotz der negativen Erfahrungen, die US-Unternehmen mit den Kosten gemacht haben, soll es in den USA nun zum ersten Mal seit dem von der Regierung Carter verhängten Verbot wieder Überlegungen geben, die Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente zuzulassen. Die Kosten für die Entsorgung hochradioaktiven Abfalls sind nur schwer kalkulierbar, weil keine Anlagen dafür vorhanden oder auch nur im Bau sind. Bei Kostenprognosen wird man daher immer eine sehr große Fehlermarge einkalkulieren müssen.

3.6 Laufzeit

Atomkraftwerke der Generation III+ zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass sie für eine Laufzeit von etwa 60 Jahren ausgelegt sind, während die Laufzeit ihrer Vorgänger meist nur halb so lang war. Man könnte denken, dass die Fixkosten pro Einheit bei einer Verdopplung der Laufzeit stark sinken müssten, weil mehr Zeit bleibt, um diese Kosten wieder hereinzuholen. In der Praxis sieht das aber ganz anders aus. Bankkredite müssen innerhalb eines Zeitraums von 15 bis 20 Jahren zurückgezahlt werden, und bei einer Kalkulation mit einem abgezinsten Cashflow fallen Kosten und Erträge über einen Berechnungszeitraum von 10 bis 15 Jahren kaum noch ins Gewicht (siehe Anhang 2).

Es gibt zurzeit eine Tendenz, die Laufzeit bestehender Atomkraftwerke zu verlängern. Einige Druck- und Siedewasserreaktoren, die der ursprünglich zugelassenen Laufzeit von 40 Jahren entgegen gehen, haben in den USA von den Sicherheitsbehörden die Genehmigung bekommen, weitere 20 Jahre am Netz bleiben zu dürfen. Man kann jedoch nicht davon ausgehen, dass der Strom billiger wird, sobald die Kapitalkosten abbezahlt sind. Die Verlängerung der Laufzeiten verursacht zum Teil erhebliche Kosten, da ausgediente Komponenten ersetzt werden müssen und das Atomkraftwerk an die aktuellen Sicherheitsstandards angepasst werden muss. Außerdem ist es nicht immer möglich, die Laufzeit zu verlängern. Britische AG-Reaktoren (advanced gas-cooled reactors) zum Beispiel, die für eine Laufzeit von 25 Jahren ausgelegt waren, sollen nun vermutlich 40 Jahre in Betrieb bleiben. Eine weitere Verlängerung der Laufzeit wird aber wohl nicht möglich sein, da die aus Graphit bestehenden Moderatorblöcke erodieren und sich verformen können.

3.7 Kosten für Stilllegung, Abfallentsorgung und Rückstellungen

Da es bisher kaum Erfahrung mit der Stilllegung kommerzieller Atomkraftwerke gibt, man auch nicht weiß, wie hoch die Kosten für die Entsorgung vor allem mittel- und hochradioaktiver Abfälle sind (siehe Anhang 3), ist es schwierig, diese Kosten zu kalkulieren. Doch selbst Maßnahmen, die sicherstellen würden, dass im Bedarfsfall genügend Geld zur Verfügung steht, würden an der Wirtschaftlichkeit der Atomenergie insgesamt wenig ändern. Müsste der Eigentümer zu Beginn der Laufzeit eine (abgezinste) Summe für die spätere Stilllegung der Anlage hinterlegen, würde dies die Baukosten nur um etwa 10 Prozent erhöhen. In den Sonderfonds von British Energy (der die erste Phase der Stilllegung nicht abdeckte) mussten Beiträge von nicht einmal 20 Millionen Pfund pro Jahr eingezahlt werden. Das entsprach einem Anteil von nur etwa 0,03 Pence pro Kilowattstunde.

Problematisch wird es, wenn die Kosten zu Beginn zu niedrig angesetzt wurden, die Rückstellungen verlorengehen oder der Betreiber der Anlage in Konkurs geht, bevor die Anlage ihre vorgesehene Laufzeit erreicht hat. All das ist in Großbritannien geschehen. Die veranschlagten Stilllegungskosten haben sich im Lauf der letzten 20 Jahre de facto vervielfacht. Als der Energieversorger Central Electricity Generating Board (CEGB) 1990 privatisiert wurde, wurden die aus den Beiträgen der Verbraucher gebildeten Rückstellungen nicht auf den späteren Eigentümer, Nuclear Electric, übertragen. Fördermittel, die als Rückstellungsbeitrag für die Jahre 1990 bis 1996 verwendet werden sollten, um, wie Michael Heseltine[19] es ausdrückte, «alte, baufällige Atomkraftwerke stillzulegen», hat das Unternehmen, das anschließend die Anlage betrieb, in Wirklichkeit einfach ausgegeben und das, was davon überblieb, hat mittlerweile der Fiskus kassiert. Aufgrund der Insolvenz von British Energy werden künftige Steuerzahler einen Großteil der Stilllegungskosten übernehmen müssen.

3.8 Versicherungsprämie und Haftung

Um Fragen der Versicherung und Haftung gibt es erheblichen Streit. Aktuell müssen die Betreiber von Atomkraftwerken aufgrund eines internationalen Vertrags nur für einen Bruchteil der Kosten haften, die bei einem größeren Unfall im einem Atomkraftwerk vermutlich entstehen würden. Das 1963 verabschiedete und 1997 ergänzte Wiener Übereinkommen beschränkt die Haftung des Betreibers auf 300 Millionen Sonderziehungsrechte (SZR) oder etwa 460 Millionen Dollar (am 22. 2. 2009 entsprach 1 US-Dollar 0,653 SZR[20]). Gegenwärtig trägt die britische Regierung ein Restrisiko für Kosten, die 140 Millionen Pfund übersteigen – und das obwohl man davon ausgeht, dass die Mindestdeckungs-

19 Michael Heseltine, Präsident des Board of Trade, *Hansard*, 19. Oktober 1992.

20 Der Wert der Sonderziehungsrechte errechnet sich aus einem Korb mit den vier wichtigsten Währungen der Welt.

summe den Abkommen von Paris und Brüssel zufolge voraussichtlich auf 700 Millionen Euro steigen wird. Man hat die Haftungsobergrenze als für die Entwicklung der Atomenergie unabdingbar betrachtet. Man kann in ihr allerdings auch eine Subventionierung im großen Stil sehen.

Tabelle 7: Haftungsobergrenzen in den OECD-Ländern, Stand September 2001

	Haftungshöchstsummen nach nationaler Gesetzgebung[a]	Notwendige Deckungsvorsorge[a,b]
Belgien	€ 298 Millionen	
Deutschland	unbeschränkt	€ 2500 Millionen[c]
Finnland	€ 250 Millionen	
Frankreich	€ 92 Millionen	
Großbritannien	€ 227 Millionen	
Japan	unbeschränkt	€ 538 Millionen
Kanada	€ 54 Millionen	
Südkorea	€ 4293 Millionen	
Mexiko	€ 12 Millionen	
Niederlande	€ 340 Millionen	
Schweiz	unbeschränkt	€ 674 Millionen
Slowakei	€ 47 Millionen	
Spanien	€ 150 Millionen	
Tschechien	€ 177 Millionen	
Ungarn	€ 143 Millionen	
USA	€ 10937 Millionen	€ 226 Millionen

Quelle: Inoffizielle Statistiken – OECD/NEA, Legal Affairs
Anmerkungen: [a] Umrechnung nach offiziellen Wechselkursen vom Juni 2001–Juni 2002; [b] falls von der Haftungshöchstsumme abweichend; [c] 256 Millionen € Versicherung, 2,5 Milliarden € Betreiberpool, 179 Millionen € nach Brüsseler Zusatzabkommen zum Pariser Übereinkommen.

Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags hat in ihrem Bericht über eine Nachhaltige Energieversorgung[21] die in Tabelle 7 aufgeführten Zahlen zu Haftungsgrenzen in den OECD-Ländern aufgeführt. Sie verdeutlichen eine enorme Bandbreite: In Mexiko, beispielsweise, fallen die Beträge sehr gering aus, in Deutschland sind sie sehr viel höher.

Kosten, die bei Ereignissen wie der Katastrophe von Tschernobyl anfallen, können dreistellige Milliardenbeträge erreichen (es ist zwar nicht angemessen, den Tod oder die dauerhafte Behinderung von Menschen in Geld aufzurechnen, für Versicherungszwecke ist es aber notwendig). Ein solches Ereignis lässt sich

21 Deutscher Bundestag: *Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung*, Bericht der Enquete-Kommission, zur Sache 6/2002, Kapitel 3.3.2, Tabelle 3.3, Berlin 2002, S. 232. http://dip.bundestag.de/btd/14/094/1409400.pdf

kaum auf herkömmliche Weise versichern. Und selbst, wenn es möglich wäre, könnte man sich darauf kaum verlassen, da ein großer Unfall die Versicherungen in den Ruin treiben würde.

Um die Betreiber von Atomkraftwerken wirkungsvoll gegen finanzielle Verluste nach Unfällen abzusichern, hat es den Vorschlag gegeben, sogenannte «Katastrophen-Anleihen» aufzulegen. Dabei handelt es sich um eine Hochzinsanleihe, die von einer Versicherung abgedeckt wird. Sie enthält eine Rückstellung, die Zinsen abwirft und/oder von der Kapital zurückgezahlt wird; diese Rückzahlung wird jedoch verschoben oder entfällt, wenn eine zuvor definierte Katastrophe, etwa ein Erdbeben, eintritt. Ob solche Katastrophen-Anleihen eine realistische Lösung für den Versicherungsschutz bei Atomunfällen wären, und wie sie sich auf die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie auswirken würden, lässt sich, solange keine konkreten Vorschläge vorliegen, nicht mit Sicherheit sagen.

4 Erfahrungen an den Standorten Olkiluoto und Flamanville

Diese beiden Anlagen sind besonders wichtig, da sie die einzigen Atomkraftwerke der Generation III+ sind, bei denen nennenswerte Erfahrungen gesammelt werden konnten – wenn bislang auch nur beim Bau und nicht beim Betrieb.

4.1 Olkiluoto

Der Auftrag, in Finnland den Reaktorblock 3 für das Atomkraftwerk Olkiluoto zu bauen, galt als besonders wichtig für die Atomindustrie, weil er der landläufigen Meinung zu widersprechen schien, wegen der Liberalisierung der Energiemärkte würden keine Atomkraftwerke mehr in Auftrag gegeben. Der Bauauftrag vom Dezember 2003 war, seit dem Block 2 des französischen Atomkraftwerks Civaux (1993), der erste in Westeuropa und Nordamerika – sowie der erste für einen Reaktor der Generation III/III+ außerhalb des Pazifischen Raums. Die finnische Stromindustrie hatte seit 1992 versucht, die Zustimmung des Parlaments für einen fünften Atomreaktor zu erhalten. Diese wurde schließlich 2002 erteilt. Der Auftrag für Olkiluoto 3 gab der Atomindustrie und Areva NP einen enormen Schub. Ist die Anlage einmal fertig, wäre sie – so die Erwartungen der Industrie – ein hervorragendes Demonstrations- und Referenzobjekt, um weitere Käufer für Europäische Druckwasserreaktoren zu gewinnen.

Finnland gehört zusammen mit Norwegen, Schweden und Dänemark dem Nordischen Stromverbund an. Die Region gilt allgemein als der am härtesten umkämpfte Strommarkt der Welt. Finnland hat einen guten Ruf, da das Land vier Anlagen betreibt. Groß waren entsprechend die Hoffnungen, mit dem Auftrag eine Antwort auf die vielen Fragen zur «Renaissance der Atomenergie» gefunden zu haben. Bei genauerer Betrachtung stößt man allerdings auf einige Besonderheiten, die zeigen, dass dieser Geschäftsabschluss sich nicht auf die Verhältnisse auf anderen Märkten übertragen lässt.

Als Vertragspreis für den 1.600-Megawatt-Reaktor Olkiluoto 3 wurden im Jahr 2004 drei Milliarden Euro angegeben.[22] Später war dann von 3,2[23] oder 3,3[24] Milliarden die Rede. Nachdem die finnische Aufsichtsbehörde STUK im März 2005 die Baugenehmigung erteilt hatte, begannen im August 2005 die Arbeiten vor Ort. Als der Vertrag unterzeichnet wurde, hatte der Auftrag je nach Vertragspreis einen Wert von etwa 3,6 bis 4 Milliarden Dollar oder 2.250 bis 2.475 Dollar pro Kilowattstunde (1 Euro = 1,2 US-Dollar). Darin waren sowohl die Finanzierung, als auch zwei Reaktorkerne enthalten; ohne Berücksichtigung der Kapitalzinsen und inflationsbedingten Preissteigerungen (man spricht auch vom «Overnight-Preis») wären die Kosten pro Kilowattstunde somit etwas niedriger gewesen, obwohl die Finanzierungskosten, wie wir noch sehen werden, angesichts des äußerst niedrigen Zinssatzes von 2,6 Prozent gering waren.

Diese Kosten lagen zwar deutlich über dem nur einige Jahre zuvor von der Atomindustrie angepeilten Preis von 1.000 Dollar pro Kilowattstunde, Kritiker hielten den Preis dennoch für ein «Lockvogelangebot». Areva NP hatte bereits seit Ende der 1990er Jahre[25] versucht, die Électricité de France (EDF) oder einen deutschen Energieversorger zu einem Auftrag für einen Europäischen Druckwasserreaktor zu bewegen. Es gab Befürchtungen, dass Areva allmählich qualifizierte Mitarbeiter[26] verlieren und der Reaktortyp technisch überholt[27] sein würde, sollte nicht bald eine Bestellung für einen EPR erfolgen. Außerdem brauchte Areva NP ein Vorzeigeobjekt für die EPR-Technologie. Olkiluoto 3 sollte zur Referenzanlage für weitere Aufträge werden. Als zusätzlichen Anreiz und auf Wunsch des Kunden bot Areva NP die Anlage «schlüsselfertig», d.h. zu einem Festpreis, an. Neben der Lieferung der kerntechnischen Anlage übernahm das Unternehmen auch noch die Verantwortung für das Management und die Ingenieursarbeiten auf der Baustelle. Das war für Areva eine ungewohnte Rolle: Bei den 58 Druckwasserreaktoren, die die Vorgängerfirma von Areva NP, Framatome, an Frankreich geliefert hatte, wie auch bei anderen Projekten in China und Südafrika, hatte die EDF diese Aufgaben übernommen.

22 Der Leiter des Projekts, Martin Landtman, erklärte: «Der Wert der gesamten Investition für Olkiluoto 3 samt vertraglich zugesagter schlüsselfertiger Lieferung beträgt circa 3 Milliarden Euro nach dem Geldwert von 2003. Andere Zahlen werden nicht veröffentlicht.» Persönliche E-Mail an Mycle Schneider vom 8. Oktober 2004.

23 *Nucleonics Week*: «EC Probing Claims Olkiluoto Loan Guarantees Were State Aid», 26. Oktober 2006.

24 *Nucleonics Week*: «Areva Reveals 47% Cost Overrun on Contract for Olkiluoto-3», 5.März 2009, S. 1.

25 *Nucleonics Week*: «Giant EPR Said To Be Competitive: EDF To Decide on Order Next Year», 6. November 1998, S. 1.

26 *Petroleum Economist*: «France Mulls Nuclear Future», März 2001.

27 *Nucleonics Week*: «EPR Safety Approval Won't Last Beyond 2002, Regulator Warns», 6. März 1997.

Wie andernorts dokumentiert,[28] ist bei dem Olkiluoto-Projekt seit Baubeginn vieles schief gelaufen. Im März 2009[29] wurde bekannt, dass man mit dem Bau mindestens drei Jahre in Verzug war und das Budget um 1,7 Milliarden Euro überschritten hatte.[30] Im August 2009 räumte Areva NP ein, man rechne nun mit Kosten von 5,3 Milliarden Euro, was beim damaligen Kurs (1 Euro = 1,35 US-Dollar) einem Preis von 4.500 Dollar pro Kilowattstunde entsprach.[31] Zwischen Areva NP und dem Auftraggeber, dem Stromerzeuger Teollisuuden Voima Oy (TVO), ist zudem ein erbitterter Streit über den Vertrag entbrannt. Während Areva NP die Zahlung von etwa einer Milliarde Euro für angebliche Versäumnisse von TVO verlangt, forderte TVO im Januar 2009 im Gegenzug 2,4 Milliarden Euro Schadensersatz für Verzögerungen beim Bau.[32]

Es ist kaum wahrscheinlich, dass alle Probleme, die zu den Verzögerungen und Kostenüberschreitungen beigetragen haben, gelöst worden sind. Die endgültigen Baukosten werden wahrscheinlich erheblich höher liegen. Das Ergebnis des Schiedsverfahrens zwischen Areva NP und TVO wird darüber entscheiden, inwieweit auf die jeweiligen Parteien zusätzliche Kosten zukommen. Unabhängig davon ist allerdings klar, dass die Zweifel potenzieller Investoren in Bezug auf Kosten und termingerechte Fertigstellung nach wie vor berechtigt sind.

4.2 Flamanville

Im Januar 2007 bestellte die Électricité de France (EDF) für ihren Standort Flamanville einen Europäischen Druckwasserreaktor. Die Bauarbeiten an diesem auf 1.630 Megawatt und damit auf eine höhere Leistung ausgelegten Reaktor[33] begannen im Dezember 2007.[34] Im Mai 2006 rechnete die EDF mit Kosten von 3,3 Milliarden Euro, [35] was beim damaligen Kurs (1 Euro = 1,28 Dollar) einem Strompreis von 2.590 Dollar pro Kilowattstunde entsprach. Darin nicht enthalten war allerdings die Grundausstattung an Brennelementen, so dass der «Overnight»-Preis etwas höher ausgefallen wäre. Auch die Finanzierungskosten für den Bau fehlten in den veranschlagten Kosten.

---

28 S. Thomas: «Can Nuclear Power Plants Be Built in Britain without Public Subsidies and Guarantees?», Vortrag auf der Konferenz «Commercial Nuclear Energy in an Unstable, Carbon Constrained World», veranstaltet vom Nonproliferation Policy Education Center und Radio Free Europe/Radio Liberty, 17/18. März 2008, Prag, Tschechische Republik.

29 *Nucleonics Week*: «Areva's Olkiluoto-3 Manager Says Engineering Judgment Undermined», 26. März 2009, S. 4.

30 *Nucleonics Week*: «Areva Reveals 47% Cost Overrun», 5. März 2009, S. 10.

31 *Nucleonics Week*: «With Expected Losses Mounting, Areva Seeks Changes in Ol3 Project», 3. September 2009.

32 *Agence France Presse*: «Setbacks Plague Finland's French-built Reactor», 30. Januar 2009.

33 *Nucleonics Week*: «EDF Orders Flamanville-3 EPR NSSS, with Startup Targeted in 2012», 5. Januar 2007, S. 1.

34 *Nucleonics Week*: «Flamanville-3 Concrete Pour Marks Start of Nuclear Construction», 6. Dezember 2007, S. 3.

35 *Nucleonics Week*: «EDF to Build Flamanville-3, Says First EPR Competitive with CCGT», 11. Mai 2006, S. 1.

Die EDF wollte keine schlüsselfertige Anlage, das heißt keine Ingenieurleistungen am Bau sowie keine Übernahme von Vertragsaufgaben – etwa über Leasingverträge für den Turbinengenerator – mit einkaufen. Inwieweit für diese Entscheidung die Erfahrungen in Olkiluoto ausschlaggebend waren, oder ob man einfach weiter hauseigene Fachleute beschäftigen wollte, ist unklar.

Im Mai 2008 verhängten die Aufsichtsbehörden vorübergehend einen Baustopp in Flamanville, weil es beim Gießen des Betonsockels Probleme mit der Qualität gegeben hatte.[36] Aufgrund dieser Verzögerungen kündigte Areva NP an, die Anlage werde nicht vor 2013, also ein Jahr später als geplant, fertig. Im November 2008 sagte die EDF jedoch, man könne den Zeitverlust wieder einholen, und der Bau werde wie ursprünglich geplant im Jahr 2012 fertig.[37] Die EDF räumte ein, dass die veranschlagten Baukosten für Flamanville von 3,3 auf 4 Milliarden Euro gestiegen seien.[38] Dies entsprach bei einem Kurs von 1 Euro = 1,33 US-Dollar einem Strompreis von 3.265 Dollar pro Kilowattstunde und lag damit deutlich über dem Vertragspreis für Olkiluoto, aber weit unter den Preisen in den USA und auch unter den tatsächlichen Kosten in Olkiluoto. Auch die am Bau beteiligten Gewerkschaften erklärten, der Bau in Flamanville sei mindestens zwei Jahre in Verzug.[39] Einem Areva-Sprecher zufolge belaufen sich die Kosten für einen Europäischen Druckwasserreaktor mittlerweile auf mindestens 4,5 Milliarden Euro – wobei nicht gesagt wurde, ob darin auch Kapitalzinsen und inflationsbedingte Preissteigerungen enthalten seien.[40]

5 Das Atomprogramm der USA

Das im Februar 2002 aufgelegte Programm «Atomenergie 2010» war der Versuch der Regierung Bush, den Markt für Atomkraftwerke wiederzubeleben. Im Mittelpunkt standen dabei Atomkraftwerke der Generation III+. Als Ziel wurde ausgegeben, dass bis 2010 mindestens eine Anlage der Generation III+ sowie ein Reaktor eines fortgeschritteneren Bautyps in Betrieb gehen sollte. Das US-Energieministerium erhoffte sich von dem Programm Kooperationsprojekte mit der Industrie,

> *[…] um von der Atomaufsichtsbehörde der USA (NRC) an drei Standorten einen positiven Vorbescheid für eine Baugenehmigung für neue Atomkraftwerke zu erhalten, ferner um Leitlinien für das Einreichen eines Antrags*

36 *Nucleonics Week*: «Concrete Pouring at Flamanville-3 Stopped after New Problems Found», 29. Mai 2008, S. 18.

37 *Nucleonics Week*: «EDF Confirms Target of Starting Up Flamanville-3 in 2012», 20. November 2008, S. 1.

38 *Associated Press Worldstream*, «EDF To Lead up to Euro50b in Nuclear Plant Investment», 4. Dezember 2008.

39 *Nucleonics Week*: «French Union: Flamanville-3 Delayed», 28. Januar 2010, S. 1.

40 *Nucleonics Week*: «Areva Official Says Costs for New EPR Rising, Exceeding $6.5 billion», 4. September 2008, S. 1.

auf eine Bau- und Betriebsgenehmigung zu entwickeln und um behördliche Fragen zur Bau- und Betriebsgenehmigung zu klären. Die Bau- und Betriebsgenehmigung ist ein «einstufiges» Verfahren, bei dem vor Baubeginn allgemeine Gesundheits- und Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit dem Atomkraftwerk geklärt werden. Die Atomaufsichtsbehörde erteilt dann die Genehmigung für den Bau und Betrieb eines neuen Atomkraftwerks.[41]

Ein weiterer Grund:

[…] um die Entwicklung eines Prototyps der Generation III+-Reaktortechnologie abzuschließen und die noch neuen föderalen Regulierungs- und Genehmigungsverfahren für die Standortwahl, den Bau und den Betrieb neuer Atomkraftwerke durchzuspielen.[42]

Ziel des Programms «Atomenergie 2010» war es, den neuen Reaktortypen zum wirtschaftlichen Erfolg zu verhelfen. Aufgrund der schlechten Erfahrungen aus den 1980er und 1990er Jahren, zögerten die Energieversorger mit der Bestellung neuer Atomkraftwerke, bevor nicht eindeutig geklärt war, ob die neuen Reaktortypen und Verfahren nicht die selben Schwachstellen aufwiesen wie früher. Um diese Hindernisse aus dem Wege zu räumen, versuchte die Politik, die Genehmigungsverfahren zu vereinfachen, einige neue Reaktortypen beschleunigt zuzulassen und für zunächst drei Projekte (vielleicht sechs Reaktorblöcke) ein Förderprogramm aufzulegen. Die nächsten Aufträge sollten dann ohne Subventionen auskommen.

Ursprünglich waren Subventionen von insgesamt bis zu 450 Millionen Dollar für mindestens drei Projekte vorgesehen. Es zeigte sich, dass vor allem drei Unternehmen Subventionen beantragen wollten; zwei von ihnen unterzeichneten Vereinbarungen mit dem US-Energieministerium, Bau- und Betriebsgenehmigungen auszuarbeiten. Das 2004 gegründete Konsortium Nustart besteht aus acht Energieversorgern, darunter Entergy, Constellation Energy, Duke Power, Exelon, Florida Power & Light, Progress Energy, Southern Company und Tennessee Valley Authority (TVA, die Arbeitskräfte, aber kein Geld zur Verfügung stellen wollte). Ebenfalls dazu gehörten der französische Stromerzeuger EDF sowie die Unternehmen Westinghouse und General Electric (GE), die jedoch über keine Stimmrechte verfügten. Nustart plante, zwei Anträge einzureichen: einen für einen ESBWR (Economic Simplified Boiling Water Reactor) von GE an Entergys Standort Grand Gulf in Texas und einen für einen AP-1000 von Westinghouse am TVA-Standort Bellefont. Die zweite große Unternehmensgruppe wird vom Energieversorger Dominion angeführt. Dominion wollte eine

41 http://www.ne.doe.gov/NucPwr2010/NucPwr2010.html.

42 Energieministerium der USA: *A Roadmap to Deploy New Nuclear Power Plants in the United States by 2010*, Washington, D.C., USDOE, 2001.

Bau- und Betriebsgenehmigung für eine fortgeschrittene Version des Candu-Reaktors der Atomic Energy of Canada Limited (AECL), dem ACR-700, in North Anna (Virginia), wo Dominion bereits zwei Reaktoren betreibt. Im Januar 2005 gab Dominion allerdings bekannt, anstelle des ACR-700 den Bau eines ESBWR von GE beantragen zu wollen, da es zu lange dauern würde, die Genehmigung für einen Candu-Reaktor zu bekommen. Der Candu-Reaktor war in den USA noch nicht zugelassen, und die NRC ging davon aus, ein Genehmigungsverfahren werde über 60 Monate dauern – und damit sehr viel länger, als bei einem DWR oder SWR der Generation III+. In der Folge stellte sich allerdings heraus, dass die Bewertung durch die NRC bei allen neuen Reaktortypen mindestens 60 Monate dauern wird.

Seit dem Energiegesetz von 2005 hat sich zwar der Zeitplan des Programms verschoben, es wurde aber erheblich ausgeweitet, um der großen Anzahl an Energieversorgern Rechnung zu tragen, die Interesse am Bau eines Atomkraftwerks geäußert hatten. Auch die Förderungsmöglichkeiten haben deutlich zugenommen. Anfang 2009 war der Bau von 31 Anlagen geplant (siehe Tabelle 8).

Für einige Demonstrationsanlagen wurde später ein Bündel an Subventionen vorgeschlagen. Die beiden wichtigsten sind:

- **Steuererleichterungen**: Damit der von den neuen Atomkraftwerken erzeugte Strom mit anderen Energiequellen konkurrieren kann, soll es für die ersten acht Betriebsjahre eine Steuererleichterung von 18 US-Dollar pro Megawattstunde geben. Der Energie-Informationsbehörde EIA zufolge würde diese Förderung die Steuerzahler bis zum Jahr 2025 5,7 Milliarden Dollar kosten.[43]
- **Kreditbürgschaften:** Um die Finanzierung neuer Reaktoren zu erleichtern, wird für Kredite gebürgt, das heißt, Energieversorger können sich zum Zinssatz von Bundesobligationen Geld leihen. Die Haushaltskontrolleure des Kongresses kamen allerdings zu dem Schluss, das Risiko, die Kredite könnten von der Industrie nicht bedient werden, läge «weit über 50 Prozent».[44] Der Congressional Research Service schätzt, dass die Steuerzahler bei Bürgschaften für Kredite, die bis zu 50 Prozent der Baukosten von sechs bis acht neuen Reaktoren abdecken, mit 14 bis 16 Milliarden Dollar haften würden.[45]

43 Energieministerium der USA: *Analysis of Five Selected Tax Provisions of the Conference Energy Bill of 2003*, Washington, D.C., Energy Information Administration, 2004, S. 3. http://tonto.eia.doe.gov/FTPROOT/service/sroiaf(2004)01.pdf

44 Congressional Budget Office: *Cost estimate of S.14, Energy Policy Act of 2003*, Washington, D.C., Congressional Budget Office, 7. Mai 2003 http://www.cbo.gov/doc.cfm?index=4206

45 Congressional Research Service (CRS): *Potential Cost of Nuclear Power Plant Subsidies in S.14*, 7. Mai 2003; Anfrage von Senator Ron Wyden.

Tabelle 8: Im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» in den USA geplante Atomkraftwerke

Atomkraftwerk	Betreiber	Stand des Genehmigungsverfahrens durch die NRC	Kredit-bürgschaft	Reaktor-typ	Voraussicht-liche Inbe-triebnahme
Calvert Cliffs 3	Unistar	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 3/08	in der engeren Wahl	EPR	?
South Texas 3,4	NRG	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 9/07	in der engeren Wahl	ABWR	?
Bellefonte 3,4	TVA	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 10/07	nicht förderbar	AP-1000	?
North Anna 3	Dominion	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 11/07	beantragt	ESBWR	?
Lee 1,2	Duke	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 12/07	beantragt	AP-1000	2021–23
Harris 2,3	Progress	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 2/08	nicht beantragt	AP-1000	2019–20
Grand Gulf 3	Entergy	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 2/08	beantragt	ESBWR	verschoben
Vogtle 3,4	Southern	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 3/08	in der engeren Wahl	AP-1000	2016
Summer 2,3	SCANA	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 3/08	in der engeren Wahl	AP-1000	2016–19
Callaway 2	Ameren UE	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 7/08	beantragt	EPR	verschoben
Levy 1,2	Progress	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 7/08	beantragt	AP-1000	2019–20
Victoria 1,2	Exelon	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 9/08	beantragt	ESBWR	verschoben
Fermi 3	DTE Energy	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 9/08	nicht beantragt	ESBWR	?
Comanche Peak 3,4	TXU	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 9/08	erster Platz auf einer Reserveliste	APWR	?

Atomkraftwerk	Betreiber	Stand des Genehmigungsverfahrens durch die NRC	Kredit-bürgschaft	Reaktor-typ	Voraussicht-liche Inbe-triebnahme
Nine Mile Point 3	Unistar	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 10/08	beantragt	EPR	verschoben
Bell Bend	PPL	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 10/08	beantragt	EPR	2018
Amarillo 1,2	Amarillo	?		EPR	?
River Bend	Entergy	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung eingereicht 9/08	beantragt	ESBWR	verschoben
Elmore	Unistar	?		EPR	verschoben
Turkey Point 6,7	FPL	Antrag auf Bau- und Betriebsgenehmigung geplant 3/09	?	AP-1000	2018–20

Quelle: Presseberichte
Anmerkung: Weitere Details zu den einzelnen Projekten finden sich in Anhang 4.

Nach dem Energiegesetz gibt es für den ersten und zweiten Reaktorblock eine Risikoversicherung von bis zu 500 Millionen Dollar, für die Blöcke drei bis sechs von 250 Millionen Dollar. Diese Versicherungssumme wird fällig, wenn sich die Genehmigung des Atomkraftwerks aus Gründen verzögert, für die die Antragsteller nicht verantwortlich sind. Das Gesetz sieht zudem Fördermittel für Forschung und Entwicklung in Höhe von 850 Millionen sowie Hilfen bei Stilllegungskosten in Höhe von 1,3 Milliarden US-Dollar vor.

Schnell wurde aber klar, dass die Kreditbürgschaften nicht nur der entscheidende Teil des Subventionspakets waren, sondern auch, dass die Deckungshöhe nicht ausreichte, um den Energieversorgern neue Bestellungen zu ermöglichen. Ursprünglich hatte man erwartet, die Bundesbürgschaften würden bis zu 80 Prozent des Fremdkapitals abdecken. Wenn etwa 60 Prozent der Baukosten über die Aufnahme von Krediten (der Rest über Eigenkapital) finanziert würden, wäre etwa die Hälfte der Kosten für die Anlage gedeckt. Die Energieversorger setzten sich jedoch erfolgreich dafür ein, dass Fremdkapital zur Finanzierung von bis zu 80 Prozent der Projektkosten hundertprozentig abgedeckt wird. Auch die Banken sprachen sich für eine hundertprozentige Deckung aus. In einer Verlautbarung von 2007, unterzeichnet von sechs der größten Investmentbanken an der Wall Street (Citigroup, Credit Suisse, Goldman Sachs, Lehman Brothers, Merrill Lynch und Morgan Stanley), teilten diese dem Energieministerium mit, keine Darlehen für neue Atomkraftwerke zu vergeben, sollte der Steuerzahler die Risiken nicht komplett übernehmen.[46]

46 Äußerungen von Investoren zu einer Mitteilung des Energieministeriums über die geplante Gesetzgebung, 2. Juli 2007.

In Staaten, in denen der Strommarkt nicht so stark liberalisiert ist und die Energieversorger mit einem regulierten Anlagevermögen zu staatlich festgelegten Tarifen arbeiten, sind Kreditgarantien möglicherweise weniger entscheidend. Wenn die Behörden – wie schon einige Male geschehen – dem Energieversorger erlauben, die Baukosten noch vor Fertigstellung einer Anlage über die Stromtarife wieder hereinzuholen, dann werden die Risiken verstärkt auf die Verbraucher abgewälzt. Geldgeber bieten Kredite dann unter Umständen zu sehr viel niedrigeren Zinsen an, als bei einem Atomkraftwerk, das sich auf dem Markt behaupten muss.

Der Anwendungsbereich der Fördergelder wurde zudem erheblich ausgeweitet. Zunächst waren nur drei Standorte (mit bis zu sechs Blöcken) abgedeckt, dann gab es Kreditbürgschaften für bis zu drei Blöcke jedes «innovativen» Reaktortyps. Da der Aufsichtsbehörde bis 2008 fünf «innovative Entwürfe» zur Zertifizierung vorlagen, konnte man für bis zu 15 Reaktorblöcke Kreditbürgschaften beantragen. Die fünf Reaktortypen sind: AP-1000 von Westinghouse, EBWR von GE-Hitachi, ABWR von GE-Hitachi[47], EPR von Areva NP sowie APWR von Mitsubishi.

Als das Programm 2002 begann, ging man von Baukosten von 1.000 Dollar pro Kilowattstunde aus. Die Garantien, die nötig gewesen wären, um bei sechs Anlagen mit einer Kapazität von etwa 1.400 Megawatt jeweils 50 Prozent der Gesamtkosten abzudecken, hätten sich auf etwa 4,2 Milliarden Dollar belaufen. Wenn wir davon ausgehen, dass 15 Reaktorblöcke gefördert werden können und bis zu 80 Prozent ihrer Gesamtkosten von 6.000 Dollar pro Kilowattstunde abgedeckt werden, dann wären im Jahre 2008 Garantien im Wert von weit über 100 Milliarden US-Dollar erforderlich gewesen.

Aufgrund des 2007 verabschiedeten Energiegesetzes hatte das US-Energieministerium 2008/09 bis zu 18,5 Milliarden Dollar, um für Kredite für Atomkraftwerke zu bürgen. Im Februar 2009 kamen fünf Projekte für diese Kreditgarantien in die engere Wahl: Southern Company (Vogtle), South Carolina Electric & Gas (Summer), Unistar Nuclear Energy (Calvert Cliffs), NRG (South Texas) und das Comanche-Peak-Projekt. Davon blieben schließlich vier Projekte übrig; das Comanche-Peak-Projekt wurde im Mai 2009 auf den ersten Platz einer Reserveliste verschoben. (In Anhang 4 wird genauer beschrieben, wie weit die angekündigten Atomprojekte in den USA gediehen sind.)

5.1 Voraussichtlicher Ausgang

Bei allen Reaktortypen ergaben sich im Laufe der Überprüfung durch die NRC schwerwiegende Fragen. Japan war etwa zehn Jahre lang kurz davor, den APWR zu bestellen, aus unbekannten Gründen kam dieser Auftrag allerdings nicht zustande. In den USA gibt es nur einen einzigen Kunden, und falls das Projekt

47 Toshiba bietet den ABWR möglicherweise auch unabhängig von GE-Hitachi an.

keine Fortschritte machen sollte und der japanische Auftrag sich weiterhin hinauszögert, wird diese Technologie kaum eine Zukunft haben.

Der ESBWR stößt außerhalb der USA nur auf wenig Interesse und hat in den USA seit 2008 drei seiner fünf Kunden verloren. Diese Kunden haben sich negativ über die ungenauen Angaben zu den Baukosten geäußert und bezweifeln, ob die Bauart die Marktreife erreicht hat. Die verbliebenen beiden Interessenten für den ESBWR – Dominion und DTE Energy – sind nicht in die engere Auswahl für Kreditbürgschaften gekommen. Falls die Aufträge nicht zustande kommen, wird sich der ESBWR kaum auf dem Markt behaupten können. Sollte es so weit kommen, steht möglicherweise GEs Zukunft als Reaktorbauer auf dem Spiel.

Der einzige Kunde für den ABWR ist NRG. Bei diesem Projekt hat es Ende 2009 wegen rasch steigender Kosten ernsthafte Probleme gegeben. Der ABWR hat zwar den großen Vorteil, dass sich die Technologie bereits in der Praxis bewährt hat und von der Aufsichtsbehörde NRC zugelassen wurde. Die Genehmigung läuft allerdings 2012 ab, so dass bei allen neuen Aufträgen eine neue Zertifizierung erforderlich wäre. Außerdem fehlen noch Angaben der NRC, inwieweit Veränderungen am Entwurf vorgenommen werden müssen – beispielsweise dazu, ob ein Schutz vor Flugzeugabstürzen vorgesehen werden muss. Der Vorteil, den der ABWR aktuell hat, da er in der Praxis erprobt ist, würde hinfällig, sollte diese Liste lang werden und sich die Überprüfung der Veränderungen in die Länge ziehen.

Das Prestige des EPR hat durch die Probleme in Olkiluoto (und Flamanville) ernsthaft Schaden genommen. Erschwerend kamen noch die Bedenken der Europäischen Behörden wegen der Steuerungssysteme hinzu. Drei der sechs EPR-Projekte scheinen auf Eis zu liegen, nur das Calvert-Cliffs-Projekt befindet sich in einem recht fortgeschrittenen Zustand.

Der AP-1000 hat wohl die besten Chancen. Bei 14 der 31 angekündigten Reaktorblöcke sowie bei zweien der vier Projekte, die es in die engere Auswahl für Kreditbürgschaften geschafft haben, handelt es sich um einen AP-1000. Dazu zählt auch das Projekt Vogtle, das wahrscheinlich als erstes eine Bürgschaft erhalten wird. Bisher wurde keines der AP-1000-Projekte aufgegeben, obwohl das beim Projekt Bellefonte inzwischen möglich scheint. Der Reaktortyp AP-1000 war schon 2006 von der NRC genehmigt worden. Allerdings hat Westinghouse/Toshiba später noch überarbeitete Entwürfe vorgelegt, die nicht vor 2011 vollständig geprüft sein werden. Westinghouse/Toshiba hat zurzeit beiderseits des Atlantiks Schwierigkeiten, Sicherheitsprobleme mit der Abschirmung in den Griff zu bekommen. Im Februar 2010 wies die britische Aufsichtsbehörde auf Probleme bei diesem Reaktormodell hin.[48]

Die Kreditbürgschaften in Höhe von 18,5 Milliarden US-Dollar, die die US-Regierung bis Ende 2009 vergeben konnte, hätten wahrscheinlich nur für zwei Projekte gereicht. Außerdem ist noch unklar, welche Abgabe die Energie-

48 Falls die Probleme nicht innerhalb eines bestimmten Zeitraums gelöst werden, kann die Sicherheitsbehörde dem Entwurf die Genehmigung verweigern, siehe: http://news.hse.gov.uk/2010/02/16/hse-raise-regulatory-issue-ri-against-westinghouses-ap1000-nuclear-reactor-design/

versorger für diese Garantien entrichten müssen. Wenn man davon ausgeht, dass die Kreditgarantien im Grunde eine Versicherungspolice sind, sollte die «Prämie» auch das Ausfallrisiko widerspiegeln. Die Haushaltskontrolleure des Kongresses haben ein Nettoausfallrisiko von 25 Prozent veranschlagt (eigentlich 50 Prozent, doch die Hälfte der Kosten wäre durch den Verkauf von Teilen der Anlage gedeckt). Energieversorger, die – beispielsweise für ein Projekt mit zwei Reaktorblöcken – ein Darlehen von 10 Milliarden US-Dollar aufnehmen, werden kaum bereit sein, für eine Kreditgarantie eine Gebühr von 2,5 Milliarden US-Dollar zu bezahlen. Die Energieversorger fordern eine Gebühr von einem Prozent,[49] was sich allerdings politisch kaum durchsetzen lässt.

Im Februar 2010 billigte die Regierung Obama für den Haushalt 2011 eine Erhöhung der Kreditbürgschaften von 18,5 auf 54,5 Milliarden Dollar (ausreichend für vielleicht 12 Reaktorblöcke).[50] Im gleichen Monat meldete das Energieministerium, für das Projekt Vogtle (Georgia) mit seinen zwei AP-1000-Reaktoren seien Kreditbürgschaften im Wert von 8,33 Milliarden Dollar vergeben worden.[51] Die Garantien sollen sieben Prozent der Kosten abdecken (zumindest für den Hauptbetreiber Georgia Power). Welche Gebühr dafür erhoben wurde, wurde nicht näher erläutert. Die veranschlagten Kosten für die Anlage liegen daher bei etwa 11,9 Milliarden Dollar oder 5.000 Dollar pro Kilowattstunde. Die Aufsichtsbehörde in Georgia hat dem Betreiber erlaubt, schon jetzt damit zu beginnen, die Baukosten auf die Verbraucher umzuschlagen (siehe Anhang 4). Auf diese Weise ist jede Bank, die für das Projekt Kredite gibt, doppelt abgesichert: einmal über die Kreditgarantien der Regierung (Steuerzahler), zum anderen über die garantierte Kostendeckung durch die Verbraucher.

Dieses Modell der doppelten Absicherung zeigt, dass Atomkraftwerke gebaut werden können, ist eine Regierung dazu bereit, ausreichend Subventionen zur Verfügung zu stellen. Dies lässt sich allerdings höchstens für einige Demonstrationsanlagen vertreten, vor allem dann, wenn das Projekt nicht reibungslos verläuft und Steuerzahler sowie Verbraucher zusätzliche Kosten schultern müssen.

6 Das britische Atomprogramm

Das Programm der britischen Regierung geht von vollkommen anderen Voraussetzungen aus als das der USA. Die Regierung Großbritanniens hat zwar nie behauptet, die Atomenergie könne in direkte Konkurrenz zu den fossilen Brennstoffen treten. Doch geht man von einem Preis für CO_2-Emissionen von 36 Euro pro Tonne aus, dann wäre die Atomenergie konkurrenzfähig. Ist dies erst einmal der Fall, müssten sich Bauaufträge für Atomkraftwerke auch ohne staatliche Zuschüsse einstellen. Getroffen werden müssen dann nur einige Entscheidungen, die nichts mit der Finanzierung, sondern mit Planung und Genehmi-

49 *Electric Utility Week*: «Change to DOE Guarantee Program Boosts Nuclear Hopefuls; Size of Fee Remains an Issue», 14. Dezember 2009.

50 *Associate Press*: «A Look at Obama's 2011 Budget for Gov't Agencies», 1. Februar 2010.

51 *Washington Post*: «Obama To Help Fund Nuclear Reactors», 17. Februar 2010.

gung von Reaktortypen zu tun haben. Als die britische Regierung im Jahre 2008 die Atomkraft wieder zur Option machte, setzte sie die Baukosten mit 1.250 britischen Pfund/kW an – eine reale Zunahme der Kosten von etwa 20 Prozent gegenüber dem Jahr 2002.[52]

Im Jahre 2007 begann die staatliche Aufsichtsbehörde für Atomenergie NII damit, vier Reaktortypen zu prüfen: den Typ AP-1000 von Westinghouse/Toshiba, den Europäischen Druckwasserreaktor (EPR) von Areva NP, den ESBWR von GE-Hitachi sowie den kanadischen Schwerwasserreaktor ACR-1000 (Advanced CANDU Reactor). Damit die Versorgungsunternehmen genügend Auswahl hätten, sollten bis zu drei Reaktortypen zugelassen werden. Die meisten Beobachter gingen jedoch davon aus, die endgültige Entscheidung werde zwischen dem EPR und dem AP-1000 fallen – was sich dann auch bestätigt hat. Der ACR-1000 wurde rasch wieder zurückgezogen und gegen Ende 2008 auch der ESBWR.

Die NII hatte große Schwierigkeiten, eine genügende Anzahl an Prüfern zu finden. Im November 2008 fehlten immer noch 40 Prüfer (etwa 20 Prozent), im Juli 2009 sogar 54 Prüfer (etwa 24 Prozent).[53] Unternehmen wie die EDF (Électricité de France), die auch in Großbritannien aktiv sind, haben erklärt, sie sähen sich auch ohne staatliche Hilfen in der Lage, Atomkraftwerke zu bestellen.

Realistisch betrachtet können allerdings mindestens fünf Jahre lang keine Aufträge erteilt werden. So lange wird es vermutlich dauern, bis der ausgewählte Reaktortyp zertifiziert und die Planung für einen Standort behördlich genehmigt ist. Drei Unternehmen sind für Aufträge in Großbritannien bereits erhebliche Verpflichtungen eingegangen: EDF, RWE und E.ON (die beiden letzteren bilden ein Konsortium). EDF hat im Jahre 2008 für etwa 15 Milliarden Euro den britischen Stromerzeuger British Energy übernommen, RWE/E.ON hat 2009 für mehrere 100-Millionen Euro Standorte in der Nähe bereits vorhandener Atomkraftwerke gekauft. Sowohl EDF als auch das Konsortium aus RWE und E.ON rechnen damit, vier Einheiten mit einer Gesamtkapazität von 10-12 GW zu bestellen. EDF wird vermutlich einen EPR in Auftrag geben, RWE/E.ON haben sich noch nicht festgelegt, welchen Anbieter sie bevorzugen.

6.1 Voraussichtlicher Ausgang

Die britische Regierung hat sich im Jahre 2009 intensiv dafür eingesetzt, dass neue Atomkraftwerke beauftragt werden. Ob dies aber noch der Fall ist, wenn tatsächlich Aufträge vergeben werden, ist nicht gesagt. EDF hat sich in Großbritannien stark engagiert und 2009 für circa 15 Milliarden Euro British Energy

52 Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform: *Meeting the Energy Challenge: A White Paper on Nuclear Power*, Cm 7296, HMSO, London, S. 61 http://www.berr.gov.uk/files/file43006.pdf

53 *Inside NRC*: «UK's NII Short on Inspectors, Sees Years of Recruitment Struggle», 20. Juli 2009, S. 9.

gekauft. Dieser Preis scheint stark überhöht und ergibt nur dann Sinn, wenn neue Atomkraftwerke in Auftrag gegeben werden.

British Energy ging im Jahre 2002 bankrott, weil die damaligen Betriebskosten von rund £16/MWh etwas höher lagen als der Preis, den das Unternehmen für Strom erzielen konnte. Seitdem sind die Betriebskosten jedes Jahr weiter gestiegen; im Jahre 2008/09 erreichten sie £41.3/MWh. British Energy blieb nur deshalb solvent, weil die Großhandelspreise für Strom in dieser Zeit extrem hoch waren, so dass ein Preis von £47/MWh erzielt werden konnte. Wenn die Betriebskosten weiter steigen und/oder die Großhandelspreise fallen (gegen Ende des Jahres 2009 lagen sie deutlich unter dem Höchstwert von 2008), könnte British Energy erneut vor dem Bankrott stehen. Theoretisch könnte EDF British Energy einfach abstoßen (es hat das Unternehmen über seine hundertprozentige Tochter Lake Acquisitions gekauft), die Politik würde dies jedoch wahrscheinlich nicht zulassen. Das RWE/E.ON-Konsortium hat einige hundert Millionen Pfund in Optionen auf den Kauf von Standorten investiert, diese Optionen aber nicht wahrgenommen und könnte sich damit relativ günstig aus dem britischen Atomprogramm zurückziehen.

Anfang 2010 war es in Großbritannien immer noch drei bis vier Jahre hin, bis die Sicherheitsüberprüfung der Reaktortypen abgeschlossen war und eine Baugenehmigung für bestimmte Standorte erteilt werden konnte – also bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein Festauftrag erteilt werden kann. Dann werden die Erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz höchstwahrscheinlich noch nicht so weit sein, dass sie als Alternativen in Frage kämen. Das heißt, Großbritannien muss dann Atomkraftwerke bestellen – andernfalls gehen die Lichter aus. In dieser Situation wird die Regierung auf sämtliche Forderungen der Versorgungsunternehmen eingehen müssen.

Im Februar 2010 wich die britische Regierung erstmals deutlich von ihrer Politik ab, keine Subventionen zu vergeben. Energieminister Ed Miliband erklärte der *Times* gegenüber:[54]

> *Der britische Großhandelsmarkt für Strom, auf dem Strom zwischen Käufern und Verkäufern oder an Strombörsen gehandelt wird, gibt Unternehmen, die Windkraftanlagen und Atomkraftwerke entwickeln, nicht genügend Garantien. [Miliband] vertrat die Ansicht, man könne als Alternative zur Bezahlung nach Kapazitäten zurückkehren, wobei die Kraftwerksbetreiber nicht nur für den produzierten Strom, sondern auch für die Kapazitäten, die sie bereithalten, bezahlt werden. Dahinter steckt der Gedanke, denen, die in Erneuerbare Energien oder Atomenergie investieren, größere Sicherheit zu geben.*

54 The *Times*: «Labour Prepares To Tear Up 12 Years of Energy Policy», 1. Februar 2010.

Tags darauf kündigte Ofgem, die staatliche Behörde für Energieeinsparung, an:[55]

> *Angesichts des beispiellosen Aufeinandertreffens von weltweiter Finanzkrise, ambitionierten umweltpolitischen Zielen, einer immer größeren Abhängigkeit von Gasimporten sowie der Abschaltung alter Kraftwerke sind berechtigte Zweifel daran aufgekommen, ob die aktuellen Energieverträge eine sichere und nachhaltige Energieversorgung gewährleisten […]. Es besteht zunehmend Übereinstimmung darin, dass das gegenwärtige System aus Handelsabkommen und anderen Anreizen in seiner jetzigen Form keine Zukunft hat…*

Sollten diese Aussagen darauf hinauslaufen, dass Atomkraftwerke unabhängig davon, ob sie in Betrieb sind oder nicht, erhebliche Mittel erhalten und der Großhandelsmarkt durch ein stärker reglementiertes – und wirtschaftlich nicht so risikoreiches – System ersetzt wird, dann wären die Einnahmen der Betreiber von Atomkraftwerken durch die Verbraucher so weit garantiert, dass neue Anlagen preisgünstig finanziert werden könnten.

7 Deutschland

In Deutschland sind 17 Atomkraftwerke in Betrieb. Im Jahre 2002 verabschiedete das Parlament das Gesetz zum Atomausstieg, demzufolge diese Reaktoren nach einer durchschnittlichen Laufzeit von 32 Jahren abgeschaltet werden müssen. Die Versorgungsunternehmen durften allerdings insgesamt noch 2.623 Milliarden kWh Strom aus Atomkraft produzieren (das entspricht der weltweiten Jahresproduktion an Atomenergie) und können nicht genutzte kWh dieses Budgets von einem Reaktor auf einen anderen übertragen. Zwei Reaktoren, Stade und Obrigheim, wurden bereits abgeschaltet. Ein dritter Reaktor, Mülheim-Kärlich, der seit 1988 außer Betrieb war, wurde für immer abgeschaltet. Es ist verboten, neue Atomkraftwerke zu bauen oder abgebrannte Brennstäbe wiederaufzuarbeiten (gilt nicht für solche, die bis zum 30. Juni 2005 in Wiederaufarbeitungsanlagen transportiert wurden).

Einige hatten angenommen, die Politik des Ausstiegs würde von der im September 2009 gewählten Bundesregierung revidiert – und vielleicht käme es sogar zu neuen Aufträgen. Die Koalition aus FPD, CSU und CDU hat das Atomgesetz jedoch bisher nicht geändert, hat aber gezeigt, dass sie die Laufzeit vorhandener Kraftwerke verlängern will. An der Politik des Atomausstiegs soll festgehalten werden.[56]

55 Ofgem: «Action Needed To Ensure Britain's Energy Supplies Remain Secure», Presseveröffentlichung R5, Februar 2010. http://www.ofgem.gov.uk/Media/PressRel/Documents1/Ofgem%20-%20Discovery%20phase%20II% 20Draft%20v15.pdf

56 *Nucleonics Week*: «New German Government Will Postpone Nuclear Policy Decisions until Late 2010», 5. November 2009.

Obwohl klar ist, dass RWE and E.ON, auch gerne neue Atomkraftwerke bauen würden, sind sie vor allem daran interessiert, vorhandene Kraftwerke weiter betreiben zu können. Falls die Regierung nichts unternimmt, werden 2010 die beiden Kraftwerke Neckarwestheim 1 und Biblis A abgeschaltet. Wird die Laufzeit der Kraftwerke verlängert, werden diese, da sich die Investitionen amortisiert haben (und so lange keine größeren Reparaturen oder Nachrüstungen anstehen), sehr günstig Strom erzeugen. Der Wirtschaftswissenschaftler Wolfgang Pfaffenberger schätzt, der zusätzliche Gewinn könne sich auf bis zu 200 Milliarden Euro belaufen, sollte die Laufzeit der vorhandenen 17 Reaktoren auf 60 Jahre verlängert werden.[57]

8 Sonstige Märkte

Obwohl viele Länder Interesse an neuen Atomkraftwerken bekundet haben, ist es bis zur endgültigen Bestellung ein sehr langer Weg, auf dem viel schief gehen kann. Wir konzentrieren uns daher in diesem Abschnitt auf Schlüsselmärkte, wo es bereits Ausschreibungen gegeben hat, sowie auf Länder, in denen man sich bemüht, die Arbeit an halbfertigen Anlagen wieder aufzunehmen.

8.1 Vereinigte Arabische Emirate

Im Dezember 2009 bestellten die Vereinigten Arabischen Emirate in Südkorea vier Atomreaktoren mit der AP-1400-Technologie. Korea konnte sich dabei gegen ein Konsortium unter der Führung von EDF (GDF Suez, Areva, Total und EPR) sowie gegen GE-Hitachi durchsetzen.[58] Mit Korean Electric wurde vertraglich vereinbart, dass das Unternehmen diese Kraftwerke bauen und betreiben soll, wobei das erste im Jahre 2017, das letzte bis zum Jahre 2020 an einem noch nicht benannten Standort ans Netz gehen soll. KEPCO konzipiert, baut und betreibt den Atomreaktor. Ein Teil der Arbeiten wird an Subunternehmen wie Hyundai, Doosan und Samsung vergeben. Die Vertragsbedingungen sind nicht bekannt, das Volumen des Auftrags soll sich aber auf 20,4 Milliarden Dollar belaufen. Die Offerte der Koreaner soll 16 Milliarden Dollar unter der der Franzosen gelegen haben (und das Angebot von GE-Hitachi noch einmal deutlich höher ausgefallen sein).[59] Anscheinend wurde keine schlüsselfertige Übergabe zum Festpreis vereinbart. Koreanische Unternehmen werden in einem Joint Venture mit staatlichen Unternehmen aus den Vereinigten Arabischen Emiraten, die die Kraftwerke

57 *Nucleonics Week*: «Tax Revenue from Longer Lifetimes No Incentive for New German Regime», 4. Dezember 2009.

58 *Korea Herald*: «Korea Wins Landmark Nuclear Deal», 28. Dezember 2009.

59 *Right Vision News*: «UAE: Middle East Leads Rally in Nuclear Plant Orders», 12. Januar 2010.

nach ihrer Fertigstellung betreiben werden, eine Kapitalbeteiligung halten.[60] Wie die Kraftwerke finanziert werden sollen, ist noch unklar.

Viel kann dabei schief laufen:

- Die Technologie hat sich noch nicht bewährt: Man kann mit diesem Reaktortyp bisher nur auf eine etwa einjährige Bauerfahrung zurückblicken.
- Es gibt in der Region kaum nukleartechnisches Know-how.
- Es wird schwierig sein, die zeitlichen Vorgaben einzuhalten. Der Vertragspreis liegt zirka 40 Prozent unter den in den USA veranschlagten Kosten.
- Die südkoreanische Atomindustrie hat keinerlei Erfahrung mit dem Export von Reaktoren.
- In den Vereinigten Arabischen Emiraten ist so gut wie keine Infrastruktur für den Betrieb von Atomkraftwerken vorhanden. Eine Sicherheitsbehörde wurde beispielsweise erst gegen Ende 2008 eingerichtet.

8.2 Südafrika

Südafrika setzt in seinem Atomprogramm seit 1998 große Hoffnungen auf den PBMR (Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor, Pebble Bed Modular Reactor). 2006 war allerdings klar, dass der PBMR günstigstenfalls sehr viel später, im schlimmsten Fall gar nicht kommen wird. Inzwischen ist es unwahrscheinlich, dass der PBMR, selbst wenn es nur eine Demonstrationsanlage wird, vor 2020 ans Netz geht. Der staatliche südafrikanische Versorger Eskom geht jedenfalls nicht mehr davon aus, dass er einen Reaktor dieses Typs bestellen wird.

Die südafrikanische Regierung und Eskom nahmen dann ein Programm für sogenannte «konventionelle Atomkraftwerke» in Angriff. Wie beim PBMR waren die Einschätzungen hinsichtlich Dauer und Kosten auch hier vollkommen unrealistisch. Im Jahre 2006 ging die südafrikanische Regierung davon aus, eine neue Einheit könne zwischen 2010 und 2012 ans Netz gehen.[61]

Mitte 2007 hatte Eskom noch vor, bis 2025 20.000 MW an neuen Atomkraft-Kapazitäten zu bauen – und das, obwohl schon die Fertigstellung der ersten Einheit auf 2014 verschoben werden musste.[62] Das Unternehmen rechnete mit Baukosten von 2.500 Dollar/kW. Im November 2007 wurden Kapazitäten von 3.200-3.400 MW für die nahe Zukunft und von 20.000 MW bis 2025 ausgeschrieben. Im Januar 2008 erhielt Eskom zwei Offerten. Ein Angebot für zwei EPRs (samt zehn weiteren auf lange Sicht) stammte von Areva, ein anderes für drei AP-1000 (samt 17 weiteren auf lange Sicht) von Westinghouse.[63] Beide Unternehmen behaupteten, es handele sich dabei um schlüsselfertige Anlagen. Ob es

60 *International Oil Daily*: «South Korean Consortium Awarded UAE Nuclear Contract», 29. Dezember 2009.

61 *Sunday Times* (South Africa): «SA Going Nuclear», 24. Juni 2006.

62 *Nucleonics Week*: «Cabinet Mulls Policy as Eskom Launches Consultation on New Plant», 7. Juni 2007.

63 *Nucleonics Week*: «Eskom Gets Bids for Two EPRS, Three AP1000s, ‹Bigger Fleet›», 7. Februar 2008.

allerdings wirklich um eine Lieferung zum Festpreis geht, oder ob die Offerten einfach nur für die gesamte Anlage gelten, ist unklar.

Später gab es Berichte, die Angebote hätten bei etwa 6.000 Dollar/kW gelegen – mehr als das Doppelte des geplanten Preises.[64] Es war daher keine Überraschung, dass Eskom die Angebote im Dezember 2008 mit der Begründung ablehnte, Investitionen dieses Umfangs könne man nicht aufbringen.[65] Eskom behauptet zwar immer noch, es werde neue Atomkraftwerke in Auftrag geben, wird aber wohl kaum in der Lage sein, dies zu finanzieren.

Und das, obwohl Coface (Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur), der Kreditversicherer der französischen Regierung, bereit war, Kreditbürgschaften zu geben, und Areva behauptete, man habe 85 Prozent der Finanzierung geklärt.[66] Im Februar 2009 verwarf Eskom auch den Plan, Hochtemperaturreaktoren zu bauen.[67]

Einem Bericht der *Engineering News* zufolge wird vor allem die Bonität von Eskom angezweifelt:[68]

> *Tatsächlich erklärte die Rating-Agentur Standard & Poor's am Donnerstag, das Finanzministerium Südafrikas müsse unverzüglich für sämtliche Schulden von Eskom bedingungslose Garantien geben, solle das aktuelle Rating der Kreditwürdigkeit des Versorgers von BBB+ Bestand haben. Eine Stellungnahme des Finanzministeriums zu den Einzelheiten der Vereinbarung steht noch aus. Der Vorstand von Eskom hatte daraufhin entschieden, den Prozess der kommerziellen Auftragsvergabe für das Nuclear-1-Projekt abzubrechen.*

Dieser Fall zeigt, dass Kreditbürgschaften allein nicht ausreichen, die Finanzierung von Atomkraftprojekten zu garantieren. Wenn die Kreditwürdigkeit eines Versorgers in Zweifel gezogen wird, wird es schwer, das Projekt fortzuführen.

8.3 Kanada

Im Jahre 2007 ging die Ontario Power Authority (OPA), die staatliche Genehmigungsbehörde in der Provinz Ontario, von einem Preis von etwa 2.900 kanadischen Dollar/kW beim Bau eines Atomkraftwerks aus.[69] Am 16. Juni 2008 erklärte die kanadische Regierung, Darlington in Ontario werde Standort einer

64 *Nucleonics Week*, «Big Cost Hikes Make Vendors Wary of Releasing Reactor Cost Estimates», 11. September 2008.

65 *Nucleonics Week*, «Eskom Cancels Tender for Initial Reactors», 11. Dezember 2008.

66 *The Star*, «Nuclear Bid Had Funding», 30. Januar 2009.

67 PBMR pty, «PBMR Considering Change in Product Strategy», Pressenotiz vom 5. Februar 2009. http://www.pbmr.co.za/index.asp?Content=218&Article=104&Year=2009.

68 *Engineering News*: «Eskom Terminates Nuclear 1 Procurement Process, but SA Still Committed to Nuclear», 5. Dezember 2008.

69 *Toronto Star*: «Nuclear Bid Rejected for 26 Billion: Ontario Ditched Plan for New Reactors over High Price Tag That Would Wipe Out 20-Year Budget», 14. Juli 2009.

neuen Anlage mit zwei Reaktorblöcken sein. Am 20. Mai 2009 sickerte durch, die Regierung von Ontario habe sich, statt für Areva und Westinghouse, für AECL als Anbieter entschieden. Den Planungen zufolge sollten bis 2018 zwei neue Reaktoren in Betrieb gehen. Berichten zufolge machte die Regierung von Ontario allerdings ihre Zustimmung von finanziellen Garantien der Bundesregierung abhängig.[70] Eingegangen waren drei Angebote, eines von Areva, eines von Westinghouse und eines von AECL, doch nur das Angebot von AECL entsprach der Anforderung, der Anbieter müsse die Risiken beim Bau übernehmen.[71]

Berichten zufolge[72] belief sich das Angebot von Areva, das nicht den Bedingungen der Ausschreibung entsprach, auf 21 Milliarden US-Dollar für zwei EPRs (mit jeweils 1.600 MW) oder 6.600 US-Dollar/kW, während sich das Angebot von AECL, das den Anforderungen entsprach, auf 23 Milliarden US-Dollar für zwei ACR-1000 (mit jeweils 1.200 MW) oder 9.600 US-Dollar/kW belief. Das Angebot von AECL war fast viermal so hoch wie der Betrag, den die OPA nur zwei Jahre zuvor veranschlagt hatte. Das Angebot von Westinghouse soll etwa genau in der Mitte gelegen haben. Es war also kein Wunder, dass sich Ontario entschloss, die Ausschreibung auszusetzen.

In der Folge bestritt Areva die Presseberichte, wollte aber seine tatsächliche Offerte nicht offenlegen. Es gab auch Berichte, denen zufolge das Angebot eine Reihe weiterer Posten beinhalte, etwa den Bau von Stromleitungen und -verteilern, um den Strom von Darlington in den Nordosten der USA zu leiten, ferner Brennstoffkosten für 60 Jahre sowie die Kosten für die Stilllegung.[73]

Da AECL den Auftrag nicht bekam, stand die Zukunft des Unternehmens als Kraftwerksbauer zur Disposition; Ende 2009 stand AECL zum Verkauf.[74]

8.4 Türkei

Die Türkei schreibt seit über 30 Jahren Atomkraftwerke aus, hat aber bisher noch kein einziges bestellt. 2008 schrieb die Türkei Kapazitäten von 3.000-5.000 MW Atomenergie aus. Bieter sollten dabei nicht nur die Baukosten übernehmen, sondern das Kraftwerk auch 15 Jahre lang betreiben und den Strom zu einem Festpreis anbieten[75] – ein enormes Risiko. Obwohl es Berichte gab, denen zufolge GE-Hitachi, Toshiba/Westinghouse, Korea Electric und Areva Interesse zeigten, hatte im Januar 2009, am Ende der Ausschreibung (die verlängert werden musste),

70 *The Globe and Mail*: «AECL Favoured to Build Ontario Reactors: Sources», 20. Mai 2009.

71 *Nucleonics Week*: «Areva Disputes EPR Cost Figure as Canadians Grapple with Risk Issue», 23. Juli 2009.

72 *Toronto Star*: «Nuclear Bid Rejected», 14. Juli 2009.

73 *Nucleonics Week*: «Areva Disputes EPR Cost», 23. Juli 2009.

74 *The Globe and Mail*: «Canada Puts Its Nuclear Pride on the Block»: «Under weight of record deficit, Tories seek bids on AECL's reactor wing. The Candus are a point of pride in Canada's engineering history and the sale is sparking fears the technology will leave the country», 18. Dezember 2009.

75 *Nucleonics Week*: «GE-Hitachi Plans Bid To Build ABWR in Turkey; Other Vendors Cautious», 11. September 2008.

nur der russische Versorger Atomstroiexport (ASE) ein Angebot abgegeben, das bei 211,6 Dollar/MWh gelegen haben soll.[76] Nachdem der staatliche Stromversorger TETAS der Regierung gegenüber den Preis als zu hoch bezeichnet hatte, wurde er auf 151,6 Dollar/MWh gesenkt.[77] Im November 2009 zog die türkische Regierung die Ausschreibung zurück, da befürchtet wurde, sie könne aufgrund einer Gerichtsentscheidung, die auf eine Klage der türkischen Ingenieurskammer zurückging, für ungültig erklärt werden.[78]

8.5 Italien

Im Jahre 1987 wurden die vier Atomkraftwerke Italiens aufgrund einer Volksabstimmung abgeschaltet, die Arbeiten am Bau eines weiteren Kraftwerks eingestellt. Die Regierung Berlusconi hat Gesetze eingebracht, die in Italien Atomkraftwerke wieder zulassen würden. Vier EPRs mit einer Leistung von 1.650 MW könnten gebaut werden, wobei ein Abkommen zwischen dem französischen Konzern EDF und dem größten italienischen Versorger ENEL vom Februar 2009 den Baubeginn bereits für 2013 vorsieht.

ENEL hat sich noch nicht auf Standorte festgelegt. Die Kosten sollen jeweils etwa 4 bis 4,5 Milliarden Euro oder 3.600-4.000 Dollar/kW betragen.[79] Es gab Spekulationen über konkurrierende Angebote, so etwa über eines von dem in Mailand ansässigen Energieversorger A2A geführten Konsortiums über den Bau von AP-1000-Reaktoren. Diese Projekte sind jedoch längst nicht so weit fortgeschritten wie die von ENEL.[80]

8.6 Brasilien

Brasilien betreibt derzeit zwei Atomreaktoren. Der erste, Angra-1, wurde 1970 bei Westinghouse bestellt und 1981 in Betrieb genommen. 1975 schloss Brasilien mit Deutschland den wahrscheinlich größten Einzelvertrag in die Geschichte der Atomindustrie: Innerhalb von 15 Jahren sollten acht Reaktoren mit einer Leistung von je 1.300 MW gebaut werden. Das Ganze endete jedoch mit einem Fiasko. Aufgrund der zunehmenden Verschuldung Brasiliens und des Interesses des brasilianischen Militärs an Atomwaffen wurde fast das gesamte Programm gestrichen. Nur der erste Reaktor, Angra-2, ging schließlich im Juli 2000 – 24 Jahre nach Baubeginn – ans Netz. Der Bau von Angra-3 wurde im Juni

76 *Prime-Tass English-language Business Newswire*: «DJ Atomstroyexport Grp Revises Bid in Turkish Nuclear Tender « IHA», 19. Januar 2009.

77 *Turkey Today*: «State-run TETAS Presents Report on Nuclear Power Tender to Energy Ministry», 30. Juni 2009.

78 *Agence France Presse*: «Turkey Scraps Nuclear Power Plant Tender», 20. November 2009.

79 *Nucleonics Week*: «Enel Targets 2020 for Operation of First Italian EPR Unit», 8. Oktober 2009.

80 *Nucleonics Week*: «Milan Utility A2A Could Become Hub of AP1000 Consortium for Italy», 22. Oktober 2009.

1991 gestoppt. Versuche des staatlichen Unternehmens Eletronuclear, den Bau wieder aufzunehmen, wurden immer wieder verschoben. Die Arbeiten sollen Berichten zufolge im Oktober 2009 wieder aufgenommen worden sein, und man geht davon aus, dass sie 2015 abgeschlossen sind.[81] Im Januar 2010 beantragte Areva NP bei der deutschen Regierung Hermes-Bürgschaften im Wert von 1,4 Milliarden Euro für die Fertigstellung von Angra-3.[82]

Darüber hinaus hoffte die brasilianische Regierung, Ende 2009 die Standorte für vier neue Reaktoren benennen zu können. Der Energieminister, Edison Lobao, erklärte, jeder dieser Reaktoren würde vermutlich drei Milliarden Dollar kosten und bis zu 1500 MW liefern. Die veranschlagten Kosten von 2000 Dollar/kW scheinen äußerst unrealistisch zu sein, und man darf stark bezweifeln, ob Brasilien in den nächsten fünf Jahren noch Atomkraftwerke bestellen wird.

8.7 Osteuropa

In diesem Abschnitt geht es vor allem um die Bemühungen Bulgariens, Rumäniens und der Slowakei, Arbeiten an noch nicht fertigen Anlagen wieder aufzunehmen. In den baltischen Staaten sowie in Polen und Tschechien überlegt man, neue Reaktoren zu bauen. In allen Fällen ist es allerdings noch weit hin, bis wieder ein Auftrag erteilt werden kann. In Bulgarien, Rumänien und der Slowakei wurde die Fertigstellung halbfertiger Anlagen um bis zu ein Jahrzehnt verschoben, und es ist noch längst nicht sicher, ob es je dazu kommen wird.

8.7.1 Slowakei

Am Standort Mochovce sollten vier sowjetische Reaktoren vom Typ WWER-440 entstehen. Die Arbeiten wurden 1990 unterbrochen, an zwei Reaktoren allerdings später wieder aufgenommen und diese Einheiten 1998 und 1999 fertiggestellt. Im Oktober 2004 übernahm der italienische Energieversorger ENEL 66 Prozent von Slovenske Elektrarne (SE). ENEL bot an, nahezu zwei Milliarden Euro in neue Kraftwerke zu investieren, so auch in die Fertigstellung der dritten und vierten Einheit in Mochovce. Im Februar 2007 kündigte SE an, der Bau der Einheiten werde fortgesetzt, und ENEL habe sich bereit erklärt, 1,8 Milliarden Euro zu investieren. Zwar erlaubte die Europäische Kommission im Juli 2008 den Weiterbau, wies aber darauf hin, dass der Reaktor keine ausreichende Sicherheitshülle besäße und forderte eine Nachrüstung zur Absicherung gegen den Absturz kleinerer Flugzeuge. Trotz des Drucks der slowakischen Regierung wurden erst im Juni 2009 die Bauarbeiten wieder aufgenommen. Die beiden Reaktoren sollen 2012 und 2013 fertig werden.

81 *Esmerk Brazil News*: «Brazil: Angra 3 Works Start», 13. Oktober 2009.
82 *die tagezeitung*: «Siemens will Staatshilfe für Atom-Export», 7. Januar 2010.

8.7.2 Rumänien

Als 1980 der Vertrag abgeschlossen wurde, waren für den Standort Cernavoda fünf Reaktoren vom Typ Candu vorgesehen. Die Bauarbeiten begannen noch 1980, später hat man sich aber vor allem darauf konzentriert, Block 1 fertigzustellen, der 1996 ans Netz ging. Eine zweite Einheit wurde 2007 fertig, und es gibt Pläne, zwei weitere Einheiten zu vollenden. Angebote wurden eingeholt, um aus dem Versorger SNN, der die Fertigstellung, den Betrieb und die Wartung übernehmen soll, und einem privaten Investor einen unabhängigen Stromversorger zu bilden. Die Finanzierung erwies sich als schwierig, und es kam immer wieder zu Verzögerungen. Ursprünglich sollte die dritte Einheit im Oktober 2014, die vierte Mitte 2015 in Betrieb genommen werden. Diese Pläne wurden inzwischen revidiert. Die erste Einheit wird wohl frühestens 2016 fertig werden.[83]

8.7.3 Bulgarien

Im Jahre 2003 kündigte die Regierung an, sie wolle die Bauarbeiten am Standort Belene, im Norden Bulgariens, wieder aufnehmen. Mit dem Bau des Reaktors wurde 1985 begonnen, doch nach der Wende von 1989 wurden die Arbeiten unterbrochen und 1992 offiziell gestoppt. Im Jahre 2004 wurde die Fertigstellung des 2.000-MW-Reaktors ausgeschrieben. Im Oktober 2006 erhielt ein Konsortium unter der Führung des russischen Unternehmens Atomstroiexport (ASE) den Auftrag in Höhe von vier Milliarden Euro.

Für den Bau in Belene bildete man ein Konsortium, in dem der staatliche Versorger NEK mit 51 Prozent das Sagen hat; die übrigen Anteile wurden öffentlich ausgeschrieben. Ende 2008 wurde das deutsche Versorgungsunternehmen RWE als strategischer Investor vorgestellt, der 1,275 Milliarden Euro aufbringen und ein Darlehen von 300 Millionen Euro zur Verfügung stellen sollte. Das führte dazu, dass im Dezember 2008 die Belene Power Company in Form eines Joint Ventures gebildet wurde. Später stieg RWE allerdings wieder aus dem Projekt aus. Ende 2009 war die Finanzierung immer noch nicht geklärt.[84]

8.7.4 Andere Länder

Im Jahre 2009 schrieb der staatlich kontrollierte tschechische Versorger CEZ zwei weitere Reaktoren für den Standort Temelin aus, wo bereits zwei Reaktoren in Betrieb sind, verbunden mit einer Option, an einem anderen Standort, Dukovany, eine dritte Einheit zu errichten.[85] Die Anbieter sind, wie verlautet, Westinghouse, Atomstroiexport und Areva. Die endgültige Entscheidung ist allerdings nicht vor Anfang 2012, die Fertigstellung der drei Einheiten erst in den Jahren 2019, 2020 und 2023-25 zu erwarten.

---

83 *Nucleonics Week*: «Economic Crisis Ends Romania's Plan for Majority Stake in Cernavoda-3, -4», 3. September 2009.

84 *Balkans Business Digest*: «Moscow in Talks with Sofia Over Stake in Belene Nuke», 28. Dezember 2009.

85 *Czech Republic Today*: «CEZ Admits All Bidders for Temelin Construction to Second Stage», 22. Februar 2010.

Die polnische Regierung hat die Absicht bekundet, neue Atomkraftwerke zu bauen, ist bei der Planung allerdings noch nicht über die Anfangsphase hinausgekommen. Die litauische Regierung würde gerne die beide Atomreaktoren sowjetischen Typs, die in letzter Zeit abgeschaltet wurden, ersetzen, kann dies aber nicht finanzieren. Solange sich nicht ein Anbieter findet, der, wie Korea in den Vereinigten Arabischen Emiraten, Eigner und Betreiber des Kraftwerks sein will, wird wohl kaum ein Auftrag erfolgen.

9 Überblick über die Kalkulation der Baukosten durch die Energieversorger

Viele der neueren Kostenschätzungen von Versorgungsunternehmen stammen aus den USA. Diese Kalkulationen sind wohl realistischer als die anderer Versorger, da die Unternehmen dort die Kosten präziser einschätzen müssen, um Bürgschaften zu erhalten, und sie eventuell auch gegenüber den Behörden offenlegen müssen. Hinzu kommen Werte von drei Ausschreibungen sowie die Erfahrungen, die an den Standorten Olkiluoto und Flamanville gesammelt wurden.

9.1 USA

Tabelle 9: Baukosten von Atomkraftwerken in den USA

AKW	Technologie	Kostenschätzung (Milliarden Dollar)	Kostenschätzung Dollar/kW
Bellefonte 3, 4	AP-1000	5,6–10,4*	2500–4600
Lee 1, 2	AP-1000	11*	4900
Vogtle 3, 4	AP-1000	9,9	4190
Summer 2, 3	AP-1000	11,5	4900
Levy 1, 2	AP-1000	14	5900
Turkey Point 6, 7	AP-1000	15–18	3100–4500
South Texas 3, 4	ABWR	17	6500
Grand Gulf	ESBWR	10+	6600+
River Bend	ESBWR	10+	6600+
Bell Bend	EPR	13–15	8100–10000
Fermi	ESBWR	10	6600+

Quelle: Presseberichte
Die mit einem Stern (*) markierten Schätzungen sind Overnight-Kosten, in den anderen sind die Zinsen enthalten.

Tabelle 9 zeigt aktuelle Baukosten für Atomkraftwerke in den USA. Man sieht, die meisten Kostenschätzungen, besonders die detailliert ausgearbeiteten, beziehen sich auf den Reaktortyp AP-G1000. Bei diesem Typ und dem ABWR hat die Nuclear Regulatory Commission (NRC) ihre Begutachtung bereits abgeschlossen.

Beide Reaktortypen müssen zwar noch einmal überprüft werden, die Baukosten sind dennoch leichter zu beurteilen, weil sie der endgültigen Bauart schon recht nahe kommen. Es ist allerdings schwierig, aus dieser Tabelle zwingende Schlüsse zu ziehen. Man erkennt nur, dass die Schätzungen mindestens viermal höher sind als die 1.000 Dollar/kW, von denen die Atomindustrie noch Ende der 1990er Jahre sprach, und dass die Schätzungen bis Ende 2009 weiter gestiegen sind. Die Angaben gehen allerdings von unterschiedlichen Voraussetzungen aus: In einigen ist die Finanzierung enthalten, in anderen die Übertragungskosten für den Strom. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich.

9.2 Andere Länder

In Tabelle 10 sind aktuelle Berechnungen aus Ländern zusammengestellt, in denen zumindest ein Ausschreibungsverfahren vollständig durchgeführt wurde.

Tabelle 10: Angebote für Atomkraftwerke aus jüngerer Zeit (Dollar/kW)

Land	Erwartung vor der Ausschreibung	Niedrigster Angebots-/ Vertragspreis	Neueste Schätzung	Stand der Dinge
Südafrika	2500	6000	-	Ausschreibung zurückgezogen
Kanada	2600	6600	-	Ausschreibung zurückgezogen
Vereinigte Arabische Emirate	-	3700	-	bereit für Baubeginn
Frankreich	-	2700	3300	Bau seit 12/2008
Finnland		2500	4500	Bau seit 7/2005

Quelle: Recherchen des Autors

9.3 Zusammenfassung

Es zeigt sich, dass die geschätzten Baukosten für Atomkraftwerke im letzten Jahrzehnt um ein Mehrfaches, teils um mehr als den Faktor fünf, gestiegen sind. Es gibt keine Anzeichen, dass sich dieser Anstieg abschwächt. Sämtliche Erfahrungen sprechen dafür, dass die tatsächlichen Baukosten deutlich höher sind als die Schätzungen. Es lässt sich jedoch nicht klären, ob die gegenwärtigen Schätzungen wirklich deutlich höher sind als die in der Vergangenheit angefallenen Kosten und – falls das so ist – warum die geschätzten Kosten so stark gestiegen sind.

Sizewell B, das neueste Atomkraftwerk in Großbritannien (beim Bau gab es keine größeren Probleme) kostet etwa drei Milliarden Pfund. Das entspricht ungefähr aktuellen Schätzungen. Die Atomkraftwerke, die in den 1990er Jahren in den USA gebaut wurden, haben etwa genauso viel gekostet. Früheren Kraft-

werksgenerationen wurde, wegen der Sicherheitsauflagen nach den Unfällen von Three Mile Island und Tschernobyl, viel «Ballast» aufgebürdet. Es mag sein, dass neue Reaktortypen so entworfen wurden, dass die Sicherheitsbestimmungen auch mit viel simpleren, günstigeren Bauweisen einhalten werden können. Doch kann dies eine Täuschung sein, und vielleicht hat sich die Komplexität der Reaktoren überhaupt nicht vermindert. Und die Notwendigkeit, Atomkraftwerke gegen Flugzeugabstürze zu sichern, scheint größere Probleme zu bereiten, als von der Atomindustrie ursprünglich angenommen.

Die Zahl von 1.000 Dollar/kW kommt wohl nicht aus der Praxis, sondern rührt von der Überlegung her, nur zu diesem Preis sei Atomkraft konkurrenzfähig. Kurzum: Die 1.000 Dollar/kW wurden von oben vorgegeben und hatten keine Basis in der Realität. Für die Steigerung der Kosten gibt es eine Reihe von Erklärungsmöglichkeiten:[86]

- Aufgrund der starken Nachfrage aus China sind die Rohstoffpreise stark gestiegen. Dadurch verteuern sich sämtliche Kraftwerke, wegen ihrer schieren Größe aber sind Atomkraftwerke besonders stark betroffen.
- Aufgrund zu geringer Produktionskapazitäten versuchen sich Versorger, die den Bau von Atomkraftwerken planen, Optionen auf Komponenten wie Druckbehälter zu sichern.
- Es gibt einen Mangel an Fachkräften in der Atomindustrie. Die Belegschaften altern, und jüngere Fachleute kommen nicht nach.
- Dazu kommt die Schwäche des Dollars sowie
- eine konservativere Kostenschätzung der Versorgungsunternehmen.

All das scheint auf den ersten Blick plausibel, bei genauerer Analyse können aber nicht alle Gründe überzeugen.

- **Rohstoffpreise.** Im letzten Jahrzehnt sind die Preise für viele Metalle und andere Rohstoffe stark gestiegen – der sogenannte China-Effekt. Diese Preise sind jedoch nach der Finanzkrise drastisch gefallen, die prognostizierten Baukosten aber nicht.
- **Engpässe bei Komponenten und Fachkräftemangel.** Standard & Poor's[87] weist besonders darauf hin, dass es zu wenig Fertigungsstätten für die Komponenten von Atomkraftwerken gibt. Dieses Manko sei besonders bei Druckbehältern, Umwälzpumpen und Schmiedearbeiten für Turbinen gravierend. Nur ein einziges Unternehmen, Japan Steel Works, stellt extrem schwere Schmiedeteile für Druckbehälter her. Zwar würden sich die Kapazitäten durch eine größere Nachfrage zweifellos erhöhen, jedoch wird dies durch den schwierigen Genehmigungsprozess für AKW-Komponenten erschwert. So lange es keine Anzeichen für eine langfristige Nachfrage gibt, werden Unternehmen kaum in den Aufbau entsprechender Produktions-

86 Eine ausführlichere Erörterung zu diesen Faktoren unter: Standard & Poor's: *Construction Costs To Soar for New U.S. Nuclear Power Plants*, 2008.

87 Ebd.

stätten investieren. Standard & Poor's hält auch den Mangel an Fachpersonal für ein wesentliches Hemmnis, das nicht schnell beseitigt werden kann. S&P geht davon aus, dass die USA zunächst einmal auf Fachleute aus anderen Ländern, speziell aus Frankreich und Japan, angewiesen sein werden.

- **Währungsschwankungen.** Die Wechselkurse waren in den letzten beiden Jahren besonders starken Schwankungen unterworfen, wobei der Dollar auf ein historisches Tief gegenüber europäischen Währungen fiel. Von November 2005 bis Juli 2008 fiel der Wert des Dollars gegenüber dem Euro von 1€ = 1,17$ auf 1€ = 1,57$. Im November 2008 hatte der Dollar dagegen wieder viel Boden gut gemacht (1€ = 1,27$). Wahrscheinlich sind Preissteigerungen zumindest teilweise auf den Fall des Dollars zurückzuführen. Einige Investitionen, die in Dollar berechnet wurden, verteuerten sich, nicht aber zwangsläufig solche, die in Euro berechnet wurden.
- **Realistischere Kostenkalkulation der Versorgungsunternehmen.** Inwieweit die Versorger stärker auf genaue Kosten und mögliche ernste finanzielle Konsequenzen achten, lässt sich nur schwer beurteilen. Die Erfahrungen mit Olkiluoto sowie die Tatsache, dass Behörden und Öffentlichkeit heute bei Kostenüberschreitungen deutlich weniger nachsichtig sind als früher, dürfte jedoch ein starker Anreiz für die Versorger sein, zahlreiche unvorhergesehene Ausgaben mit einzukalkulieren.

10 Notwendigkeit und Umfang staatlicher Förderung

Untersuchungen der britischen Regierung aus den Jahren 1989, 1995 und 2002 kamen zu dem Schluss, dass in einem liberalisierten Strommarkt Stromversorger nur dann Atomkraftwerke bauen, wenn sie von der Regierung Zuschüsse und Bürgschaften erhalten, durch die die Kosten einen bestimmten Rahmen nicht überschreiten. Ähnliches gilt für alle Länder, in denen die Stromversorger keine Monopolisten mehr sind. Der Auftrag aus Finnland widerspricht zwar diesen Erwartungen, es gab hier jedoch, wie bereits erwähnt, besondere Bedingungen: So ist der dortige Investor ein nicht gewinnorientiertes Unternehmen, das sich im Besitz derjenigen Industriebetriebe befindet, die den Strom des Kraftwerks abnehmen. Andere Länder werden wohl kaum dem Beispiel Finnlands folgen. Zudem waren die Erfahrungen mit dem Projekt äußerst schlecht, so dass Unternehmen, die sich auf Strommärkten gegen Mitbewerber behaupten müssen, dadurch wahrscheinlich vom Bau neuer Atomkraftwerke abgeschreckt wurden – es sei denn, sie werden vollkommen vor Marktrisiken geschützt.

Das Atomprogramm der USA hat gezeigt, dass staatliche Kreditbürgschaften oder die Genehmigung, sich die Kosten von den Verbrauchern zurückzuholen, die wichtigsten Voraussetzungen für den Bau neuer Atomkraftwerke sind. Nur wenn das gegeben ist, erhalten die Energieversorger günstige Bedingungen für ihre Darlehen.

Vor allem für Bereiche, die der Eigentümer nicht völlig in der Hand hat, sind unter Umständen weitere Zuschüsse und Garantien erforderlich. Dazu gehören:

- **Baukosten**. Die Kosten für den Bau eines neuen Atomkraftwerks sind hoch und können leicht aus dem Ruder laufen. Regierungen müssen daher unter Umständen die Unkosten eines privaten Investors begrenzen.
- **Betriebsleistung**. Es besteht das Risiko, dass die tatsächliche Leistung nicht den Prognosen entspricht. Die Verfügbarkeit unterliegt im Großen und Ganzen der Kontrolle des Betreibers, es ist jedoch fraglich, ob die Projektentwickler von ihren Fähigkeiten derart überzeugt sind, dass sie bereit sind, dieses Risiko zu übernehmen.
- **Betriebs- und Wartungskosten** (ohne Brennstoff). Auch diese hängen überwiegend vom Betreiber ab, der eventuell bereit ist, dieses Risiko zu tragen.
- **Kosten für Brennelemente**. Der Einkauf von Brennstoff wird allgemein nicht als riskant angesehen. Es ist einfach, einen Vorrat an Uran anzulegen, und so das Risiko steigender Brennstoffkosten zu begrenzen. Falls man sich gegen die Wiederaufbereitung entscheidet, sind die Kosten für die Entsorgung dagegen sehr viel schwerer abzuschätzen. Betreiber von Atomkraftwerken können möglicherweise darauf drängen, die Entsorgungskosten – etwa wie in den Abkommen, die in den USA geschlossen wurden – zu begrenzen.
- **Kosten für Stilllegung**. Wie hoch die Kosten für die Stilllegung sein werden, ist schwer vorherzusagen. Sicher ist: Sie werden steigen. Eine relativ gute Lösung scheint es zu sein, Beiträge in einen gut strukturierten, gesonderten Stilllegungsfonds einzuzahlen. Sollte sich jedoch herausstellen, dass gegenwärtige Schätzungen viel zu niedrig kalkuliert sind, oder sollte die Rentabilität eines Fonds geringer ausfallen als erwartet, müssten die Beiträge unter Umständen deutlich erhöht werden. Privatinvestoren werden daher unter Umständen versuchen, ihre Unkosten zu begrenzen.

Bürgschaften für den Bau von Prototypen sind besonders teuer, da die Kosten für die Einführung einer neuen Technologie mitgetragen werden müssen. Wird eine ganze Serie von Atomkraftwerken gebaut, und sind die Erfahrungen gut, ist der Markt unter Umständen bereit, ein größeres Risiko zu tragen, auch wenn ein politisches Bekenntnis zur Atomenergie keinesfalls ausreicht, um sicherzustellen, dass ein Programm auch bis zum Ende durchgezogen wird. Man sollte sich daran erinnern, dass sowohl Reagan als auch Thatcher die Wiederbelebung der Atomindustrie zwar versprochen hatten, dann aber mit ansehen mussten, wie es mit der Atomenergie rapide bergab ging.

11 Schlussfolgerungen

In den zehn Jahren, seit Ende der 1990er Jahre erstmals die auf Reaktortypen der Generation III+ basierende Renaissance der Atomenergie ins Gespräch gebracht wurde, haben sich die wirtschaftlichen Prognosen für neue Atomkraftwerke drastisch verschlechtert. Paradoxerweise wollen viele Regierungen wie die amerikanische, britische oder italienische aber dennoch neue Atomkraftwerke

durchboxen. Die Bemühung, den Bau neuer Atomkraftwerke anzukurbeln, ist eng mit führenden Persönlichkeiten in diesen Ländern verbunden: mit Bush, Blair und Berlusconi.

Obwohl ein starker Rückhalt in der Politik vieles sehr erleichtern kann, beispielsweise Planungsverfahren verkürzt und Zuschüsse der öffentlichen Hand ermöglicht, kann es auch ein Schwachpunkt sein: Bei einem Machtwechsel ist die neue Regierung vielleicht längst nicht so begeistert.

Die Begeisterung für die Atomenergie scheint teilweise auf der eklatanten Fehleinschätzung zu beruhen, mehr Atomenergie sei eine gute Möglichkeit, den Ausstoß von Treibhausgasen einzudämmen. Elektrizität macht in der Regel nur etwa 20 Prozent des gesamten Energiebedarfs aus – und selbst, wenn dieser Anteil etwas höher wäre und der Anteil, der durch Atomenergie erzeugt wird, sich ebenfalls erhöhte, wäre es immer noch schwer, den Anteil der Energie, der durch Atomkraft gedeckt wird, deutlich über 10 Prozent zu heben. Eine Erhöhung der weltweiten Nuklearkapazitäten um den Faktor vier bis fünf würde, selbst wenn man die Materialien, Fachleute und finanziellen Mittel dafür zusammen bekäme, gravierende Fragen aufwerfen, etwa die, ob entsprechende Uranvorkommen vorhanden sind, inwieweit geeignete Standorte vorhanden sind, wie es um die Abfallbeseitigung steht.

Seit 30 Jahren befand sich die Auftragslage für neue Atomkraftwerke in einem Tief. In den letzten Jahren werden durch Projekte in China und in geringerem Umfang auch in Korea und Russland wieder wesentlich mehr Atomkraftwerke gebaut: Im Januar 2010 waren es allein in China 20. Diese Aufträge werden jedoch meist von inländischen Firmen durchgeführt, und die Reaktoren sind meist älterer Bauart. Damit es wirklich zu einer Renaissance kommt, müssen sich Märkte wie die USA, Großbritannien und Italien wieder für die Atomkraft öffnen. Dort wird es aber noch mehrere Jahre dauern, bis neue Aufträge erteilt werden und Reaktoren der Generation III+ auch am Netz sind.

Obwohl ein starker Rückhalt in der Politik eine Renaissance der Atomenergie ankurbeln kann, reicht politische Unterstützung allein letztlich nicht aus, wenn die technologische und wirtschaftliche Basis nicht stimmt. Dieser Bericht konzentriert sich vor allem auf die wirtschaftlichen Aspekte, es gibt jedoch auch einen Bereich, in dem sich Wirtschaft und Technologie überschneiden. Grundsätzlich kann man fast jeden Reaktortyp so auslegen, dass er den von den Aufsichtsbehörden geforderten Sicherheitsstandards entspricht. Allerdings kann dies so teuer werden, dass der Betrieb nicht mehr wirtschaftlich ist.

Es hat sich als erstaunlich schwierig erwiesen, für neue Reaktortypen eine behördliche Genehmigung zu erhalten. Mit dem Programm «Atomenergie 2010» wollten die USA erreichen, dass bis 2010 mindestens ein Reaktortyp der Generation III+ ans Netz geht. Tatsächlich wird bis dahin aber nur bei einem einzigen Reaktortyp (AP-1000) das Genehmigungsverfahren abgeschlossen sein – und selbst dieser Typ wird zurzeit nochmals überprüft, da der Entwurf überarbeitet wurde. Anfang 2010 war klar, dass keiner der Reaktoren vor 2011 – unter Umständen sogar erst später – vollständig genehmigt sein wird. Erhebliche

Schwachstellen, etwa das Steuerungssystem des EPR[88] oder der Schutzschild des AP-1000[89], können wahrscheinlich behoben werden, doch erhöhen sich dadurch eventuell die Kosten, und es wird zu Verzögerungen kommen.

Aus drei Gründen ist es schwierig, die Kosten von Atomstrom zu schätzen:

- Einige Größen, beispielsweise die Stilllegung und Entsorgung vor allem von mittel- und stark radioaktiven Abfällen, sind noch nicht in kommerziellem Maßstab erprobt. Es ist bekannt, dass die Kosten für Prozesse, für die Erfahrungen fehlen, meist erheblich höher ausfallen als erwartet. Das Risiko ist daher groß, dass Kosten viel zu niedrig veranschlagt werden.
- Für einige der variablen Faktoren gibt es keine richtige Lösung. Beispielsweise kann der Diskontsatz stark fluktuieren. Auch herrscht keine Einigkeit darüber, wie hoch Rückstellungen für die Stilllegung sein müssen.
- Es gibt zu wenig belastbare Daten über Atomkraftwerke, die gegenwärtig in Betrieb sind. Die Versorger geben nur ungern Informationen über ihre Kosten heraus. Zudem wurde in den letzten beiden Jahrzehnten in Westeuropa nur eine Handvoll Atomkraftwerke bestellt, in Nordamerika seit 1980 kein einziges mehr. Zu sämtlichen modernen Reaktortypen liegen bisher keine Erfahrungen vor.

In den letzten vier Jahrzehnten gab es stets eine große Diskrepanz zwischen der Leistung vorhandener Atomkraftwerke und der Leistung, die für neue Atomkraftwerke prognostiziert wurde. Die Prognosen waren in nahezu allen Fällen zu optimistisch. Das ist auch bei der nächsten Generation von Atomkraftwerken nicht anders. Die Tatsache, dass sich solche Erwartungen in der Vergangenheit als falsch erwiesen haben, bedeutet nicht zwangsläufig, dass auch die aktuellen Einschätzungen falsch sind. Es heißt aber, dass Prognosen, die eine erhebliche Steigerung der Leistung vorhersagen, mit einer gewissen Skepsis zu betrachten sind. Die wichtigsten Annahmen betreffen:

- die Baukosten
- die Betriebsleistung
- die nicht brennstoffbedingten Betriebs- und Wartungskosten
- die Kosten der Brennelemente
- die Stilllegungskosten

Man kann Atomkraftwerke nur in Ländern bauen, die großzügige staatliche Fördermittel und Bürgschaften gewähren.

Zudem sind unter Umständen auch Abnahmegarantien erforderlich, die sicherstellen, dass Strom aus Atomkraftwerken zu einem Fixpreis verkauft

88 Siehe beispielsweise: *Health & Safety Executive*: «Joint Regulatory Position Statement on the EPR Pressurized Water Reactor», Veröffentlichung Nr: V4 22/10/2009, 2. November 2009. http://www.hse.gov.uk/PRESS/2009/hse221009.htm

89 Siehe beispielsweise: Nuclear Regulatory Commission: *NRC Informs Westinghouse of Safety Issues with AP1000 Shield Building*, http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/news/2009/09-173.html

werden kann. Zweifelhaft ist, ob derart umfangreiche «Staatshilfen» mit dem Wettbewerbsrecht der EU vereinbar sind.

Es besteht eine erhebliche Diskrepanz zwischen den wirtschaftlichen Interessen der beteiligten Unternehmen und dem öffentlichen Interesse. Unkosten, die erst in ferner Zukunft anfallen – egal, wie groß oder wahrscheinlich sie sind – spielen in den Kalkulationen der Wirtschaft kaum eine Rolle. Firmen sind durch internationale Verträge gegen das Risiko von Unfällen abgesichert. Kostenschätzungen aus unternehmerischer Sicht müssen so korrigiert werden, dass auch gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt werden.

Wie schon so oft seit 1980, wenn eine «Wiederkunft» der Atomenergie vorhergesagt wurde, wird auch die jetzige «Renaissance» nicht zu zahlreichen neuen Aufträgen für Atomkraftwerke führen. Länder, in denen Neubauten kein Problem sind, werden auch weiterhin neue Kraftwerke bauen. Selbst dort wird sich jedoch die Begeisterung legen, wenn deutlich wird, dass die Kosten in die Höhe schießen, die Probleme der Entsorgung nicht gelöst sind und Kapazitäten schwinden.

In den Ländern, in denen es eine «Renaissance» gibt, wird man einige Atomkraftwerke bauen. Bewiesen ist damit nur, dass man Atomkraftwerke bauen kann, vorausgesetzt, eine Regierung ist dazu bereit, reichlich zu subventionieren und sich über demokratische Prozesse hinwegzusetzen. Der eigentliche Verlust wird, wie in den letzten Jahrzehnten, in den Opportunitätskosten bestehen: Günstigere Optionen werden nicht weiter verfolgt, und Ansätze, mit denen man bezahlbare, verlässliche und saubere Energie zur Verfügung stellen oder die Energieeffizienz erhöhen könnte, fallen unter den Tisch. Die Atomenergie ist stetig teurer geworden. Bei den meisten Technologien sinken mit der Zeit die Kosten aufgrund von Lernprozessen, Skaleneffekten und technologischem Fortschritt – nicht so bei der Atomkraft. Analysen von Froggatt und Schneider (2010) zufolge ist es sehr viel billiger als Atomenergie, die Energieeffizienz zu erhöhen und Erneuerbare Energien einzusetzen. Und die Kosten dafür sinken immer mehr.[90] Würde ein Teil der Mittel, die heute in einen weiteren sinnlosen Versuch fließen, die Atomenergie neu zu beleben, in diesen Bereich gesteckt werden, wäre die wirtschaftliche Kluft zwischen mehr Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien einerseits und Atomenergie andererseits höchstwahrscheinlich noch größer.

90 Siehe den Beitrag in diesem Band.

ANHANG 1

REAKTORTECHNOLOGIEN, AKTUELLE REAKTORTYPEN UND ANBIETER

Technologien der Reaktoren

Grob lassen sich Atomreaktoren nach Wahl der Kühlmittel und Moderatoren unterteilen. Als Kühlmittel fungiert das Fluid (ein gasförmiges oder flüssiges Medium), mit dem die Hitze vom Reaktorkern zum Turbinengenerator geleitet wird. Als Moderator dient ein Medium, das die Geschwindigkeit der Neutronen abbremst, so dass sie lang genug im Kern bleiben, um die Kettenreaktion aufrecht zu erhalten. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Kühlmittel und Moderatoren zu kombinieren. Die Reaktoren, die zurzeit in Betrieb sind oder angeboten werden, arbeiten mit vier verschiedenen Kühlmitteln sowie drei Typen von Moderatoren.

Der gängigste Typ ist der Leichtwasserreaktor (LWR), von dem es zwei Varianten gibt, den Druckwasserreaktor (DWR) und den Siedewasserreaktor (SWR). Beide sind Weiterentwicklungen von in U-Booten verwendeten Einheiten und nutzen als Kühlmittel und Moderator Wasser (sogenanntes «leichtes Wasser»). Wasser hat den Vorteil, dass es billig ist, ist aber nicht der effizienteste Moderator (Wassermoleküle absorbieren einige Neutronen, anstatt sie «abprallen» zu lassen und zu streuen). Es ist deshalb notwendig, den Anteil an aktiven Uranisotopen von etwa 0,7 Prozent, dem Prozentsatz, den natürliche Uranvorkommen haben, auf über drei Prozent anzureichern – ein teurer Prozess.

Als Kühlmittel hat Wasser den Nachteil, dass es nur in flüssiger Form seine Funktion erfüllt. Bei einem Leck im Kühlkreislauf kocht das Wasser und wirkt dann nicht mehr wie vorgesehen. Der wichtigste Punkt bei der Reaktorentwicklung ist daher, einen möglichen Störfall infolge eines Kühlmittelverlusts auszuschließen. Druck- und Siedewasserreaktor unterscheiden sich hauptsächlich dadurch, dass in einem Siedewasserreaktor das Kühlwasser kochen darf und direkt in den Kreislauf des Turbinengenerators geleitet wird, wo der im Reaktorkern erzeugte Dampf die Turbine antreibt. In einem Druckwasserreaktor dagegen bleibt das Kühlwasser flüssig, denn es steht unter Druck. Mit Hilfe eines Wärmeaustauschers (Dampferzeugers) wird die Energie in einen zweiten Kreislauf geleitet; erst dort kocht das Wasser und treibt die Turbine an. Ein Siedewasserreaktor ist weniger komplex als ein Druckwasserreaktor; weil das Kühlwasser

bei ihm aber direkt zur Turbine strömt, ist er stärker radioaktiv kontaminiert. Die meisten russischen Atomkraftwerke, die so genannten WWERs, sind im Grunde Druckwasserreaktoren. In Großbritannien ist hingegen mit Sizewell B nur ein einziger Druckwasserreaktor und kein einziger Siedewasserreaktor in Betrieb.

Einige Atomkraftwerke verwenden als Kühlmittel und Moderator «schweres Wasser». Der häufigste Typ ist der Candu-Reaktor, der in Kanada entwickelt wurde. Im schweren Wasser ersetzt das Deuterium-Isotop des Wasserstoffs (D) die sehr viel häufigere Form des Wasserstoffatoms (H). Schweres Wasser ist ein viel effizienterer Moderator als Wasser, weshalb Candu-Reaktoren mit natürlichem, nicht angereichertem Uran arbeiten können. Ein neuer Candu-Typ, der als Kühlmittel leichtes, als Moderator schweres Wasser verwendet, wurde geplant, existiert allerdings bisher nur auf dem Reißbrett.

Alle britischen Kraftwerke außer Sizewell B werden mit gasförmigem Kohlendioxid gekühlt und mit Grafit moderiert. Bei der ersten Generation von Kraftwerken, den Magnox-Reaktoren, benutzte man natürliches Uran, konnte sie aber meist nicht dauerhaft unter Volllast fahren, weil das Kühlmittel Kohlendioxid, wenn es mit Wasser in Berührung kommt, leicht sauer reagiert und die Leitungen korrodieren lässt. Bei den Atomkraftwerken der zweiten Generation arbeitete man mit angereichertem Uran und verwendete bessere Materialien, um die Korrosion zu verhindern. Grafit ist ein effizienter Moderator, im Vergleich zu Wasser allerdings recht teuer. Zu seinen Nachteilen gehören seine leichte Brennbarkeit sowie seine Neigung, zu brechen und sich unter Strahlenbelastung zu verformen. Beim RBMK, dem Reaktortyp, der in Tschernobyl benutzt wurde, wird als Moderator ebenfalls Grafit, als Kühlmittel jedoch leichtes Wasser eingesetzt.

Nachhaltiges Interesse erweckten Reaktoren, bei denen Heliumgas als Kühlmittel und Grafit als Moderator benutzt wird, die sogenannten Hochtemperaturreaktoren (HTR). Helium ist vollkommen inert und darüber hinaus ein effizientes, wenn auch teures Kühlmittel. Aufgrund der Verwendung von Helium und Grafit hat der Reaktor eine sehr viel höhere Betriebstemperatur als ein Leichtwasser- oder CO_2-gekühlter Reaktor. Dadurch kann mehr Wärmeenergie in Elektrizität umgewandelt und die Wärme teilweise für industrielle Prozesse genutzt werden, während man gleichzeitig in der Lage ist, Strom zu erzeugen. Obwohl dieser Reaktortyp in mehreren Ländern – in Großbritannien etwa seit über 50 Jahren – wissenschaftlich untersucht wird, gibt es bisher noch kein kommerziell genutztes Modell, und die Versuchsanlagen haben eine äußerst schlechte Bilanz.

Es sind auch schon Reaktortypen der vierten Generation im Gespräch.[91] Während das Energieministerium der USA die Reaktortypen der Generation III+ als «evolutionär» bezeichnet, stuft es die Typen der vierten Generation als «revolutionär» ein. Sie sollen «sicherer, nachhaltiger, wirtschaftlicher und

91 Weitere Informationen zur Technologie der 4. Generation siehe Generation IV International Forum unter http://www.gen-4.org/

weniger proliferationsgefährdet», das heißt schwer für militärische Zwecke zu nutzen sein. Der wesentliche Unterschied zwischen dieser Baureihe und den vorhandenen Reaktortypen liegt jedoch darin, dass diese Reaktoren natürliche Uranvorkommen sehr viel besser verwerten können, als die vorhandenen Technologien: Im Rahmen von «Brüterzyklen» etwa werden die 99,3 Prozent des Natur-Urans genutzt, die die vorhandenen Reaktoren nicht verwerten können. Sie haben zudem eine höhere Betriebstemperatur, weshalb man mit ihnen Wasserstoff produzieren könnte. Folgende sechs Technologien sind am Vielversprechendsten:

- schnelle gasgekühlte Reaktoren
- schnelle bleigekühlte Reaktoren
- Flüssigsalzreaktoren
- schnelle natriumgekühlte Reaktoren
- überkritische Leichtwasserreaktoren
- Höchsttemperaturreaktoren

Nur die schnellen natriumgekühlten Reaktoren und die Höchsttemperaturreaktoren konnten bisher unter Betriebsbedingungen weitere Entwicklungen durchlaufen. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass beide Technologien äußerst problematisch sind. Schnelle natriumgekühlte Reaktoren waren seit den 1960er Jahren am Netz, und viele Länder hatten Programme für diesen Reaktortyp, der sich jedoch als sehr teuer und unzuverlässig erwiesen hat, so dass inzwischen nur noch wenige Länder diese Technologie einsetzen. Wie bereits erwähnt, wurden auch Höchsttemperaturreaktoren seit den 1960er Jahren in vielen Ländern weiterentwickelt. Es gelang jedoch nie, sie kommerziell zu betreiben, so dass die meisten Länder diese Linie nicht weiter verfolgen.

Es bleibt abzuwarten, ob sich überhaupt irgendeine dieser Technologien wirtschaftlich nutzen lässt. Selbst Befürworter räumen ein, dass sie vor etwa 2030 kommerziell nicht nutzbar sein werden. Sie spielen daher bei aktuellen Entscheidungen keine Rolle.

Aktuelle Reaktortypen und Anbieter

Im Westen werden im nächsten Jahrzehnt wahrscheinlich vor allem Reaktoren der sogenannten Generation III+ in Auftrag gegeben werden. Als Reaktoren der Generation I bezeichnet man die Reaktoren aus den 1950er und 1960er Jahren. Zur Generation II gehören die meisten Reaktoren, die heute in Betrieb sind und die zwischen Ende der 1960er und Anfang der 1980er Jahre in Auftrag gegeben wurden. Die Generation III war von Anfang der 1980er Jahre bis etwa 2000 aktuell. Bei ihr wurden die Erfahrungen berücksichtigt, die man beim Unfall von Three Mile Island gemacht hatte. Die Generation III+, die nach der Katastrophe von Tschernobyl entwickelt wurde, unterscheidet sich von den Atomkraftwerken der Generation III vor allem darin, dass bei ihr statt der aktiven sehr viel mehr passive Sicherheitssysteme eingebaut wurden. So setzt man in Atomkraftwerken

der Generation III+ weniger auf technische Vorrichtungen zur Notkühlung, sondern mehr auf natürliche Vorgänge wie Konvektion. Aufgrund der Angriffe vom 11. September ist noch eine weitere wichtige Überlegung dazu gekommen: Für jedes neue Modell muss nun nachgewiesen werden, dass es dem Aufprall eines Verkehrsflugzeugs standhält.

Es wurden zwar schon zahlreiche Reaktortypen angekündigt, die Arbeit an vielen ist jedoch nicht weit gediehen, oder sie haben keine behördliche Zulassung erhalten und daher kaum Aussicht, bestellt zu werden. Es ist nicht klar definiert, zu welcher Generation ein bestimmter Reaktortyp gehört. Abgesehen davon, dass die Reaktoren der Generation III+ alle in den letzten 15 Jahren entworfen wurden, sind für sie vor allem folgende Merkmale charakteristisch:

- eine standardisierte Bauweise, durch die das Zulassungsverfahren beschleunigt und die Kosten sowie die Bauzeit verringert werden sollen;
- ein einfacheres und robusteres Design, weshalb sie leichter zu betreiben und nicht so störanfällig sind;
- eine größere Verfügbarkeit sowie Laufzeiten von in der Regel 60 Jahren;
- eine geringere Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Kernschmelze kommt;
- eine minimale Beeinträchtigung der Umwelt;
- ein höherer Abbrand, wodurch sich sowohl die erforderliche Menge an Brennelementen, als auch die Abfallmenge verringert;
- brennbare Absorber («Neutronengifte»), durch die sich die Laufzeiten der Brennelemente verlängern.[92]

Diese Eigenschaften sind nicht sehr genau definiert, und sie erklären nicht eindeutig, worin sich die Generation III+ von früheren Baureihen unterscheidet, abgesehen davon, dass sie aus älteren Modellen hervorgegangen ist. In den folgenden Beschreibungen konzentrieren wir uns auf Reaktortypen, die bereits bestellt wurden oder die gerade von Sicherheitsbehörden geprüft werden.

Druckwasserreaktoren (DWR)

Es gibt vier große, unabhängige Anbieter für aktuelle Reaktortypen, die aus der DWR-Technologie hervorgegangen sind: Westinghouse, Combustion Engineering, Babcock & Wilcox (B&W) sowie die russische Rosatom.

Westinghouse

Die Technologie von Westinghouse ist, vor allem durch die Vergabe von Lizenzen, die mittlerweile am weitesten verbreitete. Die wichtigsten Lizenznehmer sind der französische Konzern Areva, der bis zum Jahre 2001 unter dem Namen Framatome firmierte, der deutsche Konzern Siemens sowie das japanische Unternehmen Mitsubishi. Kraftwerke von Westinghouse wurden in alle Welt exportiert. In den letzten 25 Jahren gab es allerdings nur eine einzige Bestel-

92 http://www.uic.com.au/nip16.htm.

lung – Sizewell B -, bevor dann 2008 vier Aufträge aus China erfolgten. Die letzte (nicht wieder stornierte) Bestellung aus den USA erfolgte vor über 30 Jahren. Im Jahre 1998 übernahm BNFL die Atomkraftsparte von Westinghouse, verkaufte sie aber im Jahre 2006 weiter an Toshiba. Das wichtigste aktuelle Modell von Westinghouse ist der AP-1000, von dem allerdings bisher nur vier Stück bestellt wurden – alle von China.

Der AP-1000 (Advanced Passive) ist ein Nachfolgemodell des AP-600. Der AP-600 war entwickelt worden, weil man mehr auf passive Sicherheit setzen wollte und weil Skaleneffekte (durch den Bau größerer Einheiten, statt mit größeren Stückzahlen zu operieren) überschätzt worden waren. Ein Manager von Westinghouse rechtfertigte die Tatsache, dass man sich anstatt für einen 1.000–1.300-MW-Reaktor für einen mit 600 MW entschieden hatte, mit den Worten: «Es waren keine Skaleneffekte mehr zu erzielen.»[93] Der AP-600 wurde in den USA auf seine Sicherheit überprüft und 1999 zugelassen. Zu diesem Zeitpunkt war bereits klar, dass das Modell wirtschaftlich nicht rentabel sein würde. Der AP-600 tauchte auch in keiner Ausschreibung auf. Er wurde auf 1.150 MW aufgestockt, da man hoffte, das Modell sei dann wegen seiner Größenvorteile konkurrenzfähig. Im September 2004 erteilte die US-Atomaufsichtsbehörde (NRC) Westinghouse für den AP-1000 eine fünf Jahre gültige Zulassung, und 2006 stellte sie dem Reaktortyp eine 15 Jahre gültige Betriebsgenehmigung aus. Westinghouse legte dann allerdings weitere bauliche Veränderungen vor, über die die NRC nicht vor 2011 entscheiden wird. Der AP-1000 ist eines der Modelle, die die staatliche Aufsichtsbehörde für Atomenergie (NII) zurzeit im Rahmen ihres Programms zur Vorlizensierung (GDA) begutachtet. Die NII will ihre Begutachtung bis Mitte 2011 abgeschlossen haben, obwohl es wie beim EPR keine Garantie dafür gibt, dass dieser Reaktortyp dann auch zugelassen wird.

Areva

Sowohl Framatome als auch Siemens trennten sich von Westinghouse und fusionierten im Jahre 2000 ihre Nuklearabteilungen, wobei 66 Prozent der Anteile an Framatome, der Rest an Siemens ging. Framatome wurde inzwischen in den Areva-Konzern eingegliedert, der zu über 90 Prozent dem französischen Staat gehört. Die Framatome-Sparte wurde 2001 in Areva NP umbenannt. 2009 erklärte Siemens, aus dem Joint Venture aussteigen zu wollen; es finden allerdings noch Verhandlungen über Einzelheiten des Rückzugs statt. Framatome hat sämtliche Druckwasser-Reaktoren in Frankreich (58 Einheiten) geliefert und darüber hinaus noch Kraftwerke nach Südafrika, Südkorea, China und Belgien. Siemens hat zehn der elf deutschen Druckwasser-Reaktoren geliefert und entsprechende Reaktoren in die Niederlande, Schweiz und nach Brasilien.

Das einzige DWR-Modell der Generation III+, bei dem nennenswerte Erfahrungen zum Bau vorliegen, ist der Europäische Druckwasserreaktor (EPR) von Areva NP. Die finnische Regierung erteilte im Februar 2005 die Baugenehmi-

93 *Nucleonics Week Special Report*: «Outlook on Advanced Reactors», 30. März 1989, S. 3.

gung für den EPR in Olkiluoto. Baubeginn war im Sommer 2005. Im Jahre 2007 begannen die Arbeiten an einem EPR in Flamanville in Frankreich. China hat ebenfalls zwei EPR bestellt, doch bis Ende 2009 gab es kaum Erfahrungen mit dem Bau. Im September 2004 erhielt der EPR in Frankreich, im Januar 2005 in Finnland eine vorläufige Baugenehmigung, auch wenn inzwischen klar ist, dass viele Einzelheiten des Entwurfs noch nicht endgültig ausgearbeitet sind. Areva hat zusammen mit Constellation Energy bei der NRC beantragt, im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010», die Zulassung des EPR in den USA einzuleiten. Die endgültige Baugenehmigung wird es wahrscheinlich nicht vor 2012 geben. Der EPR ist darüber hinaus eines der Modelle, die von der staatlichen Aufsichtsbehörde für Atomenergie (NII) im Rahmen ihres Vorlizensierungsverfahrens untersucht wurde, das es seit dem Jahre 2007 gibt. Die NII geht davon aus, dass sie ihre Begutachtung bis Mitte 2011 abgeschlossen haben wird, was aber nicht bedeutet, dass sie auch die Zulassung erteilt. Auf dem US-Markt steht das Kürzel EPR für Evolutionary Power Reactor.

Der EPR von Olkiluoto (Finnland) ist auf eine Leistung von 1.600 MW ausgelegt. Für die Bestellungen, die nach der für Olkiluoto eingingen, hat man diese Leistung auf 1.700 MW erhöht. Der Reaktortyp wurde vom Framatome-Modell N4 abgeleitet, einige Merkmale auch von Siemens «Konvoi»-Reaktor übernommen. Man geht davon aus, dass sich die Auslastung[94] durch eine Verkürzung des Brennelementewechsels auf etwa 90 Prozent erhöhen lässt.

Mitsubishi

Mitsubishi liefert DWR-Technologie nach Japan, wo der Konzern 22 Einheiten gebaut hat. Bevor Mitsubishi im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» auf dem US-Markt aktiv wurde, hatte der Konzern nie versucht, international Atomkraftwerke zu verkaufen. Ein US-Energieversorger plant, einen APWR, das aktuellste Modell von Mitsubishi, zu errichten. Die Entwicklung des APWR durch Mitsubishi und seinen Lizenzgeber Westinghouse begann ungefähr 1980, doch bei den ersten Aufträgen kam es zu ständigen Verzögerungen. Ein Jahrzehnt lang erwartete man einen Auftrag für den Standort Tsuruga (Japan), dieser war jedoch bis gegen Ende 2009 immer noch nicht eingegangen. Eine Weiterentwicklung des APWR wird von der NRC derzeit begutachtet, da das US-Unternehmen TXU plant, diesen Reaktortyp zu bestellen. Die NII geht nicht davon aus, dass die Begutachtung vor etwa 2012 abgeschlossen sein wird.

Combustion Engineering

Combustion Engineering brachte ein eigenes DWR-Modell heraus; es wird in den USA gebaut. Außerhalb der USA besitzt Korea eine Lizenz für diese Technologie. Die Nuklearsparte von Combustion Engineering wurde 1996 von ABB, 1999 dann

94 Die jährliche (oder Laufzeit-) Auslastung wird berechnet als jährliche (oder Laufzeit-) Leistung des Atomkraftwerks als Prozentsatz der Leistung, die das Kraftwerk produziert hätte, wenn es ständig unter Volllast betrieben worden wäre. Sie ist ein gutes Maß für die Zuverlässigkeit des Kraftwerks.

von BNFL übernommen. Die Firma gehört nun zur Tochtergesellschaft Westinghouse und wurde zusammen mit dieser 2006 an Toshiba verkauft.

Das System 80+ von Combustion Engineering wurde 1997 in den USA zugelassen. Westinghouse bietet dieses System nicht zum Verkauf an. Der südkoreanische Konzern Doosan hat das Modell unter Lizenz von Westinghouse zur Entwicklung seines APR-1400 benutzt, den Südkorea im Jahre 2008 bestellt hat. Südkorea bot diesen Reaktortyp im Rahmen einer Ausschreibung für ein Kraftwerk der Generation III an, die im Jahre 2005 in China durchgeführt wurde; er wurde jedoch abgelehnt. Im Dezember 2009 gewann Doosan eine Ausschreibung zum Bau von vier Reaktorblöcken in den Vereinigten Arabischen Emiraten. Man erwartet, dass das Unternehmen den Reaktortyp auch der Türkei anbieten wird.

Babcock & Wilcox

Babcock & Wilcox (B&W) hatten in den USA eigene DWR-Modelle angeboten. Aufgrund des Unfalls von Three Mile Island – einem Reaktor mit B&W-Technologie –, zog sich das Unternehmen aus der Atomkraft zurück. Der einzige B&W-Reaktor außerhalb der USA wurde unter Lizenz in Deutschland gebaut. Kurz nach der Fertigstellung, 1986, wurde er 1988 aufgrund von Lizenzproblemen abgeschaltet und nicht wieder in Betrieb genommen.

Rosatom/Atomstroiexport

Die russische Technologie wird von Atomstroiexport (ASE), einem Unternehmen von Rosatom, exportiert. Siemens verhandelte 2009 mit Rosatom über ein Joint Venture für den Vertrieb der russischen Technologie. Das neueste russische Modell, das etwa 1.200 MW erzeugt, ist der AES-2006/WWER-1200, der seit 2006 angeboten wird. Zwei Reaktoren dieses Typs wurden für die beiden Standorte Leningrad und Nowoworonesch bestellt. Das Unternehmen gewann 2008 eine Ausschreibung in der Türkei (war allerdings auch der einzige Bieter). Der Vertrag wurde jedoch 2009 wieder aufgelöst, da der Preis zu hoch war. In Finnland und Indien werden Beauftragungen derzeit erwogen.

Siedewasserreaktoren (SWR)

Der wichtigste Entwickler von Siedewasserreaktoren ist das US-Unternehmen General Electric (GE). Von ihm stammen zahlreiche Kraftwerke in den USA, aber es hat auch nach Deutschland, Japan, Spanien, Mexiko und in die Schweiz geliefert. Zu den Lizenznehmern gehörten AEG (später von Siemens übernommen), Hitachi und Toshiba. Die Reaktorsparte von Siemens (die jetzt zu Areva NP gehört) bot den SWR-Typ zwar bei der Ausschreibung für Olkiluoto an, das System scheint aber kommerziell noch nicht verfügbar zu sein.

GE-Hitachi und Toshiba

Die japanischen Lizenznehmer von GE bieten in Japan weiterhin Siedewasserreaktoren an. In Japan sind 32 Siedewasserreaktoren in Betrieb oder im Bau. Einige

Prototypen wurden bei GE gekauft, der Rest bei Hitachi oder Toshiba. Hitachi, Toshiba sowie ihr amerikanischer Lizenzgeber GE haben in Japan gemeinsam den ABWR entwickelt. Die ersten beiden Bestellungen gingen um 1992 ein, und die Kraftwerke wurden 1996 und 1997 fertiggestellt. Gegen Ende 2009 waren vier ABWR am Netz, in Japan befand sich einer, in Taiwan waren zwei im Bau. 1997 erhielt der ABWR in den USA die Zulassung, die aber 2012 ausläuft. Der Reaktor wird als Joint Venture von GE mit Hitachi sowie von Toshiba angeboten. Beide Unternehmen wollen der US-Atomaufsicht ein überarbeitetes Modell vorlegen und die Verlängerung der Zulassung beantragen. Es ist nicht bekannt, wie umfangreich die Änderungen sind, die die NRC fordert, und wie lange es dauern wird, bis erneut eine Zulassung erfolgt. Bekannt ist, dass das neue Modell besser gegen Flugzeugabstürze geschützt sein muss als die ältere Version. Den jetzigen ABWR kann man wahrscheinlich der Generation III zuordnen. Sollte die Zulassung verlängert werden, wird die überarbeitete Version vermutlich der Generation III+ zugerechnet werden. Im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» plant das US-Unternehmen NRG den Bau von ABWRs.

Der ESBWR (Economic & Simplified BWR) ist ein 1.500 MW-Reaktor, der von GE entwickelt wurde. Im Oktober 2005 beantragte das Joint Venture aus GE und Hitachi bei der NRC die Zulassung. Der ESBWR leitet sich teilweise vom SBWR (Simplified Boiling Water Reactor) von GE und vom ABWR ab. Das Zulassungsverfahren für den SBWR begann in den 1990ern, der Antrag wurde allerdings vor Abschluss des Verfahrens zurückgezogen; Bestellungen blieben aus. Eine Reihe von US-Energieversorgern hat sich im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» für den ESBWR entschieden. Die NRC rechnet allerdings nicht vor 2011 mit dem Abschluss der Überprüfungen. 2007 begann in Großbritannien das Vorlizensierungsverfahren für den ESBWR, der Antrag wurde aber 2008 zurückgezogen. Ursprünglich planten sechs US-Energieversorger im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» ESBW-Reaktoren zu bauen, eines entschied sich dann aber für einen ABWR, eines scheint das Projekt ganz aufgegeben zu haben, und bei der überwiegenden Anzahl der übrigen vier Projekte bestehen Zweifel. Außerhalb der USA scheint das Interesse gering zu sein, und es kann sein, dass die Entwicklung des ESBWR eingestellt wird.

Andere Siedewasserreaktoren

Die schwedische Asea Atom hatte einen eigenen Siedewasserreaktor. Neun Einheiten wurden in Schweden, zwei in Finnland gebaut. Asea Atom fusionierte mit Brown Boveri zu ABB. ABB wiederum wurde 1999 von BNFL übernommen und 2006 als Teil der Nuklearsparte von Westinghouse an Toshiba verkauft. Der auf 1.500 MW ausgelegte SWR-90+, eine Entwicklung von Westinghouse auf der Basis des Siedewasserreaktors von Asea, war als Projekt im Gespräch, wurde aber nicht weiterentwickelt.

Candus

Der größte Anbieter von Schwerwasserreaktoren ist das kanadische Unternehmen Atomic Energy of Canada Limited (AECL). Es hat in Kanada über 20 Reaktoren ausgeliefert und Einheiten nach Argentinien, Rumänien, Südkorea und China exportiert. Auch nach Indien wurden Kraftwerke verkauft. Da Indien jedoch Kernmaterial zum Bau von Atomwaffen verwendete, wurde der Kontakt 1975 abgebrochen. Indien baut jedoch weiterhin Kraftwerke dieses 40 Jahre alten Typs. Argentinien hat drei Schwerwasserreaktoren gebaut, ein Candu-Modell sowie zwei Reaktoren deutscher Anbieter (eines davon ist noch nicht fertig, die Arbeiten ruhen zurzeit).

Das in Zukunft wichtigste Modell von AECL wird der Advanced Candu Reactor (ACR) sein, von dem voraussichtlich zwei Größen produziert werden: ein 750-MW-Reaktor (ACR-700) sowie ein 1.100 bis 1.200-MW-Reaktor (ACR-1000). Im Gegensatz zu früheren Candu-Reaktoren, die schweres Wasser als Kühlmittel und als Moderator benutzten, wird bei diesen als Kühlmittel leichtes Wasser und schweres Wasser als Moderator verwendet. Der Energieversorger Dominion unterstützte den Antrag, den ACR-700 in den USA zuzulassen, zog seine Unterstützung allerdings im Januar 2005 zurück und entschied sich stattdessen für den ESBWR von GE. Grund war, dass die Überprüfung des ACR-700 laut NRC mindestens fünf Jahre dauern werde, da es in den USA keinerlei Erfahrung mit der Candu-Technologie gebe. Der ACR-700 wurde von Candu dann scheinbar zugunsten des ACR-1000 aufgegeben. Bei Ausschreibungen für einen Reaktor dieser Größe würde wahrscheinlich eine Weiterentwicklung des 30 Jahre alten Candu-6-Modells ins Rennen geschickt. Der ACR-1000 wurde bei einer Ausschreibung in Ontario angeboten, der Preis war jedoch viel zu hoch. Im Jahre 2007 wurde er auch dem britischen Vorlizensierungsverfahren (GDA) unterzogen, bald darauf aber wieder zurückgezogen. Es gibt inzwischen Pläne, den staatlichen Anbieter AECL zu privatisieren, weshalb fraglich ist, ob die Candu-Technologie eine Zukunft hat.

Hochtemperaturreaktoren (HTR)

Es ist unklar, ob aktuelle Weiterentwicklungen des Hochtemperaturreaktors der Generation III oder IV zuzurechnen sind. Der Kugelhaufenreaktor (PBMR) basiert auf Entwürfen von Siemens und ABB. Das Modell wurde, nachdem man mit einer Demonstrationsanlage schlechte Erfahrungen gemacht hatte, aufgegeben. Es wird jedoch von südafrikanischen Unternehmen weiterentwickelt. Aufgrund der zahlreichen Übernahmen und Fusionen im Reaktorgeschäft fungieren inzwischen Areva (statt Siemens) und Westinghouse (statt ABB) als Lizenzgeber. Die hinter dem Reaktor stehende Technik wird von PBMR Co., einem Tochterunternehmen von Eskom, dem staatlichen südafrikanischen Stromversorger, entwickelt. Die Gelder dafür stammen von Eskom, BNFL, der US-Firma Exelon sowie der staatlichen südafrikanischen Industrial Development Corporation. Die Investitionen berechtigen die Unternehmen dazu, Anteile an einem neuen

Unternehmen zu erwerben, das die Reaktoren verkaufen soll. Das Projekt wurde erstmals 1998 bekannt, und man ging davon aus, dass erste Aufträge 2003 erfolgen würden. Die Probleme mit dem Modell waren dann allerdings größer als erwartet. 2002 zog sich Exelon zurück, die anderen Partner reduzierten ihre Zahlungen. 2004 mussten Eskom und die südafrikanische Regierung den Löwenanteil der Kosten übernehmen. Die Option von BNFL hat Westinghouse übernommen, IDC hat sich zurückgezogen, und man hat keine neuen Investoren gefunden. Der Zeitrahmen des Projekts hat sich erheblich verschoben – 2009 rechnete man mit ersten Bestellungen nicht vor 2025. Das Kernforschungszentrum Jülich, an dem die Kugelhaufentechnologie entwickelt wurde, veröffentlichte nach einer Neubewertung der Erfahrungen mit einem Prototyp im Jahre 2008 einen Bericht, der Zweifel an der Sicherheit des Modells weckte.[95] Im März 2009 kündigte die südafrikanische Regierung an, sie werde die Entwicklung nur noch ein weiteres Jahr lang fördern, und PBMR Co. entschied sich, das Modell fallen zu lassen. Die Firma arbeitet jetzt möglicherweise an einem viel kleineren Reaktortyp, bei dem man auf einige der weiteren Funktionen wie die Entsalzung, die Kohlevergasung und die Verflüssigung für den Prozesswärme-Markt verzichtet. Es scheint unwahrscheinlich, dass das PBMR-Programm ohne Unterstützung der südafrikanischen Regierung langfristig weitergeführt werden kann.

Chinesische Unternehmen entwickeln zurzeit eine ähnliche Technologie. Zwar wird berichtet, man befinde sich dabei auf einem guten Weg, aber die chinesische Regierung scheint eher auf die Entwicklung von Druck- und eventuell Siedewasserreaktoren zu setzen.

95 R. Moormann: *A Safety Re-evaluation of the AVR Pebble Bed Reactor Operation and Its Consequences for Future HTR Concepts*, Forschungszentrum Jülich, 2008. http://juwel.fz-juelich.de:8080/dspace/handle/2128/3136

ANHANG 2

DISKONTIERUNG, KAPITALKOSTEN UND RENDITEN

Besonders schwierig bei der Beurteilung, wie wirtschaftlich Atomkraft ist, ist die Frage, wie sich die Einnahmen und Ausgaben, die zu verschiedenen Zeiten während der Laufzeit eines Atomkraftwerks anfallen, auf eine gemeinsame Vergleichsbasis bringen lassen. Britischen Planungsansätzen zufolge können zwischen der Auftragsvergabe für einen Reaktor und seiner vollständigen Stilllegung über 200 Jahre liegen.

Normalerweise vergleicht man die Einnahmen- und Ausgabenströme zu verschiedenen Zeiten mithilfe der Barwertrechnung (discounted cash flow, DCF). Diese Methode basiert auf der auf den ersten Blick vernünftigen Annahme, dass aktuelle Einnahmen und Ausgaben stärker ins Gewicht fallen als künftige. Beispielsweise wird bei einer Verbindlichkeit, die heute zurückgezahlt werden muss, der volle Betrag berechnet; wird sie dagegen erst in zehn Jahren fällig, ist der Betrag «kleiner», da man die über diese Zeit erzielten Zinsen mit zur Tilgung nutzen kann. Bei der Barwertrechnung bringt man die im Lauf der Zeit angefallenen Einnahmen und Ausgaben mithilfe einer «Abzinsung» auf eine Vergleichsbasis. Wenn man im Jahr 100 Euro einnimmt, und der Diskontsatz bei fünf Prozent liegt, so beträgt der «Kapitalwert» dieses Einkommens 95,23 Euro, weil ein Betrag von 95,23 € im Jahr 4,77 € einbringt, was insgesamt 100 € ergibt. Der Diskontsatz wird dabei in der Regel mit den «Opportunitätskosten» des Geldes gleichgesetzt, das heißt, man sieht in ihm die (inflationsbereinigte) Kapitalrendite, die man erhalten würde, wenn man das Geld anderweitig investiert hätte.

Während dieser Ansatz über einen Zeitraum von etwa zehn Jahren und bei relativ geringen Diskontsätzen vernünftig ist, kann eine Abzinsung auf lange Sicht und bei hohen Diskontsätzen ganz erhebliche Konsequenzen haben, weshalb man sich genau überlegen muss, von welchen Voraussetzungen man ausgeht. Bei einem Diskontsatz von 15 Prozent beispielsweise hätten die in zehn Jahren aufzubringenden Kosten von 100 Euro nur einen Kapitalwert von 12,28 Euro. Würden diese Kosten in 100 Jahren anfallen, läge der Kapitalwert selbst bei einem Diskontsatz von nur 3 Prozent bei lediglich 5,20 Euro. In einer Wirtschaftsanalyse gelten daher Unkosten oder Gewinne, die erst in mehr als 15 Jahren anfallen, bei einem Diskontsatz von 15 Prozent normalerweise als vernachlässigbar (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Kapitalwerte nach Abzinsung

Dauer der Abzinsung (Jahre)	3%	15%
5	0,86	0,50
10	0,74	0,25
15	0,64	0,12
20	0,55	0,061
30	0,41	0,015
50	0,23	0,00092
100	0,052	-
150	0,012	-

Quelle: Berechnungen des Autors

Bei Atomkraftwerken, die auf einem umkämpften Markt mit hohen Kapitalkosten operieren, bedeutet das, dass Unkosten und Erträge, die erst in beispielsweise über zehn Jahren auftreten, bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Aspekte eines Atomkraftwerks kaum ins Gewicht fallen. Daher bringt es kaum Vorteile, wenn man die Laufzeit eines Kraftwerks von 30 auf 60 Jahre verlängert, und auch die Kosten für eine Modernisierung, die etwa nach 15 Jahren anfallen, spielen kaum eine Rolle.

Für eine Stilllegung, deren teuerste Phase (folgt man den britischen Planungsansätzen) erst 135 Jahre nach Abschaltung zu erwarten ist, bedeutet das, dass sehr hohe Stilllegungskosten kaum ins Gewicht fallen – und das sogar bei einem sehr niedrigen Diskontsatz, der einer sehr sicheren Geldanlage mit einer niedrigen Rendite von etwa 3 Prozent entspricht. Wenn wir davon ausgehen, dass die Stilllegung eines Magnox-Reaktors etwa 1,8 Milliarden Dollar kostet und die Endphase 65 Prozent der (nicht abgezinsten) Gesamtkosten von 1,17 Milliarden Dollar verschlingt, dann reicht es aus, wenn man bei Abschaltung des Atomkraftwerks eine Summe von nur 28 Millionen Dollar investiert. Bis zum Endstadium der Stilllegung wird sie so weit angewachsen sein, dass alle dann anfallenden Kosten dadurch gedeckt sind.

Bei der Barwertrechnung geht man stillschweigend davon aus, dass eine bestimmte Rendite die ganze Zeit über erzielt werden kann. In Anbetracht der Tatsache, dass sogar Staatsanleihen, die in der Regel als sicherste Investitionsform betrachtet werden, nur für eine Laufzeit von 30 Jahren ausgegeben werden und dass es noch nie in der Geschichte der Menschheit eine Periode nachhaltigen wirtschaftlichen Wachstums von 100 Jahren gegeben hat, scheint diese Annahme allerdings kaum gerechtfertigt.

Bei der Atomenergie gibt es somit das Paradox, dass für die Investitionsphase ein sehr hoher Diskontsatz (oder eine sehr hohe erforderliche Kapitalrendite) von mindestens 15 Prozent angesetzt werden muss, um zu ermitteln, ob die Investition profitabel ist, während man bei den Stilllegungsfonds einen sehr

niedrigen Diskontsatz ansetzt, um das Volumen zu errechnen, auf das der Fonds voraussichtlich anwachsen wird.

Das entscheidende Element zur Auflösung dieses Paradoxes ist das Risiko. Die Investition in ein Atomkraftwerk war immer riskant, da die Baukosten leicht aus dem Ruder laufen, die Leistung schwanken kann, äußere Ereignisse den Betrieb stören können und viele Prozesse wie die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle und die Stilllegung noch nicht vollständig durchgespielt worden sind. In einem Wettbewerbsumfeld sorgt dann noch die unflexible Kostenstruktur für zusätzliche Risiken. Die meisten Kosten fallen unabhängig davon an, ob ein Kraftwerk in Betrieb ist oder nicht. Atomkraftwerke können zwar wirtschaftlich erfolgreich sein, wenn der Großhandelspreis, wie bei British Energy in den Jahren 1996-1999, hoch ist; sobald aber der Großhandelspreis wie in den Jahren 2000-2002 niedrig ist, schneiden sie entsprechend schlecht ab. Die Tatsache, dass ein Kraftwerk ein Jahrzehnt lang hohe Gewinne erzielt hat, bewahrt es nicht davor, in schlechten Jahren bankrott zu gehen. Geldgeber betrachten daher Investitionen in Atomenergie als äußerst riskant und nehmen einen hohen Zinssatz, der das Risiko widerspiegelt, dass das geliehene Geld leicht verloren gehen kann.

ANHANG 3

STILLLEGUNG

In den letzten Jahren hat man sich verstärkt mit Fragen der Stilllegung von Atomkraftwerken beschäftigt. Die Gründe: Die Laufzeit einiger Reaktoren nähert sich ihrem Ende, die für eine Stilllegung angesetzten Kosten sind in die Höhe geschnellt und Maßnahmen, durch die die Mittel für die Stilllegung bereit gestellt werden sollten, haben erhebliche Schwachstellen gezeigt.

Üblicherweise unterteilt man die Stilllegung in drei Phasen. In der ersten Phase werden die Brennelemente entfernt und der Reaktor gesichert. Je nach Reaktortyp dauert das unterschiedlich lange. Bei DW- und SW-Reaktoren, die für die Beschickung mit Brennelementen vom Netz genommen werden müssen, ist das rasch möglich, denn diese Reaktoren sind so konstruiert, dass jedes Jahr, wenn sie für einige Wochen abgeschaltet werden, ein Drittel der Brennelemente ersetzt werden kann. Bei AG-Reaktoren und der Candus-Bauart, bei denen die Brennelemente bei laufendem Betrieb ausgetauscht werden, dauert dies hingegen viel länger. Diese Reaktoren sind so ausgelegt, dass permanent geringe Mengen Brennstoff ersetzt werden, ohne dass dazu der Reaktor abgeschaltet werden muss. Nötig ist dafür sehr präzise – und sehr langsam – arbeitende Technik. Es kann mehrere Jahre dauern, bis der gesamte Kern ausgeräumt ist. Erst wenn die Brennelemente entfernt sind, kann der Reaktor nicht mehr kritisch werden. Bis dies der Fall ist, wird im Prinzip genauso viel Personal gebraucht, wie bei normalem Betrieb. Der wirtschaftliche Anreiz ist daher sehr groß, diese Phase möglichst schnell zu beenden. Aus technologischer Sicht ist die Phase 1 einfach. Im Großen und Ganzen werden die Arbeiten fortgesetzt, die auch während des Betriebs anfielen. Anzumerken ist, dass die Entsorgung der Brennelemente nicht in die Kosten für Phase eins eingehen.

In der zweiten Phase werden die nicht oder nur leicht kontaminierten Teile des Baus abgerissen und entfernt, so dass nur der reine Reaktorblock zurückbleibt. Auch das sind vergleichsweise simple Arbeiten, die kein größeres Know-how erfordern. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es von Vorteil, diese Phase so lang wie möglich hinauszuzögern, damit der Betrag, den die Verbraucher dafür aufbringen müssen, möglichst gering ist – je länger diese Phase hinausgezögert wird, desto mehr Zinsen haben sich im Stilllegungsfonds angehäuft. Die Grenze ist erreicht, wenn die Sicherheit der Gebäude nicht mehr garantiert werden kann und das Risiko besteht, dass sie zusammenbrechen und radioaktives Material freisetzen. In Großbritannien plant man, mit Phase zwei erst 40 Jahre nach Schließung zu beginnen.

Die dritte Phase, der Ausbau des Reaktorkerns, ist bei weitem die teuerste und technisch aufwändigste, denn die Materialien müssen ferngesteuert mit Robotern bewegt werden. Wie bei Phase zwei ist es auch hier wirtschaftlich günstig, die Arbeiten so lange hinauszuzögern, wie es sich sicherheitstechnisch verantworten lässt. In Großbritannien plant man, hiermit 135 Jahre zu warten.

Am Ende der dritten Phase sollte im Idealfall das Grundstück wieder uneingeschränkt nutzbar sein. Mit anderen Worten: Die radioaktive Belastung sollte nicht größer sein als auf nicht kontaminiertem Boden. In der Praxis wird das nicht immer möglich sein. An einigen Standorten wie in Dounreay (Schottland), wo die Demonstrationsanlage eines schnellen Brüters betrieben wurde, wird das Gebiet wegen der starken Kontamination voraussichtlich auf unbestimmte Zeit nur eingeschränkt benutzt werden können.

Bisher wurden nur sehr wenige kommerziell betriebene Anlagen nach voller Laufzeit stillgelegt. Man weiß daher nicht genau, welche Kosten auf die Betreiber zukommen. Es wird immer wieder betont, dass solche Arbeiten in kleinerem Maßstab bereits erfolgreich durchgeführt wurden. So lange das aber nicht erfolgreich auch bei einem großen Atomkraftwerk der Fall ist, kann man hier nicht von einem bewährten Verfahren sprechen. Viele Abläufe, die sich im Bereich der Atomtechnik im Kleinen bewährt haben, haben zu Problemen geführt, sobald man versuchte, sie im großen, kommerziellen Rahmen einzusetzen.

Ein Großteil der Kosten für die Stilllegung entfällt auf die Entsorgung des radioaktiven Abfalls. Man weiß allerdings nicht genau, was die Abfallentsorgung in modernen Anlagen kostet, insbesondere wenn es sich um mittelstark oder langlebigen schwach verstrahlten Abfall handelt. Es fehlt an Erfahrung mit dem Bau von Entsorgungseinrichtungen.

Diese Ungewissheit spiegelt sich in Kostenschätzungen für die Stilllegung wider. In der Regel werden diese Kosten als Prozentsatz der Baukosten aufgeführt (beispielsweise 25 Prozent). Da die Kosten für die Stilllegung aber nur wenig mit den Baukosten zu tun haben, zeigt dieses Verfahren, wie wenig man über die Kosten weiß.

Eine typische Aufschlüsselung der erwarteten, nicht abgezinsten Stilllegungskosten könnte etwa so aussehen: ein Sechstel für Phase eins, ein Drittel für Phase zwei und die Hälfte für Phase drei. British Energy war gezwungen, einen Spezialfonds für die Stilllegung seiner Atomkraftwerke anzulegen, obwohl man davon ausgegangen war, Phase eins aus laufenden Einnahmen bestreiten zu können. Das Unternehmen BNFL, dem die Magnox-Reaktoren gehörten, bis diese im April 2005 der Nuclear Decommissioning Authority übergeben wurden, war ein staatliches Unternehmen, und das Finanzministerium erlaubt es staatlichen Unternehmen grundsätzlich nicht, Spezialfonds zu führen. British Energy ging von einem Diskontsatz von drei Prozent für die ersten 80 Jahre, null Prozent für die Folge aus, während BNFL einen durchgehenden Diskontsatz von 2,5 Prozent annahm. Im Jahre 2003/04 erhöhte British Energy seinen Diskontsatz auf 3,5 Prozent.

Wenn wir von 1,8 Milliarden Dollar Gesamtkosten für eine Stilllegung ausgehen – die, wie bereits beschrieben, in Phasen aufgeteilt werden, wobei Phase eins unmittelbar nach der Abschaltung, Phase zwei nach 40 Jahren und Phase drei nach 135 Jahren beginnt -, ergeben sich die in Tabelle 12 aufgeführten Werte.

Tabelle 12: Beispiel für Kosten einer Stilllegung (in Millionen britische Pfund)

	Nicht abgezinst	British Energy (3%)	British Energy (3,5%)	BNFL (2,5%)
Phase 1	300	300	300	300
Phase 2	600	184	151	223
Phase 3	1200	113	76	41
Insgesamt	1800	597	527	564

Quelle: Berechnungen des Autors

Die Stilllegung der britischen gasgekühlten Reaktoren wird vermutlich äußerst teuer werden, weil bei ihnen aufgrund der schieren Größe sehr viel Müll anfällt. DW- und SW-Reaktoren sind sehr viel kompakter und werden vermutlich nur ein Drittel dieser Summe kosten – die Kosten für Sizewell B schätzt man auf insgesamt etwa 540 Millionen Dollar.

Man nutzt die unterschiedlichsten Möglichkeiten, damit nach dem Verursacherprinzip auch diejenigen für die Stilllegung bezahlen, die den produzierten Strom verbrauchen. Für alle Methoden gilt: Werden die Kosten für die Stilllegung zu gering eingeschätzt, entsteht zwangsläufig eine Deckungslücke, für die künftige Steuerzahler aufkommen müssen. In Großbritannien sind die angenommenen Kosten für die Stilllegung der Magnox-Kraftwerke in den letzten 20 Jahren um den Faktor vier gestiegen – und das, bevor mit den technisch anspruchsvollsten Arbeiten auch nur begonnen wurde.

Die unzuverlässigste Methode besteht darin, über ein Buchungssystem mit umlagefinanzierten Konten Rücklagen für die Stilllegung zu bilden. Obwohl die Rücklagen von den Verbrauchern aufgebracht werden, kann die Firma diese für Investitionen nutzen – die Rücklagen sind Teil des Firmenvermögens. Dieses Verfahren ist nur dann sicher, wenn das Unternehmen tatsächlich auch so lange existiert, bis die Stilllegung abgeschlossen ist und das angehäufte Kapital zumindest die erwartete Rendite abwirft. Die Schwächen dieses Verfahrens zeigten sich, als das Central Electricity Generating Board (CEGB) – das Unternehmen, dem bis zu seiner Privatisierung im Jahre 1990 die Kraftwerke in England und Wales gehörten – privatisiert wurde. Die Verbraucher hatten etwa 1,7 Milliarden Pfund an Rücklagen aufgebracht, die Firma wurde jedoch für nur ein Drittel ihres Buchwerts verkauft, wodurch zwei Drittel der Rückstellungen verloren gingen. Die Regierung gab vom Erlös aus dem Verkauf nichts an das Unternehmen weiter, das die Atomkraftwerke übernahm, so dass auch der Rest der Rücklagen verloren ging.

Ein Spezialfonds scheint ein zuverlässigeres Verfahren zu sein. Dabei bilden die Verbraucher während der Laufzeit des Atomkraftwerks Rücklagen, die in einen Fonds eingezahlt werden, auf den der Eigentümer des Kraftwerks nicht zugreifen kann und der von unabhängiger Seite verwaltet wird. Diese Gelder werden, um das Verlustrisiko möglichst gering zu halten, nur in sichere Anlagen investiert. Solche Investitionen bringen unter Umständen nicht mehr als drei Prozent Zinsen. Wenn das Kraftwerk stillgelegt werden muss, kann das Unternehmen, dem das Kraftwerk gehört, diesen Spezialfonds in Anspruch nehmen. Auch dieses Verfahren birgt, wie man in Großbritannien merkte, seine Risiken. Der Spezialfonds von British Energy reichte nicht einmal für Phase eins aus – nach abgezinsten Kosten die bei weitem teuerste Phase (etwa die Hälfte der Gesamtkosten) – und das Unternehmen ging lange, bevor die Kraftwerke das Ende ihrer Laufzeiten erreicht hatten, bankrott. Das Unternehmen musste von der Regierung aufgefangen werden; einen Großteil der Kosten für die Stilllegung werden nun künftige Steuerzahler tragen müssen.

Das geringste Risiko besteht darin, einen Spezialfonds aufzulegen, sobald das Kraftwerk in Betrieb geht, und genügend Mittel vorzuhalten, um die Stilllegung zum Ende der vorgesehenen Laufzeit zu bezahlen. Wenn wir von einer Laufzeit von 30 Jahren und einem Diskontsatz von 3 Prozent ausgehen, liegt die erforderliche Summe bei etwa 40 Prozent der nicht abgezinsten Summe. Falls die undiskontierten Kosten für die Stilllegung etwa 25 Prozent der Baukosten ausmachen, müssten etwa 10 Prozent der Baukosten in den Fonds eingezahlt werden. Selbst das reicht allerdings nicht aus, sollte das Atomkraftwerk frühzeitig vom Netz gehen müssen, sollten die Stilllegungskosten zu gering veranschlagt worden sein oder sollte der Fonds nicht die erhofften Zinsen abwerfen.

Alles in allem sind für die Stilllegung von Atomkraftwerken wahrscheinlich hohe Summen nötig. Doch selbst wenn man sich für die Ansätze mit dem geringsten Risiko entscheidet – diejenigen, bei denen, sofern die Kosten richtig eingeschätzt wurden, genügend Geld vorhanden ist, um eine Stilllegung zu bezahlen –, würde sich das aufgrund der Abzinsung nur begrenzt in den Gesamtkosten niederschlagen.

ANHANG 4

DER AKTUELLE STAND DER PROJEKTE IN DEN USA

Southern Company

Innerhalb des Programms «Atomenergie 2010» scheint das Vogtle-Projekt am weitesten gediehen zu sein. Im Dezember 2009 ging man davon aus, dass Vogtle, eine Anlage mit zwei AP-1000-Reaktoren, als erstes Bürgschaften der US-Regierung erhält. Dabei gehörten ausgerechnet die beiden ersten, in den 1980er Jahren dort fertiggestellten Einheiten zu den Reaktorbauten, bei denen es zu den größten Kostenexplosionen kam. Ursprünglich sollten alle vier Reaktorblöcke zusammen 660 Millionen Dollar kosten. Die Kosten für die beiden tatsächlich gebauten Einheiten erreichten jedoch 8,87 Milliarden Dollar.

Die NRC hat der Southern Company bereits eine begrenzte Bauerlaubnis für den Standort Vogtle erteilt – somit kann etwa mit dem Verfüllen, dem Bau von Stützmauern und einer wasserdichten Membran begonnen werden.[96] Die NRC hat dem Unternehmen außerdem einen positiven Vorbescheid erteilt, demzufolge der Standort unter Umweltgesichtspunkten für neue Reaktoren geeignet ist und die Notfallpläne ausreichen. Die Georgia Public Service Commission ging auf die Forderung von Georgia Power, dem Eigentümer von 45,7 Prozent des Projekts, ein, die Kosten für seinen Anteil von 6,4 Milliarden Dollar an dem 2.234-MW-Projekt ab dem Jahre 2011 durch Steuerabschreibungen hereinholen zu dürfen (sogenanntes «construction work in progress»).[97] Aufgrund dieser Kostendeckung hat die Southern Company erklärt, sie werde auch dann mit dem Bau fortfahren, sollte sie keine Bürgschaften erhalten. Außerdem hat sie die voraussichtlichen Kosten für ihren Anteil, einschließlich einer Finanzierung von bis zu 4,529 Milliarden Dollar oder einer Gesamtsumme von 9,9 Milliarden Dollar, niedriger angesetzt.[98]

96 *Greenwire*: «NRC Grants ëLimited Work' Approval for Proposed Ga. Reactors», 27. August 2009.

97 Platts Global Power Report: *Georgia PSC Approves Two Nuclear Reactors by Georgia Power, and a Biomass Conversion*, 19. März 2009.

98 *Nucleonics Week*: «Georgia Power Lowers Estimate», 13. März 2008.

South Carolina Electricity & Gas

Wie bei Vogtle geht es auch in Summer (South Carolina) um zwei AP-1000-Reaktoren. Das Projekt befand sich ebenfalls in der engeren Auswahl für Bürgschaften des US-Energieministeriums. Im Juni 2008 schätzte SCE&G allein die Kosten für den Bau – ohne Stromleitungen und Finanzierung – auf 9,8 Milliarden Dollar.[99] Im Januar 2009 erhöhte SCE&G die Schätzung für seinen Kostenanteil von 55 Prozent von 4,8 auf 6,3 Milliarden Dollar, woraus sich Gesamtkosten von 11,5 Milliarden Dollar ergeben.[100] Dieser Betrag wurde als Gesamtpreis bezeichnet, das heißt, vermutlich enthält er die Kosten für die Finanzierung.

Unistar

Das Unistar-Konsortium, ein Joint Venture von Constellation Energy (Baltimore Gas & Electric) und EDF, entstand 2007. EDF übernahm in der Folge 49,9 Prozent an den Atomanlagen von Constellation. Unistar hat drei Projekte, Calvert Cliffs (Maryland), Nine Mile Point (New York) und Elmore (Idaho), für die jeweils ein EPR vorgesehen ist. Calvert Cliffs, ebenfalls in der engeren Wahl für eine Bürgschaft, ist am weitesten fortgeschritten. Die anderen beiden Projekte, Nine Mile Point und Elmore, werden so lange nicht weiter vorangetrieben, bis die Aussicht besteht, Bürgschaften zu erhalten. Im Dezember 2009 ersuchte Unistar die NRC, den Antrag auf eine Bau- und Betriebsgenehmigung für Nine Mile Point ruhen zu lassen.[101] Das Elmore-Projekt ist noch nicht so weit gediehen wie Nine Mile Point. Im April 2009 hat der Vorstandsvorsitzende von Unistar erklärt, Constellation werde seine Kalkulationen für Calvert Cliffs nicht öffentlich machen, die Zahlen seien vertraulich.[102]

NRG

Zum South-Texas-Projekt gehören zwei ABWR, die Toshiba liefern soll. Toshiba war im März 2008 an die Stelle von GE-Hitachis fast identischem Angebot getreten. Es handelt sich um das einzige Projekt mit dem ABWR-Typ, wobei möglich ist, dass man bei einigen Projekten mit ESBW-Reaktoren zum ABWR wechselt. Das South-Texas-Projekt befand sich in der engeren Auswahl für die Bürgschaften des US-Energieministeriums. Ende 2009 erregte das Projekt große öffentliche Aufmerksamkeit. Nuclear Innovation North America (NINA) – ein Joint Venture, an dem NRG zu 88 Prozent und Toshiba zu 12 Prozent beteiligt

99 *Nuclear Engineering International*: «Power Market Developments – The American Way», Juni 2008.

100 *SNL Power Week* (Canada): «SCE&G Discloses New Costs for Summer Nuke Expansion», 5. Januar 2009.

101 *Nucleonics Week*: «UniStar Puts Further Hold on Nine Mile Point-3», 10. Dezember 2009.

102 *Daily Record* (Baltimore): «Constellation Energy CEO: French Firm Won't Influence Baltimore Gas & Electric Co.», 28. April 2009.

ist – hält 50 Prozent der Anteile am South-Texas-Projekt. Die anderen 50 Prozent hält CPS, ein Unternehmen der Stadt San Antonio. Im Oktober 2009 kündigte CPS an, es wolle seinen Anteil auf 20 bis 25 Prozent reduzieren,[103] im Dezember wurde sogar die Möglichkeit erwogen, ganz auszusteigen. Zuvor war bekannt geworden, dass die Schätzung des Anbieters Toshiba für die Erweiterung der Anlage etwa vier Milliarden Dollar über den veranschlagten 13 Milliarden lag, die CPS gegenüber Vertretern der Stadt genannt hatte. CPS strengte am 6. Dezember einen Prozess an und bat das Gericht, seine Rechte für den Fall zu klären, sollte es sich aus dem Geschäft zurückziehen. Der Streit eskalierte am 23. Dezember, als NINA CPS wegen Vertragsbruchs verklagte und forderte, CPS solle die Hunderte von Millionen Dollar verlieren, die es investiert hatte. Einige Stunden später reichte CPS eine Gegenforderung in Höhe von 32 Milliarden Dollar ein und behauptete, NRG und Toshiba hätten CPS durch «arglistiges, ehrenrühriges und gesetzwidriges Verhalten» dazu gebracht, das Projekt zu unterstützen, und dann versucht, CPS wieder herauszudrängen.[104] Im Oktober 2009 wurde bekannt, dass die Kosten für die beiden ABWR einschließlich Finanzierung auf etwa 17 Milliarden Dollar geschätzt werden. Aktuelle Schätzungen abzüglich der Finanzierungskosten liegen nicht vor.

TXU

Die Anlage von Comanche Peak (Texas) ist das einzige APWR-Projekt. Es befand sich anfangs in der engeren Auswahl des Energieministeriums, wurde aber später auf Platz eins der Warteliste gesetzt. Bisher wurden keine Schätzungen für die Baukosten des Comanche-Peak-Projekts veröffentlicht.

Exelon

Im November 2008 nahm Exelon Abstand von den für Victoria (Texas) geplanten ESBWR-Reaktoren (zwei Einheiten), soll sich aber Berichten zufolge nach Alternativen umgesehen haben.[105] Im Juni 2009 kündigte Exelon an, es werde sein Victoria-Projekt um bis zu 20 Jahre zurückstellen, das Verfahren für die Bewilligung des Standorts aber fortsetzen.[106]

Dominion

Das North-Anna-Projekt war einer der ersten geplanten Neubauten. Ursprünglich sollte dort ein kanadischer ACR-700 gebaut werden. 2005 erklärte Dominion, man

103 *Nucleonics Week*: «NRG ‹Perplexed› as CPS Explores Exiting Plan for New Texas Reactors», 10. Dezember 2009.

104 *San Antonio Express*, «Mayor Calls for Meeting of Reactor Partners», 5. Januar 2010.

105 *Nucleonics Week*: «Exelon Drops ESBWR, Looks at Other Reactor Designs for Its Texas Project», 27. November 2008.

106 *Greenwire*: «Exelon Suspends Plans for Texas Plant», 1. Juli 2009.

habe sich für den ESBWR entschieden. Im Januar 2009 gab Dominion bekannt, eine Einigung mit GE-Hitachi über die Bedingungen des Angebots sei gescheitert. Dominion kündigte an, man werde «einen Wettbewerb ausschreiben», um zu klären, ob ein Anbieter einen Reaktor North Anna-3 liefern könne, «der zu für das Unternehmen vertretbaren Bedingungen genehmigt und gebaut werden kann».[107] Dominion geht davon aus, dass bis Ende des ersten Quartals 2010 ein Anbieter gefunden sein wird.

Entergy

Im Februar 2009 bat Entergy die NRC, wegen steigender Preise die Prüfung der Anträge für einen ESBWR in Grand Gulf (Texas) und River Bend (Louisiana) auszusetzen.[108] James Leonard, der Vorstandsvorsitzende von Entergy erklärte, das Unternehmen sei in den Verhandlungen mit GE Hitachi über Planung, Beschaffung und Bau des ESBWR, «an seine Grenzen gestoßen». Die Kosten seien auf 10 Milliarden Dollar gestiegen und lägen damit deutlich über dem ursprünglichen Kostenrahmen.[109]

Duke Energy

Das Lee-Projekt (South Carolina) von Duke Energy sieht zwei AP-1000-Reaktoren vor. Im September 2009 erklärte das Unternehmen, die erste Einheit werde 2021, die zweite 2023 ihren Betrieb aufnehmen – drei Jahre später, als ursprünglich vorgesehen.[110] Im November 2008 ging Duke Energy bei den Kosten (ohne Finanzierung) für die beiden Blöcke von 11 Milliarden Dollar aus – doppelt so viel, wie ursprünglich angenommen.[111]

Progress Energy

Für die Projekte Harris in North Carolina und Levy County in Florida sind jeweils zwei AP-1000 vorgesehen. Bisher hat Progress Energy sich noch nicht verbindlich zum Bau bekannt. Nach vorläufigen Plänen soll der kommerzielle Betrieb des ersten der beiden Blöcke in Harris 2019, des zweiten 2020 beginnen. Weil die Nachfrage weniger stark gestiegen ist als erwartet, könnte sich Progress dafür entscheiden, alternativ in ein Projekt von Duke oder Dominion einzusteigen. Der Zeitrahmen für die Atomkraftwerke von Levy wurde ebenfalls nach hinten

107 *Nuclear News*: «Sales Talks Stall with Entergy, Dominion», Februar 2009.
108 *Nucleonics Week*, «Entergy Revises Construction Plans, Looks again to Acquisitions», 26. Februar 2009, S. 1.
109 *Nucleonics Week*: «ESBWR Design Certification Rule To Be Completed in September 2011», 12. November 2009.
110 *Nucleonics Week*: «Duke May Push Back Startup of Lee Units», 10. September 2009.
111 *WNN*: «Duke Raises Cost Estimate for Lee Plant», 7. November 2008.

verschoben – statt 2016/17 sollen sie erst 2019/20 fertig sein.[112] Trotzdem hat Progress Energy die Genehmigung erhalten, für den Bau von Levy-1 und -2 sowie die damit verbundenen Arbeiten nahezu 207 Millionen Dollar auf seine Strompreise zu schlagen. Für den durchschnittlichen Verbraucher sind das monatliche Mehrkosten von 5,86 Dollar.[113] Im Februar 2009 schätzte Progress die Baukosten für Levy auf 14 Milliarden Dollar. Weitere drei Milliarden Dollar kämen für Übertragung und Anschluss zusammen.[114]

AmerenUE

Ameren gab bekannt, das EPR-Projekt am Standort Callaway (Missouri) werde eingestellt, da «die Gesetzgebung im Augenblick nicht die finanzielle und behördliche Sicherheit garantiert, die wir benötigen, um dieses Projekt fertigzustellen.»[115]

DTE Energy

DTE Energy plant am Standort Fermi (Michigan) einen ESBW-Reaktor. Berichten zufolge würde er etwa 10 Milliarden Dollar kosten. Unklar ist allerdings, was alles in diesen Kosten enthalten ist.[116]

PPL Corporation

PPL beabsichtigt, am Standort Bell Bend (Pennsylvania) einen EPR zu bauen. Das Projekt ist ein Joint Venture von Hauptgesellschafter PPL und Unistar. Auf der Website des Projekts ist zu lesen, dass es einschließlich Preissteigerungen, Finanzierung, ersten Brennelementen, Nebenausgaben sowie Rückstellungen 13 bis 15 Milliarden Dollar kosten soll.[117]

Amarillo Power

Amarillo plant zwei EPR. Auch dabei handelt es sich um ein Joint Venture, in diesem Fall zwischen Unistar und Amarillo Power. Bis Ende des Jahres 2009 wurde noch keine Bau- und Betriebsgenehmigung beantragt.

---

112 *Inside NRC*, «Potential AP1000 Buyers Unsure If NRC Design Finding Will Cause Delays», 26. Oktober 2009.

113 *Nuclear News*: «The Florida PSC Approved Rate Recovery for New Reactors», November 2009.

114 *Nuclear News*: «EPC Contract Signed for Two AP1000s», Februar 2009.

115 Ameren: «AmerenUE Requests Sponsors to Withdraw Missouri Clean and Renewable Energy Construction Bills in General Assembly», Pressemitteilung, 23. April 2009**.** http://ameren.mediaroom.com/index.php?s=43&item=634

116 *Detroit Free Press*: «DTE Applies for Another Nuclear Plant», 19. September 2008. http://www.freep.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20080919/NEWS05/809190398

117 http://www.bellbend.com/faqs.htm

FPL

Für den Standort Turkey Point sind zwei AP-1000 vorgesehen. Im November 2009 gestattete die Aufsichtsbehörde Florida Public Service Commission dem Unternehmen FPL, die Baukosten für die beiden Einheiten ab 2010 den Verbrauchern in Rechnung zu stellen. Bewilligt wurden Kosten in Höhe von 62,7 Millionen Dollar.[118] FPL teilte der Aufsichtsbehörde mit, man rechne mit Baukosten (ohne Finanzierung) von 3.108 bis 4.540 Dollar/kW.[119] Im September 2009 gab FPL bekannt, der Kostenrahmen sei von 12,1 bis 17,8 auf 15 bis 18 Milliarden Dollar gestiegen, und die für 2018 und 2020 geplante Fertigstellung müsse verschoben werden.[120]

TVA

Die Tennessee Valley Authority ist in vieler Hinsicht nicht mit anderen US-Energieversorgern zu vergleichen, da sie sich vollständig im Besitz der US-Regierung befindet und also, im Unterschied zu anderen Versorgern, nicht der Regierung eines Bundesstaates untersteht. Sie erhält deswegen leichter Kapital und muss sich keine Gedanken um ihre Kreditwürdigkeit machen. Sie benötigt auch keine Kreditbürgschaften eines Bundesstaates – und hat auch keine Ansprüche darauf. Es ist daher kein Zufall, dass sich die TVA besonders für neue Atomkraftwerke stark gemacht hat. Die Chancen für ihre beiden in Bellefonte geplanten AP-1000-Reaktoren – einem der ersten Projekte im Rahmen des Programms «Atomenergie 2010» – verschlechterten sich jedoch, als die TVA erwog, zwei alte Einheiten fertigzustellen, die Mitte der 1980er Jahre eingestellt worden waren. Im Dezember 2009 veröffentlichte die TVA eine Erklärung zu den ökologischen Folgen verschiedener Ausbaupläne. Darin war keine Rede mehr von einem zweiten AP-1000-Reaktor in Bellefonte – er scheint gestrichen worden zu sein.[121] Falls die Baugenehmigungen für die alten, teilweise fertigen Reaktoren erneuert werden können, wäre dies viel billiger, als einen neuen Reaktor zu bauen. Die TVA hat die Baukosten (ohne Finanzierung) für die beiden AP-1000-Reaktoren mit 5,6 bis 10,4 Milliarden Dollar angesetzt.[122]

118 *Tenders Info*: «United States: Florida Nuclear Utilities Recover Expansion Costs», 22. Oktober 2009.

119 *Nuclear Engineering International*: «Power Market Developments.»

120 *Nucleonics Week*: «FP&L Continuing with Plans to Build Reactors, but May Change Schedule».

121 *Nuclear News*: «TVA Announced the Issuance of Its Bellefonte Draft EIS», Dezember 2009.

122 *Chattanooga Times*: «Estimates Rise.»

OTFRIED NASSAUER

Atomwaffen und Atomenergie – Siamesische Zwillinge oder doppelte Null-Lösung?

> *As a nuclear power, as the only nuclear power to have used a nuclear weapon, the United States has a moral responsibility to act. (…). So today, I state clearly and with conviction America's commitment to seek the peace and security of a world without nuclear weapons. I'm not naive. This goal will not be reached quickly –- perhaps not in my lifetime. It will take patience and persistence. But now we, too, must ignore the voices who tell us that the world cannot change. We have to insist, «Yes, we can.» (…) together we will strengthen the Nuclear Non-Proliferation Treaty as a basis for cooperation. The basic bargain is sound: Countries with nuclear weapons will move towards disarmament, countries without nuclear weapons will not acquire them, and all countries can access peaceful nuclear energy. (…) We must harness the power of nuclear energy on behalf of our efforts to combat climate change, and to advance peace opportunity for all people.*[1]
>
> *Barack Obama in Prag, 5.4.2009*

Vor einem Jahr belebte U.S.-Präsident Barack Obama die Vision einer atomwaffenfreien Welt neu. Während einer Rede in Prag bekannte er sich zu diesem Ziel und versprach, seine Amtszeit zu nutzen, um erste Schritte auf dem Weg zu einer solchen Welt einzuleiten und Fortschritte bei der nuklearen Abrüstung sowie Verbesserungen bei der Nichtverbreitung anzustreben. Ein Jahr später bestimmte das Thema erneut die Agenda des amerikanischen Präsidenten. Im Vordergrund der öffentlichen Aufmerksamkeit standen im April 2010:

- die Unterzeichung eines neuen Abkommens zur Reduzierung der strategischen Nuklearwaffen zwischen den USA und Russland (New START);
- die Veröffentlichung des Nuclear Posture Reviews, eines Berichtes der US-Regierung, mit dem sie ihre künftige Nuklearwaffenpolitik gegenüber dem Kongress darlegen muss;

1 http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Remarks-By-President-Barack-Obama-In-Prague-As-Delivered Das Manuskript dieses Beitrages wurde Mitte April 2010 abgeschlossen. Alle Verweise auf Quellen im Internet wurden zuletzt am 13.4.2010 geprüft.

- eine internationale Staatenkonferenz zur Sicherheit waffengeeigneter Spaltmaterialien, zu der US-Präsident Barack Obama nach Washington eingeladen hatte;
- eine Konferenz der NATO-Außenminister, bei der über die Zukunft nuklearer Waffen in der NATO und in Europa diskutiert werden soll;
- und die nächste Konferenz zur Überprüfung des Atomwaffensperrvertrages[2].

Hinzu kommen Bestrebungen, den Iran wegen seines Nuklearprogramms durch den Sicherheitsrat der Vereinten Nationen erneut mit schärferen Sanktionen zu belegen.

Folgende Themen bestimmten somit die öffentliche Diskussion über die Nukleartechnik: die Zukunft nuklearer Waffen, deren weitere zahlenmäßige Reduzierung und die Zukunft der nuklearen Nichtverbreitung. Ein weiteres Thema schwingt dabei immer mit: die Zukunft der Atomenergie.

Das kommt nicht von ungefähr. Denn die militärische und die zivile Nutzung der Kerntechnik sind technologisch eng verwandt bzw. verbunden. Aus der zivilen Anwendung der Nukleartechnik kann Wissen, Material und Technologie gewonnen werden, die auch für ein militärisches Atomprogramm verwendbar sind. Umfassende Nuklearprogramme – und seien sie als ausschließlich zivil deklariert – rufen deshalb fast immer substantielle Proliferationsbefürchtungen hervor. Der nun schon Jahre anhaltende Streit um das Atomprogramm des Irans ist dafür ein aktuelles Beispiel.

Befördert durch den wachsenden Energiebedarf der Menschheit, vor allem an elektrischer Energie, und die Bemühungen zur Bekämpfung eines drohenden, katastrophalen Klimawandels mittels einer Reduktion des CO_2-Ausstoßes auf der Erde, steht die zivile Nutzung der Atomenergie in den kommenden Jahrzehnten möglicherweise vor einer Renaissance. Barack Obama erwähnte deren möglichen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels in seiner Prager Rede ausdrücklich. Er hat inzwischen staatliche Kredite im Wert von mehr als 50 Milliarden Dollar bereitgestellt, die als Anreiz für den Bau neuer Atomkraftwerke genutzt werden können. Befürworter argumentieren, die Atomenergie ermögliche die Produktion großer Mengen elektrischer Energie ohne zugleich einen CO_2-Ausstoß zu verursachen. Klimapolitisch ist das eine Verlockung. Doch wiegt dieser Vorteil die sicherheitspolitischen Risiken auf, die mit der Nutzung und vor allem mit einer weiteren Verbreitung der Atomenergie verbunden sein werden? Ist der Einsatz der Atomenergie in immer mehr Ländern – und sei es zu klimapolitischen Zwecken – die damit verbundenen Proliferationsrisiken wert? Oder überwiegen die wachsenden sicherheitspolitischen Risiken den angeblichen klimapolitischen Nutzen einer solchen Politik?

2 Diese Bezeichnung ist nur in Deutschland üblich. International wird der Vertrag als nuklearer Nichtverbreitungsvertrag, Non-Proliferation Treaty (NPT), bezeichnet. Die deutsche Bezeichnung signalisiert das Unbehagen, mit dem frühere Bundesregierungen Aushandlung, Abschluss, Unterzeichnung und Ratifizierung dieses Vertrages begleitet haben.

Zentrale Elemente des zivilen atomaren Brennstoffkreislaufs konfrontieren die Menschheit mit Sicherheitsrisiken, die für die Nukleartechnik charakteristisch sind. Die Anreicherungstechnologie zum Beispiel kann dazu genutzt werden, um den Brennstoff für Atomreaktoren zu gewinnen, aber auch dafür, um das Material herzustellen, aus dem Atomwaffen gebaut werden können. Der Unterschied ist eher gradueller denn grundsätzlicher Natur. Etliche Reaktortypen erlauben sowohl die Gewinnung nuklearwaffenfähigen Plutoniums als auch die Produktion von Strom. In Wiederaufbereitungsanlagen kann Waffenplutonium ebenso abgetrennt werden wie nicht ganz so waffentaugliches Reaktorplutonium. Atomare Technologien, das entsprechende Wissen und nukleares Material können weitergegeben werden. Nuklearexperten können reisen oder auswandern. Schon die Existenz einer breiten Palette spezifischer Exportkontrollen, von Verlässlichkeitstests für Mitarbeiter und einer gesonderten nuklearen Nichtverbreitungspolitik zeigen, dass die Gefahr der nuklearen Proliferation, also der Weiterverbreitung von Nuklearwaffen, ernst zu nehmen ist.

Im Folgenden soll – ohne zu sehr in technische Details und Einzelheiten zu gehen – verdeutlicht werden, wie eng die zivilen und militärischen Nutzungsmöglichkeiten der Kerntechnik und ihre Risiken miteinander verwandt und verwoben sind. Sie ähneln siamesischen Zwillingen. Daraus resultiert das Risiko der Weiterverbreitung der militärischen Nutzung der Kerntechnik. Letztlich erlaubt wohl nur der Verzicht auf beide Nutzungen der Kerntechnik – eine doppelte Null-Lösung[3] – die Umsetzung der Vision einer atomwaffenfreien Welt, weil nur unter dieser Voraussetzung gewährleistet, kontrolliert und überprüft werden kann, dass keine militärische Nutzung der Kerntechnik mehr stattfindet.

1 Nichtverbreitungsbemühungen – Ein Blick zurück

Während des Ost-West-Konflikts richteten sich die Proliferationsbefürchtungen vor allem auf Staaten, von denen man annahm, dass sie ein Interesse an Material, Technologie oder Wissen für Nuklearwaffen hatten. In den 1960er und den frühen 1970er Jahren gehörten dazu zum Beispiel die Bundesrepublik Deutschland, Indien, Israel, Japan, die Schweiz und Schweden. Mitte der 1970er und Anfang der 1980er Jahre zählten Argentinien, Brasilien, Ägypten, Indien, der Irak, Pakistan, Südkorea, Taiwan und Südafrika zu der Staatengruppe, deren nuklearen Ambitionen misstraut wurde. Seit Beginn der 1990er Jahre waren es vor allem der Irak, Iran, Pakistan und Nordkorea. Beinahe alle Nichtkernwaffenstaaten, die eine umfassende nukleare Forschung oder Atomenergieprogramme

3 Als doppelte Null-Lösung bezeichnete man den INF-Vertrag aus dem Jahr 1987. Dieser erste nukleare Abrüstungsvertrag eliminierte zwei Klassen nuklearer Trägersysteme aus den Beständen der NATO und der Warschauer Vertragsorganisation: Mittelstreckenwaffen großer und kurzer Reichweite. Seither dürfen die Vertragsstaaten, Russland und die USA, keine landgestützten Trägersysteme mit Reichweiten von 500 bis 5.500 Kilometern mehr besitzen.

betreiben, sind bereits zu einem frühen Zeitpunkt während des Aufbaus ihrer Nuklearprogramme skeptisch beäugt und mit Blick auf ihre nuklearen Absichten durchleuchtet worden.

Dennoch blieb bis zum Ende des Ost-West-Konflikts die Zahl der Länder, die tatsächlich über Atomwaffen verfügten, bemerkenswert klein. Dies ist vor allem dem Vertrag über die Nichtverbreitung von Nuklearwaffen (NVV) zu verdanken. Weitere Beiträge leisteten die Bemühungen der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEO), zu deren Aufgabe die Überprüfung ziviler Atomanlagen gehört. Hinzu kommen multilaterale oder nationale Technologie- und Exportkontrollregime, die freiwillige Selbstbeschränkung von Nichtkernwaffenstaaten, Sicherheitsgarantien der Atommächte und – wenn die Gefahr einer militärischen Nutzung der Nukleartechnik als besonders ernst angesehen wurde – diplomatischer Druck sowie Zwangsmaßnahmen der internationalen Gemeinschaft.

Zu den fünf nuklearen Mitgliedern des Atomwaffensperrvertrages kamen nach der Unterzeichnung des Vertrages und während des Kalten Krieges lediglich noch Israel, Indien und Südafrika hinzu. Bei Indien und Israel waren sich die USA schon während der Aushandlung des Vertrags recht sicher, beide Staaten nicht von der Entwicklung der Atomwaffe abhalten zu können. Dies sollte sich schon wenige Jahre später als richtig erweisen. Der Apartheidstaat Südafrika war somit das einzige Land, dem es während dieser Zeit mehr oder minder überraschend gelang, trotz des bestehenden Nichtverbreitungsregimes Nuklearwaffen zu bauen. Erst nach dem Ende des Kalten Krieges gelang dies auch Pakistan und – nach eigenen Angaben – mit Nordkorea erstmals einem Staat, der zuvor nichtnukleares Mitglied des NVV-Regimes war.

Anfang der 1990er Jahre gab es – ausgelöst durch das Ende des Kalten Krieges – für kurze Zeit sogar eine gewisse Hoffnung, dass nukleare Abrüstung und verstärkte Nichtverbreitungsbemühungen die Welt von der Gefahr atomarer Vernichtung vielleicht doch noch befreien könnten. Die USA und Russland einigten sich in rascher Folge auf vertraglich vereinbarte Reduzierungen ihrer Atomwaffen großer Reichweite (START-Verträge) und mit den Presidential Nuclear Initiatives auch auf wechselseitig, einseitige Reduzierungen ihrer taktischen Atomwaffen. Südafrika gab mit dem Ende der Apartheid sein nukleares Arsenal auf. Weißrussland, Kasachstan und die Ukraine willigten – wenn auch unter Druck – ein, ihre von der Sowjetunion geerbten Atomwaffen abzugeben und dem Atomwaffensperrvertrag als nicht-nukleare Mitglieder beizutreten. Mit Brasilien und Argentinien traten dem Vertrag zwei Staaten als nicht-nukleare Mitglieder bei, denen lange die Befürchtung gegolten hatte, sie verfolgten militärisch-nukleare Ambitionen. Im Jahr 1995 gelang es, eine zeitlich unbegrenzte und nicht an Bedingungen geknüpfte Verlängerung des zunächst nur auf 25 Jahre Gültigkeit ausgelegten Atomwaffensperrvertrages zu vereinbaren.

Inzwischen hat sich die Lage erneut deutlich verändert. Die Proliferation wird von vielen Regierungen wieder als eines der größten Risiken für die internationale Sicherheit betrachtet. Dazu haben unterschiedlichste Faktoren beigetragen. Die Atomwaffenstaaten haben ihre nuklearen Waffenarsenale nicht mehr so

schnell reduziert, wie es viele atomwaffenfreie Staaten erhofften und nach dem Ende des Ost-West-Konflikts auch erwarteten. Die Atommächte sprechen wieder häufiger von der Notwendigkeit, ihre nuklearen Arsenale zu modernisieren, und signalisieren damit, dass sie noch auf Jahrzehnte an ihren Atomwaffen festhalten wollen. Die Auflösung der Sowjetunion und die darauffolgende Schwäche Russlands riefen neue, ernsthafte Sorgen ins Bewusstsein: Würden die jungen und krisengeschüttelten Nachfolgestaaten der Sowjetunion die Fähigkeit besitzen, die Atomwaffen, das Nuklearmaterial, die Technologie und das Expertenwissen auf ihrem Territorium ausreichend zu sichern? Nach dem Golfkrieg 1991 deckten darüber hinaus internationale Inspektoren ein geheimes irakisches Atomwaffenprogramm auf. Im Jahr 1998 musste Pakistan – wie bereits seit geraumer Zeit erwartet – auf die Liste der Atommächte gesetzt werden, weil es erstmals erfolgreich Atomwaffen getestet hatte. Schließlich trat Nordkorea nach einer langen Hängepartie als erster Staat 2003 aus dem Nichtverbreitungsvertrag aus und erklärte, es verfüge über Atomwaffen.

Seit dem 11. September 2001 ist die öffentliche Aufmerksamkeit für die Risiken der Proliferation erneut gewachsen. Die von den Terroranschlägen getroffenen USA fügten ihrer sicherheitspolitischen Bedrohungsanalyse an prominenter Stelle eine neue Gruppe von Akteuren und potenziellen Nutznießern der Proliferation hinzu: transnationale nichtstaatliche Akteure wie z.B. Terroristen, organisierte Kriminalität, religiöse Extremisten oder transnationale Konzerne. Während etliche Fachleute diese Akteure schon seit vielen Jahrzehnten auf ihrem Radarschirm hatten, machten sich Politik und breite Öffentlichkeit erst nach den Terrorattacken von New York und Washington erkennbar Sorgen. Was wäre, wenn Terroristen bei künftigen Terrorattacken eine atomare Waffe oder auch nur eine «schmutzige Bombe» aus radioaktivem Material und herkömmlichen Sprengstoffen einsetzen würden?

Tatsächlich war und ist ein großer Teil der neuen Aufmerksamkeit auf Politiker, Think Tanks und Industrie in den Vereinigten Staaten und anderswo zurückzuführen. Diese Akteure versuchten äußerst erfolgreich, aus der Bedrohung durch den Terrorismus – speziell den Terrorismus mit Massenvernichtungswaffen – Verkaufsargumente für ihre eigenen Produkte, Dienstleistungen und Interessen zu machen und sich den Zugriff auf entsprechende finanzielle Ressourcen zu sichern. In der Regierung George W. Bushs fanden sie nur allzu bereite und breite Unterstützung.[4] Soviel ist trotzdem richtig: Transnationale nichtstaatliche Akteure wie Terroristen könnten in der Tat versucht sein, sich Zugang zu nuklearem Material, zu Technologien und entsprechendem Know-how zu verschaffen. Falls diese Gruppen tatsächlich planen würden,

4 Auch unter Barack Obama, der die Verhinderung des Nuklearterrorismus mittlerweile mit dem Nuclear Posture Review 2010 im April zu einer Priorität seiner Politik erhob, zeigen sich solche strukturellen Muster weiterhin bis in die Welt akademischer Studien. Vgl.: http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/al-qaeda-wmd-threat.pdf und als Kritik dazu: http://sitrep.globalsecurity.org/articles/100126542-the-busted-watch-of-us-wmd-thr.htm .

schmutzige, primitive oder sogar hochwertige Atomsprengkörper zu bauen, zu stehlen oder zu erwerben, so würde schon allein die Möglichkeit, dass sie Erfolg haben könnten, ein gravierendes Problem darstellen.

Da die Proliferation wieder an die Spitze der Agenda internationaler Sicherheitspolitik zurückgekehrt ist, gewinnen auch Risiken wieder zusätzlich an Aufmerksamkeit, die aus zivilen und militärischen Nuklearprogrammen erwachsen. Die aktuelle Diskussion über das iranische Nuklearprogramm ist ein gutes Beispiel: Man misstraut dem Iran nicht nur, weil er Teile seiner Nukleartechnologie geheim eingeführt und einige seiner Verpflichtungen als nichtnukleares Mitglied des Atomwaffensperrvertrages, das den Kontrollen der IAEO unterliegt, verletzt hat, sondern auch aufgrund der Erfahrungen mit dem Irak und mit Nordkorea. Das irakische Beispiel hatte deutlich gemacht, dass ein Land sein militärisches Atomprogramm unter dem Deckmantel eines zivilen vorantreiben und vor den Kontrollen durch die IAEO verbergen konnte. Auch Nordkorea war über ein zunächst «ziviles» Nuklearprogramm zu einem militärischen vorgedrungen. Obwohl man Nordkorea früh verdächtigt hatte und später auch scharfe Sanktionen gegen das Land verhängte, kam es nahe genug an die Möglichkeit der Entwicklung funktionierender Atomwaffen heran, um den Austritt aus dem Sperrvertrag zu riskieren und vorzugeben, man besitze nun Atomwaffen. Wiederum einige Jahre demonstrierte Nordkorea seine Bereitschaft, erste Versuche mit nuklearen Sprengladungen zu unternehmen.[5] In der Konsequenz wird heute oft argumentiert, es gelte zu verhindern, dass der Iran ein «zweites Nordkorea» werde. Selbst wenn das iranische Atomprogramm und die Absichten des Landes rein ziviler Natur wären, wie Teheran es behauptet, müsse man dem Iran aufgrund der mit Nordkorea gemachten Erfahrungen misstrauen.

Mittlerweile werden alle neuen zivilen Atomprogramme, die über den Betrieb von importierten Leichtwasserreaktoren hinausgehen und auf die Beherrschung größerer Teile des Brennstoffkreislaufs zielen, mit sehr viel größerer Skepsis betrachtet als in der Vergangenheit. Der Iran ist das erste Land, das sich mit dem neuen Klima in der Nichtverbreitungspolitik konfrontiert sieht. Er könnte zum Präzedenzfall für den künftigen Umgang mit Staaten werden, die umfassend in die Nutzung der Nukleartechnik einsteigen wollen.

2 Zivile Atomanlagen – ein kurzer Überblick

Nach Angaben der IAEO betrieben 2009 32 der 193 Länder auf der Erde insgesamt 438 kommerzielle atomare Reaktorblöcke zur Stromerzeugung. Im Bau befanden sich im vergangenen Jahr 54 weitere Anlagen. Fünf Reaktorblöcke

5 Die meisten Experten werten die nordkoreanischen Testexplosionen bislang nicht als gelungene Nuklearwaffentests.

waren zu Überholungszwecken abgeschaltet.[6] Die im Betrieb befindlichen Reaktoren stellten weniger als fünf Prozent des gesamten Weltenergieverbrauchs zur Verfügung, produzierten aber 2007 immer noch etwa 14 Prozent der weltweit verfügbaren Elektrizität.[7] Die große Mehrheit aller kommerziellen Atomreaktoren wird von Ländern in der industrialisierten Welt betrieben. Die USA nutzten 2008 104 Reaktoren, Frankreich 59, Japan 55, Russland 31 und Großbritannien 19. Deutschland hat 17 Reaktoren, Kanada 18 und die Ukraine 15. Südkorea hat 20 Atomkraftwerke, Indien 17 und China 11. Taiwan betreibt sechs, Argentinien, Mexiko, Pakistan und Südafrika betreiben je zwei Anlagen.[8] Neue Reaktorblöcke bauen vor allem China (21), Russland (9), Indien (6) und Südkorea (6).[9] Der Iran steht vor der Fertigstellung seines ersten Reaktors in Bushehr und plant weitere. Die Mehrzahl der Reaktoren sind Druckwasserreaktoren (264). Hinzu kommen Schwerwasserreaktoren (44), Siedewasserreaktoren (94), leichtwassergekühlte graphitmoderierte Reaktoren (16) und gasgekühlte graphitmoderierte Reaktoren (18). Die überwiegende Mehrheit der Atomkraftwerke nutzt niedrig angereichertes Uran («Lowly Enriched Uranium», LEU), das zwei bis fünf Prozent U-235 enthält. Einige Anlagen, wie z.B. etliche Schwerwasserreaktoren, können mit Natururan betrieben werden. Bis heute gibt es nur zwei Schnelle Brüter.[10]

Die meisten Länder, die Atomkraftwerke betreiben, verfügen nicht über einen vollständigen, geschlossenen Brennstoffkreislauf, sondern entweder ausschließlich über Reaktoren oder aber zusätzlich über einzelne Anlagen eines Brennstoffkreislaufs. Es handelt sich also um offene Brennstoffkreisläufe.[11] Geschlossene

---

6 IAEA: Nuclear Power Reactors in the World, Reference Data Series No 2, 2009 Edition, Vienna, 2009, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/RDS2-29_web.pdf und: http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html
Die IAEO hat neben der Aufgabe, die nukleare Nichtverbreitung im militärischen Bereich zu überwachen, auch den Auftrag, die zivile Nutzung der Nukleartechnik zu fördern und zu unterstützen. Eine grundsätzlich kritische Auseinandersetzung mit der zivilen Nutzung ist ihr deshalb nicht möglich. Die Daten, die sie bereitstellt, sind aufgrund ihrer Aufgabenstellung gelegentlich möglicherweise ebenfalls «positiv eingefärbt». Deutlich wird das z.B., wenn die pessimistischsten Prognosen der IAEO über die künftige Nutzung der Atomenergie immer wieder einmal höher ausfallen als die optimistischen der Internationalen Energie-Agentur oder des US-Energieministeriums. Die IAEO-Daten stehen jedoch regelmäßig und damit vergleichbar zur Verfügung und beruhen auf den Informationen der Mitgliedstaaten sowie den Erkenntnissen der IAEO aus der weltweiten Überwachung nuklearer Anlagen. Ein vergleichbar großer und hochwertiger Datenpool steht anderweitig nicht öffentlich zur Verfügung.

7 http://www.iaea.org/NewsCenter/News/2008/np2008.html 2004 waren es noch 16%.

8 IAEA: a.a.O, S.10f.

9 IAEA, a.a.O. aktualisiert durch: http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.opercap.htm

10 IAEA, a.a.O, S.61

11 Ein geschlossener Brennstoffkreislauf ist ein Zyklus, in dem Reaktorbrennstoff aus Natururan hergestellt werden kann, in einen Reaktor eingespeist, dann abgebrannt und danach wieder aufbereitet und zu neuem Brennstoff aufbereitet wird. Ein offener Brennstoffkreislauf liegt vor, wenn der Brennstoff den Reaktor nur einmal durchläuft. Die abgebrannten Brennelemente werden danach nicht wiederaufbereitet, sondern gelagert.

Brennstoffkreisläufe betreiben insbesondere jene Länder, die ein Atomwaffenprogramm haben oder hatten oder aber über die Fähigkeit verfügen, ein solches Programm aufzubauen. Der größte Atomwaffenstaat, die USA, verfügt über einen offenen zivilen Brennstoffkreislauf, da Washington sich 1980 entschloss, auf die Wiederaufbereitung abgebrannter ziviler Brennelemente aus Kernreaktoren zu verzichten.

Das Uran[12], das in den Reaktoren als Brennstoff genutzt wird, kommt hauptsächlich aus zwei Quellen. Fast zwei Drittel stammen aus Uranminen, die es in 19 Ländern gibt und die zwischen 40.000 und 50.000 Tonnen Natururan pro Jahr fördern. Die größten Lieferländer sind Kanada, Australien und Kasachstan. Zusammen lieferten sie 2007 knapp 60 Prozent des neu geförderten Urans. Weitere große Lieferanten sind Niger, Russland, Namibia und Usbekistan.[13] Auch der Iran fördert seit einigen Jahren Uran für den Eigenbedarf. Während 2003 noch 46 Prozent der weltweiten Uranversorgung für zivile Nuklearreaktoren aus sekundären Quellen wie der Wiederanreicherung abgereicherten Urans, der Wiederaufbereitung von Brennstäben und der Abreicherung hoch angereicherten Urans («Highly Enriched Uranium», HEU) aus ehemaligen Militärbeständen kamen, sind es heute nur noch etwas mehr als 30 Prozent.[14] Wie hoch der Anteil sekundärer Bezugsquellen künftig sein wird, ist unklar. Er hängt z.B. davon ab, ob Nuklearwaffenstaaten künftig erneut HEU aus dem militärischen Bereich zur Abreicherung durch «Downblending»[15] bereitstellen oder ob die weltweiten Wiederaufbereitungskapazitäten deutlich erhöht werden.

Die IAEO und die OECD erwarten, dass der Bedarf an Uran durch bekannte Lagerstätten bei heutiger Verbrauchsrate noch 83 Jahre gedeckt werden kann, bei steigendem Verbrauch entsprechend kürzer.[16] Die OECD, die einen Anstieg des Bedarfs an neu gefördertem Uran ab 2020 erwartet, listete insgesamt 43 Länder

---

12 Eine Vielzahl nützlicher Informationen zu Uran, dem Brennstoffkreislauf und uranverarbeitenden Anlagen auf der ganzen Welt findet sich auf der Webseite des Uranium-Projects von WISE. Vgl.: www.wise-uranium.org .

13 http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/fuelcycle.pdf
Die Daten fußen auf dem sogenannten «Red Book», dass IAEO und OECD alle zwei Jahre publizieren. Der o.g. Quelle liegt die Ausgabe des Jahres 2008 zugrunde, weil die Ausgabe des Jahres 2010 noch nicht erschienen ist. Daten des «Red Books» sind zudem in einer guten, regelmäßig aktualisierten Visualisierung online verfügbar unter: http://www.wise-uranium.org/umaps.html .

14 Ebd.

15 Beim «Downblending» wird – vereinfacht gesagt – hochangereichertes Uran solange mit anderem Uran vermischt, bis es nur noch leicht angereichert ist.

16 In ihrer optimistischsten Prognose ging die IAEO vor der Finanzkrise 2008 davon aus, dass sich die Elektrizitätserzeugung durch Kernreaktoren von 372 GW(e) im Jahr 2008 bis 2030 auf 748 GW(e) verdoppeln könnte. Mit einem massiven Zubau neuer Reaktoren wird gerechnet. In solch optimistischen Szenarien für die Zukunft der Atomenergie spiegelt sich die für die Atomenergienutzung werbende Zweitrolle der IAEO ebenso wie in optimistischer werdenden Aussagen über die wirtschaftlich abbaubaren Uranreserven und damit über die Verfügbarkeitsperspektiven des Kernbrennstoffs.

auf, die über verwertbare Uranressourcen verfügen. Beide Organisationen gehen davon aus, dass die Nutzung der Atomenergie deutlich zunimmt.

Um Uran anzureichern, können verschiedene Technologien genutzt werden. Am weitesten verbreitet ist die Anreicherung mit Hilfe von Gaszentrifugen. Genutzt werden aber auch Gasdiffusion, die elektromagnetische Separation von Isotopen und das sogenannte Becker-Verfahren. Die fünf traditionellen Atommächte betreiben Anreicherungsanlagen für zivile Zwecke und haben solche Anlagen auch für militärische Zwecke betrieben.[17] Auch Pakistan betreibt die Anreicherung zu militärischen und zivilen Zwecken.[18] Deutschland, die Niederlande, Japan und Südafrika betreiben kommerzielle Anreicherungsanlagen für zivile Zwecke. Laborforschung sowie Versuchs- oder kleinere Anlagen gibt es unter anderem in Australien und Südkorea. Der Iran ist dabei, sich eine Anreicherungskapazität aufzubauen, die aus mehreren Anlagen besteht und unter dem Verdacht steht, künftig auch einem militärischen Nuklearprogramm dienen zu sollen.[19] Nordkorea steht im Verdacht, ein unerklärtes militärisches Anreicherungsprogramm zu haben. Brasilien nahm im Mai 2006 erste Zentrifugen einer kleineren kommerziellen Urananreicherungsanlage in Betrieb, die so konfiguriert ist, dass dort Uran bis zu 5% angereichert werden kann; sie ließe sich aber auch so umrüsten, dass dort hoch angereichertes Uran hergestellt werden könnte. Mit der IAEO, die die Anlage überwacht, gab es Konflikte darüber, wie weitgehend Brasilien der Behörde Zugang zur Technik der verwendeten Zentrifugen gewähren muss.[20] Seit 2009 ist die Anlage im Probebetrieb.

Brennstäbe, die in Reaktoren genutzt wurden, können entweder langfristig eingelagert[21] oder in kommerziell betriebenen Anlagen in Großbritannien, Frankreich und Russland wiederaufbereitet werden. Japan ist seit 2008 der

17 China, Frankreich, Großbritannien, Russland und die USA reichern nicht länger für militärische Zwecke an.

18 Indien und Israel hatten Versuchsprogramme zur Anreicherung aufgelegt; ihre Nuklearwaffen entstanden jedoch auf Plutoniumbasis.

19 Der Iran baute zunächst eine Versuchsanlage, in der mittlerweise drei unterschiedliche Zentrifugentypen erprobt wurden. Eine größere Anreicherungsanlage in der bis zu 50.000 Zentrifugen zum Einsatz kommen sollen, befindet sich im Bau. Dort wird mit einigen Tausend Zentrifugen bereits Uran auf weniger als 5% angereichert. Künftig soll dort auch auf 20% angereichert werden, um einen iranischen Forschungsreaktor mit Brennstoff versorgen zu können. Zudem hat der Iran den Bau von bis zu zehn weiteren, kleineren Anlagen angekündigt, von denen eine im Bau ist. Unklar ist angesichts des heftigen Streits um das iranische Nuklearprogramm, ob der wirtschaftlich wie technisch eigentlich nicht sinnvolle Bau einer Vielzahl von kleineren Anlagen erfolgt, weil Teheran eine Zerstörung seiner Nuklearanlagen durch Luftangriffe erschweren will.

20 Brasilien befürchtet angeblich Technologiespionage, da es Zentrifugen entwickelt haben will, die Uran erheblich effizienter und kostengünstiger anreichern können. Es argumentiert, die IAEO könne ihre Kontrollaufgaben auch ausüben, ohne alle technischen Details der Zentrifugentechnik zu kennen. Vgl.: http://www.giga-hamburg.de/dl/download.php?d=/content/publikationen/pdf/gf_lateinamerika_0606.pdf. Zur aktuellen Situation vgl.: http://www.swp-berlin.org/common/get_document.php?asset_id=6948

21 Der Brennstoffkreislauf bleibt dann offen und das Vorgehen wird «once through» genannt.

erste Nichtatomwaffenstaat, der eine kommerzielle Wiederaufbereitungsanlage betreibt.[22]

Wiederaufbereitungsanlagen nutzen eine moderne Version des PUREX-Verfahrens, mittels dessen u.a. das Uran aus den Brennelementen zur Wiederverwendung recycelt und das entstandene Reaktorplutonium abgetrennt wird. Militärische Wiederaufbereitungsanlagen, die Plutonium für Nuklearwaffen abtrennen, gibt es nicht nur in den fünf anerkannten Nuklearwaffenstaaten, sondern auch in Israel, Indien, Pakistan und Nordkorea.

Einige Länder, z.B. Deutschland, Belgien, die Schweiz und die Niederlande, die zivile Atomkraftwerke betreiben, schicken ihre abgebrannten Brennstäbe zur Wiederaufbereitung ins Ausland. Das Reaktorplutonium, das dort abgetrennt wird, wird danach entweder zurückgeschickt, treuhänderisch zwischengelagert oder in anderen Anlagen zur Herstellung von Mischoxid-Brennelementen (MOX) verwendet. Abgetrenntes Reaktorplutonium wird von einer Reihe entwickelter Länder entweder auf dem eigenem Staatsgebiet oder in den Ländern gelagert, die für sie gebrauchte Brennelemente wiederaufbereiten.[23] Die Lager in Nichtatomwaffenstaaten unterliegen der Kontrolle (den «safeguards») der IAEO.[24] Das gilt auch für Anlagen zur MOX-Produktion. Atomanlagen in den Atomwaffenstaaten unterliegen nur dann internationaler Überwachung, wenn das betroffene Land ausdrücklich zustimmt.

Die meisten sich entwickelnden Länder, die Atomkraftwerke betreiben, nehmen keine Wiederaufbereitung vor. Stattdessen werden die Brennstäbe eingelagert oder in die Lieferländer zurückgeschickt. Abgebrannte Brennstäbe enthalten den Großteil des Reaktorplutoniums, das derzeit weltweit vorhanden ist. Ohne eine Entscheidung darüber, was letztlich mit diesem hoch radioaktiven und gefährlichen Abfallmaterial geschehen soll, ist es schwer, konkret zu beurteilen, ob daraus längerfristig neuartige Proliferationsrisiken entstehen.

Belgien, Frankreich, Großbritannien, Indien und Japan produzieren kommerziell MOX-Brennstoff. Einerseits erlaubt die Nutzung von MOX eine Begrenzung der Bestände an separiertem Reaktorplutonium; andererseits gelangt aber so zusätzliches Plutonium in den Brennstoffkreislauf. Zu diesen Ländern zählen

22 Vgl. http://www.sckcen.be
Die Wiederaufbereitungsanlage in Rokasho-Mura kann 800 Tonnen Brennstoff jährlich aufbereiten. Um dem Proliferationsrisiko entgegenzuwirken, wird das separierte Plutonium vor Ort in Mischoxid (MOX) umgewandelt.

23 Da die vorhandenen Wiederaufbereitungsanlagen nur rund ein Drittel der jährlich anfallenden abgebrannten Brennelemente verarbeiten und die verfügbaren MOX-Anlagen eine noch geringere Kapazität haben, liegt die überwiegende Menge des Reaktorplutoniums in Form zwischengelagerter Brennelemente vor. Diese Menge wächst weiter an, ebenso die Menge an abgetrenntem, gelagertem Reaktorplutonium.

24 In den Mitgliedstaaten von EURATOM führt EURATOM und nicht die IAEO die Safeguard-Maßnahmen in zivilen Nuklearanlagen durch. Diese Länder kontrollieren sich somit in multilateraler Zusammenarbeit selbst.

Belgien, Deutschland[25], Schweden und die Schweiz. Aus China sind entsprechende Überlegungen bekannt. Japan und Russland beabsichtigen, Schnelle Brüter mit MOX zu betreiben. Deutschland plante einst eine MOX-Produktion im großen Ausmaß, hat aber mittlerweile sowohl die Pilotanlagen als auch die kommerzielle Anlage zur MOX-Produktion abgebaut. Russland und die USA steigen in die Herstellung von MOX ein, um ihre Bestände an Waffenplutonium zu reduzieren.

HEU-Brennstoff wurde im Jahr 2004 noch in etwa 130 Forschungsreaktoren genutzt. Bis 2010 blieb die Zahl in etwa gleich.[26] Darunter befindet sich als einziger deutscher Forschungsreaktor Garching II[27], der derzeit mit zu 93% angereichertem Uran betrieben wird. Die Verwendung von HEU-Brennstoffen in solchen Reaktoren ruft schon lange Sicherheits- und Proliferationsbefürchtungen hervor, weil HEU bei vergleichsweise geringem Risiko relativ leicht zu handhaben ist und viele Forschungsreaktoren keine elaborierten Sicherheitssysteme haben. Erhebliche Mengen gebrauchten HEU-Brennstoffs lagern zudem noch immer in oder bei stillgelegten Forschungsreaktoren. Mehr als die Hälfte der bis 2004 außer Dienst gestellten etwa 380 Reaktoren wurden bis zu diesem Zeitpunkt nicht vollständig rückgebaut.[28]

Die proliferationsträchtigsten Elemente des zivilen Brennstoffkreislaufs sind:

- Technologien und Anlagen zur Anreicherung von Uran;

---

25 Voraussetzung für diesen Pu-»Entsorgungsweg» ist die Existenz von in Betrieb befindlichen MOX-geeigneten Leichtwasserreaktoren oder Schnellen Brütern. Die Restlaufzeit der deutschen MOX-zugelassenen Reaktoren wird wohl nicht ausreichen, um das bereits vorhandene Reaktor-Plutonium bis zum politisch vereinbarten Atomausstieg vollständig aufzubrauchen, sodass zusätzlich nach Endlagerungsmöglichkeiten und -Technologien gesucht werden muss.

26 Vgl. http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/ResearchReactors/security20040308.html
Aktuelle Daten zum Status jedes einzelnen Forschungsreaktors bietet die IAEO hier an: http://www.iaea.org/worldatom/rrdb/
Für 2010 scheint eine ähnliche Zahl (etwa 130) in Betrieb gewesen zu sein. Vgl. die Diskussion der Zahlen in: Matthew Bunn: Managing the Atom 2010, Harvard University/Nuclear Threat Initiative, April 2010, S. 43f. Vgl. http://www.nti.org/e_research/Securing_The_Bomb_2010.pdf

27 Der Reaktor Garching II wird seit 2004 – gegen die dringende Bitte der USA – mit bis zu 93% abgereichertem Uran, das aus Russland importiert wurde, betrieben. Während des Jahres 2010 sollte er – wenn technisch möglich – umgerüstet werden. Da bislang kein alternativer Brennstoff zur Verfügung steht, der den Betrieb einer vergleichbar starken Neutronenquelle ermöglicht, wird der Reaktor auch weiterhin mit HEU betrieben. An Uranmolybdän-Brennstoffen mit einem niedrigeren Anreicherungsgrad (bis zu 60%) wird weiter geforscht. Nunmehr wird angenommen, dass diese ggf. gegen Ende dieses Jahrzehnts erstmals zum Einsatz kommen könnten.

28 Vgl. http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/ResearchReactors/security20040308.html
Aktuelle Daten zum Status jedes einzelnen Forschungsreaktors bietet die IAEO hier an: http://www.iaea.org/worldatom/rrdb/

- HEU-Brennstoff für Forschungs- und Schiffsreaktoren;
- Forschungsreaktoren und Atomkraftwerke, die Plutonium herstellen können;
- Wiederaufbereitungsanlagen, die die Separierung von Plutonium möglich machen, sowie die Technologie, die in solchen Anlagen eingesetzt wird;
- Lager für separiertes militärisches Plutonium und Reaktorplutonium sowie für hoch angereichertes Uran;
- Forschungs- und Produktionsanlagen für die Herstellung anderer, für Nuklearwaffen geeigneter Materialien wie Tritium oder Polonium-210.

3 Staaten als Proliferationsrisiko

Die Proliferationsrisiken ziviler nuklearer Brennstoffkreisläufe kann man in zwei Gruppen unterteilen. Zur ersten gehören Risiken, die aus einem Kontrollverlust innerhalb eines zivilen Atomprogramms resultieren. Nuklearmaterial, Technologie oder Know-how kann gestohlen und ins Ausland transferiert werden, um ein Atomwaffenprogramm in einem anderen Land zu unterstützen. Abdul Q. Khans Diebstahl der Zentrifugentechnologie zur Urananreicherung im Jahr 1974 bei URENCO (Uranium Enrichment Company) in den Niederlanden ist das bekannteste Beispiel. Die späteren Aktivitäten seines Netzwerks, das den Iran, Libyen und Nordkorea mit nuklearem Wissen sowie mit Technologie und Ausrüstung versorgte, zeigen darüber hinaus, dass ein Empfänger von Proliferation selbst zum Proliferator werden kann.[29] Zudem: Nicht nur Nuklearmaterial, Technologie und Know-how kann «auswandern», sondern auch gut ausgebildetes Fachpersonal (Stichwort: «brain drain»). Die unterschiedlichen Proliferationsrisiken können einzeln, aber auch kombiniert auftreten.

Die zweite Form der Proliferationsrisiken fußt auf denselben Bestandteilen: Nuklearmaterial, Nukleartechnologie, Know-how und Spezialisten. Ein vorhandenes ziviles Atomprogramm kann genutzt werden, um zusätzlich ein Atomwaffenprogramm aufzubauen. Ein Staat verfolgt in diesem Fall die militärische Nuklearoption und nutzt vorrangig seine nationalen Versorgungsquellen. Nur Ressourcen, die im eigenen Land nicht vorhanden sind und auch nicht hergestellt werden können, werden importiert.

Um die Fähigkeit zu entwickeln, Atomwaffen zu bauen, können Interessierte zwei Wege gehen. Sie können entweder versuchen, eine auf Uran oder eine auf Plutonium basierende Waffe zu bauen. In beiden Fällen brauchen sie signifikante Mengen spaltbaren Materials. Die IAEO nimmt an, dass man 25 kg hochangereicherten Urans (HEU, das 90 Prozent oder mehr U-235 enthält) oder acht kg

29 Vgl. Egmont R. Koch: *Atombomben für Al Qaida*, Berlin 2005.

Plutonium-239 als Minimum braucht, um eine einfache, aber funktionierende Atomwaffe zu bauen.[30]

Länder, die beide Arten von Nuklearwaffen gebaut haben, sind die USA, die UdSSR, Großbritannien, Frankreich, China und Pakistan. Israel, Indien und möglicherweise Nordkorea haben auf dem Plutoniumpfad ihre ersten Atomwaffen gebaut. Das einzige Land, das ausschließlich und erfolgreich Uran nutzte, um seine erste Atomwaffe zu bauen, war Südafrika. Dem Iran wird vorgeworfen, es erneut versuchen zu wollen.

Plutonium ist ein Nebenprodukt, das bei der Bestrahlung von Uran in unterschiedlichen Reaktortypen entsteht. Abhängig vom Reaktortyp und der Zeit, die der Brennstoff dort bestrahlt wird, können unterschiedliche Mengen waffenfähigen Plutoniums (es enthält mehr als 95% der spaltbaren Isotope Pu 239 und Pu 241) und/oder Reaktorplutoniums (das «nur» rd. 67% dieser Isotope enthält) produziert werden. Im Prinzip können beide zum Waffenbau benutzt werden, das Reaktorplutonium aber «schlechter». Plutonium muss vom bestrahlten Reaktorbrennstoff in chemischen Wiederaufbereitungsanlagen abgetrennt werden, bevor es für den Bau einer Atombombe verwendet werden kann. HEU dagegen wird in Anreicherungsanlagen unterschiedlicher Technologie hergestellt. Die Zentrifugenanreicherung ist die heute am weitesten verbreitete Methode.

Die Programme zum Bau von Atomwaffen lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen gibt es Nuklearprogramme mit einem originär militärischen Zweck. So gelangten die USA, Großbritannien, die Sowjetunion und China zu ihren Atomwaffen. Zum anderen gibt es Programme, die als zivile Programme begonnen wurden und bei denen der militärische Aspekt entweder implizit von Anfang an mitverfolgt wurde oder, verborgen, später hinzukam. In der Frühphase ziviler Atomprogramme ist es oft schwer zu beurteilen, ob sie militärischen oder ausschließlich zivilen Zielen dienen. Zu den Ländern, die ihre Atomwaffenprogramme scheinbar zivil begannen, gehören Frankreich, Indien, Israel, Nordkorea und Südafrika.

Abhängig davon, auf welchem Pfad Länder die Fähigkeit zum Bau von Atomwaffen anstreben, werden sie ihren Bedarf für Anlagen des Brennstoffkreislaufs im eigenen Land definieren. Ein Land, das eine Uranwaffe bauen will, wird eine Anreicherungsanlage brauchen, nicht notwendigerweise eine Wiederaufbereitungsanlage mit der Möglichkeit, Plutonium abzutrennen. Es wird auch nicht unbedingt nach den Reaktortypen Ausschau halten, die wie Schwerwasserreak-

30 Alle Experten sind sich einig, dass diese Mengen zu hoch gegriffen sind, wenn ein Akteur Zugang zu moderner Technologie für den Bau eines hochentwickelten nuklearen Sprengkörpers hat. Bei Plutonium werden dann 4 kg für ausreichend gehalten. Mit dieser Menge rechnete auch das US-Außenministerium, als es anlässlich des Nuklearen Sicherheitsgipfels in Washington im April 2010 darüber berichtete, dass die USA und Russland ihre aus dem Jahr 2000 stammende Vereinbarung über die zukünftige nichtmilitärische Verwendung von je 34 Tonnen militärisch überflüssigen Waffenplutoniums durch ein neues Protokoll ergänzt haben. Die zusammen 68 Tonnen Plutonium seien ein Äquivalent für 17.000 Atomsprengköpfe, hieß es in der Pressemitteilung vom 13.4.2010. (Vgl. http://www.state.gov/r/pa/prs/ps/2010/04/140097.htm)

toren für die Produktion waffenfähigen Plutoniums besonders gut geeignet sind. Im Gegensatz dazu werden Länder, die eine Plutoniumwaffe bauen wollen, eher nach solchen Reaktoren und einer Wiederaufbereitungsmöglichkeit suchen, während sie nicht zwingend eine Anlage zur Anreicherung von Uran haben wollen, da sie Plutonium in geeigneten Reaktoren z.B. auch aus Natururan gewinnen können. Deshalb können Länder, die nur auf einem der beiden Wege die Nuklearwaffenfähigkeit herstellen wollen, sich auf einen offenen Brennstoffkreislauf beschränken, während Länder, die sich beide Optionen offen halten möchten, meist einen geschlossenen Brennstoffkreislauf bevorzugen. In der Vergangenheit haben etliche Länder versucht, sich beide Wege zu eröffnen oder offen zu halten.

Schon bald, nachdem die Vereinigten Staaten das Programm «Atome-für-den-Frieden» zur zivilen nuklearen Zusammenarbeit aufgelegt hatten, wurden Befürchtungen laut, die Nukleartechnologie könnte zu große Verbreitung finden und zu vielen Ländern die Möglichkeit geben, nach Atomwaffen zu streben. Im Jahr 1963 schätzte das U.S.-Verteidigungsministerium unter Robert McNamara, dass elf zusätzliche Staaten innerhalb eines Jahrzehnts an Atomwaffen gelangen würden und viele weitere nur wenig später. Als in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre der Nichtverbreitungsvertrag verhandelt wurde, war das Ziel, eine Welt mit 20 oder 30 Atommächten zu verhindern, ein ebenso gängiges Argument für die Notwendigkeit dieses Vertrages wie heute.

Angesichts der Vielzahl nationaler Atomprogramme mit ziviler, aber auch potenziell militärischer Zielsetzung erwies sich der Atomwaffensperrvertrag in Kombination mit den Kontrollen der IAEO, den Exportkontrollregimen der Nuclear Suppliers Group[31] und des Zangger-Ausschusses[32] sowie mit diplomatischem Druck und sicherheitspolitischen Garantien als überraschend wirksam. Neben den zum Zeitpunkt des Inkrafttretens des Atomwaffensperrvertrages bereits zum Bau atomarer Waffen entschlossenen Staaten, Israel und Indien, gelang es bis heute – wie schon gesagt – nur Südafrika[33], Pakistan und möglicherweise Nordkorea, funktionierende Atomwaffen zu bauen.

Die bisherigen nationalen und internationalen Bemühungen, weitere Staaten[34] vom Bau atomarer Waffen abzuhalten, machen deutlich, dass dies kein einfaches Unterfangen ist. Das Proliferationsrisiko konnte zwar eingedämmt, nicht aber beseitigt werden. Die Entdeckung des geheimen irakischen Nuklearprogramms und die Erfahrungen mit Nordkorea zeigen, dass ein verbessertes Kontrollregime für die Zukunft nötig wäre, wenn das Nichtverbreitungsregime

31 Die Gruppe der wichtigsten Lieferländer von Nuklearmaterial und -technik, zurzeit 45 Staaten.

32 Der Zangger-Ausschuss, der der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEO) in Wien zuarbeitet, stellt seit 1974 Listen von spaltbarem Material und nuklearrelevanten Gütern auf, deren Export Sicherungsmaßnahmen im Empfängerstaat voraussetzt.

33 Südafrika gab seine Nuklearwaffen wieder auf.

34 Über nationale Nuklearprogramme informieren: http://www.globalsecurity.org/wmd/world/index.html; http://www.nti.org/e_research/profiles/index.html

seine proliferationshemmende Wirkung behalten soll. Die Erfahrungen mit erfolgreichen und eingehegten militärischen Nuklearprogrammen zeigen:

- Erstens: Die wichtigsten Proliferationsrisiken liegen heute bei den Technologien zur Urananreicherung, Wiederaufbereitung und Plutoniumabtrennung, bei der Produktion von Plutonium sowie bei mit HEU betriebenen Reaktoren.
- Zweitens: Zivile Atomprogramme spielten bei der Proliferation sowohl als Deckmantel als auch zur Unterstützung militärischer Programme wiederholt eine Rolle. Sie machen es vor allem schwerer, die realen Absichten eines Landes zu beurteilen.
- Drittens: Die Sicherheits- und Exportkontrollen, die in den 1960er und 1970er Jahren entwickelt und in den 1990er Jahren begrenzt weiterentwickelt wurden, sind heute unzureichend, um den Übergang eines Landes von einem zivilen zu einem militärischen Atomprogramm gesichert zu verhindern.
- Viertens: Alle Länder, die Nuklearaktivitäten verfolgen, bilden mit der Zeit Personal aus und verfügen über technologische Fähigkeiten, die es ihnen erlauben, sich stärker auf einheimische Fertigkeiten und weniger auf Hilfe von außen zu stützen. Der technische Fortschritt trägt zu dieser Entwicklung ebenso bei, weil immer mehr Länder nuklearrelevante Ausrüstungen in einer Qualität herstellen können, zu der früher nur industrialisierte Nationen in der Lage waren.
- Fünftens: Das Konzept, die Proliferation von Nukleartechnologie für militärische Zwecke zu verhindern, aber gleichzeitig die Nutzung ziviler Atomenergie zu fördern, steckt in einer tiefen Krise.

4 Risiken durch nichtstaatliche Akteure

Nichtstaatliche Akteure galten schon in den späten 1960er Jahren als Proliferations- und Sicherheitsrisiko. Fachleute wussten, dass es möglich war, eine einfache Atombombe auf der Basis öffentlich zugänglicher Informationen zu bauen.[35] Im Jahr 1975 stellte eine CIA-Studie fest: «Die Möglichkeit, dass Terroristen in den Besitz von nuklearen Waffen kommen, stellt die schwerwiegendste Limitierung für politische Bemühungen dar, die Proliferation in den Griff zu bekommen. Dies ist der irritierendste und extremste Aspekt der Diversifikation nuklearer Akteure. Dieselbe wachsende Verfügbarkeit nuklearer Materialien und Technologie, die nukleare Sprengmittel für Entwicklungsländer zugänglich machte, wird sie früher oder später in die Reichweite terroristischer Gruppen bringen. [...] Weil Nuklearterroristen schon per definitionem außerhalb offizieller Regierungskanäle arbeiten, sind sie gegen internationale politische

35 University of California, Lawrence Radiation Laboratory: Summary Report of the Nth Country Experiment, UCLR 50249, Livermore, CA, March 1967 (ursprüngliche Klassifikation: SECRET, partially released under FOIA, 4.1.1995).

Kontrollen weitgehend immun. Die Sicherheitskontrollen der IAEO zum Beispiel beinhalten keinerlei Vorkehrungen dagegen, dass Terroristen Materialien aus einem Reaktorkomplex stehlen.»[36]

Mit der Auflösung der Sowjetunion wurde diese Sorge auch öffentlich lauter artikuliert. Angesichts einer riesigen nuklearen Infrastruktur wuchs die Befürchtung, dass daraus massive Proliferationsrisiken entstehen könnten. Während die autoritär regierte Sowjetunion ihr Nuklearmaterial, Know-how und die Techniker unter strengster Kontrolle hatte – geschlossene Städte, rigide Reisebeschränkungen und Überwachung durch Militär und KGB –, war es eher unwahrscheinlich, dass diese Maßnahmen auch nach dem Zerfall der Sowjetunion weiter wirksam bleiben würden bzw. von den Nachfolgestaaten der UdSSR aufrechterhalten werden könnten. Seit dem Jahr 1991 wurde deshalb den Gefahren, die aus der Möglichkeit erwachsen, dass Nuklearmaterial, Technologien oder gar ganze Sprengköpfe in die Hände von Terroristen oder der organisierten Kriminalität fallen könnten, erheblich größere Aufmerksamkeit gewidmet.[37]

4.1 Nuklearwaffen in terroristischen Händen

Rein theoretisch könnten auch Terroristen an eine Nuklearwaffe gelangen. Sie müssten diese entweder bauen, kaufen, stehlen oder als Geschenk erhalten. Wäre es ihre Absicht, eine Waffe zu bauen, so müssten sie versuchen, die dazu erforderlichen Materialien herzustellen, zu kaufen oder zu stehlen.[38] Wenn sie die Materialien selbst herstellen wollten, stünden sie vor denselben Schwierigkeiten wie ein Staat, der versucht, Atommacht zu werden. Da nichtstaatliche Akteure keine Staaten mit eigenem Territorium sind, würden sie einen Staat brauchen, der sie und die erforderliche Infrastruktur beherbergt – willentlich, oder weil er nicht in der Lage ist, sein Territorium vollständig zu kontrollieren. Auf diesem Weg zu einer Nuklearwaffe gibt es große Hindernisse. Selbst wenn eine terroristische Gruppe an das nötige spaltbare Material durch Kauf oder Diebstahl käme, so würde sie noch immer einen Bauplan für die Waffe, funktionierende Präzisionszünder und andere Komponenten brauchen, an die schwer heranzukommen ist. Dass Terroristen die Vielzahl dieser Probleme schnell in den Griff bekämen, ist eher unwahrscheinlich. Deshalb ist für terroristische Gruppen die Option, eine Atombombe aus selbst hergestelltem Nuklearmaterial zu bauen, eher abwegig. Terroristen wären wohl am ehesten erfolgreich, wenn sie mit einem Staat (oder

36 Central Intelligence Agency: *Managing Nuclear Proliferation: The Politics of Limited Choice.* Research Study. Langley VA, 1975 (ursprüngliche Klassifikation SECRET/NOFORN, partially declassified 21.8.2001), S. 29.

37 Vgl. Siegfried Fischer, Otfried Nassauer (Hg): *Die Satansfaust*, Berlin 1993, S. 315ff. Graham T. Allison et al.: *Avoiding Nuclear Anarchy, Containing the Threat of Loose Russian Nuclear Weapons and Fissile Material*, Cambridge/London 1996. Jessica Stern: *The Ultimate Terrorists*, Cambridge/London 1999.

38 HEU-betriebene Forschungsreaktoren und deren Reservoire an noch nicht bestrahltem HEU werden u.a. deshalb als ernstes Sicherheitsrisiko eingestuft.

dessen Geheimdienst) zusammenarbeiten würden, der bereits über Nuklearwaffen oder waffenfähiges Material verfügt. Zugang zu nuklearem Wissen und die Zusammenarbeit mit gut ausgebildetem Personal könnten die Aufgabe für Terroristen ebenfalls erleichtern. Wenn aber eine Atommacht schon bereit wäre, mit einer terroristischen Organisation so eng zusammenzuarbeiten, dann drängt sich eine weitergehende Frage auf: Warum sollte dieser Staat der Terrororganisation nicht gleich eine fertige Waffe übergeben?[39]

Terroristen, die sich im Besitz einer echten Nuklearwaffe befänden, würden eine enorme Gefahr darstellen. Derzeit sind die Experten sich allerdings weitgehend einig, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Terroristen über eine funktionierende Nuklearwaffe verfügen oder an eine solche gelangen könnten, relativ gering ist.

4.2 Schmutzige Bomben in terroristischer Hand

Wahrscheinlicher ist ein Szenario, bei dem Terroristen oder das organisierte Verbrechen eine schmutzige Atomwaffe bauen und einsetzen würden. Eine schmutzige Bombe enthält radioaktives Material, das durch die Explosion konventionellen Sprengstoffs verbreitet wird. Es erfolgt keine unkontrollierte Kettenreaktion. Man kann sich eine konventionelle Autobombe vermischt mit ein paar Dutzend oder hundert Gramm radioaktiver Substanzen vorstellen. Es gäbe Tote und Verletzte als Folge der Explosion sowie Verstrahlte in der Umgebung des Explosionsortes; der Haupteffekt einer schmutzigen Bombe wäre aber vor allem ein psychologischer.[40] Eine Simulation, welche die Auswirkungen der Explosion einer schmutzigen Bombe mit zwei Tonnen Sprengstoff in der Innenstadt Washingtons untersuchte, kam zu dem Ergebnis, dass eine Fläche von der Größe eines Häuserblocks schweren und vielleicht dauerhaften Schaden erleiden würde. Andere Simulationen führten zu Schäden, bei denen mehrere Häuserblocks oder ein Stadtteil betroffen gewesen wären.

Ein Haupthindernis beim Bau einer solchen Waffe besteht jedoch in der Schwierigkeit, mit dem radioaktiven Material umzugehen. Da die Wirkung einer solchen Waffe – neben der unmittelbaren Explosionswirkung – wesentlich

39 Das Risiko, dass einem Staat, der Terroristen Nuklearmaterial und Wissen für den Atomwaffenbau in die Hand gibt, sein Unterstützungshandeln nachgewiesen werden kann, wäre angesichts der Möglichkeiten moderner Nuklearforensik nur unwesentlich kleiner als das Risiko, dass man ihm nachweisen könnte, den Terroristen die Verfügung über eine Nuklearwaffe ermöglicht zu haben. Nuklearforensik erlaubt die Bestimmung der Anlage, in der das verwendete Nuklearmaterial hergestellt bzw. verarbeitet wurde.

40 Die Explosion einer schmutzigen Bombe in einem vergleichsweise gut gesicherten wirtschaftlichen und politischen Entscheidungszentrum würde große Zweifel in die Fähigkeit einer Regierung und der staatlichen Behörden wecken, einer ihrer wichtigsten Aufgaben nachkommen zu können: der Garantie von Sicherheit für die Bürger. Das Ereignis würde zudem – unabhängig von den begrenzten faktischen Schäden – enorme Verunsicherung hervorrufen, weil radioaktive Strahlung nicht wahrnehmbar ist, aber hochgefährlich sein kann.

von der Radioaktivität und dem toxischen Gehalt des verwendeten Materials abhängt, stellt das radioaktive Material für diejenigen, welche die Bombe bauen, mit ihr umgehen und sie einsetzen, ebenfalls ein entsprechend hohes Risiko dar. Diese Gefährlichkeit steigt für die Terroristen im gleichen Maße wie die radiologische und/oder toxische Wirksamkeit der Waffe, die sie bauen wollen. Das ist vermutlich einer der Hauptgründe, warum bisher noch keine schmutzige Waffe verwendet wurde.

Dass Terroristen radioaktives Material aus einem der Elemente eines zivilen nuklearen Brennstoffkreislaufes für den Bau einer solchen Bombe nutzen würden, ist relativ unwahrscheinlich. Die Beschaffung ist meist nicht einfach; die Handhabung oft relativ schwierig und meist recht gefährlich. Es gibt diverse andere Materialien, die viel leichter zugänglich sind und den Anforderungen einer schmutzigen Bombe ebenso gut oder sogar deutlich besser entsprechen als LEU, HEU oder sogar Reaktorplutonium. Radioaktive Materialien wie Caesium 137, Kobalt-60, Strontium-90, Krypton-85 oder Americium-241 sind leichter zu kriegen und besser geeignet, weil sie z.B. in Krankenhäusern, in der Industrie, bei der Material- und Dichtigkeitsprüfung oder in Rauchmeldern im zivilen Bereich breit zum Einsatz kommen.

4.3 Nuklearschmuggel

Seit dem Zerfall der Sowjetunion gibt es Erkenntnisse über eine große Zahl an Verlusten und Funden von Nuklearmaterial und entsprechenden Schmuggelfällen. Gewöhnliche Kriminelle, Mitglieder des organisierten Verbrechens, Terroristen aber auch Geheimdienste und polizeiliche Institutionen zeigten ein starkes Interesse an diesem Thema – ebenso wie die Medien. Dadurch wurde es schwierig, zwischen tatsächlichen Versuchen des illegalen Handels, betrügerischen und Lockvogelangeboten sowie falschen Berichten über Fälle des Nuklearschmuggels zu unterscheiden. Analysiert man Medienberichte, so lässt sich nicht viel über die reale Relevanz des Atomschmuggels für die nukleare Proliferation erfahren. Eine bessere Quelle für eine Beurteilung ist die Datenbank zum illegalen Atomhandel, die die IAEO 1995 eingerichtet hat. Über 650 Fälle wurden der Behörde von 1993 bis 2004 als bestätigt angezeigt. Mehr als 60 Prozent betrafen nichtspaltbares radioaktives Material wie Caesium-137, Strontium-90, Kobalt-60 oder Americium-241. Die meisten dieser Materialien rufen Besorgnis wegen ihres möglichen Einsatzes bei terroristischen oder kriminellen Aktionen hervor, weil sie mit Geräten zur Verbreitung von Radioaktivität oder in schmutzigen Bomben eingesetzt werden könnten. Rund 30 Prozent aller Fälle betrafen nukleares Material wie Natururan, abgereichertes Uran, Thorium und LEU.

In 18 Fällen war jedoch waffenfähiges Nuklearmaterial im Spiel. Unter Proliferationsgesichtspunkten sind das die wichtigsten Fälle. Sieben Fälle betrafen Plutonium, sechs davon in Mengen von weniger als einem bis zu zehn Gramm. Der siebte Fall, in dem es um 363,4 Gramm Plutonium ging, ereignete sich im August 1994 auf dem Münchner Flughafen. In diesen Fall waren sowohl russi-

sche Offizielle sowie der Bundesnachrichtendienst verwickelt.[41] Elf Fälle betrafen hoch angereichertes Uran in Mengen von weniger als einem Gramm bis zu mehr als 2,5 Kilogramm. In den meisten dieser Fälle scheint es sich um Proben gehandelt zu haben, die größere Geschäfte anbahnen sollten.[42] Bis Ende 2008 war die Zahl bestätigter Fälle des unautorisierten Besitzes, des Verlustes oder des Diebstahls und anderer illegaler Vorgänge rund um nukleare Materialien auf 1562 gestiegen. In 15 Fällen war Plutonium oder hoch angereichertes Uran im Spiel. In den meisten Fällen ging es um kleine Mengen, in einigen wenigen jedoch auch um «Kilogrammmengen». Details dazu berichtete die IAEO nicht mehr, stellte aber fest, dass die Mehrheit der bekannten Fälle «Angebotsfälle» waren, in denen sich keine Käufer fanden. In Rechnung gestellt werden muss natürlich auch die Möglichkeit, dass erfolgreiche Fälle nuklearen Schmuggels und illegaler Nukleargeschäfte nicht entdeckt oder gemeldet wurden.

4.4 Nichtstaatliche Akteure und die Sicherheit des Brennstoffkreislaufs

Terroristen könnten eine ernsthafte Bedrohung für die Sicherheit ziviler Atomanlagen darstellen. Über diese Gefahren ist allerdings keine systematische öffentliche Untersuchung bekannt. Einige Aspekte des Problems sind aber schlaglichtartig beleuchtet worden. In den 1990er Jahren simulierten die USA 75 Angriffe auf einige ihrer eigenen Reaktoren. Dabei stellten sich gravierende Sicherheitsmängel heraus. In 27 Fällen hätten die Angriffe zur Beschädigung des Reaktorkerns oder zum Austritt von Radioaktivität führen können.[43] Greenpeace gelang es 2003, in das britische Atomkraftwerk Sizewell einzudringen, ohne auf Widerstand zu stoßen.[44] Forschungsreaktoren an Universitäten, die mit hoch angerei-

41 Nachdem *Der Spiegel* den Vorfall im August 1994 zu einer Titelgeschichte verarbeitet hatte (vgl. http://www.spiegel.de/spiegel/print/index-1994-34.html) berichtete das Magazin im April 1995 unter der Überschrift «Panik made in Pullach» über die Verwicklung des BND. Vgl. http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-9181696.html. Der Bundestag setzte zur Aufklärung des Vorfalls einen Untersuchungsausschuss ein. Vgl.: http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/13/013/1301323.asc.

42 Unter der Adresse http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/RadSources/Fact_Figures.html stellte die IAEO in der Vergangenheit eine detaillierte Übersicht über solche Fälle bis 2004 bereit; sie ist nicht mehr verfügbar. Wesentliche Teile vergleichbarer Daten finden sich heute noch unter: http://www.iaea.org/NewsCenter/Features/RadSources/PDF/fact_figures2005.pdf. Aus diesen Quellen sind die Zahlen für 2004 entnommen.
Eine aktuellere Darstellung mit nicht direkt vergleichbaren Informationen aus dem Jahr 2009 ist einsehbar unter: http://www-ns.iaea.org/downloads/security/itdb-fact-sheet-2009.pdf
Nicht direkt vergleichbar sind die Zahlen erstens, weil ab 2006 die Berichterstattung an die Datenbank geändert wurde; zweitens, weil die Zahl der berichterstattenden Staaten über die Jahre auf 192 stieg. Aus der o.g. Quelle stammen die jüngeren Informationen dieses Absatzes.

43 Union of Concerned Scientists: *Backgrounder on Nuclear Reactor Security*, Cambridge (MA) 2002.

44 Greenpeace UK: Greenpeace Volunteers Get into Top Security Nuclear Control Centre, Presse-erklärung, London 13.1.2003. Auch in: *Daily Mirror*, 14.1.2003.

chertem Uran betrieben werden, sind ein besonders großes Problem, weil oft eine große Zahl von Personen zu ihnen Zugang haben muss und bei diesen Anlagen oft vergleichsweise geringe Sicherheitsvorkehrungen existieren.

Wenn ernsthafte Sicherheitsprobleme schon in industrialisierten Ländern auftreten, die die Mittel und Kapazitäten hätten, in die Sicherheit dieser sensiblen Infrastruktur zu investieren, so dürften in Ländern mit geringerer Finanzkraft deutlich größere Risiken bestehen, dass Nuklearmaterial aus Reaktoren, Laboratorien und anderen Nukleareinrichtungen verschwindet.

Auch Terrorangriffe auf solche Anlagen dürfen als Risikofaktor nicht außer Acht gelassen werden. Sie könnten zur Freisetzung gewaltiger Mengen radioaktiver Materialien führen, nicht aber zu einer nuklearen Explosion. Die Wahrscheinlichkeit eines Terrorangriffs auf zivile Atomanlagen muss als deutlich höher eingeschätzt werden als die einer Atomwaffe in terroristischen Händen, und wahrscheinlich ist sie auch höher als das Risiko des Einsatzes einer schmutzigen Bombe. Dass man beginnt, dieses Problem ernst zu nehmen, zeigt die Diskussion über einen Schutz für Reaktorblöcke gegen Attentate mit Flugzeugen in den letzten Jahren.

4.5 Weitere Proliferationsrisiken

Im Jahr 1977 wurde bekannt, dass das US-Energieministerium bereits 1962 erfolgreich einen unterirdischen Test mit einer aus Reaktorplutonium hergestellten Atomwaffe durchgeführt hatte. Damit wurde klar, dass es prinzipiell möglich ist, Atomwaffen aus «zivilem», sprich: Reaktor-Plutonium zu bauen. Eine Untersuchung, die in den Los Alamos National Laboratories durchgeführt wurde, kam 1990 zu dem Schluss, dass Staaten oder terroristische Gruppen, die versuchen würden, eine Nuklearwaffe aus Reaktorplutonium zu bauen, mit nur graduell, aber nicht prinzipiell anderen Schwierigkeiten zu kämpfen hätten als Akteure, die Zugang zu Waffenplutonium haben.[45]

Der Krieg gegen den Irak 2003 enthüllte ein weiteres beachtliches Proliferationsrisiko: Als die US-Truppen den Irak besetzten, schützten sie die wichtigste Nuklearforschungsanlage des Landes nicht ausreichend vor Plünderungen. Siegel der IAEO in der Anlage waren erbrochen, Nuklearmaterial verschwunden und Dokumente gestohlen. Inzwischen hat die IAEO alle jene Materialien gesichert, an die sie wieder gelangen konnte.

Die Auflösung der Sowjetunion zeigte, dass auch «failing states» die internationale Gemeinschaft mit Proliferationsrisiken konfrontieren können. Es kann keine Garantie geben, dass all die Länder, die Forschungsreaktoren oder zivile Atomprogramme betreiben, nie instabil werden oder zerfallen und dabei die Kontrolle über ihre Atomanlagen und nukleares Material zeitweise oder dauer-

45 U.S. Department of Energy: *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, Washington 1997, S. 37-39. National Academy of Sciences: *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium*, Washington 1994, S. 32»33.

haft verlieren. Während weithin anerkannt ist, dass «failing states» ein allgemeines Sicherheitsproblem darstellen, ist weit weniger bekannt, dass sie auch erhebliche Proliferationsrisiken bergen können. Ein Zerfall der Atommacht Pakistan zum Beispiel riefe gravierende Probleme hervor. Pakistan und der «atomare Supermarkt» des Khan-Netzwerkes, das Malaysia einschloss, machen zudem deutlich, dass inzwischen immer mehr sich entwickelnde Staaten für Nuklearprogramme und Atomwaffen nutzbare Technik liefern können.

5 Instrumente der Kontrolle und Begrenzung von Proliferation

5.1 Wesentliche Verträge

Der Nichtverbreitungsvertrag (NVV), sprich: Atomwaffensperrvertrag, der im März 1970 in Kraft trat, ist die Grundlage des internationalen Nichtverbreitungssystems. Fast alle Staaten der Welt haben das Abkommen unterzeichnet. Nur Israel, Indien und Pakistan sind nie Mitglieder geworden. Nordkorea zog sich 2003 aus dem Abkommen zurück.[46]

In Artikel 2 verpflichtet der NVV die Nichtatomwaffenstaaten[47], «Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper oder die Verfügungsgewalt darüber von niemandem unmittelbar oder mittelbar anzunehmen; Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper weder herzustellen noch sonstwie zu erwerben und keine Unterstützung zur Herstellung von Kernwaffen oder sonstigen Kernsprengkörpern zu suchen oder anzunehmen».

Umgekehrt verpflichten sich die Atomwaffenstaaten in Artikel 1, niemals Nichtatomwaffenstaaten dabei zu helfen, diese Verpflichtung zu umgehen. Artikel 4 sichert den Nichtatomwaffenstaaten zu, dass sie berechtigt sind, die Atomenergie friedlich zu nutzen und relevante Technologien zu erhalten: «Dieser Vertrag ist nicht so auszulegen, als werde dadurch das unveräußerliche Recht aller Vertragsparteien beeinträchtigt, [. . .] die Erforschung, Erzeugung und Verwendung der Atomenergie für friedliche Zwecke zu entwickeln. […] Alle Vertragsparteien verpflichten sich, den weitest möglichen Austausch von Ausrüstungen, Material und wissenschaftlichen und technologischen Informationen zur friedlichen Nutzung der Atomenergie zu erleichtern, und sind berechtigt, daran teilzunehmen.»

Der Vertrag unterscheidet somit einerseits zwischen Staaten, die weiterhin befugt sind, über Atomwaffen zu verfügen («Haves») und Staaten, die das nicht sind («Have Nots»). Er enthält andererseits zwei Regelungen, die signalisieren, dass diese Unterscheidung nicht für alle Ewigkeit Bestand haben sollte. Die erste Regelung ist in Artikel 6 enthalten und verpflichtet die Atomwaffenstaaten, «in

46 Da Nordkorea bei seinem Austritt aus dem NVV ein Formfehler unterlief, wird es weiterhin als nicht-nukleares Mitglied des Regimes behandelt.

47 Der Vertragstext sowie viele Dokumente zu den internationalen Nichtverbreitungsbemühungen können nachgelesen werden in: Federal Foreign Office: Preventing the Proliferation of Weapons of Mass Destruction, Key Documents, 2nd Edition, Berlin 2006.

redlicher Absicht Verhandlungen zu führen über wirksame Maßnahmen zur Beendigung des nuklearen Wettrüstens in naher Zukunft und zur nuklearen Abrüstung sowie über einen Vertrag zur allgemeinen und vollständigen Abrüstung unter strenger und wirksamer internationaler Kontrolle».

Die zweite Regelung findet sich in Artikel 10 und lautet: «Fünfundzwanzig Jahre nach Inkrafttreten dieses Vertrages wird eine Konferenz einberufen, die beschließen soll, ob der Vertrag auf unbegrenzte Zeit in Kraft bleibt […].»

Im Jahr 1995 wurde diese Überprüfungskonferenz abgehalten. Sie vereinbarte, dass der Vertrag bedingungslos und unbegrenzt weiter gelten soll. Diese Entscheidung wurde möglich, weil man zugleich ein Dokument über «Prinzipien und Ziele» beschloss, das auf der Folgekonferenz im Jahr 2000 durch ein Dokument mit dreizehn praktischen Schritten ergänzt wurde. Dieses Dokument nennt zum ersten Mal konkrete Ziele sowie einen Arbeitsplan, um sowohl die Nichtverbreitung wie auch die Abrüstung der Atomwaffenstaaten voranzutreiben.

Bei diesen Entscheidungen zeigte sich der gleiche wichtige «Tauschhandel», der auch schon bei den Verhandlungen über den NVV sichtbar geworden war: Scharfe Regeln zur Nichtverbreitung sind für viele nicht-nukleare Staaten nur akzeptabel, wenn zugleich die nukleare Abrüstung mit dem Ziel der endgültigen Abschaffung aller atomaren Waffen Fortschritte macht. Die Fortschritte bei der Umsetzung der Verpflichtungen von 1995 und 2000 verliefen in der Folge deutlich langsamer, als es die meisten Staaten erwartet hatten. Während der nächsten Überprüfungskonferenz im Mai 2005 verschärfte sich die Lage sogar: Die USA unter der Regierung von George W. Bush machten deutlich, dass sie sich nicht mehr an die «Prinzipien und Ziele» und den vereinbarten Prozess der dreizehn Schritte gebunden fühlten, die die Vorgängerregierung unter Bill Clinton mitentwickelt hatte. Die US-Regierung konzentrierte sich nun vielmehr auf unilaterale Initiativen, um die Nichtverbreitung zu stärken, und akzeptierte keine weitergehenden mit der Abrüstung der Atomwaffenstaaten verbundenen Verpflichtungen. Dies stellte den «Tauschhandel» grundsätzlich infrage, der dem NVV und seiner Verlängerung zugrunde liegt. Die Konferenz ging ohne Ergebnis auseinander und hinterließ für die Zukunft ein schwerwiegendes Problem. Könnte es künftig gelingen, das multilaterale Nichtverbreitungsregime wiederzubeleben und wenn ja, wie?

Der Vertrag hat darüber hinaus ohnehin einige Schwächen, die für die Proliferation relevant sind:

- Die Unterscheidung zwischen «Haves» und «Have Nots» ist im internationalen Recht, das normalerweise alle souveränen Staaten gleichstellt, einmalig. Die zeitlich unbegrenzte Verlängerung des NVV «verewigt» diesen unterschiedlichen Status, wenn die nukleare Abrüstung mit dem Ziel «Null» aus dem Blick gerät. Deshalb reagierten viele nicht-nukleare Staaten mit wachsender Kritik, als die US-Regierung ihre Unterstützung für die «Prinzipien und Ziele» sowie das Dokument mit den «13 Schritten» zurückzog, und

sahen darin eine mangelnde Bereitschaft zur Abrüstung. Dieser Konflikt hat das Potenzial, den Nichtverbreitungsvertrag grundlegend zu unterminieren.

- Der Vertrag räumt allen Mitgliedern das Recht ein, Nukleartechnologien zu friedlichen Zwecken zu nutzen. Er verpflichtet Länder, die im Besitz solcher Technologien sind, Ländern, die nicht in deren Besitz sind, den Zugang zu ermöglichen, wenn sie diese für zivile Zwecke, etwa die Elektrizitätserzeugung, nutzen wollen. Laut NVV ist es für einen Nichtatomwaffenstaat durchaus legal, einen geschlossenen Brennstoffkreis zu betreiben.[48] Dazu gehört eine Reihe von Anlagen, denen ein hohes Proliferationsrisiko innewohnt. Vorschläge für zusätzliche Safeguards und Exportbeschränkungen für diese Elemente des Brennstoffkreislaufs, die oft von den atomaren «Haves» vorgebracht und unterstützt werden, vertiefen die erwähnte Spaltung. Nichtatomwaffenstaaten des Südens fürchten eine «nukleare Apartheid» hinsichtlich der zivilen Nutzung der Atomenergie und des Zugangs zu hochentwickelter Technologie.
- Israel, Indien und Pakistan haben den Vertrag niemals unterschrieben, jedoch Atomwaffen gebaut. Da der Vertrag den Beitritt neuer Atomwaffenstaaten nicht erlaubt, wäre der Verzicht auf Atomwaffen für diese Staaten eine Vorbedingung, um dem Vertrag beitreten zu können. Dazu wird es kaum kommen. Viele Nichtatomwaffenstaaten äußern sich deshalb zunehmend kritisch, dass diese Atomwaffenstaaten de facto als Atomwaffenstaaten außerhalb des Vertrages toleriert oder indirekt anerkannt werden. Als wichtigste Belege für diese Tendenz dienen ihnen das bilaterale Abkommen zwischen den USA und Indien, dass unter George W. Bush ausgehandelt wurde und die Zusammenarbeit beider Staaten bei zivilen Atomprojekten ermöglichen soll,[49] sowie die Politik Washingtons gegenüber Israel.

Der «Vertrag über ein umfassendes Verbot von Nuklearversuchen» (Comprehensive Test Ban Treaty, CTBT) ist ein weiterer multilateraler Vertrag, der Auswirkungen auf die Proliferation haben kann. Im Februar 1963 schrieb Robert McNamara in einem Memorandum für Präsident John F. Kennedy: «Ein umfassendes Verbot von Atomwaffentests, dem die USA, die UdSSR und Großbritannien zustimmen würden, würde in der Form wirken, dass es die Ausbreitung [von Atomwaffen] verlangsamen würde. Es ist vermutlich keine Übertreibung zu sagen, dass es eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung dafür ist, die Zahl der nuklearen Länder gering zu halten.»[50]

---

48 Alle nuklearen Anlagen, die z.B. der Iran besitzt und – soweit bekannt – plant, sind nach NVV zur ausschließlich zivilen Nutzung zulässig, wenn sie von der IAEO kontrolliert werden dürfen.

49 Inzwischen haben China und Pakistan einen ähnlichen Vertrag unterzeichnet.

50 Secretary of Defense: Memorandum for the President, Subject: The Diffusion of Nuclear Weapons with and without a Test Ban Agreement, Washington DC, 12.2.1963, S. 3 (ursprüngliche Klassifikation: SECRET).

Erst nach dem Ende des Ost-West-Konflikts wurde ein solcher Vertrag geschlossen. Seit 1996 haben ihn 182 Länder unterschrieben und 151 ratifiziert, darunter auch Atomwaffenstaaten wie Russland.[51] Es bleibt dennoch unklar, ob der CTBT jemals in Kraft treten wird. Denn alle 44 Länder mit einem zivilen oder militärischen Atomprogramm müssen den Vertrag ratifizieren, bevor er in Kraft treten kann. Etliche dieser Länder – darunter die Volksrepublik China, Indien*, Pakistan*, Nordkorea*, Indonesien, Israel, der Iran und die USA haben ihn noch nicht ratifiziert; drei Staaten haben ihn noch nicht einmal unterschrieben.[52]

Wäre dieser Vertrag in Kraft, so würde er einen wesentlichen Beitrag zur Nichtverbreitung leisten. Länder, die erstmals eine Atomwaffe bauen, würden nicht mit Sicherheit wissen, ob ihr Atomwaffendesign wie vorgesehen funktioniert. Dies gilt vor allem für Waffen, die auf Reaktorplutonium beruhen.

Das Ziel des vorgeschlagenen «Vertrags über ein Verbot der Produktion von spaltbarem Material für Waffenzwecke» (Fissile Material Cut-Off Treaty, FMCT) wäre es, die Menge des waffenfähigen Materials weltweit einzufrieren, die Produktion neuen spaltbaren Materials für Atomwaffen zu verbieten und somit letztlich Reduzierungen dieser Mengen zu ermöglichen. Obwohl die Idee schon seit Jahrzehnten existiert und die Resolution 1148 der UN-Generalversammlung bereits 1957 die Einstellung der Produktion waffenfähiger Nuklearmaterialien forderte, haben ernsthafte Verhandlungen in der UN-Abrüstungskonferenz, die den Vertrag aushandeln soll, noch immer nicht begonnen. Allerdings diskutiert sie mittlerweile informell über mögliche Elemente eines solchen Vertrages. Im vergangenen Jahr wurde die Einsetzung einer Arbeitsgruppe zu diesem Thema in den Arbeitsplan der Abrüstungskonferenz aufgenommen. Trotzdem kam es nicht zu ernsthaften Fortschritten. An der UN-Abrüstungskonferenz nehmen 65 Staaten teil, die einen Konsens finden müssen. Mithin ist die Bereitschaft auch der kleinen, ihre Nuklearwaffenbestände noch aufbauenden Nuklearmächte, die dem NVV nicht beigetreten sind, eine Voraussetzung für ein substanzielles Vorankommen.

In den Atomwaffenstaaten würde eine solche Vereinbarung die Menge des für Waffen verfügbaren waffenfähigen spaltbaren Materials auf die bereits vorhandenen Bestände begrenzen und in Nichtatomwaffenstaaten als zusätzliches Sicherungsinstrument für die Nichtverbreitung dienen, da der Aufbau solcher Bestände künftig einem völkerrechtlichen Verbot unterläge. In Kombination mit bereits existierenden Vorhaben wie der Vereinbarung zwischen Russland und den USA, 500 Tonnen russischen Waffenurans zu LEU zu verarbeiten und je 34

51 Vgl. http://www.ctbto.org/ zum Allgemeinen und http://www.ctbto.org/the-treaty/status-of-signature-and-ratification/ zum Stand der Unterzeichnung bzw. Ratifizierung.

52 Staaten, die mit einem * gekennzeichnet sind, haben den Vertrag weder unterzeichnet noch ratifiziert. Vgl. http://www.ctbto.org/the-treaty/status-of-signature-and-ratification/?states=4&region=63&submit.x=17&submit.y=4&submit=submit&no_cache=1 (Stand: Dez. 2009). Unter Präsident George W. Bush erwog die U.S.-Regierung, die bereits erfolgte Unterzeichnung des CTBT wieder zurückzuziehen. Präsident Obama hat angekündigt, die Ratifizierung anzustreben, hat dafür aber im U.S.-Senat bislang keine Mehrheit.

Tonnen Plutonium für militärische Zwecke unbrauchbar zu machen, könnte der Vertrag zu der Zielsetzung beitragen, die Vorräte verfügbaren waffenfähigen Spaltmaterials langfristig abzubauen.[53]

Weitergehend ist der Vorschlag eines Vertrags (Fissile Material Treaty, FMT), der auch die bestehenden Potenziale nuklearwaffenfähiger Materialien einbeziehen und alle Nuklearmächte rechtlich verpflichten würde, ihre Bestände abzubauen.

In etlichen Weltregionen sind zudem Verträge über atomwaffenfreie Zonen (Nuclear Weapons Free Zone Treaties, NWFZ) im Einklang mit Artikel 7 des NVVs abgeschlossen worden. Sie stellen regionale vertrauensbildende Maßnahmen gegen die mögliche Proliferation nuklearer Waffen und Technologien dar und werden seitens der Atommächte durch politisch bindende sogenannte «Negative Sicherheitsgarantien» abgestützt. Diese Garantien versprechen den Mitgliedstaaten der Atomwaffenfreien Zonen in politisch, aber nicht rechtlich verbindlicher Form, dass die Atomwaffenstaaten sie mit ihren Waffen weder bedrohen noch angreifen werden.[54]

Weitere multilaterale Vereinbarungen befassen sich mit der Sicherheit waffenfähiger Nuklearmaterialien und speziellen Fragen. Dazu gehören z.B.

- die internationale «Convention on the Physical Protection of Nuclear Materials» aus dem Jahr 1980, die 1987 in Kraft trat[55] und zunächst nur die Sicherheit internationaler Nukleartransporte betraf; diese fand bislang 142 Unterzeichner; im Jahr 2005 wurde sie durch einen Zusatz ergänzt, der Verpflichtungen zur Sicherheit ziviler Atomanlagen, nuklearer Materialien und Lager sowie des Transports enthält;[56]
- die International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism aus dem Jahr 2005;[57]
- technische Umsetzungsvereinbarungen zum Schutz nuklearer Materialien und Einrichtungen seitens der IAEO, die sich derzeit in abschließender Überarbeitung befinden (INFCIRC 255/Rev.4 (1999) und Rev.5 (2010)).[58]

5.2 Nichtverbreitung durch «Safeguards»

Die internationalen «Safeguards» (Sicherheitskontrollen) gegen Proliferation beruhen auf Art. 3, Abs. 1 des Nichtverbreitungsvertrags. Dessen Grundgedanke

53 www.bellona.no/en/international/russia/nuke_industry/co-operation/8364.html; http://www.nti.org/c_press/analysis_ Holgate_INMM%20Paper_061005.pdf

54 Nach Form (politisch, aber nicht rechtlich verbindlich) und Inhalt dieser Garantien halten sich die Atomwaffenstaaten letztlich allerdings doch die Option offen, diese Garantien ggf. zurückznehmen.

55 Vgl.: http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/inf274r1.shtml

56 Vgl.: http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC49/Documents/gc49inf-6.pdf

57 Vgl.: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/Res/59/290

58 Alle Informationsrundschreiben (INFCIRC) der IAEO können unter der folgenden Internetadresse eingesehen werden: http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/index.html

ist es, dass Nichtatomwaffenstaaten nur dann Nuklearmaterial und entsprechende Technologie erhalten dürfen, wenn sie der IAEO gestatten, sich davon zu überzeugen, dass ihre Nuklearprogramme allein friedlichen Zwecken dienen. Deshalb konzentrieren sich die Kontrollen darauf zu verhindern, dass Nuklearmaterial aus einem zivilen Brennstoffkreislauf in militärische Kanäle gelangt.

Das heute existierende Überwachungssystem wurde in zwei Phasen aufgebaut. In der ersten wurde zunächst ein Rahmen für die Durchsetzung von Safeguards geschaffen, dann wurden in einer zweiten detaillierte Richtlinien für IAEO-Inspektionen ausgehandelt. Die Übereinkunft über dieses Dokument, Information Circular 153 (INFCIRC 153), wurde 1972 erreicht. Auf seiner Grundlage wurden Vereinbarungen über Kontrollen zwischen der IAEO und einzelnen Staaten geschlossen und veröffentlicht. Diese Vereinbarungen regeln, wann und in welchem Umfang Nichtatomwaffenstaaten verpflichtet sind, die IAEO mit bestimmten Informationen über ihre nuklearen Anlagen, Materialien und Programme zu versorgen. Sie ermächtigen die IAEO, die Korrektheit dieser Angaben durch Inspektionen im Land zu verifizieren. Für den Fall, dass die IAEO zur Einschätzung gelangt, dass ein Land ohne Vorbehalte mit der IAEO zusammengearbeitet hat und nur an zivilen nuklearen Projekten arbeitet, kann dieses Land weiterhin nukleares Material und Technologie beziehen. Urteilt die IAEO dagegen, dass Zweifel oder offene Fragen bezüglich des Atomprogramms eines Landes bestehen, ist sie berechtigt, zusätzliche Untersuchungen durchzuführen, um entweder das Land vom bestehenden Verdacht freizusprechen oder, falls Verpflichtungen verletzt wurden, dies dem UN-Sicherheitsrat und der UN-Vollversammlung zu melden, die über weitere Maßnahmen beraten können. Anfang 2008 waren 163 Vereinbarungen zwischen der IAEO und einzelnen Ländern in Kraft.[59]

Nach dem Golfkrieg 1991 enthüllten Inspektoren der IAEO, dass der Nichtatomwaffenstaat Irak jahrelang ein geheimes Atomwaffenprogramm betrieben hatte. Der UN-Sicherheitsrat beauftragte sie mit weitergehenden Inspektionen nach dem Ende des Krieges. Die Aufdeckung des irakischen Programms führte zu dem Schluss, dass die existierenden Vereinbarungen über Kontrollen nicht ausreichend seien, um ein Land davon abzuhalten, ein geheimes Atomwaffenprogramm zu etablieren; somit seien zusätzliche, umfassendere Kontrollen notwendig, um mit solchen Herausforderungen umgehen zu können. Bis 1997 handelten die IAEO-Mitglieder ein freiwilliges Model Additional Protocol (INFCIRC 540) über erweiterte Sicherheitsmaßnahmen aus. Länder, die dieses Protokoll akzeptieren, ermöglichen es der IAEO unter anderem, zusätzliche und kurzfristige Inspektionen durchzuführen oder Umweltproben zu nehmen. Das Protokoll verpflichtet die Mitglieder außerdem, die Atomenergiebehörde frühzeitiger und umfassender über neu geplante Atomanlagen zu informieren und der IAEO zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen, so zum Beispiel Erklärungen über alle Im- und Exporte von Gütern, die auf der Nuclear

59 Vgl.: http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/safeguards.pdf

Suppliers Group Trigger List aufgeführt sind. Ende 2008 war das Zusatzprotokoll für 88 Länder in Kraft.[60] Weitere Staaten haben es unterzeichnet, aber noch nicht ratifiziert.[61]

Das Zusatzprotokoll ist von besonderem Wert, wenn ein Land unter dem Verdacht steht, seine Verpflichtungen aus dem NVV oder den Safeguards zu verletzen. Als die Islamische Republik Iran 2003 in einen solchen Verdacht geriet, drängten die IAEO und viele Mitgliedstaaten den Iran, das Zusatzprotokoll zu unterzeichnen, damit Iran der IAEO auch die zusätzlichen Rechte gewähre, die darin enthalten sind. Der Iran unterzeichnete das Protokoll im November 2003. Während sich die iranische Regierung zunächst so verhielt, als sei das Protokoll in Kraft, hat das iranische Parlament seine Ratifizierung abgelehnt. Im Februar 2006 informierte die iranische Regierung auf Beschluss des Parlaments die IAEO, dass der Iran das Protokoll wegen des eskalierenden Streits um sein Atomprogramm nicht mehr anerkenne, hielt sich aber in der Praxis zunächst doch weiter an einige Verpflichtungen, die ihm aus diesem Protokoll erwachsen.

Die Safeguards zielen darauf ab, in Nichtatomwaffenstaaten die Nutzung ziviler Nuklearkapazitäten zu militärischen Zwecken zu verhindern. Sie befassen sich weder mit militärischen Einrichtungen in Atomwaffenstaaten noch mit den zivilen nuklearen Einrichtungen in diesen Ländern, es sei denn, die Atomwaffenstaaten stimmen von sich aus zu, bestimmte Einrichtungen oder Materialien unter die Kontrolle der IAEO zu stellen (INFCIRC 66).[62] Safeguards-Abkommen können auch für Nuklearanlagen von Staaten abgeschlossen werden, die nicht Mitglieder des NVVs sind. So erlauben mittlerweile Israel, Indien und Pakistan der IAEO die Durchführung begrenzter Kontrollen auf ihrem Territorium.[63]

Obwohl die Inspektionen der IAEO immer wieder kritisiert wurden, weil sie kostspielig, zeitraubend und unzureichend seien, sind sie offensichtlich wesentlich wirksamer, als Kritiker behaupten. Im Irak haben die Inspektoren der IAEO (und der United Nations Monitoring, Verification and Inspection, UNMOVIC) das irakische Atomprogramm aufgedeckt. Sie kamen während des Streites um die von den USA und Großbritannien 2003 gewünschte Unterstützung der Vereinten Nationen für einen erneuten Krieg gegen den Irak zu dem richtigen Schluss, dass dieses Programm nicht wiederaufgenommen worden sei.

Die gegenwärtigen Vorschläge zur Stärkung der Kontrollen der IAEO schließen die Forderung ein, das Zusatzprotokoll zu universalisieren und für Nichtatomwaffenstaaten, die Nukleargüter einführen wollen, verpflichtend zu

60 Ebd.; eine aktuellere Einzelübersicht darüber, welche Safeguard-Abkommen mit welchem Land im Dezember 2009 welchen Status hatten, bietet die IAEO hier an: http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sir_table.pdf

61 Zur Situation im Dez. 2009 vgl.: http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sir_table.pdf

62 Die Atomwaffenstaaten machen von dieser Möglichkeit unterschiedlich intensiv Gebrauch. So übersandte US-Präsident Barack Obama dem Kongress am 6. Mai 2009 eine 267 Seiten lange Aufstellung jener Nukleareinrichtungen, die Washington der IAEO meldete.

63 Vgl. http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/sir_table.pdf

machen. Zudem wird erneut über eine neue Generation von Safeguards nachgedacht.

5.3 Nichtverbreitung durch Exportkontrolle

Multilaterale Aktivitäten zur Exportkontrolle ergänzen das Kontrollsystem der IAEO seit den frühen 1970er Jahren. Grundlage ist Art. 3, Abs. 2 des NVVs, der alle Mitgliedstaaten verpflichtet, nukleares Material oder Technologien nur dann zu liefern, wenn sie in den Empfängerländern den IAEO-Safeguards unterliegen.

Die Staaten, die in der Lage waren, Nukleartechnologie zu liefern, begannen 1971 mit informellen Treffen. Später wurden diese Gespräche institutionalisiert und als Zangger-Ausschuss bekannt. Die Mitglieder der Treffen entwickelten eine Liste nuklearer Exportgüter («trigger list»), die Kontrolle erforderten, und stellten drei Bedingungen für Länder auf, die solche Güter erhalten wollten: Der Empfänger muss ein Safeguards-Abkommen abgeschlossen haben, alle Importe ausschließlich zu friedlichen Zwecken nutzen und diese beiden Bedingungen auch auf mögliche Empfänger von Wiederausfuhren anwenden.

Die Länder, die in der Lage sind, Nuklearmaterial oder Technologie auszuführen, bildeten 1975 auch die informelle Nuclear Suppliers Group. Die Gruppe einigte sich ebenfalls auf eine ausgedehnte «trigger list» von Nuklearmaterial, Technologien und Ausrüstungen, die der nationalen Exportkontrolle unterliegen sollten, sowie auf eine Liste wichtiger Technologien, die sowohl für militärische als auch zivile Zwecke genutzt werden können («dual use»). Diese Listen werden von Zeit zu Zeit aktualisiert, um mit der Entwicklung der Technologie Schritt halten zu können.

Beide Listen sind Bestandteile der Richtlinien der Nuclear Suppliers Group, die politisch, jedoch nicht rechtlich verbindlich sind. Wenn Mitgliedstaaten sich aber dazu verpflichten, diese Güter in ihre nationalen Exportkontrollsysteme zu übernehmen, werden sie rechtlich bindend.

In den vergangenen Jahren hat es neue Initiativen gegeben, um die Kontrolle über die Lieferung von Nukleartechnologie zu stärken. Auf Vorschlag der USA beschloss der G-8-Gipfel im Juni 2004 ein einjähriges, verlängerbares Moratorium für neue Transfers von Urananreicherungs- und Wiederaufbereitungstechnologien in Staaten, die noch nicht im Besitz solcher Technologien sind. Das Moratorium wird von diesen acht Ländern bis heute weitergeführt,[64] da es bislang nicht gelang, sich in der Nuclear Suppliers Group auf eine gemeinsame Politik zu einigen. Im Jahr 2009 befürwortete der Gouverneursrat der IAEO mit 23 zu 8 Stimmen einen russischen Vorschlag, demzufolge Russland 120 Tonnen leicht angereichertes Uran als international nutzbare Reserve für Staaten mit stromproduzierenden Reaktoren bereithalten solle. Gegen diesen Vorschlag stimmten u.a. Ägypten, Argentinien, Brasilien, Malaysia und Südafrika. Das verdeutlicht

64 Dies geschieht etwas versteckt durch wiederholte Bestätigung des Paragraphen 8 des G8-Kommuniques von L'Aquila.

die Skepsis, mit der viele Nichtatomwaffenstaaten weiterhin Safeguards, Exportkontrollen und Versuchen gegenüberstehen, nuklearrelevante Exporte davon abhängig zu machen, ob das Empfängerland zusätzliche Bedingungen erfüllt. Sie befürchten, dass diese Regelungen in diskriminierender Weise angewendet werden und den legitimen Zugang zu moderner Nukleartechnologie, wie ihn der NVV zusichert, be- oder sogar verhindern könnten.

Wollte man dieses Problem umgehen, so müssten Vorschläge realisiert werden, die proliferationsrelevanten Teile des Brennstoffkreislaufs zu «multilateralisieren», also z.B. die Urananreicherung oder Wiederaufbereitung nur noch in multinational genutzten und von der IAEO kontrollierten Anlagen durchzuführen. Die Proliferationsresistenz würde dadurch wachsen.

5.4 Nichtverbreitung durch Zusammenarbeit

Nach dem Zerfall der Sowjetunion führte die Sorge um deren riesige nukleare Hinterlassenschaft zu einer Vielzahl kooperativer Nichtverbreitungsmaßnahmen mit den Nachfolgestaaten. Die Vereinigten Staaten ergriffen am schnellsten die Initiative, mittlerweile beteiligt sich eine ganze Reihe von Ländern an der Finanzierung und Durchführung solcher Maßnahmen.[65] Etliche der in diesem Kontext entwickelten Programme finden zudem mittlerweile auch auf Drittstaaten Anwendung.

Diverse Projekte zielen auf eine zentralisierte und technisch sichere Lagerung von Nuklearmaterial und -waffen in Russland und den anderen Nachfolgestaaten der Sowjetunion. Andere sollen den nuklearen Brennstoff von außer Dienst gestellten atomgetriebenen U-Booten sichern. Projekte wie das International Science and Technology Center Program, die Nuclear Cities Initiative, die Russian Transition Initiative und die Proliferation Prevention Initiative konzentrieren sich darauf, Beschäftigungsmöglichkeiten für Atomwissenschaftler zu finden, um einen «brain drain» zu vermeiden, d.h. eine Proliferation, die aus der Arbeitssuche von Wissenschaftlern im Ausland resultieren könnte. Weitere Programme bemühen sich um die Verbesserung von Grenzkontrollen und der Exportkontrolle in den sowjetischen Nachfolgestaaten. Wieder andere versuchen, auf kooperative Art und Weise die Produktion von waffenfähigem, spaltbarem Material zu beenden und die Lagerbestände an spaltbarem Material zu reduzieren.

Mit der Trilateralen Initiative kamen die Vereinigten Staaten, Russland und die IAEO 1996 beispielsweise überein, für überschüssig erklärte Mengen waffenfähigen Spaltmaterials (sowohl Plutonium als auch Uran) unter IAEO-Kontrolle zu stellen. Im Jahr 1993 kauften die USA Russland 500 Tonnen hoch angereichertes Uran ab, das heruntergemischt («downblended») und als Brennstoff in US-Atomkraftwerken verwendet wird. Nach Angaben der beauftragten Firma

65 Ein Überblick kann u.a. auf folgenden Internetseiten gewonnen werden: http://www.ransac.org/; http://www.bits.de/NRANEU/NonProliferation/index.htm

wurden bis Ende 2009 382 Tonnen hoch angereichertes Uran, das rechnerische Äquivalent von 15.294 Atomsprengköpfen, im Rahmen dieses «Megatons to Megawatts»-Programms in leicht angereichertes Uran umgewandelt.[66]

Das Plutonium Disposition Agreement aus dem Jahr 2000, in dem die USA und Russland übereinkamen, zunächst je 34 Tonnen waffenfähiges Plutonium entweder in MOX-Brennstoff umzuwandeln oder durch Immobilisierung mittels Vermischung mit radioaktivem Müll lagerfähig und unschädlich zu machen, war bislang deutlich weniger erfolgreich, weil sich seine Umsetzung immer wieder verzögerte.[67] Durch ein Zusatzprotokoll wurde das Agreement im April 2010 abgeändert. Nunmehr darf Russland sein Waffenplutonium vollständig in MOX-Brennstoff umwandeln und in Reaktoren sowie Schnellen Brütern, die gesonderten Nichtverbreitungskontrollen unterliegen, als Brennstoff einsetzen.[68]

Seit 2002 gibt es eine «Weltweite Partnerschaft gegen die Verbreitung von Waffen und Material zur Massenvernichtung» der G8. Die G8-Staaten haben sich verpflichtet, für diese Initiative 20 Milliarden Dollar über einen Zeitraum von zehn Jahren auszugeben.

Im Mai 2004 starteten Russland, die USA und die IAEO die Global Threat Reduction Initiative. Deren Ziel ist es u.a., spaltbares waffenfähiges Material, das ursprünglich aus Russland oder den USA stammt, in über vierzig Ländern der Erde besser zu sichern und letztlich in die Herkunftsländer zurückzuführen. Dabei geht es vor allem um hoch angereichertes Uran (HEU), das in Forschungsreaktoren verwendet wird und zumeist ursprünglich entweder von der UdSSR oder den USA geliefert wurde. HEU soll als Reaktorbrennstoff aus zivilen Atomprogrammen verbannt werden. Forschungsreaktoren, die mit HEU betrieben werden, sollen stillgelegt oder auf niedriger angereichertes Uran als Brennstoff umgestellt werden. Der Initiative traten bis 2007 mehr als 90 Staaten bei. Schon vor dieser Initiative wurden waffenfähige Spaltmaterialien aus Serbien, Bulgarien und Kasachstan in die Vereinigten Staaten und nach Russland gebracht. Während des Nuklearen Sicherheitsgipfels im April 2010 bekundeten eine Reihe weiterer Staaten ihre Bereitschaft, künftig kein HEU mehr in solchen Reaktoren einzusetzen.

66 http://www.usec.com/megatonstomegawatts.htm

67 Der Vereinbarung vorauf gingen unilaterale Erklärungen der Regierungen Clinton (1995) und Jelzin (1997), je 50 Tonnen Waffenplutonium für militärisch überflüssig zu erklären. Eine bilaterale Kommission erarbeitete 1996/97 Optionen für den Umgang mit überschüssigem Waffenplutonium, auf deren Basis 1998 eine Rahmenvereinbarung und 2000 das erwähnte Abkommen zwischen beiden Staaten vereinbart wurden; siehe: http://www.nti.org/db/nisprofs/russia/fissmat/plutdisp/puovervw.htm. Die USA planen, von beiden Optionen Gebrauch zu machen, Russland sieht in dem Waffenplutonium einen Wertstoff und will es vollständig zu MOX verarbeiten. Weder Russland noch die USA verfügten bei Abschluss der Vereinbarung über Anlagen zur MOX-Fertigung.

68 Zum Inhalt des Amendments vgl.: http://www.state.gov/r/pa/prs/ps/2010/04/140097.htm

Etliche der ursprünglich bilateralen Initiativen der USA und Russlands sind multilateralisiert worden. Dazu gehören Hilfestellungen für Länder, um effektive, die Proliferation verhindernde Exportkontrollen durchführen zu können, sowie Projekte, die alternative Beschäftigungsmöglichkeiten für Nuklearspezialisten und -wissenschaftler schaffen sowie Hilfen zur Sicherung nuklearer Anlagen und Materialien. Diskussionen über die Sicherheitsmängel in der Ex-Sowjetunion haben auch zu Initiativen der IAEO beigetragen, die auf verstärkte Sicherheitsmaßnahmen bei zivilen Nuklearnutzungen zielen.

5.5 Zwangsmaßnahmen und militärische Maßnahmen gegen Proliferation

Während der Amtszeit George W. Bushs setzten die USA verstärkt auf unilaterale Zwangsmaßnahmen zur Verhinderung der Proliferation. Zwei Beispiele: Im Mai 2003 riefen die USA die Proliferation Security Initiative ins Leben. Ihr Ziel ist es, das Abfangen von Transporten nuklearer, biologischer oder chemischer Waffen auf dem Luft- oder Seeweg zu erleichtern und zu legitimieren. Im Visier sind auch Trägersysteme sowie Technik, Herstellungstechnologie und Materialien für all diese Waffen. Viele Länder begegneten diesem Vorschlag zunächst mit großer Skepsis, weil seine Umsetzung im Konflikt mit einer Reihe von internationalen Verträgen gestanden hätte, die die ungehinderte Passage von Flugzeugen und Schiffen garantieren. Als die Bush-Regierung die Initiative jedoch modifizierte und einschränkte, um den rechtlichen Bedenken entgegenzukommen, zeigten weitere Nationen Interesse. Über 90 Länder beteiligen sich heute.[69]

Als zweite Form ist die militärische Proliferationsbekämpfung (Counterproliferation Operations) zu nennen. Sie soll es ermöglichen, Proliferation durch militärische Gewaltanwendung rückgängig zu machen oder zu verzögern. Dafür kommen z.B. Sabotageakte von Spezialkräften, Militärschläge aus der Luft oder von See oder sogar Interventionen oder Angriffe mit Nuklearwaffen infrage. Mit solchen Operationen ist ebenfalls eine Vielzahl zum Teil gravierender völkerrechtlicher Probleme verbunden.

Soll zum Beispiel ein Staat am Bau nuklearer Waffen gehindert werden, so wäre eine solche militärische Operation solange ein völkerrechtswidriger Angriff, wie dafür kein UN-Mandat vorliegt. Würde ein nichtstaatlicher Akteur bekämpft, der versucht, nukleare Sprengköpfe zu bauen, so werden die völkerrechtlichen Probleme noch größer. Die militärische Aktion würde das Gebiet des Staates treffen, in dem der nicht-staatliche Akteur sich aufhält, ganz unabhängig davon, ob dieser Staat die Aktivitäten des nicht-staatlichen Akteurs billigt oder lediglich nicht verhindern kann. Derartige Einsätze können als präventive oder präemptive Aktionen sowie als Vergeltungsmaßnahmen durchgeführt werden. In den meisten Fällen stellen sie eine schwere Verletzung internationalen Rechts dar, weil sie als Akte der Aggression zu gelten haben.

69 Vgl. http://www.state.gov/t/isn/c10390.htm

Hinzu kommt, dass solche Proliferationsbekämpfungseinsätze in vielen Fällen wahrscheinlich geheim vorbereitet würden, um das Überraschungsmoment und die Erfolgsaussichten zu vergrößern. Somit würde vorab auch kein Versuch unternommen, eine völkerrechtlich Legitimation zu erhalten. Womöglich würde die Operation sogar geheim ausgeführt oder gar im Nachhinein nicht bekannt gegeben. Auch dies stünde der Möglichkeit, völkerrechtlich legitimiert zu handeln, im Wege. Unter George W. Bush machten die Vereinigten Staaten solche Einsätze zu einem integralen Bestandteil ihrer veröffentlichten Nationalen Sicherheitsstrategie. Staaten wie Russland oder Frankreich zeigen eine gewisse Bereitschaft, solche Optionen ebenfalls in Betracht zu ziehen. Auch unter Präsident Obama werden solche Einsätze nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Allerdings wird betont, dass diese, wann immer möglich, mit konventionellen Mitteln durchgeführt werden sollen. George W. Bush hielt sich dagegen sogar den Einsatz nuklearer Waffen in solchen Fällen offen.

Die meisten der bislang bekannt gewordenen Einsätze dieser Art waren Teil von bereits laufenden größeren Kriegshandlungen, wie etwa die Angriffe und Sabotageakte der Alliierten im Zweiten Weltkrieg auf die von Deutschland kontrollierte Schwerwasserherstellung der Norsk-Hydro in Norwegen oder das japanische Nuklearlabor in Tokio. Außerhalb von Kriegshandlungen wurden der israelische Angriff auf den irakischen Atomreaktor in Osirak 1981 und der israelische Luftangriff 2007 auf einen vermuteten Atomreaktor in Syrien bekannt.

Im Falle des Irak-Krieges 2003 wurde erstmals ein ganzer Krieg zu wesentlichen Teilen mit der Notwendigkeit begründet, die Proliferation von Massenvernichtungswaffen zu bekämpfen. Im Nachhinein zeigte sich, dass viele der angeblichen «Beweise», mit denen Washington den Waffengang öffentlich begründet hatte, nicht haltbar oder sogar wahrheitswidrig waren. Dies verdeutlicht ein weiteres Problem: Vorgebliche Geheimhaltungsnotwendigkeiten und die angebliche Notwendigkeit, rasch zu handeln, weil Gefahr im Verzug sei, lassen eine rechtzeitige Verifikation oder Falsifizierung der Gründe, die als Rechtfertigung für ein militärisches Vorgehen ins Feld geführt werden, in vielen Fällen nicht zu. Das gilt nicht nur für die Öffentlichkeit, sondern selbst für die zuständige Legislative, die ihre kriegsentschlossene Exekutive kontrollieren soll, Auch internationale Organisationen wie die Vereinten Nationen haben zumeist keine Möglichkeit, eine solche Überprüfung zeitnah zu leisten. Behauptete oder geglaubte Proliferation kann somit als Kriegsbegründung an die Stelle nachweislich erkannter Weiterverbreitung treten und im Extremfall sogar als erfundener Vorwand für Kriege dienen,[70] die aus ganz anderen Gründen geführt werden sollen. Wenn Geheimdiensterkenntnisse eine wichtige Rolle spielen, werden deren Quellen meist nicht offengelegt. Dann ist eine zeitgerechte Falsifizierung der Vorwürfe vor dem Einsatz militärischer Mittel kaum möglich. Sie kann

70 Der «Fall Irak 2003» kann in der Sache nur lehren, dass es keinen analogen «Fall Iran» mit ähnlich dürftigen «Beweisen» geben darf.

vielleicht im Nachhinein erfolgen, kommt dann aber zu spät. Geschehenes kann nicht ungeschehen gemacht werden.

Die Wirksamkeit militärischer Einsätze zur Ausschaltung oder Verzögerung von Atomprogrammen zu beurteilen ist äußerst schwierig. Soweit bekannt, war die Wirkung in der Vergangenheit eher gering oder gar kontraproduktiv. Der Irak entschloss sich nach dem israelischen Angriff auf seinen Reaktor offensichtlich, Atomwaffen zu entwickeln. Die jahrelange öffentliche Diskussion über einen möglichen Militärschlag der USA oder Israels gegen iranische Nuklearеinrichtungen wirft erneut Licht auf die Komplexität, die zweifelhaften Erfolgsaussichten und die Unwägbarkeiten einer militärischen Operation zur Zerstörung der iranischen Atomanlagen.[71] Darüber hinaus bliebe abzuwarten, ob und welchen Einfluss ein Militärschlag auf die künftigen Entscheidungen des Irans zur Ausrichtung seines Atomprogramms haben würde. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass jene Kräfte in Teheran gestärkt würden, die ein militärisches Nuklearprogramm befürworten.[72]

6 Ein widersprüchlicher Neuansatz – Nichtverbreitungspolitik unter Barack Obama

Mit der Präsidentschaft Barack Obamas in den USA zeichnet sich erneut eine Wende in der nuklearen Nichtverbreitungs- und Abrüstungspolitik ab. Knapp drei Monate im Amt hielt Obama am 5. April 2009 in Prag eine Rede, in der er sich nicht nur dazu bekannte, eine atomwaffenfreie Welt anzustreben, sondern sich auch zu entsprechenden Schritten seitens der USA verpflichtete. Obama kündigte an, er werde

- «die Rolle nuklearer Waffen in der nationalen Sicherheitsstrategie reduzieren und andere drängen, dasselbe zu tun»;
- «einen neuen START-Vertrag mit den Russen verhandeln», der die Begrenzung und Reduzierung der strategischen Atomwaffen in beiden Ländern festschreibe;
- «die Ratifizierung des Teststoppvertrags (CTBT) durch die USA sofort und aggressiv verfolgen»;

71 Fachleute bezweifeln, dass Israel militärisch in der Läge wäre, die wichtigsten iranischen Nuklearanlagen ohne fremde Hilfe zu zerstören. Den US-Streitkräften wird dies meist zugetraut, es gibt aber auch Militärexperten, die die Fähigkeit der USA, diese Anlagen überraschend und vollständig auszuschalten, anzweifeln oder davon abraten, weil Teheran zu viele Vergeltungsoptionen offen stehen.

72 Regierung und Opposition in Teheran bemühten sich in dem bisherigen Streit um das Atomprogramm mit verteilten Rollen, jeden Eindruck zu vermeiden, dass der Iran auf äußeren Druck reagiert und nachgibt. Bleibt es bei dieser Haltung, so kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie dazu führt, dass die Befürchtungen, Teheran wolle Nuklearwaffen bauen, zu einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung werden, obwohl die künftige militärische Ausrichtung des iranischen Programms zu Beginn des Streites wahrscheinlich noch nicht entschieden oder geplant war.

- einen «neuen Vertrag anstreben, der die Produktion von Spaltmaterial für den Einsatz in Waffen nachprüfbar beende»;
- den nuklearen «Nichtverbreitungsvertrag als Basis für Kooperation stärken»; es bedürfe dazu mehr «Ressourcen und Autorität», um internationale Inspektionen zu stärken, «sofortiger Konsequenzen, wenn ein Staat beim Regelbruch ertappt» werde, und man brauche «einen neuen Rahmen für die zivilnukleare Zusammenarbeit» einschließlich eines internationalen Brennstoffvorrats für Atomkraftwerke, auf den Staaten zurückgreifen könnten, ohne die Proliferationsrisiken zu vergrößern.[73]

Obama betonte zugleich ausdrücklich, jeder nichtnukleare Staat, der sich an seine Verpflichtungen aus dem NVV und gegenüber der IAEO halte, habe selbstverständlich das Recht zur uneingeschränkten zivilen Nutzung der Atomtechnik. Diese leiste einen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels.

Die Ankündigungen Obamas waren ganz offensichtlich darauf ausgerichtet, die Bereitschaft der USA zu einer multilateralen Nichtverbreitungspolitik zu signalisieren, und standen in einem zeitlichen und inhaltlichen Kontext mit der im Mai 2010 bevorstehenden Überprüfungskonferenz für den NVV. Diese sollte nicht erneut wie fünf Jahre zuvor scheitern. Alle wesentlichen Themen des NVVs wurden angesprochen, der zugrundelegende «Deal» erneuert: Die Nuklearmächte sollen abrüsten, die nichtnuklearen Staaten verschärfte Nichtverbreitungsregeln akzeptieren, und alle vertragstreuen Mitglieder des Regimes wird das Recht zur zivilen Nutzung erneut bestätigt. Die USA seien zu einer Führungsrolle auf diesem Weg bereit.

Ein Jahr später, im April 2010, zeigte Obama sich bemüht, erste praktische Ergebnisse vorzuweisen und zu zeigen, dass er seinen Worten Taten folgen lässt. Binnen sieben Tagen unterzeichnete er mit dem Nuclear Posture Review eine Blaupause für die künftige Nuklearpolitik der USA im militärischen Bereich, kehrte nach Prag zurück, um dort gemeinsam mit seinem russischen Kollegen Dmitri Medwedew einen «Neuen START-Vertrag» zu unterzeichnen und veranstaltete schließlich in Washington eine Gipfelkonferenz zur Nuklearen Sicherheit, an der sich 47 Staaten beteiligten. Alle drei Projekte hatten zum Ziel, eine Stärkung des NVV-Regimes durchzusetzen. Doch können sie das auch leisten?

6.1 Der neue START-Vertrag

Der am 8. April 2010 unterzeichnete neue START-Vertrag[74] begrenzt die Zahl strategisch-nuklearer Trägersysteme beider Vertragsparteien auf je 800 Systeme,

73 http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-barack-obama-prague-delivered

74 Der Vertrag kann eingesehen werden unter: http://www.state.gov/documents/organization/140035.pdf Das zugehörige Protokoll findet sich unter: http://www.state.gov/documents/organization/140047.pdf

von denen 700 aktiv sein dürfen, und die Zahl der anrechenbar stationierten Sprengköpfe auf je 1.550.

Washington und Moskau stellen heraus, dass die Zahl der Trägersysteme somit im Vergleich zum im Dezember 2009 ausgelaufenen START-Vertrag um mehr als die Hälfte reduziert werde, die Zahl der Sprengköpfe um 74% und im Vergleich zum neueren Moskauer Vertrag, der SORT-Vereinbarung aus dem Jahre 2002, um 30%. Was auf den ersten Blick wie eine große neue Abrüstungsverpflichtung erscheint, ist faktisch jedoch ein eher kleiner Schritt.

Weder Russland noch die USA verfügen heute noch über nukleare Potenziale, die auch nur annähernd so groß sind wie jene, die der alte START-Vertrag erlaubte. Zieht man einen Vergleich zu den heute aktiven Potenzialen beider Seiten, so fällt auf: Die USA müssen lediglich einige Dutzend strategische Träger verschrotten sowie 100 weitere Träger außer Dienst stellen. Russland muss gar nichts tun. Da nur noch 566 aktive Träger vorhanden sind, dürfte Moskau sich theoretisch sogar noch mehr als 200 zusätzliche Systeme zulegen, wenn es diese bezahlen könnte.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Sprengköpfen: Auf den aktiven Trägersystemen hatten die USA 2009 nach Schätzung der Experten der Federation of American Scientists und des Natural Resources Defense Councils rund 2.200 Sprengköpfe stationiert und hielten etwa 150 weitere in Reserve.[75] Russland verfügt über 2.500 bis 2.600 aktive Sprengköpfe.[76] Bei den Sprengköpfen käme es also auf den ersten Blick zu etwas deutlicheren Reduzierungen: Washington müsste – legt man die absolute Höchstgrenze des Moskauer SORT-Vertrages von 2.200 Sprengköpfen im Jahr 2012 zugrunde – auf 650 aktive Sprengköpfe verzichten, Moskau auf mindestens 950.[77] Doch der Schein trügt. Der deutliche Abrüstungsschritt ist zu großen Teilen Ergebnis eines Zahlentricks und muss nicht wirklich stattfinden. Ein Detail des neuen START-Vertrages macht das deutlich: Strategische Bomber werden künftig grundsätzlich als eine einzige Nuklearwaffe gezählt, im alten START-Vertrag zählten sie dagegen als zehn Waffen, wenn sie Marschflugkörper tragen konnten und nur dann als eine Waffe, wenn sie nur atomare Bomben tragen konnten. Der Moskauer SORT-Vertrag enthält zu dieser Frage keine Neuregelung. Faktisch können diese Bomber aber je 6, 12, 16 oder sogar 20 Waffen tragen. Das hat zwei Folgen: Erstens müssen einige Hundert Waffen nur auf dem Papier abgerüstet werden. Zweitens dürfen

75 Hans M. Kristensen und Robert S. Norris: «U.S. Nuclear Forces 2009», in: *Bulletin of Atomic Scientists*, March/April 2009, S.59f.

76 Hans M. Kristensen und Robert S. Norris: «Russian Nuclear Forces 2010», in: *Bulletin of Atomic Scientists*, January 2010, S.76f.

77 Der SORT-Vertrag verpflichtet beide Staaten, bis 2012 auf je 1.700 – 2.200 Sprengköpfe abzurüsten. Legt man die untere Obergrenze von 1.700 Sprengköpfen zugrunde, so haben die USA eine nominelle Abrüstungsverpflichtung von 150, Russland eine solche von 500 Sprengköpfen.

beide Vertragsparteien einige Hundert Waffen mehr behalten als die offiziell vereinbarten 1.550.[78]

Hinzu kommt, dass der neue START-Vertrag wie sein Vorgänger den Vertragsparteien keine Vorschriften macht, wie viele Sprengköpfe sie in Reserve halten dürfen. Dazu gehören Waffen, die in einer Krise wieder reaktiviert werden könnten und solche, die noch nicht delaboriert wurden. Schon in der Vergangenheit waren dies deutlich mehr Waffen als die vertraglich erlaubten. Im Jahr 2010 besitzen beide Seiten zusammen immer noch deutlich mehr als 20.000 nicht delaborierte Atomwaffen.

Wesentlicher Hintergrund der begrenzten Abrüstungsverpflichtungen des neuen START-Vertrages sind innenpolitische Zwänge in den USA und daraus resultierende verbindliche Vorgaben des U.S.-Kongresses, die das Haushaltsgesetz 2010 dem Präsidenten für seine Verhandlungen über den neuen START-Vertrag gemacht hatte. So durfte die Administration Obamas zum Beispiel keine vertragliche Verpflichtungen eingehen, die den Aufbau der Raketenabwehrsysteme der USA oder die Entwicklung und Stationierung konventionell bestückter Langstreckenwaffen eingeschränkt hätten. Da Washington den Bau land- und seegestützter konventioneller Langstreckenraketen ins Auge gefasst hat, zwang diese Beschränkung Obamas Unterhändler zu einem sehr konservativen Verhandlungsansatz bei den strategischen Trägersystemen. Hinzu kommt, dass für eine Ratifizierung des neuen START-Vertrages im Senat mindestens 8 Stimmen der Republikaner benötigt werden, von denen viele Rüstungskontrollverträge grundsätzlich ablehnen. Ob sich aufgrund der geringfügigen Eingriffe des Vertrages in das heutige Atomwaffenpotenzial der USA die notwendige Zweidrittelmehrheit im Senat für eine Ratifizierung finden lässt, bleibt abzuwarten.

Der geringe Umfang der neu eingegangenen Abrüstungsverpflichtungen dürfte für die große Mehrheit der Mitgliedstaaten des NVVs kaum hinlänglich und so überzeugend sein, damit sie während der Überprüfungskonferenz des Vertrages erheblich verbesserten Nichtverbreitungsregeln zustimmen.

6.2 Der Nukleare Sicherheitsgipfel

Für den 12. und 13. April 2010 lud Barack Obama zu einem Nuclear Security Summit nach Washington ein. Der Einladung folgten 47 Staaten. Ziel des Gipfels war es, einen Prozess zu initiieren, in dem sich die teilnehmenden Staaten auf verstärkte Sicherheitsbemühungen für und/oder zum Verzicht auf die Nutzung waffenfähigen Spaltmaterials auf ihrem Territorium verpflichten. Der Gipfel

78 Wie viele Waffen dies letztlich maximal wären, hängt davon ab, wie viele strategische Bomber beide Seiten künftig als strategische Trägersysteme deklarieren. Russland und die USA beabsichtigen, ihre Bestände an nuklearen luftgestützten Marschflugkörpern zu modernisieren.

verabschiedete ein Kommunique[79] und einen Arbeitsplan[80]. Beide sind nicht rechtsverbindlich, sondern politische Willensbekundungen auf freiwilliger Basis. Im Vordergrund der Vereinbarungen stehen Selbstverpflichtungen der Teilnehmerstaaten,

- bestehende internationale Vereinbarungen wie die Konventionen zum physischen Schutz nuklearer Materialen und zur Verhinderung von Akten des Nuklearterrorismus durch rasche und gute Implementierung sowie das Werben für deren Universalisierung zu stärken; gleiches gilt für die UN-Sicherheitsratsresolution 1540[81], deren Ziel es u.a. ist, nicht-staatliche Akteure von Massenvernichtungswaffen fernzuhalten;
- eine Vielzahl von Initiativen der IAEO, die der verbesserten Sicherung nuklearer Materialien und Einrichtungen dienen, umzusetzen und zu stärken, so z.B. das aktualisierte INFCIRC 225, den Nuklearen Sicherheitsplan 2010-2013 und den geplanten neuen technischen Leitfaden zu Nuclear Material Accountancy Systems at Facilities;
- Nuklearmaterialien, insbesondere für Waffen nutzbare Nuklearmaterialien, sowie nukleare Einrichtungen in geeigneter Weise zu sichern und nichtstaatliche Akteure davon abzuhalten, auf Informationen oder Technologie zuzugreifen, die notwendig sind, um Nuklearmaterial für schädliche Zwecke zu nutzen;
- Maßnahmen zu fördern, mit denen hochangereichertes Uran und abgetrenntes Plutonium (Waffen- und Reaktorplutonium) gesichert und erfasst werden können, die Lagerung dieser Materialien zu konsolidieren und die Konversion von Reaktoren von HEU auf LEU zu fördern, «wo dies technisch und wirtschaftlich machbar ist» sowie HEU-Targets durch andere Materialien zu ersetzen, wo dies möglich ist;[82]
- sich um die Unterbindung des Nuklearschmuggels und einen verbesserten Informationsaustausch zu bemühen sowie um verbesserte Fähigkeiten im Bereich der nuklearen Forensik;
- Maßnahmen zur sicheren Nutzung von radiologischen Quellen zu verbessern und diesbezüglich weitere Schritte ins Auge zu fassen.

Mit dem Nuclear Security Summit konnte der angestrebte Prozess einer kontinuierlichen Zusammenarbeit angestoßen werden. In zwei Jahren soll ein weiterer Gipfel in Seoul stattfinden. Barack Obama konnte seine Bereitschaft zu breit

79 Vgl.: http://www.whitehouse.gov/the-press-office/communiqu-washington-nuclear-security-summit

80 Vgl.: http://www.whitehouse.gov/the-press-office/work-plan-washington-nuclear-security-summit

81 Vgl.: http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N04/328/43/PDF/N0432843.pdf?OpenElement

82 Der Weiterbetrieb des Forschungsreaktors in Garching mit HEU ist mit dieser Formulierung abgesichert, da die Entwicklung von alternativen Uranmolybdän-Brennstoffen noch nicht zu einem Ergebnis gekommen ist, die eine Konversion technisch erlauben würde.

angelegten multilateralen Nichtverbreitungsinitiativen signalisieren und somit deutlich machen, dass er – anders als sein Vorgänger George W.Bush – nicht auf einseitiges Vorgehen setzt. Schließlich kann der Gipfel auch als Signal an alle Mitglieder des NVV gewertet werden, dass der Sicherheit nuklearer Materialien und Einrichtungen von einer großen Staatengruppe verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet wird. Substanziell neue Initiativen gingen von ihm aber nicht aus.

Mit dem Gipfel verbunden war jedoch auch ein sehr ambivalentes Signal: Die Regierung Obama stellte – wie auch in ihrem Nuclear Posture Review (siehe 6.3) – die Eindämmung terroristischer Bestrebungen, Zugriff auf nukleare Materialien, Technologien oder gar Waffen zu bekommen, deutlich in den Vordergrund ihrer Argumentation. Mit dieser Schwerpunktsetzung in der Risikoanalyse und bei der Begründung für die Notwendigkeit des Selbstverpflichtungsprozesses war es vergleichsweise einfach, die Unterstützung relativ vieler Staaten zu gewinnen bzw. ihnen eine Verweigerungshaltung zu erschweren. Doch hat diese Medaille auch eine Kehrseite: Das Risiko, dass Terroristen versuchen, auf waffenfähige Nuklearmaterialien zuzugreifen, ist geringer als das Risiko, dass Staaten dies versuchen. Würde eine konsequente Anwendung aller Selbstverpflichtungen auch auf staatliche Akteure eingefordert, die ja von etlichen der Maßnahmen, die befürwortet oder vereinbart wurden, betroffen sind, so muss damit gerechnet werden, dass manche staatlichen Akteure solche Forderungen als diskriminierend werten.

6.3 Der Nuclear Posture Review

Der am 6. April vorgestellte Nuclear Posture Review[83] ist ein vom Kongress angeforderter Bericht, mit dem Präsident Obama seine künftige Nuklearpolitik in all ihren wesentlichen Aspekten vorzeichnen sollte. Er umfasst die Bereiche Nuklearpolitik, Nuklearstrategie und -doktrin, das Atomwaffenpotenzial und dessen Zukunft sowie konzeptionelle Aussagen zur Zukunft des militärisch-nuklearindustriellen Komplexes.[84] Die Zukunft der zivilen Atomenergienutzung ist nicht Gegenstand dieses Berichts. Behandelt werden sollen hier nur die Aspekte, die hinsichtlich der Zukunft des Nichtverbreitungsregimes von besonderer Bedeutung sind.

Das Dokument nimmt erstmals das Ziel einer atomwaffenfreien Welt explizit auf. Es beschreibt die Gefahr, dass Terroristen an das Material für eine Atomwaffe gelangen oder gar eine Atomwaffe einsetzen könnten, als die größte Bedrohung der Gegenwart, gefolgt von der Verbreitung atomarer Waffen an weitere Staaten, und erklärt die Wiederbelebung und Stärkung des NVV-Regimes deshalb zu einer Priorität in der Nuklearpolitik Obamas. Auch das geschieht zum ersten Mal in einem Dokument zur strategischen Nuklearpolitik der USA. Die Aufrechter-

83 http://www.defense.gov/npr/docs/2010 Nuclear Posture Review Report.pdf

84 Eine ausführliche Dokumenten- und Studiensammlung zu diesem Themenbereich kann hier eingesehen werden: http://www.bits.de/main/npr2001.htm

haltung der Abschreckung und der strategischen Stabilität gegenüber anderen Nuklearmächten wie Russland oder China folgt erst an dritter Stelle. Der Bericht verdeutlicht, dass die neue Administration einen Atomwaffeneinsatz deutlich zurückhaltender betrachten will als all ihre Vorgängerregierungen. Sie setzt sich insbesondere von der Politik George W. Bushs deutlich ab. Die USA können – so der Nuclear Posture Review – etlichen Risiken, bei denen sich die Regierung Bush einen Atomwaffeneinsatz offenhielt, auch mit konventionellen Mitteln begegnen, so zum Beispiel dem Einsatz chemischer und biologischer Waffen durch nicht-nukleare Staaten. Die «fundamentale Aufgabe und Rolle» nuklearer Waffen sei es, «einen nuklearen Angriff auf die USA, ihre Alliierten und Partner abzuschrecken». Ziel sei es, die Rolle nuklearer Waffen weiter zu reduzieren, so dass die Abschreckung eines Nuklearangriffs künftig die «einzige Aufgabe» nuklearer Waffen werde. Bis dahin müsse aber an der Möglichkeit, Nuklearwaffen einzusetzen, noch festgehalten werden, um «unter extremen Umständen die vitalen Interessen der USA, ihrer Verbündeten und Partner zu verteidigen.»

Der Bericht fasst auch die für das NVV-Regime bedeutsame negative Sicherheitsgarantie für nicht-nukleare Staaten neu und klarer: Die «Vereinigten Staaten werden Staaten, die nicht-nukleare Mitglieder des Nichtverbreitungsvertrages sind und ihre nuklearen Nichtverbreitungsverpflichtungen erfüllen, nicht mit dem Einsatz nuklearer Waffen drohen oder Nuklearwaffen gegen diese Staaten einsetzen.» [85] Diese Garantie gilt explizit auch, wenn einer dieser Staaten biologische oder chemische Waffen einsetzen sollte.[86] Rechnen müssen mit der nuklearen Drohung Washingtons künftig also nur noch Nuklearmächte und Staaten, die ihre Verpflichtungen aus dem NVV nicht einhalten. Gemeint sind damit derzeit vor allem Nordkorea und der Iran. Gegen solche Staaten behält sich Washington auch das Recht vor, auf einen Einsatz von B- und C-Waffen nuklear zu reagieren, ein indirekter Hinweis, dass Washington sich den Ersteinsatz nuklearer Waffen weiter vorbehält. Explizit kommt er im neuen NPR nicht mehr vor.

Ungeklärt bleiben allerdings zwei sehr problematische Aspekte: Wer entscheidet, ob ein Staat seine Verpflichtungen aus dem NVV einhält oder nicht? Die Vereinten Nationen, die IAEO oder der U.S.-Präsident?[87] Unklar bleibt

85 Zum Vergleich: Unter George W. Bush lautete diese Formel 2002: «The United States will not use nuclear weapons against non-nuclear weapon states parties to the Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons [NPT], except in the case of an invasion or any other attack on the United States, its territories, its armed forces or other troops, its allies or on a state toward which it has a security commitment, carried out or sustained by such a non-nuclear weapon state in association or alliance with a nuclear weapon state.» Sie verdeutlicht, dass die Rolle nuklearer Waffen unter Bush wesentlich breiter angelegt war.

86 Für den Fall eines technologischen Durchbruchs im Blick auf die Einsetzbarkeit und Wirksamkeit biologischer Kampfstoffe behält sich die Regierung Obama im NPR eine Rückkehr zur bisherigen Politik vor.

87 In Washington beantwortet sich diese Frage so klar von selbst, dass sie gar nicht erst gestellt werden muss. Der Präsident entscheidet und kann sich internationaler Unterstützung versichern, muss dies aber nicht.

darüber hinaus, ob diese Entscheidung auf Basis klarer Beweise oder geglaubter Annahmen gefällt werden soll. Beide Aspekte erlangten im Umfeld des Krieges gegen den Irak 2003 traurige und unrühmliche Bedeutung.

Im Bereich der deklaratorischen Politik wird die Rolle nuklearer Waffen unter Barack Obama deutlich eingeschränkt und reduziert. Allerdings: Bis diese Veränderungen in Zielplanungen, Operationsplänen und Eventualfallplanungen der US-Streitkräfte ihren Niederschlag finden werden, dürften etliche Jahre vergehen. Bis dahin wird weiter nach den Vorschriften aus George W. Bushs Zeit geplant.[88] Zudem ist offen, wie weit und vor allem wie schnell die Streitkräfte Obamas «politische» Vorgaben umsetzen werden. Sie könnten darauf hoffen, dass ein künftiger republikanischer Präsident die deklaratorische Politik der USA erneut ändert.

Hinsichtlich der Zukunft der amerikanischen Atomstreitkräfte sieht der Nuclear Posture Review nur geringe Änderungen vor. Er ist geradezu strukturkonservativ. Natürlich soll der neue START-Vertrag umgesetzt werden. Voruntersuchungen für weitere Gespräche mit Russland sollen vorgenommen werden. Die USA werden jedoch an ihrer Triade nuklearer Trägersysteme festhalten und diese nur wenig verändern. Die begonnene Reduzierung der Sprengkopfzahl auf Interkontinentalraketen (von 3 auf 1) soll abgeschlossen werden; in zwei Jahren soll es eine Entscheidung geben, ob man zwei strategische U-Boote aufgibt. Die Zahl der Langstreckenbomber mit nuklearen Aufgaben könnte noch einmal reduziert werden. Signifikant sind diese Änderungen nicht.

Ein deutliches Signal geht dagegen von der Entscheidung aus, alle wesentlichen Modernisierungsvorhaben im Bereich der nuklearen Trägersysteme weiterzuführen und deren Nachfolgesysteme zu entwickeln bzw. einzuführen. Befürwortet wird beispielsweise die Neuentwicklung eines neuen Langstreckenmarschflugkörpers, eines neuen Bombers und einer neuen Generation von U-Booten für strategische Raketen, die ab 2019 gebaut werden und eine «ununterbrochene strategische Abschreckung bis in die 2080er Jahre» sicherstellen sollen.[89]

In gleicher Weise befürwortet der Nuclear Posture Review auch eine Fortführung der Modernisierung der Nuklearsprengköpfe für die Trident-Rakete (W76-1), ein umfassendes Modernisierungsprogramm für die Familie der B-61-Bomben (B-61-12) [90] und Vorarbeiten für eine Modernisierung der Sprengköpfe für Interkontinentalraketen (W78). Um diese Projekte umsetzen zu können, werden substantielle Investitionen in den militärisch-nuklearindustriellen Komplex befürwortet, die eine Modernisierung oder den Neubau vieler Anlagen ermöglichen sollen.

---

88 Das zeigt z.B. der OPLAN 8010-08 «Strategic Deterrence and Global Strike» in seiner Fassung aus dem Februar 2009; vgl: Hans M. Kristensen: Obama and the Nuclear War Plan, Federation of the American Scientists Issue Brief, February 2010.

89 Vgl.: http://www.senate.gov/~armed_services/statemnt/2010/03%20March/Johnson%2003-17-10.pdf

90 Zwei taktische Versionen, die B-61-3 und die B-61-4, sind in Europa stationiert.

Das unter George W. Bush eingeführte Konzept der «neuen Triade» und einer Abschreckung, die künftig aus einer nuklearen Komponente, Raketenabwehrsystemen und konventionellen Langstreckenwaffen für «Prompt Global Strikes», also rasche strategische Angriffe mit konventionellen Langstreckenwaffen, bestehen soll, wird übernommen. Es soll nunmehr auch auf regionale Abschreckungssysteme, also auf Europa und die NATO, den Nahen und Mittleren Osten sowie auf den Fernen Osten (Südkorea, Japan) übertragen werden.

Diese Entscheidungen über die Zukunft der militärisch-nuklearen Hardware stehen in einem deutlichen Kontrast zu den Veränderungen in der deklaratorischen Politik. Sie vermitteln den Eindruck, als sei die Vision einer atomwaffenfreien Welt allenfalls eine Vision für das 22. Jahrhundert. Damit aber wirken sie kontraproduktiv im Blick auf die Voraussetzungen für eine erfolgversprechende, verbesserte nukleare Nichtverbreitungspolitik.

6.4 Worte und Taten – Probleme und Widersprüche

Im Vergleich zu den Ankündigungen in seiner Prager Rede ist die tatsächliche Bilanz Obamas eine gemischte. Der Präsident hat sich um einen neuen Abrüstungsvertrag mit Russland bemüht, diesen umgesetzt – aber noch nicht gegenüber dem Senat durchgesetzt. Die angekündigte baldige Ratifizierung des Teststoppvertrages hat die Regierung Obamas bislang nicht eingeleitet, weil sie fürchtet, im Senat zu scheitern; eine Gefahr, die in deutlich geringerem Maße auch hinsichtlich des neuen START-Vertrags besteht. Das Versprechen, die Rolle nuklearer Waffen in der Sicherheitsstrategie zu reduzieren, hat Obama eingelöst, auch wenn er dabei für viele nicht weit genug ging. Sein Bemühen, den Multilateralismus wiederzubeleben und zu einer Stärkung des NVV-Regimes und zur Durchsetzung verschärfter Nichtverbreitungsregeln zu nutzen, ist offenkundig. Die Entscheidungen zur strukturkonservativen Umstrukturierung des Nuklearwaffenpotenzials und zur Unterstützung praktisch aller schon unter George W. Bush bestehenden Modernisierungsvorhaben in diesem Bereich mögen innenpolitisch notwendige Zugeständnisse sein, werden aber auf dem Weg zu einer deutlich verbesserten Nichtverbreitungspolitik als großer Hemmschuh wirken.

Zudem ist Obamas Atompolitik in zwei Punkten äußerst widersprüchlich. Beide stellen erhebliche Risiken dar: Zum einen betrachtet die Obama-Administration den Nuklear-Terrorismus und die Gefahr einer Proliferation an nicht-staatliche Akteure als größte Bedrohung für die Zukunft.[91] Sie will die Nichtverbreitungspolitik und die Stärkung des NVV-Regimes deshalb zu ihrer Priorität machen. Das erfordert starke Signale der eigenen atomaren Abrüstungsbereitschaft, die – wenn die Konsequenzen aus Obamas Risikoanalyse gezogen würden – zu weit tieferen Einschnitten in die noch vorhandenen

91 Es darf aber bezweifelt werden, ob im Terrorismus tatsächlich die größte nukleare Bedrohung liegt. Möglicherweise ist sie nur die opportunste. Das Entstehen weiterer Nuklearwaffenstaaten und von «multidirektionalen Abschreckungssystemen», die deutlich leichter versagen könnten, sehen viele Experten als das größere Risiko.

Nuklearpotenziale führen müssten, als bislang geplant. Die Entscheidungen zur Zukunft des U.S.-Nuklearpotenzials dagegen signalisieren etwas ganz anderes: Umfang und Ausstattung der Nuklearstreitkräfte orientieren sich eindeutig und primär an der Möglichkeit, anderen Nuklearmächten noch lange mindestens ebenbürtig, besser sogar überlegen zu bleiben. Zudem signalisieren sie, dass die Vereinigten Staaten auch bis weit in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts über starke, moderne Atomstreitkräfte sowie die Möglichkeit und die Infrastruktur verfügen wollen, diese auch weiter zu modernisieren. Damit werden sie mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem entscheidenden Hindernis bei der Bekämpfung der Proliferationsgefahren, weil sie die Bereitschaft vieler anderer Staaten unterminieren, verschärfte Nichtverbreitungsregeln zu akzeptieren und das NVV-Regime zu stärken.

Der zweite Widerspruch in Barack Obamas Nuklearpolitik zeigt, dass er Gefangener der immanenten Widersprüchlichkeit des NVV ist: Obama betont immer wieder das Recht der nicht-nuklearen Staaten, umfassend die friedliche Nutzung der Atomenergie zu praktizieren. Unterstützend verweist er darauf, dass Atomkraftwerke bei der Reduzierung der CO_2-Emissionen und der Eindämmung des Klimawandels eine wichtige Rolle spielen können. Obama signalisiert, dass die Vereinigten Staaten selbst neue Atomkraftwerke bauen werden und fördert das durch die Bereitstellung günstiger Kredite im Umfang von vielen Mrd. US-Dollar. Schließlich signalisiert seine Regierung, dass sie Bemühungen zu Bau und Entwicklung einer neuen Generation möglichst proliferationsresistenter Atomkraftwerke für den Export massiv unterstützen will. Dies alles mag als gut gemeintes Signal an nicht-nukleare Staaten zu verstehen sein, die die Atomenergie zivil nutzen wollen und – Obama zufolge – auch nutzen sollen. In der Praxis aber kann so nur vorgehen, wer bereit ist, künftig noch wesentlich größere Proliferationsrisiken in Kauf zu nehmen, als derzeit bereits vorhanden sind.

7 Eine Welt auf der Suche nach Energie

Die Sorge wächst, ob die wichtigsten Energiequellen – Öl und Erdgas – auch weiterhin den wachsenden Bedarf der Erdbevölkerung befriedigen können. Trotz Finanzkrise – die weltweite Nachfrage nach Energie wird weiter rapide wachsen. Seit Asien viele arbeits- und energieintensive Produktionen übernimmt, die früher in der westlichen, sich jetzt deindustrialisierenden Welt beheimatet waren, ist der Energiebedarf dort sprunghaft gestiegen. Eine ausreichende Energie- und Elektrizitätsversorgung ist zu einer der Grundvoraussetzungen für Entwicklung geworden. Jedoch sind weder die Öl- noch die Gasvorräte der Erde unerschöpflich, und zu erschwinglichen Preisen kann nur in begrenzten Mengen jederzeit und überall hin geliefert werden. Früher oder später ist mit Engpässen zu rechnen, die aus der Kluft zwischen Nachfrage und Angebot, aus der Erschöpfung zu wirtschaftlichen Preisen förderbaren Mengen oder aus regionalen Konflikten resultieren können. Parallel wächst die Erkenntnis, dass alle fossilen

Energieträger den Klimawandel in starkem Maße mit befördern und dass deren verstärkte Nutzung deswegen mit einer Eindämmung der Risiken, die aus dem Klimawandel resultieren, nicht vereinbar ist. Deshalb wurde die Suche nach alternativen und zusätzlichen Energiequellen zu einem maßgeblichen Trend – sowohl in der westlichen Welt als auch in den sich entwickelnden Ländern. Die Atomenergie ist – neben den unstrittig geeigneten Erneuerbaren Energien – eine der Alternativen, die immer stärker in Betracht gezogen wird.

Diverse Studien gehen davon aus, dass es möglich wäre, die Proliferation zu begrenzen und gleichzeitig weiter zivile Nukleartechnologie zu exportieren.[92] Von dieser Sicht scheint auch die Politik der neuen US-Regierung bestimmt zu sein. Die politischen Nichtverbreitungsvorschläge, die zu diesem Zweck angeboten werden, dürften jedoch in etwa so vielversprechend und wirksam sein wie jene, die in den 1960er und 1970er Jahren proklamiert wurden. Sie erlauben es, Zeit zu erkaufen, bis erneut Schlupflöcher und Lücken durch erste Proliferationsfälle sichtbar werden. Wenn nichtstaatliche Akteure beginnen, sich aktiv auf diesem Feld zu tummeln, werden zudem die meisten Teile des Nichtverbreitungsregimes, die geschaffen wurden, um die Proliferation zwischen Staaten zu verhindern, nur noch begrenzt greifen oder gar noch mehr Schlupflöcher bekommen als früher. Übersehen wird von jenen, die nukleare Technologieexporte trotz der Proliferations- und Sicherheitsbedenken befürworten, dass sie dabei die Existenz eines zentralen Problems weitgehend leugnen müssen: Man kann nicht zugleich ein Maximum an Schutz vor Proliferation und ein Maximum an wirtschaftlichen Vorteilen aus dem Export ziviler Nukleartechnik anstreben. Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen wird die nukleare Proliferation auch in Zukunft ein Problem für die internationale Sicherheit darstellen.

Es ist aller Wahrscheinlichkeit nach nicht übertrieben zu behaupten, dass es nach aktuellem und absehbarem Stand der Technik unmöglich ist, die zivile Nutzung der Atomenergie hundertprozentig resistent gegen Proliferation zu machen. Es ist zwar möglich, die Hürden zu erhöhen und die Probleme zu begrenzen. Jedoch werden wohl alle vorgeschlagenen und auch umsetzbaren Maßnahmen zur Eindämmung dieser Problematik mit der Zeit an Wirksamkeit einbüßen. Technologischer Fortschritt und ein wachsender Zugang zu immer hochwertigeren Technologien wird irgendwann den Versuch erleichtern, auch verbesserte Nichtverbreitungsmaßnahmen zu umgehen.

Selbst unter günstigsten Bedingungen ist anzunehmen, dass die Proliferationsrisiken wachsen, wenn die Zahl der Länder wächst, die Atomenergie zur Elektrizitätserzeugung nutzen. Mit jedem Land, das sich dem Kreis der zivilen Atomenergienutzer anschließt, gibt es zusätzliche Orte, an denen nukleares Material überwacht werden muss, zusätzliche Experten und Wissenschaftler mit spezieller Ausbildung und Wissen, die beschäftigt werden wollen oder die

92 Vgl. z.B.: The Atlantic Council: *Proliferation and the Future of Nuclear Power*, Washington DC 2004.

Technik weiterentwickeln können, und zusätzliche Orte mit Einrichtungen, die durch Terroranschläge verwundbar sind.

Die Risiken der Weiterverbreitung werden aus unterschiedlichen Gründen wohl weiter steigen:

- Erstens: Uran ist wie Gas und Öl eine begrenzt als Energiequelle verfügbarer Rohstoff. Die Weltreserven an Uran werden definitiv zu Ende gehen, ganz gleich ob sie bei gleichbleibendem Verbrauch noch 60, 80 oder 100 Jahre reichen. Institutionen, die den Uranvorräten der Erde eine lange Haltbarkeit attestieren, gehen zumeist auch von einer künftig rapide wachsenden Zahl von Atomkraftwerken und damit von einem ebenso rapide wachsenden Uranverbrauch aus. Wollte man Uran zu einer langfristigen, nachhaltigeren Energiequelle machen, so müsste man geschlossene Brennstoffkreisläufe und damit Technologien wie Wiederaufbereitung und Plutoniumabtrennung setzen, damit der Rohstoff Uran mehrfach genutzt werden kann. Mit der Wiederaufbereitung aber sind deutlich größere Proliferationsrisiken verbunden, vor allem, wenn immer mehr Länder entsprechende Anlagen bauen und betreiben sollten.
- Zweitens: Ein Nebeneffekt der Globalisierung ist die Schwächung des staatlichen Gewaltmonopols. Dieses Phänomen wird oft unter dem Rubrum «failing states» oder «failed states» abgehandelt. In solchen Staaten haben Regierungen Teile des Territoriums, auf dem sie Sicherheit garantieren sollen, nicht mehr unter Kontrolle. Sie können dort Sicherheit nicht mehr garantieren. Wenn solche scheiternden Staaten nukleare Einrichtungen beherbergen, ganz gleich ob zivile oder militärische, dann entsteht ein eklatantes Proliferationsproblem. Der Zerfall der Sowjetunion hat der Welt viele Aspekte vor Augen geführt, die eine solche Situation kennzeichnen. Können wir sicher sein, dass Pakistan niemals zu einem «failing state» wird oder gar zerfällt? Gilt das auch für all die afrikanischen Staaten, die derzeit verstärkt über eine Nutzung der Atomenergie nachdenken?
- Drittens: Es wird immer mehr Länder geben, die nukleare Technologien liefern können, weil sie zivile nukleare Einrichtungen betreiben. Damit steigt die Zahl der Technologiequellen, der Umfang und die Qualität des Technologietransfers, und schrittweise werden immer mehr Länder in die Lage versetzt, einzelne relevante Komponenten selbst herzustellen und damit auch auszuführen. Die wirtschaftlichen Anreize solcher Exportgeschäfte greifen erfahrungsgemäß in vielen Fällen schneller als der Aufbau wirksamer Exportkontrollsysteme und die Realisierung verbesserter Sicherheitsstandards. Die Deindustrialisierung des Westens und die Industrialisierung des Südens werden somit zu einem ernsthaften Test für die heutigen Mechanismen der Kontrolle, der Begrenzung oder des Verbots nuklearer Technologieexporte. Zudem könnten einige der potenziellen künftigen Lieferstaaten nuklearer Technologie ein anderes Verständnis von der legitimen zivilen Nutzung der Nukleartechnik haben als die traditionellen Atommächte und ihre engen Verbündeten. Erinnert sei an den Vorwurf der «nuklearen Apart-

heid», den die Exportpolitik des Nordens verfolge. Das aber würde auch die Systeme zur Kontrolle nuklearer Ausfuhren vor große neue Herausforderungen stellen. Wenn neue Lieferländer erst einmal beginnen, um Marktanteile zu kämpfen, kann es durchaus sein, dass auch die Industrien in den westlichen Ländern ein altes und gefährliches Argument wieder aufnehmen, das schon in früheren Jahrzehnten die nukleare Proliferation gefördert hat: «Wenn wir es nicht verkaufen, werden sie es tun. Also ist es besser, wir verkaufen es selbst.»

Schon im Jahr 1979 kam eine Studie des Stockholmer Friedensforschungsinstituts SIPRI über die Proliferationsrisiken der Atomenergie zu dem Schluss, dass ein Brennstoffkreislauf, der auf multilateralen Anreicherungs- und Brennstoffeinrichtungen beruht, die wohl wirksamste Absicherung gegen Proliferation darstellen würde.[93] Die Studie drang darauf, entschlossen jene zwei oder drei Jahrzehnte zu nutzen, die durch den NVV und andere Nonproliferationsmaßnahmen gewonnen würden, um einen solchen Brennstoffkreislauf aufzubauen. Die drei Jahrzehnte sind vergangen, ohne dass auf dem vorgeschlagenen Weg signifikante Fortschritte gemacht wurden. Nationale Wirtschaftsinteressen standen ihnen im Wege. Erst in den letzten Jahren – ausgelöst durch die Debatte über den Iran – wurde wieder verstärkt über eine Multilateralisierung nachgedacht.[94] Bis heute ist es aber nur schwer vorstellbar, dass mit künftigen Proliferationsrisiken vorausschauender umgegangen wird.

Die Atomenergie wird noch immer in vielen Ländern als eine hochwertige, komplexe und moderne Technologie angesehen, deren Beherrschung als Nachweis technologischer Entwicklung und Leistungsfähigkeit gilt. Deshalb wird sie in vielen Ländern als ein wichtiger Bestandteil der Entwicklung und Modernisierung betrachtet. Nicht alle Länder verfügen über die wirtschaftlichen Mittel, diesen Weg auch zu gehen. Aber diejenigen, die die Mittel haben, können die nukleare Option wählen. Solange westliche Länder, die am profitablen Export nuklearer Anlagen und Technik interessiert sind, Atomenergie als moderne, klimafreundliche und billige Energiequelle darstellen, werden sie dazu beitragen, dass weitere Länder in die Nutzung nuklearer Technik einsteigen. Indem sie es tun, erhöhen sie zwangsläufig das Risiko der Proliferation.[95]

Der Nichtverbreitungsvertrag und das Nichtverbreitungsregime, die seit den 1960er Jahren und im beginnenden 21. Jahrhundert geschaffen wurden, fußen noch immer auf ein und demselben «Tauschhandel». Die Atomwaffenstaaten

93 Frank Barnaby et al. (eds.): *Nuclear Energy and Nuclear Weapon Proliferation*, London/Stockholm 1979.

94 Unter Aufsicht der IAEO soll ein kleines, multilaterales Brennstoffreservoir entstehen, auf das die Mitgliedstaaten zurückgreifen können.

95 Es wäre eine Überlegung wert, die Atomenergie verstärkt als veraltende Technologie darzustellen und zu verdeutlichen: Heute arbeiten in immer mehr Ländern die besten Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler eher an Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz oder an Erneuerbaren Energien denn an nuklearen Technologien.

versprechen, ihre Waffenarsenale abzurüsten, die nicht-nuklearen Mitglieder versprechen, sich solche atomaren Waffen gar nicht erst zuzulegen – und allen Mitgliedern gemeinsam wird das uneingeschränkte Recht zur zivilen Nutzung der Nukleartechnik zugestanden. Natürlich ist es möglich, die Nichtverbreitung bzw. die Verhinderungsmechanismen für Proliferation zu stärken. Das erfordert politischen Willen. Ob dieser Wille existieren wird, hängt aber in vielen Ländern weiterhin von sichtbaren Fortschritten bei der nuklearen Rüstungskontrolle und Abrüstung ab. Es hängt zudem auch davon ab, ob die zivile Nutzung der Nukleartechnik in Staaten eingeschränkt oder gar auf sie verzichtet werden kann. Auch das bedarf des politischen Willens. Nur fehlt es bislang an diesem, sowohl was die weitere zivile als auch was die militärische Nutzung der Kerntechnik betrifft. Wie sehr es an diesem Willen mangelt, zeigt auch die deutsche Diskussion über eine Laufzeitverlängerung bestehender Atomkraftwerke oder gar einen Austieg aus dem bereits vereinbarten Atomausstieg.

Man kann die zivile und die militärische Nutzung der Atomtechnik als siamesische Zwillinge betrachten. Die eine ist letztlich nicht ohne die andere zu haben und beide bergen ihre je eigenen, großen Risiken. Nur wenn auf beide verzichtet würde, gäbe es eine realistische Perspektive, dass die Vision einer Welt ohne Atomwaffen auch Realität werden könnte und von Dauer wäre. Die beste und proliferationsresistenteste Lösung wäre eine «doppelte Null-Lösung» – der Verzicht auf Atomwaffen und Atomenergie. Zumindest das bislang stärkste Argument gegen die Vision einer atomwaffenfreien Welt – «Niemand kann garantieren und überprüfen, dass kein Akteur doch wieder Atomwaffen baut» – wäre dann kaum noch zugkräftig: Ein Verzicht auf Atomwaffen und Atomenergie ist viel leichter und effizienter zu überwachen als der ausschließliche Verzicht auf atomare Waffen.[96]

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft, der älteste und größte nationale Physikerverband der Erde, hat am 6. 4. 2010 eine Resolution veröffentlicht.[97] Die Wissenschaftler regten darin an, anlässlich der Überprüfungskonferenz für den NVV im Mai 2010 Verhandlungen über eine Atomwaffenkonvention zu initiieren: Bis 2020 soll ein Vertrag erreicht werden, der atomare Waffen ächtet und verbietet. Eine ähnliche Initiative mit Blick auf die Atomenergie wäre angebracht. Denn der Ausstieg aus beiden Nutzungen der Atomtechnik braucht und wird Zeit.

96 Wenn ausschließlich die militärische Nutzung der Nukleartechnik verboten würde, «überleben» Wissen, Expertise und technische Voraussetzungen im zivilen Nuklearsektor; wird auf beide Nutzungen verzichtet, so «sterben» auch Expertise und Experten «langsam aus».

97 Vgl.: http://www.dpg-physik.de/presse/pressemit/2010/dpg-pm-2010-12.html

HENRY D. SOKOLSKI

Atomwaffen, Energiesicherheit, Klimawandel – Wege aus dem nuklearen Dilemma

Im Vorfeld der Überprüfungskonferenz zum Atomwaffensperrvertrag im Mai 2010 haben die großen Staaten so entschlossen wie nie zuvor einige wichtige Ziele verfolgt – nämlich die vorhandenen Bestände an Atomwaffen in den USA und Russland zu verringern, etwas gegen Pjöngjangs atomare Aufrüstung zu unternehmen und sämtliche Aktivitäten des Iran, die dieses Land in den Besitz von Atomwaffen bringen könnten, zu unterbinden. Dahinter steht die Hoffnung, all diese Bemühungen könnten sich gegenseitig verstärken und schließlich dazu führen, dass nicht nur zwischen den USA und Russland, sondern auch mit den anderen Atomwaffenstaaten auf der Welt weitere Vereinbarungen zum Abbau von Atomwaffen erzielt werden. Letztlich hofft man auch, Fortschritte bei der Verringerung der vorhandenen Atomwaffenbestände könnten die Nichtatomwaffenstaaten auf der Welt dazu bewegen, gefährliche Aktivitäten im Zusammenhang mit der zivilen Produktion von Atombrennstoffen zu vermeiden und die zivilen Atomanlagen stärker für umfassende internationale Inspektionen zu öffnen.

Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass sich all diese Hoffnungen erfüllen werden. Falls es zu keinem Regierungswechsel in Nordkorea oder im Iran kommt, wird vermutlich weder Pjöngjang auf sein Atomwaffenarsenal verzichten, noch wird der Iran seine nuklearen Aktivitäten aufgeben. Was den Abbau der vorhandenen Atomwaffenarsenale anbelangt, so wird es, nachdem die USA und Russland das neue START-Nachfolgeabkommen unterzeichnet haben, vielleicht bei den strategischen Waffen einen gewissen Abbau geben (vielleicht bis auf 1000 oder 500 Sprengköpfe); weitere Abkommen, mit denen Russlands weitaus größere Zahl an taktischen Atomwaffen reduziert werden könnten, werden jedoch kaum so leicht und schnell zustande kommen. Russland ist sich klar darüber, dass die Diskrepanz zwischen seinen konventionellen militärischen Kapazitäten und denen der NATO und Chinas immer größer wird: Russland fällt zurück. Wenn es um seine Sicherheit geht, wird sich Moskau daher eher auf seine Tausenden taktischen Atomwaffen verlassen, als diese Waffen zu vernichten oder zu verringern. Auch die Chancen, dass China, Indien, Pakistan, Nordkorea und

Israel einem Abbau ihrer Atomsprengköpfe zustimmen, scheinen inzwischen in weitere Ferne gerückt zu sein.

Sollten sich die gegenwärtigen nuklearen Trends fortsetzen, dann wird die internationale Sicherheit in den nächsten beiden Jahrzehnten auf eine noch nie da gewesene Probe gestellt werden. Bereits vor dem Jahr 2020 werden nicht nur die Atomstreitkräfte Pakistans, sondern auch die Israels und Indiens größer sein als die Großbritanniens. Frankreich wird es bald darauf ebenso ergehen. Auch China, das bereits genügend extrahiertes Plutonium und hoch angereichertes Uran besitzt, um seinen derzeitigen Bestand von rund 300 Atomsprengköpfen zu verdreifachen, wird wahrscheinlich sein Atomwaffenarsenal aufstocken. Japan wird dann ebenfalls mühelos auf extrahiertes Plutonium für Tausende von Bomben zurückgreifen können. Die Bestände in den USA und Russland an atomwaffenfähigem Material, die immer noch ausreichen, um daraus viele zigtausend Waffen herzustellen, werden nur geringfügig schrumpfen, während sich vergleichbare Atomlager in anderen Atomwaffenstaaten und in Japan leicht verdoppeln können.[1] Diese Entwicklungen werden dadurch verschärft, dass wahrscheinlich noch mehr Staaten auftauchen werden, die an der Schwelle zur Atommacht stehen: 2010 hatten mindestens 25 Staaten angekündigt, bis 2030 große Reaktoren bauen zu wollen – wie die Historie zeigt: die Grundausstattung für den Bau von Bomben.

Nichts von alledem wird dem Ringen um die Abschaffung der Atomwaffen Auftrieb geben. Dass sich die «friedliche» Nutzung der Atomenergie wachsender Beliebtheit erfreut, verstärkt diese besorgniserregenden Tendenzen nur. Heutzutage behauptet fast jeder Staat, der Nuklearbrennstoff verkauft, der Export neuer leistungsstarker Reaktoren fördere die Nichtweiterverbreitung, weil dann vermehrt Inspektionen durchgeführt würden; allerdings waren in vielen besonders beunruhigenden Fällen selbst intensive Inspektionen viel zu unzuverlässig, um ein Abzweigen von Material für militärische Zwecke wirksam eindämmen oder gar vollkommen verhindern zu können. Durch internationale Inspektionen kann man ohnehin die meisten der abgebrannten oder neuen Brennelemente auf der Welt nicht regelmäßig kontrollieren – und das sind die Materialien, mit denen Anlagen zur nuklearen Anreicherung oder Wiederaufbereitung beschickt werden können, um die Produktion von waffenfähigem Material zu beschleunigen. Diese Produktionsanlagen für Atombrennstoff können überdies vor den Inspektoren versteckt werden, und selbst wenn sie als solche deklariert wurden,

1 International Panel on Fissile Materials: *Global Fissile Materials Report 2008* (Oktober 2008), verfügbar unter: http://www.ipfmlibrary.org/gfmr08.pdf; Andrei Chang: «China's Nuclear Warhead Stockpile Rising», UPIAsia.com (5. April 2008), verfügbar unter: http://www.upiasia.com/Security/2008/04/05/chinas_nuclear_warhead_stockpile_rising/7074

kann darin waffenfähiger Brennstoff produziert werden, ohne dass die Inspektoren diese Aktivitäten auch rechtzeitig entdecken.[2]

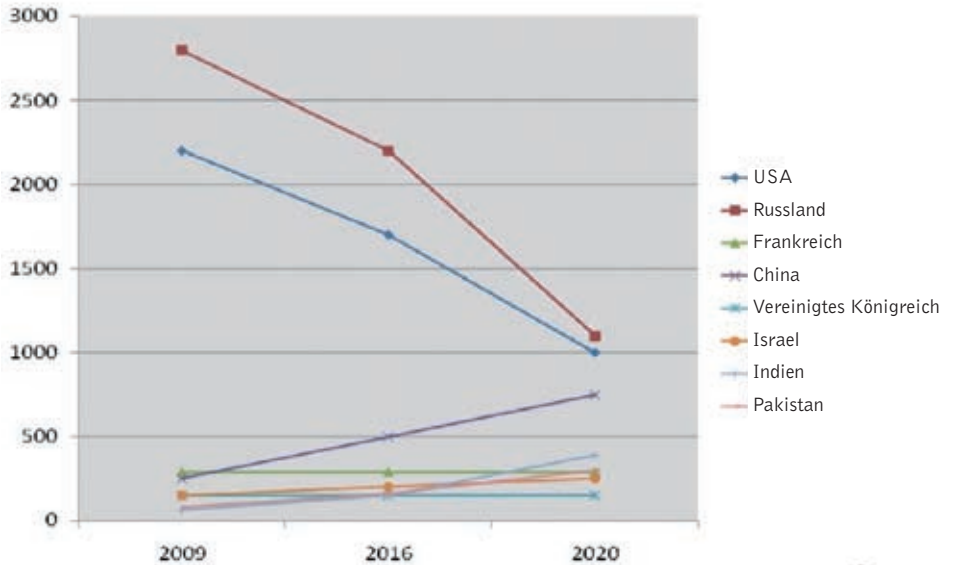
Einigen dieser Punkte beginnt man in den USA bereits größere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Debatte darüber sollte allerdings wesentlich erweitert werden. Selbst wenn sämtliche von Washington und der EU favorisierten nuklearen Abrüstungsinitiativen – START-Folgeabkommen, ein Atomwaffenteststopp-Vertrag (CTBT), ein Vertrag zum Verbot der Produktion von Spaltmaterial für Nuklearwaffen (FMCT), Banken für zivile Nuklearbrennstoffe sowie intensive Inspektionen von Atomanlagen – angenommen würden und man vermeiden könnte, all die bereits aufgeführten Risiken einzugehen, werden die USA und ihre Verbündeten mit einer Reihe weiterer großer Proliferationsrisiken konfrontiert sein.

Ein dichtes Netz von Atommächten?

Eines dieser Risiken besteht darin, dass China, Indien, Pakistan und Israel ihre Kontingente schrittweise erhöhen, während die USA und Russland ihre Atomwaffen nach und nach abbauen. Gegenwärtig planen die USA, die stationierten strategischen Waffen der USA und Russlands auf jeweils 1000 Sprengköpfe zu begrenzen. Es ist daher denkbar, dass die Zahl der Atomwaffen, in denen sich die USA und Russland von anderen Atomwaffenstaaten unterscheiden, in zehn Jahren eher im Hunderter- als im Tausenderbereich liegt (siehe Abb. 1). Falls es soweit kommen sollte, hätten relativ geringe Veränderungen bei den Atomwaffenkapazitäten eines Staates wahrscheinlich sehr viel größere Auswirkungen auf das Kräftegleichgewicht als heute.

2 Siehe beispielsweise Henry S. Rowen: «This ‹Nuclear-Free› Plan Would Effect the Opposite», *Wall Street Journal* (17. Januar 2008). Für weitere technische Erläuterungen siehe David Kay: «Denial and Deception Practices of WMD Proliferators: Iraq and Beyond», in *Weapons Proliferation in the 1990s*, hrsg. von Brad Roberts (MIT Press, 1995); Victor Gilinsky et al., «A Fresh Examination of the Proliferation Dangers of Light Water Reactors» (Washington, DC: NPEC, 2004), verfügbar unter http://www.npec-web.org/Essays/20041022-GilinskyEtAl-lwr.pdf; sowie Andrew Leask, Russell Leslie und John Carlson: «Safeguards As a Design Criteria – Guidance for Regulators», (Australian Safeguards and Non-proliferation Office, September 2004), verfügbar unter: http://www.asno.dfat.gov.au/publications/safeguards_design_criteria.pdf

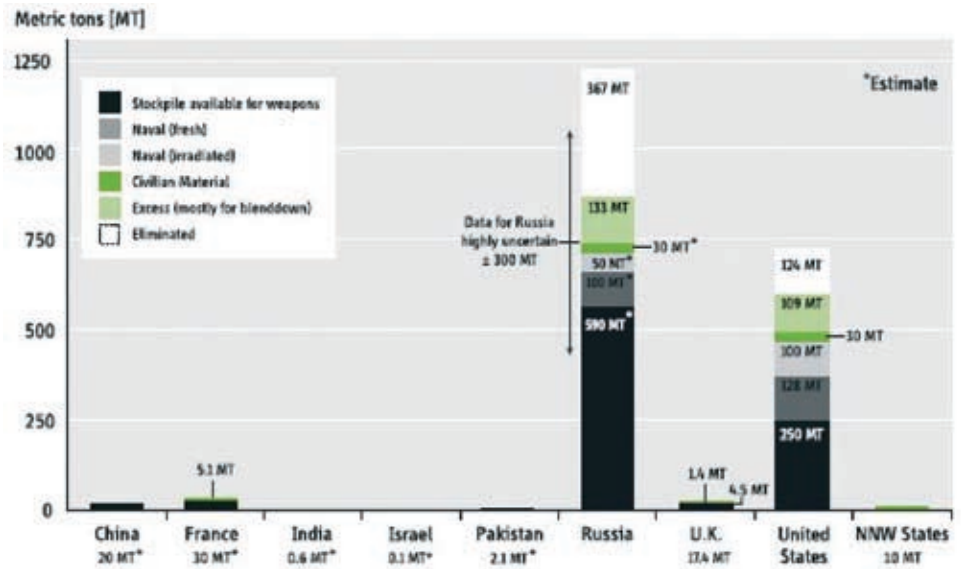
Abb. 1: Künftige Atomwaffenbestände (strategische Sprengköpfe)[3]



Verschlechtert würde die instabile internationale Lage, die durch diese verschiedenen Trends hervorgerufen werden könnte, durch die enormen und auch noch anwachsenden Bestände an atomwaffenfähigem Material – etwa extrahiertes Plutonium und hochangereichertes Uran – in verschiedenen Staaten. Diese Vorräte sind bereits jetzt größer als die in den USA und Russland. Sie würden für Zehntausende von primitiven Bomben reichen. Und in Pakistan, Indien, China, Israel und Japan werden sie voraussichtlich auch weiter anwachsen. Diese Staaten werden daher – wie schon erwähnt – die Zahl ihrer Atomwaffen sehr viel schneller und drastischer erhöhen können als jemals zuvor (für die aktuellen Bestände dieser Staaten siehe die folgende Abb. 2).

3 Daten für diese Grafik stammen aus: Natural Resources Defense Council, «Russian Nuclear Forces 2007,» *Bulletin of the Atomic Scientists* (März/April 2007), verfügbar unter http://thebulletin.metapress.com/content/ d41x498467712117/fulltext.pdf; Gareth Evans und Yoriko Kawaguchi, *Eliminating Nuclear Threats: A Practical Agenda for Global Policymakers (*Canberra, Australien: International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament, 2010), S. 20; sowie Robert S. Norris und Hans M. Kristensen, «U.S. Nuclear Forces, 2008,» *Bulletin of the Atomic Scientists* (März/April 2008), verfügbar unter http://thebulletin.metapress.com/content/ pr53n270241156n6/fulltext.pdf

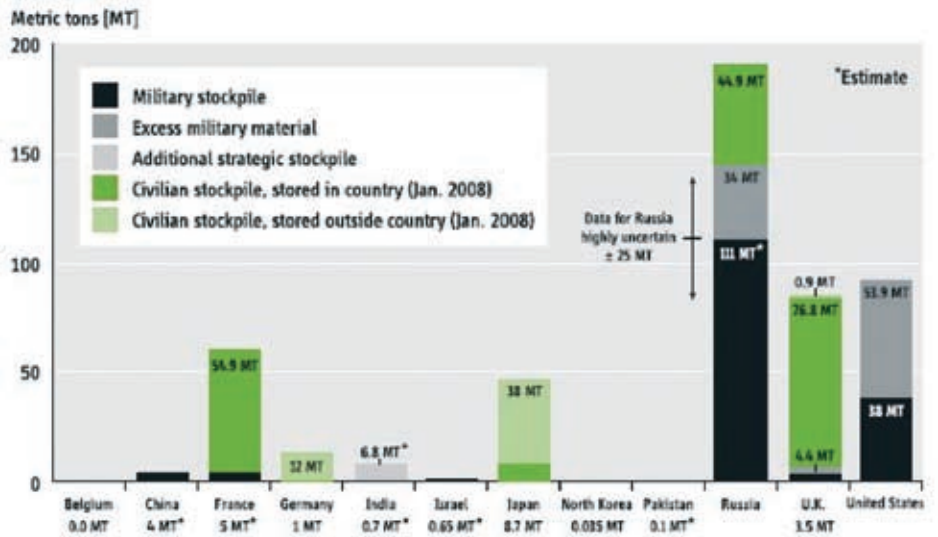
Abb. 2: Nationale Bestände an hochangereichertem Uran[4]



Nationale Bestände an hochangereichertem Uran (Mitte 2009): Die Zahlen für Großbritannien und die USA basieren auf Veröffentlichungen dieser Staaten. Die zivilen Bestände an hochangereichertem Uran in Frankreich und Großbritannien basieren auf öffentlichen Erklärungen gegenüber der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO). Angaben mit Sternchen sind häufig sehr unzuverlässige Schätzungen von Nichtregierungsseite. Die Zahlen für den Überschuss an hochangereichertem Uran in Russland und den USA gelten für Juni 2009. Das hochangereicherte Uran in atomwaffenfreien Staaten unterliegt der Überwachung durch die IAEO. Bei den Angaben zu den Gesamtbeständen von China, Pakistan und Russland sowie den militärischen Beständen in Frankreich muss man mit einer Fehlermarge von rund 20 Prozent, bei den Angaben für Indien mit einer Fehlermarge von rund 50 Prozent rechnen.

4 Frank von Hippel et al., «International Panel on Fissile Material», *Global Fissile Material Report 2009*, S. 13 und 16, verfügbar unter: http://www.fissilematerials.org/ipfm/site_down/gfmr09.pdf. Diese und die folgenden Abbildungen im Original.

Abb. 3: Vorräte an extrahiertem Plutonium[5]



Vorräte an extrahiertem Plutonium. Die zivilen Bestände basieren auf den neuesten INFCIRC-Erklärungen (von der IAEO unter der Nummer INFCIRC/549 verabschiedete Leitlinien für die Verwaltung von Plutonium) vom Januar 2008 und wurden nach den Besitzverhältnissen und nicht nach dem derzeitigen Standort zusammengestellt. Die Waffenbestände basieren auf Schätzungen von Nichtregierungsseite; das gilt nicht für die USA und Großbritannien, wo Erklärungen der Regierungen vorliegen. Bei den Angaben zu den militärischen Beständen in China, Frankreich, Indien, Israel, Pakistan und Russland muss man mit einer Fehlermarge von 20 Prozent rechnen. Indien stuft das Plutonium, das es aus abgebrannten Brennstäben für Schwerwasserreaktoren extrahiert hat, als «strategisch» ein; der Bestand unterliegt nicht der Kontrolle durch die IAEO. Belgien weist 1,4 Tonnen Plutonium an ausländischem Eigentum aus, besitzt selber aber kein Plutonium (Anhang 1C).

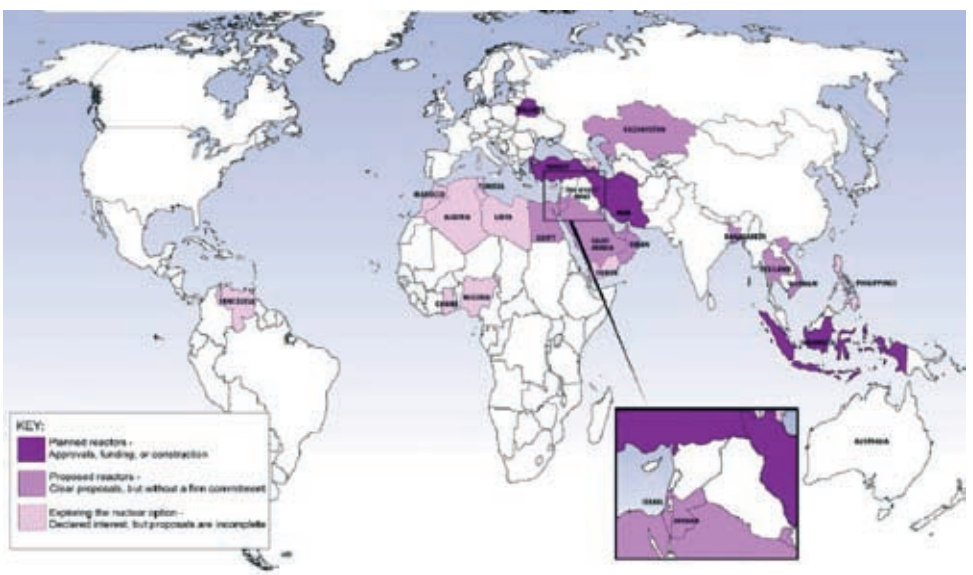
In 20 Jahren könnte es letztlich deutlich mehr Staaten geben, die wie Japan und Iran innerhalb weniger Monate im Besitz von Atomwaffen sein könnten. Hinzu kommt, dass über 25 Staaten umfassende Programme zur friedlichen Nutzung der Atomenergie angekündigt haben. Falls sie alle ihre Pläne umsetzen und tatsächlich bis 2030 ihre ersten Atomkraftwerke in Betrieb nehmen, hätten wir es mit annähernd doppelt so vielen Staaten zu tun wie den 31, die heute entspre-

5 Ibid.

chende Programme haben und von denen die meisten in Europa liegen (siehe die folgenden Abbildungen 4 und 5).

Abb. 4: Staaten oder Regionen mit Atomreaktoren[6]

Abb. 5: Voraussichtliche Atomstaaten (Stand: 2008) [7]



6 Abbildungen von Sharon Squassoni für NPEC, verfügbar unter: http://www.npec-web.org/ Frameset.asp?PageType=Projects

7 Ebd.

Sollte es dazu kommen, dass die zivile Nutzung der Atomenergie zunimmt, so könnte das auch gravierende militärische Folgen haben. Jeder der heutigen Atomwaffenstaaten brachte zunächst einmal einen großen Reaktor ans Netz, bevor er zu seiner ersten Bombe kam. Großbritannien, Frankreich, Russland, Indien, Pakistan und die USA haben am Anfang einen Großteil ihrer Bomben mit Hilfe von Reaktoren gebaut, die zusätzlich noch Strom für ihre Stromnetze lieferten. Die USA stellen immer noch das gesamte waffenfähige Tritium für ihr Atomwaffenarsenal in einem Kraftwerk her, einem von der Tennessee Valley Authority (TVA) betriebenen sogenannten proliferationsresistenten Leichtwasserreaktor.

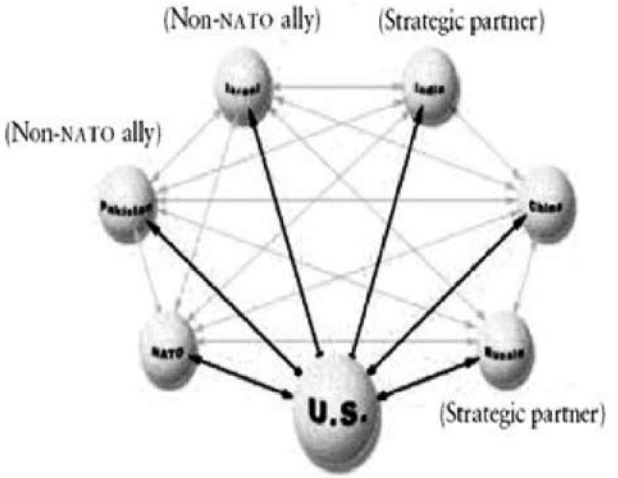
Neben großen Stromreaktoren werden natürlich auch noch andere Anlagen benötigt, um aus den abgebrannten Brennelementen des Reaktors das waffenfähige Plutonium chemisch extrahieren oder das Uran anreichern zu können, das als Reaktorbrennstoff benutzt wird. Wie man an den aktuellen Beispielen Iran und Nordkorea sieht, können solche Anlagen zur Herstellung von Brennelementen so gebaut und betrieben werden, dass sie nur schwer aufzuspüren sind und es mithin unwahrscheinlich ist, dass eine illegale Produktion rechtzeitig erkannt wird.

Falls alle angekündigten Programme zur zivilen Nutzung der Atomenergie wie geplant umgesetzt werden, wird die Welt 2030 mit Sicherheit sehr viel leichter aus dem Gleichgewicht zu bringen sein. Denn dann wird es nicht nur einige offizielle Atomwaffenstaaten geben, von denen die meisten – wie die USA behaupten kann – Verbündete oder strategische Partner sind. Vielmehr wird man es dann, wie aus den Abbildungen 6 und 7 hervorgeht, möglicherweise mit einer unüberschaubaren Anzahl zusätzlicher atomwaffenfähiger Staaten zu tun haben, die diese Waffen entweder bereits besitzen oder aber innerhalb von 12 bis 24 Monaten produzieren können.

Abb. 6 und 7: Atomwaffenstaaten heute und ihre Beziehungen

Current proliferation seems manageable
(with DPRK disarming and Iran nonnuclear)

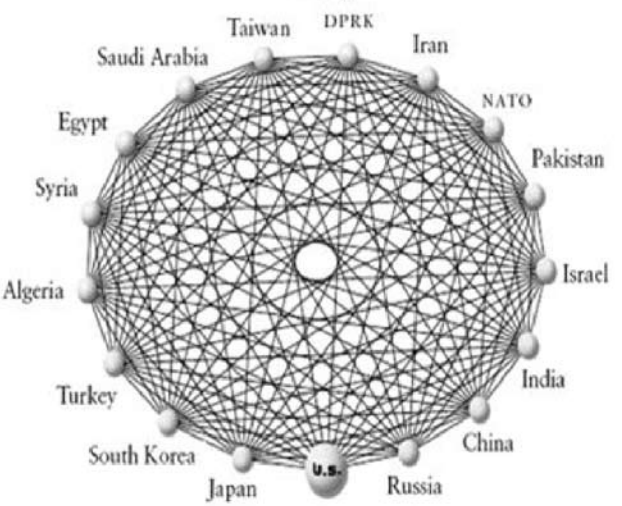
2009



21 possible strategic relationships
(6 of the most important with the U.S.)

With more nuclear-ready states: ramp up to a nuclear 1914?

2015



(136 chances for strategic miscalculation)

Today, plus
Iran, DPRK, Taiwan, Saudi Arabia, Egypt, Syria, Algeria, Turkey, South Korea, Japan

Vielleicht wüssten die USA, ihre Verbündeten und die EU auch dann noch, wer ihre Freunde und potenziellen Gegner wären – sie hätten jedoch Schwierigkeiten, herauszufinden, was diese Staaten in einer Krise tun würden: Würden sie ihren eigenen Weg gehen und aufrüsten, oder würden sie sich irgendeiner anderen nuklearfähigen Nation anschließen? Genauso schwierig wäre es für die USA, ihre Verbündeten und die EU, die Schlagkraft dieser feindlichen Streitkräfte einzuschätzen.

Letztlich würden die skizzierten Trends sicherlich die Gefahr eines mit Atomwaffen operierenden Terrorismus vergrößern. Denn es gäbe dann nicht nur mehr Möglichkeiten, in den Besitz solcher Waffen und nuklearen Materials zu kommen, sondern auch noch mehr Atomanlagen für die militärische und zivile Nutzung, die sabotiert werden könnten. Außerdem könnte das Risiko, dass Situationen falsch eingeschätzt werden und ein Atomkrieg ausbricht, derartig anwachsen, dass selbst Terrorakte, bei denen keine Atomwaffen im Spiel sind, größere Konflikte auslösen könnten, aus denen sich dann ein Atomkrieg entwickelte.

Diese Situation ähnelt den instabilen Verhältnissen vor dem Ausbruch des Ersten und Zweiten Weltkriegs. Damals wurden einerseits bei der Rüstungskontrolle äußerst ambitionierte Ziele verfolgt, andererseits schlossen Staaten im Geheimen oder auch in aller Öffentlichkeit ihre entscheidenden militärischen Vorbereitungen ab, durch die sich die Spannungen dann erhöhten und die später dann in einen Krieg mündeten. Der Unterschied liegt nur darin, dass die Munition in den kommenden Konflikten nicht mehr einfach nur hochexplosiv, sondern atomarer Natur wäre.

Jetzt Nägel mit Köpfen machen

Dies alles wirft die Frage auf, ob wir diese Entwicklungen umkehren oder aber ihre Auswirkungen unter Kontrolle halten können. Die Antwort lautet kurz und knapp: ja – allerdings nur, wenn wir uns mehr an einige Grundprinzipien halten.

Erstens, selbst wenn der Abbau der Atomwaffenarsenale vorangeht, muss verstärkt darauf geachtet werden, dass Schritte zur militärischen Ab- oder Aufrüstung wirklich dazu beitragen, das Risiko eines Krieges zu verringern.
Falls die nuklearen Sicherheitsgarantien der USA und der NATO auch weiterhin wichtige Verbündete von ihrem Streben nach Atomwaffen abbringen sollen, müssen Washington und Brüssel unbedingt alles vermeiden, was den Zusammenschluss der Kräfte gegen die wichtigsten atomaren Kontrahenten gefährdet. Die USA und die NATO müssen nicht nur etwa genauso viele Atomwaffen abbauen wie Russland, sondern auch noch kurz- bis mittelfristig andere Atommächte wie China und Indien davon abhalten, entweder die USA oder – wie im Fall von Indien und China, Pakistan und Indien sowie Japan und China – sich gegenseitig einholen zu wollen. Das bedeutet, dass nicht nur mit

Russland, sondern auch mit China, Indien und Pakistan zusätzliche Vereinbarungen getroffen werden müssen, mit denen entweder die Atomwaffen reduziert oder die Herstellung bzw. Lagerung von waffenfähigen Brennelementen eingeschränkt werden. Praktisch gesehen, bedeutet das auch, dass andere Staaten, die bald Atommächte werden könnten oder eigentlich sind (wie Israel und Japan), aufgefordert werden müssen, ihre Produktion von atomwaffenfähigem Material zu drosseln oder gänzlich einzustellen oder einen Teil ihrer derzeitigen Bestände zu entsorgen.

Bis heute haben allerdings weder die USA noch die EU deutlich gemacht, wie dieses Ziel am ehesten zu erreichen ist. Präsident Barack Obama hat Verhandlungen über einen Vertrag zur Kontrolle von spaltbarem Material (FMCT) gefordert. Den meisten Fassungen dieses Abkommens zufolge ist eine «zivile» Produktion von Atombrennstoff erlaubt, die man allerdings von einer militärischen praktisch nicht unterscheiden kann. Außerdem ist nach Jahrzehnten ergebnisloser Verhandlungen in Genf immer noch unklar, ob ein derartiges Abkommen überhaupt jemals in Kraft treten wird. Zurzeit sind es die Pakistanis, die die Verhandlungen verzögern.

Neben diesen Vertragsverhandlungen gibt es allerdings noch andere Möglichkeiten, die Produktion von spaltbarem Material einzuschränken. So haben insbesondere einige Diplomaten, unter ihnen Berater der US-Außenministerin Hillary Clinton, eine Initiative zur Kontrolle spaltbaren Materials ins Gespräch gebracht: Statt einen rechtlich bindenden Vertrag zu unterschreiben, würden dabei sowohl die Atomwaffenmächte als auch die Signatarstaaten des Atomwaffensperrvertrags, die keine Atomwaffen besitzen, einfach nur klären, welcher Prozentsatz ihrer Bestände an Plutonium und hoch angereichertem Uran nicht mehr für die militärische oder die zivile Nutzung benötigt wird; dieser Anteil würde dann sichergestellt oder entsorgt.[8] Man könnte den Zugriff der Staaten auf die deklarierten Überschüsse auch erschweren, indem man festlegt, dass erst sämtliche Parteien, die sich dieser Initiative angeschlossen haben, zustimmen müssen, bevor diese Staaten darauf zugreifen dürfen.[9]

Ein weiterer praktischer Vorschlag, der unmittelbare Konsequenzen für Indiens Umgang mit Atomwaffen hätte, wäre folgender: Man müsste sicherstellen, dass Indien aufgrund des Abkommens zwischen Washington und Neu Delhi über eine atomare Zusammenarbeit auf dem zivilen Sektor nicht mehr atomwaffenfähige Nuklearbrennstoffe herstellen kann, als es beim Vertragsabschluss Ende des Jahres 2008 produziert hatte. Die Staaten, die bereits 1967 im Besitz von Atomwaffen waren – die USA, Russland, Frankreich, Großbritannien

8 Siehe beispielsweise Robert Einhorn: «Controlling Fissile Materials and Ending Nuclear Testing», Vortrag auf der International Conference on Nuclear Disarmament, Oslo (26.-27. Februar 2008), verfügbar unter: http://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/pdf/External_Reports/paper-einhorn.pdf

9 Siehe: Albert Wohlstetter: «Nuclear Triggers and Safety Catches», in: *Nuclear Heuristics: Selected Writings of Albert and Roberta Wohlstetter*, hrsg. von Robert Zarate und Henry Sokolski (Carlisle, PA: US Army War College Strategic Studies Institute, 2009).

und China –, haben sich mit dem Atomwaffensperrvertrag verpflichtet, niemals irgendeinem anderen Staat direkt oder indirekt dabei zu helfen, in den Besitz von Atomwaffen zu kommen. Im Rahmen des Hyde Act, der die Zusammenarbeit zwischen den USA und Indien bei der zivilen Nutzung der Atomkraft regelt, muss das Weiße Haus dem Kongress inzwischen regelmäßig Bericht darüber erstatten, wie viel Uranbrennstoff Indien importiert, wie viel es für die zivile Nutzung seiner Reaktoren benötigt, wie viel Uran im Land produziert wird und wie stark die nicht von der IAEO kontrollierten Bestände an Plutonium mit direkter oder indirekter Hilfe von Staaten, die Atomwaffen besitzen und den Atomwaffensperrvertrag unterzeichnet haben, durch den Betrieb von Reaktoren anwachsen, die ebenfalls nicht ins IAEO-Programm eingebunden sind.[10]

Sollten nun Indiens unkontrollierte Plutoniumvorräte pro Jahr rascher anwachsen als vor dem Abschluss des Abkommens zur atomaren Zusammenarbeit aus dem Jahre 2008 und sollte sich dabei ein Zusammenhang mit Uranimporten aus einem oder mehreren Signatarstaaten des Atomwaffensperrvertrags ergeben, dann müssten diese Staaten angeklagt werden, weil sie Paragraph 1 dieses Vertrags verletzt haben. Um ein derartiges Vergehen zu verhindern oder zumindest den Schaden, den das anrichten würde, zu begrenzen, sollten die USA alle anderen Staaten, die Indien mit Nuklearbrennstoff versorgen, warnen und sie auffordern, so lange jegliche Unterstützung bei der zivilen Nutzung der Atomenergie zu verweigern, bis Indiens nicht überwachte Produktion an atomwaffenfähigem Material sinkt. Gleichzeitig sollte man allerdings versuchen, auch Pakistan am Ausbau seines Atomwaffenpotenzials zu hindern.

Dabei steht man allerdings vor dem Problem, das relative Gleichgewicht der Kräfte zwischen den konkurrierenden Atomwaffenstaaten durch nichtnukleare militärische Unterstützung oder Aufrüstung zu bewahren; es müssten also Atomwaffen so durch konventionelle Waffensysteme ersetzt werden, dass auf keiner Seite das Interesse am Erwerb von Atomwaffen zunimmt. Um das zu gewährleisten, wird es leider nicht ausreichen, einfach die aufgegebenen Atomwaffensysteme durch modernere nichtnukleare Systeme zu ersetzen.

Betrachten wir einmal Langstrecken-Präzisionswaffen sowie moderne Befehls-, Kontroll- und Aufklärungssysteme am Beispiel von Indien und Pakistan. Pakistan glaubt, es müsste mit einem atomaren Erstschlag drohen, um Indiens überlegene konventionelle Streitkräfte abschrecken zu können. Präzisionswaffensysteme könnten aber natürlich auch Pakistans Atomwaffen ins Visier nehmen. Falls Indien mit solchen Waffen ausgerüstet würde, wäre es daher denkbar, dass Pakistan seine nukleare Einsatzbereitschaft noch mehr erhöhen und Islamabad sich zum Kauf weiterer Atomwaffen gezwungen fühlte, um ausschließen zu können, dass ihre Atomstreitkräfte durch präzise konventionelle Militärschläge Indiens ausgeschaltet werden könnten. Die falsche Art von

10 Siehe: Henry J. Hyde United States-India Peaceful Atomic Energy Cooperation Act von 2006, Implementation and Compliance Report, verfügbar unter: http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi bin/ getdoc.cgi?dbname=109_cong_bills&docid=f:h5682enr.txt.pdf

modernen nichtnuklearen Waffensystemen nach Indien zu exportieren oder das Land darin zu unterstützen, diese Waffen in unverhältnismäßig hohen Stückzahlen herzustellen, könnte daher im Hinblick auf die pakistanischen Atomwaffenpläne das Gegenteil von dem bewirken, was man eigentlich beabsichtigt.

Eine ballistische Raketenabwehr hat ebenfalls ihre Tücken. Unter den richtigen Umständen könnte die Tatsache, dass solche Abwehrsysteme vorhanden sind, eine nichtnukleare Form der Abschreckung darstellen, die es erzwingen könnte, die Anzahl der aufgestellten Atomwaffen zu verringern. Statt die Raketen eines potenziellen Gegners zu neutralisieren, indem man sie mit nuklearen oder nichtatomaren Offensivwaffen ins Visier nimmt, könnte man sie gleich nach dem Start mit einer aktiven Raketenabwehr bekämpfen. Die Raketenabwehrsysteme könnten auch als eine Art Absicherung dienen, damit zukünftige Abkommen zur Reduktion ballistischer Raketen, die mit Atomwaffen bestückt werden können, nicht unterlaufen werden. Wie bereits erwähnt, reicht jedoch eine Stationierung dieser Abwehr alleine nicht aus, um sich dieser Vorteile zu versichern. Nehmen wir noch einmal das Beispiel von Indien und Pakistan: Während Pakistan darauf beharrt, bei einem größeren Krieg mit Indien als erstes seine Atomwaffen einsetzen zu müssen, hofft Indien, mit Hilfe seiner konventionellen Streitkräfte in kürzester Zeit genügend pakistanisches Territorium erobern zu können, um Islamabad rasch zu einem Friedensgesuch zu bewegen. Indien hat außerdem ebenfalls mit der Entwicklung eigener Raketenabwehrsysteme begonnen, um der Bedrohung durch pakistanische und chinesische Angriffsraketen begegnen zu können. Unter diesen Umständen wäre der militärische Vorsprung Neu Delhis auf dem Gebiet der nichtatomaren Waffen gegenüber Islamabad nur noch größer, wenn Indien und Pakistan die gleiche Anzahl an Raketenabwehrsystemen besäße. Das wiederum birgt das Risiko, dass Pakistan seine offensiven atomaren Raketenstreitkräfte noch weiter aufrüstet. Die einzige Möglichkeit, das zu unterbinden und dazu beizutragen, die Vorteile einer Raketenabwehr für beide Länder zu gewährleisten, besteht darin, die Asymmetrie bei den konventionellen Streitkräften zu beseitigen.

So plädieren regionale Sicherheitsexperten schon seit langem dafür, auf beiden Seiten der indisch-pakistanischen Grenze drei verschiedene Aufmarschzonen für konventionelle Streitkräfte einzurichten, weil damit unter anderem beide Seiten gleichermaßen in die Lage versetzt werden, «schnelle» konventionelle Angriffe gegeneinander zu führen. Ein entscheidendes Element dieser Vorschläge: Beide Seiten vernichten ihre vorhandenen ballistischen Kurzstreckenraketen, weil ihr Einsatz irrtümlicherweise einen atomaren Gegenschlag auslösen könnte. Solche vertrauensbildenden Maßnahmen einzuführen könnte ausreichen, um Befürchtungen zu verringern, die mit einer Stationierung weiter

fortgeschrittener, zielgenauer nichtatomarer militärischer Systeme verbunden sind.[11]

In anderen Regionen sind eventuell andere Maßnahmen erforderlich. Weil China im Bereich der atomaren und nichtatomaren Raketen seine Überlegenheit gegenüber Taiwan ausbaut und seine Möglichkeiten verbessert, Kampfgruppen von Flugzeugträgern der USA mit modernen konventionellen ballistischen Raketen anzupeilen, müssen die USA und ihre Verbündete am Pazifik befürchten, Peking könnte die Raketenabwehr, an der sie gerade arbeiten, ausschalten. China entwickelt inzwischen selbst ballistische Raketenabwehrsysteme, um mögliche Angriffe der USA mit Atom- und präzisen konventionellen Interkontinental-Raketen kontern zu können. Sorge bereitet den Chinesen unter Umständen auch, was sie russischen ballistischen Angriffsraketen entgegensetzen sollen. Aufgrund all dieser Befürchtungen sollten sich diplomatische Bemühungen vernünftigerweise darauf konzentrieren, in Asien Beschränkungen für ballistische Angriffsraketen einzuführen, um sicherzustellen, dass – egal, welche Raketenabwehrsysteme stationiert sind – diese nicht sofort ausgeschaltet werden können.

Hierfür gibt es bereits mehrere Vorbilder. Eines davon ist START, der Vertrag, mit dem in Russland und den USA die Anzahl der strategischen Trägersysteme für ballistische Raketen begrenzt werden. Der INF-Vertrag oder Washingtoner Vertrag über nukleare Mittelstreckensysteme, in dem es um Raketen der Russen und der NATO mit einer Reichweite von 500 bis 5500 Kilometern geht, ist ein weiterer. Ein anderes Beispiel ist das Raketentechnologie-Kontrollregime (MTCR), das den Handel mit Raketen einschränkt, die 500 Kilogramm schwere Nutzlasten mindestens 300 Kilometer weit transportieren können.

Die Schwierigkeiten bei der Einführung zusätzlicher Beschränkungen bei den ballistischen Raketen liegt darin, dass diese Beschränkungen rigide genug sein müssen, damit der Bedarf an weiteren atomaren Sprengköpfen tatsächlich sinkt. So wäre es sicher nicht sinnvoll, ballistische Raketen mit einer Reichweite von über 500 Kilometern zu zerstören, dafür aber Raketensysteme mit einer etwas geringeren Reichweite zuzulassen.

In diesem Zusammenhang gibt es noch ein weiteres Problem: Wenn man zwar Beschränkungen für ballistische Angriffsraketen einführt, aber die Stationierung von Raketenabwehrsystemen, die selbst mit ballistischer Raketentechnologie ausgestattet sind, ausspart, dann muss man verhindern, dass schon durch die Proliferation der Raketenabwehrsysteme große ballistische Raketen oder eine ähnliche Technologie weiter verbreitet werden. Hier könnte man zunächst einmal den Export von Abwehrsystemen mit ballistischen Raketen verbieten, die die im Raketentechnologie-Kontrollregime für Flugkörper der Kategorie I geltenden Limits überschreiten – dazu zählen Raketen, die in der

11 Zu diesen Punkten siehe: Peter Lavoy: «Islamabad's Nuclear Posture: Its Premises and Implementation», in: *Pakistan's Nuclear Future: Worries beyond War*, hrsg. von Henry Sokolski (Carlisle, PA: Strategic Studies Institute, 2008), S. 129-166; siehe auch: General Feroz Khan: «Reducing the Risk of Nuclear War in South Asia», 15. September 2008, verfügbar unter: http://www.npec-web.org/Essays/20090813-khan%20final.pdf

Lage sind, Nutzlasten von 500 Kilogramm mehr als 300 Kilometer weit zu transportieren. Man könnte Staaten vielleicht mit Hilfe von Abkommen dazu bringen, statt einer Raketenabwehr mit großen ballistischen Raketensystemen alternative Systeme einzusetzen wie etwa Drohnen, die Raketen während ihrer Startphase zerstören, oder eine weltraumgestützte Raketenabwehr oder auf Energiewaffen basierende Systeme.

Zweitens: Der Abbau vorhandener Atomwaffen und entsprechender Trägersysteme sollte stärker mit einem Verbot ihrer Weiterverbreitung verknüpft werden.
Gegenwärtig besteht meist eher ein symbolischer Zusammenhang zwischen dem Abbau von Atomwaffen und dem Verbot ihrer Weiterverbreitung. Da die USA und Russland ihre Atomwaffenarsenale reduzieren, sollten das, so wird argumentiert, andere Atomwaffenstaaten ebenfalls tun und so Nichtatomwaffenstaaten dazu bewegen, ihre Aktivitäten im Rahmen der zivilen Nutzung der Atomenergie sehr viel intensiver überwachen zu lassen.[12] Lässt man die Problemfälle Iran und Nordkorea mal beiseite, so werden bei dieser Argumentation allerdings mehrere wesentliche technische Entwicklungen außer Acht gelassen und einige fragwürdige politische Hypothesen aufgestellt.

Zunächst einmal: Nachdem es der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) nicht gelungen ist, die geheimen Atomprogramme im Irak, in Iran, Syrien und Nordkorea aufzudecken, ist es nicht sicher, ob das künftig mit «verstärkten» internationalen Atominspektionen wirklich möglich sein wird. Das gilt insbesondere dann, wenn, wovon einige überzeugt sind, in Regionen wie dem Nahen Osten zahlreiche zivile Atomprogramme aufgelegt werden.

Zudem planen nicht nur die USA, sondern auch Israel, Japan, die NATO, Indien, Russland und China Abwehrsysteme mit ballistischen Raketen zu stationieren – jedes Land allerdings aus ganz unterschiedlichen Gründen. Die Haltung der USA und ihrer Alliierten zur Abwehr strategischer Bedrohungen durch Atomwaffen besagt allerdings kaum etwas darüber aus, ob diese Abwehrprogramme gefördert oder begrenzt werden sollten und, falls überhaupt, dann wie. Es gab auch, abgesehen von den Gesprächen über die Verringerung strategischer Waffen mit Russland, keine großen Diskussionen darüber, ob oder wie man auf die Entwicklung (sowohl atomarer als auch nichtatomarer) ballistischer Raketen in anderen Staaten reagieren sollte.

Hinzu kommen noch politische Fragen. Wie wahrscheinlich ist es, dass Russland über die aktuellen START-Verhandlungen hinaus weiteren Einschnitten bei seinen Atomwaffen zustimmen wird? Wird es noch ein START-Abkommen geben, in dem die Anzahl der strategischen Sprengköpfe auf bis zu 1000 reduziert wird? Wird Russland einer Begrenzung seiner nicht-strategischen Atomwaffen zustimmen? Was wird Moskau für solche Kürzungen fordern? Wird Russland

12 Siehe beispielsweise: Gareth Evans und Yoriko Kawaguchi, *Eliminating Nuclear Threats: A Practical Agenda for Global Policymakers* (Canberra, Australia: International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament, 2010), S. 3-36.

fordern, dass die USA und die NATO ihre Pläne zur konventionellen Abwehr und zur Raketenabwehr aufgeben? Und schließlich: Wann, wenn überhaupt, könnten solche Übereinkommen zustande kommen? Der Erfolg der Politik Amerikas und der EU zur Waffenkontrolle und Nichtweiterverbreitung hängt davon ab, ob die Antworten auf diese Fragen für die USA günstig ausfallen.

Wie steht es aber mit der Durchsetzung der Waffenkontrolle und Nichtweiterverbreitung? Wenn der Ausbau atomarer Kapazitäten, die zur Herstellung von Atomwaffen benutzt werden können, nicht mit neuen Strafen oder Risiken verbunden ist, wie groß ist dann die Wahrscheinlichkeit, dass Staaten, die keine Atomwaffen besitzen, davon abgehalten werden können, sich diese zu beschaffen? Sicherlich beobachtet man im Nahen und Mittleren Osten genau, welche Maßnahmen, wenn überhaupt, die USA und ihre Verbündeten ergreifen werden, um Irans Verstöße gegen den Atomwaffensperrvertrag zu sanktionieren. Die meisten Staaten in der Region gehen in Bezug auf ihre nuklearen Ambitionen bereits auf Nummer Sicher, indem sie eigene «friedliche» Atomprogramme erarbeiten. Eine ähnliche Dynamik zeigt im Fernen Osten Nordkoreas Atomwaffenprogramm.

Über diese beiden Fälle hinaus macht man sich allgemein Sorgen, dass es mit der Durchsetzung der Nichtweiterverbreitung von Atomwaffen nicht weit her ist. Was, wenn überhaupt, wird getan, um weitere Verstöße gegen den Atomwaffensperrvertrag zu verhindern?

Aufgrund dieser zahlreichen Fragen ergibt sich die Notwendigkeit, die bereits vorhandenen Waffenkontrollmechanismen, die von den USA und der EU derzeit unterstützt werden, durch weitere Maßnahmen zur Kontrolle und Nichtweiterverbreitung zu ergänzen. Warum sollte man diese vielleicht, vielleicht aber auch nicht von Erfolg gekrönten Bemühungen nicht ausweiten, indem man sich für unmittelbarere, schrittweise immer stärkere Beschränkungen einsetzt?

Versuche, vorhandene Atomwaffenarsenale zu begrenzen, ließen sich äußerst sinnvoll mit einem Weiterverbreitungsverbot von Atomwaffen verbinden; beides zusammen müsste man mit Anstrengungen verknüpfen, ballistische Raketen, die Atomsprengköpfe tragen könnten, zu reduzieren und zu begrenzen. Dazu würden sich mehrere Initiativen anbieten. Man könnte, statt darauf zu warten, dass Iran, Pakistan, Indien, Nordkorea und Ägypten den Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen ratifizieren, mit Hilfe des im Atomwaffensperrvertrag enthaltenen Banns von Atomwaffentests unter den Staaten, die beim Aufbau der zivilen Nutzung der Atomkraft helfen, eine sofortige Einigung darüber erzielen, den Atomhandel mit allen Signatarstaaten des Atomwaffensperrvertrags einzustellen, die zwar noch keine Atomwaffen haben, aber Tests durchführen. Sobald ein Übereinkommen über diesen Punkt erzielt worden ist, könnte eventuell ein weiteres Abkommen geschlossen werden, wonach solche Handelseinschränkungen auch für Atomwaffenstaaten gelten.

Man könnte darüber hinaus, statt den Vertrag zur Kontrolle von spaltbarem Material weiter voranzubringen, der ohnehin nur die Atomwaffenstaaten betrifft,

mit der Initiative zur Kontrolle von spaltbarem Material weitergehen und die Nichtatomwaffenstaaten einbeziehen.

Staaten, die den Atomwaffensperrvertrag verletzen, die Sicherheitsauflagen der IAEO missachten oder aus dem Vertrag ausgestiegen sind und ihn immer noch verletzen, können sich gegenwärtig immer noch ungehindert in den Besitz von atomwaffenfähiger Raketentechnologie bringen und Unterstützung von Staaten erhalten, die eine entsprechende Raketentechnologie liefern. Warum schließt man nicht dieses Hintertürchen, indem man Vertragsbrüchige automatisch von Gütern ausschließt, die unter das Raketentechnologie-Kontrollregime fallen?

Staaten, die wie Nordkorea gegen Atomgesetze verstoßen, ist es momentan ebenfalls unbenommen, außerhalb ihres Territoriums Raketen zu testen, die Atomwaffen tragen können. Nach internationalem Recht ist das alles derzeit vollkommen legal. Dabei führt die Entwicklung solcher Raketen samt den dazu gehörenden Tests zwangsläufig zu einer Destabilisierung. Sollte es nicht wie bei der Piraterie eine internationale Regel geben, wonach Staaten (wie etwa die USA, Russland, Israel, bald auch Japan, die NATO und China) formal befugt sind, derartige Raketen wie bei illegalen Flugobjekten im internationalen Luftraum abzuschießen? Wenn es weitere Begrenzungen bei der Aufstellung ballistischer Raketen gibt – etwa in Form eines weltweit gültigen INF-Vertrages –, sollten dann nicht Staaten, die dieses Übereinkommen verletzen, überhaupt von der Lieferung anderer Flugkörper und atomarer Güter ausgeschlossen werden, und sollten diese Länder nicht ähnlichen Beschränkungen bei Raketentests unterliegen?

Es werden immer mehr Staaten in den Besitz von Atomwaffen kommen, solange man nur Inspektionen als eine Möglichkeit betrachtet, eine solche Verbreitung zu unterbinden, obwohl doch viele Beispiele gezeigt haben, dass man sich darauf überhaupt nicht verlassen kann. Um diese Situation zu verbessern, muss ein weiteres Prinzip zur Anwendung kommen.

Drittens sollten internationale Inspektoren sehr viel deutlicher nukleare Aktivitäten und Materialien, bei denen sie eine Zweckentfremdung für den Bombenbau garantiert verhindern können, von solchen unterscheiden, bei denen das nicht möglich ist.

Der Atomwaffensperrvertrag sagt eindeutig, dass sämtliche Aktivitäten und Materialien zur friedlichen Nutzung der Atomenergie den Sicherheitsbestimmungen unterliegen, also derart kontrolliert werden müssen, dass ein Abzweigen von Material für die Produktion von Atomwaffen zuverlässig verhindert werden kann. Die meisten Unterzeichnerstaaten haben sich allerdings die Sichtweise zu eigen gemacht, dass sie diese Bedingung bereits dadurch erfüllen, dass sie ihre Bestände angeben und internationale Inspektionen zulassen.

Das ist ein gefährliches Missverständnis. Aufgrund der Inspektionsmängel im Irak, Iran, in Syrien und Nordkorea wissen wir inzwischen, dass die IAEO verdeckte nukleare Aktivitäten nicht zuverlässig und früh genug aufspüren

kann, damit die internationale Gemeinschaft wiederum intervenieren kann, um die Herstellung von Bomben zu verhindern. Wie uns darüber hinaus mittlerweile bekannt ist, haben die Inspektoren in Atomanlagen, in denen offiziell Atombrennstoff hergestellt wird, jedes Jahr eine Menge an atomwaffenfähigem Plutonium und Uran aus den Augen verloren, die für einige Bomben ausgereicht hätte. Unter vier Augen geben IAEO-Offizielle zu, dass die Organisation für höchstens die Hälfte aller Standorte, die gegenwärtig überwacht werden, kontinuierliche Inspektionen der abgebrannten und neuen Brennstäbe garantieren kann. Schließlich wissen wir auch, dass aus deklariertem Plutonium und angereichertem Uran Bomben hergestellt und die Produktionsanlagen dafür so rasch umfunktioniert werden können – in einigen Fällen innerhalb von Stunden oder Tagen –, dass kein Inspektionssystem der Welt rechtzeitig vor dem Bau von Bomben warnen kann. Jede Kontrollmaßnahme, die diesen Namen verdient und ein Abzweigen von Atombrennstoff für militärische Zwecke verhindern soll, muss aber diese Machenschaften verlässlich und früh genug aufdecken, so dass interveniert werden kann. Alles andere wäre reines Monitoring, mit dem man bestenfalls im Nachhinein erkennen könnte, ob etwas zu militärischen Zwecken auf die Seite geschafft worden ist.

Angesichts dessen wäre es hilfreich, wenn die IAEO zugeben würde, dass sie nicht alles, was sie überwacht, vor einer möglichen militärischen Umnutzung bewahren kann. Das würde zu der zentralen Frage führen, ob es wirklich ratsam ist, Plutonium, hoch angereichertes Uran und Reaktorbrennstoff auf Plutoniumbasis zu produzieren und zu horten und dann noch zu glauben, dass diese Materialien und Aktivitäten auch sicher überwacht werden könnten. Zumindest würde es dafür sprechen, dass Nichtatomwaffenstaaten nicht noch mehr von diesen Materialien oder Einrichtungen erhalten, als sie sowieso schon besitzen. Diese Fragen sind wichtig genug, um sie vor, während und nach der Überprüfungskonferenz zum Atomwaffensperrvertrag im Mai 2010 zu stellen.

Hierbei könnten die USA und andere gleichgesinnte Staaten unabhängig voneinander beurteilen, ob die IAEO ihre eigenen Inspektionsvorgaben erfüllen kann oder nicht, unter welchen Umständen gegebenenfalls diese Ziele erreicht werden können und schließlich, ob diese Ziele hoch genug gesteckt sind.

Viertens: Um sichere und wirtschaftlich konkurrenzfähige Formen von sauberer Energie zu garantieren, sollte man genauer die gesamten Kosten vergleichen und Subventionen für die Atomenergie unterlassen.

Befürworter der Atomenergie beharren darauf, dass sie weiter ausgebaut werden muss, um eine globale Erwärmung zu verhindern. Dass mit der Ausbreitung dieser Technologie das Risiko der Proliferation von Atomwaffen verbunden ist, spielen sie meist herunter oder ignorieren es völlig. Dennoch wird man die Verbreitung der Atomenergie wohl nicht völlig verhindern können. Angesichts der Sicherheitsrisiken, die mit der Atomenergie verbunden sind, sollte man

jedoch weder diese Energieform explizit finanziell fördern noch andere Regierungen dabei unterstützen.[13]

Dass der Staat weitere neue finanzielle Anreize speziell für den Ausbau kommerzieller Atomkraftwerke und damit verbundener Einrichtungen zur Brennstoffproduktion schafft, erschwert natürlich die Möglichkeit, diese Energieform mit entsprechenden Alternativen zu vergleichen. Derartige Subventionen verschleiern nicht nur die wahren Kosten der Atomenergie, sondern beeinflussen darüber hinaus auch den Markt zuungunsten weniger stark subventionierter, dafür aber möglicherweise vernünftigerer Alternativen. Das ist beunruhigend.

Aber es gibt mehrere Möglichkeiten, das zu unterbinden. Die erste besteht darin, möglichst viele Regierungen dazu zu bringen, in ihren Ländern bei allen Großprojekten, die für die zivile Energienutzung vorgesehen sind, internationale Ausschreibungen durchzuführen. In einer Vielzahl von Ländern geschieht das bereits. Problematisch ist allerdings, dass Staaten, die vorhaben, große Atomreaktoren für die zivile Nutzung zu bauen, den Wettbewerb auf Angebote mit Atomenergie beschränken, anstatt die Ausschreibung für sämtliche Energieformen zu öffnen, die bestimmte Kriterien hinsichtlich der Umwelt und Wirtschaftlichkeit erfüllen. Eine Ausschreibung in dieser Weise einzuschränken, sollte international verhindert werden.

Hoch entwickelte Nationen wie die USA behaupten, sie würden die Prinzipien des Vertrags über die Energiecharta und die globale Charta zur Entwicklung nachhaltiger Energie unterstützen. Ziel dieser internationalen Abkommen ist es, dass alle Staaten ihre Energiesektoren internationalen Ausschreibungen öffnen. Damit soll sichergestellt werden, dass sämtliche Energieformen berücksichtigt werden und möglichst sämtliche Subventionen und externen Effekte, die mit den jeweiligen Optionen verbunden sind, mit eingerechnet werden und sich dann auch in dem Preis für das Angebot widerspiegeln. Wenn die USA oder andere Staaten es wirklich ernst meinen mit einer möglichst raschen und kostengünstigen Reduktion ihrer Kohlendioxidemissionen, dann ist es unerlässlich, dass sie sich auch für die Einhaltung dieser Regeln stark machen.

Hierbei kann man sich auf die Prinzipien aus den eben genannten Abkommen beziehen und auf ihre Umsetzung pochen, weil sie die gleichen Ziele wie die von Kyoto und Kopenhagen verfolgen. Darüber hinaus sollten Staaten, die sich zum Bau eines Atomkraftwerks entschließen, obwohl billigere nichtnukleare Alternativen eindeutig sinnvoller wären, von einem Kontrollorgan für die Wettbe-

13 Siehe beispielsweise: Peter Tynan und John Stephenson: «Nuclear Power in Saudi Arabia, Egypt, and Turkey – how cost effective?» 9. Februar 2009, verfügbar unter: http://www.npec-web.org/Frameset.asp?PageType= Single&PDFFile= Dalberg-Middle%20East-carbon&PDFFolder=Essays; Frank von Hippel: «Why Reprocessing Persists in Some Countries and Not in Others: The Costs and Benefits of Reprocessing», 9. April 2009, verfügbar unter: http://www.npec-web.org/Frameset.asp?PageType=Single&PDFFile=vonhippel%20%20TheCostsandBenefits&PDFFolder=Essays; Doug Koplow: «Nuclear Power as Taxpayer Patronage: A Case Study of Subsidies to Calvert Cliffs Unit 3», verfügbar unter: http://www.npec-web.org/Frameset.asp?PageType=Single&PDFFile=Koplow%20-%20CalvertCliffs3&PDFFolder=Essays

werbsfähigkeit der Wirtschaft wie etwa der Welthandelsorganisation (WTO) gebrandmarkt werden; die WTO könnte darüber hinaus die Verantwortung für die Beaufsichtigung von Geschäften im Zusammenhang mit großen internationalen Energieprojekten übernehmen. Derart unwirtschaftliche Vorhaben wie beispielsweise einige im Nahen Osten geplante Atomkraftwerke können schließlich auch vorab zur genaueren Untersuchung an die IAEO verwiesen werden, um zu klären, was wirklich mit ihnen beabsichtigt ist.[14]

Ergänzend dazu könnten die Industriestaaten auch gemeinsam mit Ländern der Dritten Welt an nichtnuklearen Alternativen arbeiten, um den Energiebedarf dieser Länder unter Berücksichtigung ihrer Umweltbelange zu befriedigen.

Die Vereinten Nationen haben inzwischen selbst eine Initiative für Erneuerbare Energien ins Leben gerufen, mit der Ländern der Dritten Welt geholfen werden soll. Wie bei den meisten anderen Anregungen können die USA und andere Staaten auch diese Initiativen unterstützen, ohne auf irgendein internationales Abkommen warten zu müssen.

Schlussbemerkung

Angesichts der wachsenden Sorge der Staaten um ihre Energieversorgung und die Verringerung der Kohlendioxidemissionen setzen die Regierungen inzwischen wieder vermehrt auf die Förderung der Atomenergie. In den USA, Frankreich, Russland, China, Japan, Südkorea, Indien, Pakistan, Brasilien sowie in einer Reihe weiterer Entwicklungsländer im Nahen Osten und in Asien gibt es derzeit Pläne, mit Hilfe staatlicher Förderung Atomreaktoren zu exportieren oder zu kaufen.

Allerdings hat man sich zu wenig darum gekümmert, wie man die Anzahl umfassender Reaktorprogramme erhöhen kann, ohne dabei gleichzeitig auch die Technik zur Produktion von Atomwaffen weiterzuverbreiten. Technisch gesehen sind die Mittel, die man braucht, um mit Atomenergie Wasser kochen zu können, nahezu identisch mit denen zur Herstellung einer Plutoniummenge, die für eine ganze Anzahl an Bomben ausreicht.

Praktisch gesehen schafft man es gar nicht, die zahlreichen, für die Entwicklung und Durchführung solcher Programme erforderlichen Ingenieure und Techniker zu schulen, ohne das Risiko einzugehen, dass sie auch lernen, wie man durch Recycling abgebrannter Brennelemente den nötigen Brennstoff selbst herstellt. Auch lässt sich nicht wirklich überprüfen, ob die eventuellen Zusicherungen von Staaten, sie würden auf die Herstellung von Nuklearbrennstoff verzichten, auch wirklich eingehalten werden. Nicht nur, dass es der IAEO in

14 Mehr dazu bei Henry Sokolski, «Market Fortified Non-proliferation,» in *Breaking the Nuclear Impasse* (New York, NY: The Century Foundation, 2007), S. 81-143, verfügbar unter http://nationalsecurity.oversight.house.gov/documents/20070627150329.pdf. Mehr über die aktuelle Mitgliedschaft sowie die Grundsätze für Investitionen und Handel im Vertrag über die Energiecharta und der globalen Charta zur Entwicklung nachhaltiger Energie unter http://www.encharter.org sowie http://www.cmdc.net/echarter.html

der Vergangenheit nicht gelungen ist, verdeckt betriebene Anlagen zur Produktion von Nuklearbrennstoff aufzuspüren, sie hat darüber hinaus auch wiederholt feststellen müssen, dass extrahiertes Plutonium und angereichertes Uran in einer Menge, die für einige Bomben gereicht hätte, nicht verbucht wurde, und zwar lange nachdem es bereits produziert worden war. In keinem der vorgeschlagenen Inspektionsverfahren der IAEO – auch nicht im Zusatzprotokoll – wird diesen Problemen genügend Beachtung geschenkt. Solange man daher nicht felsenfest davon überzeugt ist, dass ein Staat keine Bomben baut, geht man ein erhebliches Risiko ein, dass Atomwaffen weiterverbreitet werden, falls man ihm die Mittel zur Durchführung eines umfangreichen Atomprogramms in die Hand gibt.

Wenn Staaten keine andere Wahl hätten, als große Atomreaktoren zu bauen, um ihren Energiebedarf zu decken, den Ansprüchen der wissenschaftlichen Forschung zu genügen und gleichzeitig ihre Kohlendioxidbelastung zu verringern, müsste man sich mit den entsprechenden Risiken abfinden. Dann wären bald immer mehr Staaten Atommächte – und die Welt würde immer mehr in eine heikle Situation geraten, anstatt sich dem Punkt zu nähern, an dem es keine Atomwaffen mehr gibt und die Gefahren durch die Nutzung der Atomkraft geringer werden.

Glücklicherweise gibt es über das hinaus, was aktuell propagiert wird, etliche überzeugende, saubere und wirtschaftlich konkurrenzfähige Optionen der Energiegewinnung, bei denen Atomenergie keine Rolle spielt, sowie Maßnahmen zur Verringerung der atomaren Bedrohung, die hoffen lassen, dass wir aus diesem Dilemma zwischen ziviler und militärischer Nutzung der Atomenergie herauskommen. Aufgrund neu entdeckter Erdgasvorkommen erhält dieser relativ saubere und billige Brennstoff eine Brückenfunktion hin zu komplizierteren und gegenwärtig noch teureren alternativen Energieoptionen. Aber die Kosten dieser nicht-atomaren Alternativen sinken. Darüber hinaus versprechen auch Maßnahmen zur Energieeinsparung, neue Möglichkeiten der Stromspeicherung sowie neue Arten von Verteilungssystemen, dass sich der Energiebedarf erheblich verringern wird.

Indem man diese nichtnuklearen Energieoptionen bei allen großen Energieprojekten in einer offenen internationalen Ausschreibung wirtschaftlich miteinander konkurrieren lässt, wird man sie gegenüber der Atomenergie besser positionieren. Statt internationale Angebote für bestimmte Energieprojekte wie etwa für ein Atomkraftwerk oder ein Programm zur Kohlenstoffspeicherung einzuholen, sollten die Staaten zu Ausschreibungen ermuntert werden, in denen lediglich die benötigte Energiemenge und die einzuhaltenden Umweltbedingungen vorgegeben werden. Jenes Angebot verdient Beachtung, dass die genannten Anforderungen am schnellsten und kostengünstigsten erfüllt (die Kosten für Subventionen sowie eventuelle Kohlendioxidabgaben immer mit eingerechnet).

Schließlich müssen die Staaten, denen am meisten an einer Eindämmung der nuklearen Gefahren gelegen ist, ihre Bemühungen um einen umfassenden internationalen Vertrag unbedingt durch praktische Maßnahmen ergänzen, die

eigentlich jetzt schon ergriffen werden können (denn bis der Vertrag Wirklichkeit wird, werden, wenn überhaupt, noch Jahre ins Land gehen): Unter anderem sollten Staaten darin bestärkt werden, ihre Produktion an waffenfähigem Spaltmaterial für zivile oder militärische Zwecke herunterzufahren; dazu müssten sie melden, in wieweit ihre Bestände über das hinausgehen, was sie für zivile oder militärische Zwecke benötigen; danach müssten sie dieses Material entsorgen oder zumindest den Zugriff darauf drastisch erschweren. Es sollte auch die Lieferung von Atombrennstoff für zivile Zwecke an Staaten sichergestellt werden, die, wie Indien, den Atomwaffensperrvertrag nicht unterzeichnet haben, wenn damit ein nukleares Wettrennen zwischen diesen Ländern verhindert werden kann.

Die Länder, die Nuklearbrennstoff liefern, sollten außerdem zu einer größeren Aufrichtigkeit in Bezug auf die Mängel im Überwachungssystem der IAEO angehalten werden und mit zur Klärung der Frage beitragen, was bei den Inspektionen bislang nicht zuverlässig aufgespürt werden kann.

Schlussendlich muss unbedingt der Stationierung nichtatomarer Waffensysteme mehr Bedeutung eingeräumt werden, damit sich das Interesse der Staaten am Kauf atomarer Waffen verringert. In diesem Zusammenhang sollte mehr dafür getan werden, um die Zahl offensiver ballistischer Raketen, die Atomsprengköpfe tragen können, zu begrenzen.

Der Vorteil dieser Empfehlungen ist, dass sie direkt umgesetzt werden können. Es gibt aber auch keine Fristen für die Umsetzung. In dieser Sache ist es wie bei jedem Problem, vor dem man steht: Entscheidend ist nur, dass man anfängt, wirklich etwas zu unternehmen.

ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
ACR	Weiterentwicklung des CANDU-Reaktors
AECL	Atomic Energy of Canada Limited (kanadisches Unternehmen)
AGR	Weiterentwicklung gasgekühlter Reaktoren
AP	Advanced Passive
ASE	Atomstroiexport (russischer Energieversorger)
CE	Combustion Engineering
CEGB	Central Electricity Generating Board (britischer Energieversorger)
Coface	Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur (Kreditversicherer der französischen Regierung)
COL	Bau- und Betriebsgenehmigung
DCF	Discounted Cash Flow (ein Verfahren zur Wertermittlung)
DOE	Energieministerium der USA
DWR	Druckwasserreaktor
EDF	Électricité de France (französischer Energieversorger)
EIA	Energie-Informationsbehörde
ENEL	Ente nazionale per l›energia elettrica (italienischer Energieversorger)
EPR	Europäischer Druckwasserreaktor
ESBWR	Economic simplified boiling water reactor
FBR	Fast Breeder Reactor (Schneller Brüter)
GBP	Britisches Pfund
GCR	Gasgekühlter Reaktor
GDA	Generic Design Assessment (britisches Programm zur Vorlizensierung)
GE	General Electric
GEH	Ge-Hitachi
GW	Gigawatt
HTR	Hochtemperaturreaktor
HWR	Heavy Water Reactor (Schwerwasserreaktor)
IAEA	Internationale Atomenergieorganisation
LWR	Light Water Reactor (Leichtwasserreaktor)
MW	Megawatt
NII	Nuclear Installations Inspectorate (britische Atomaufsichtsbehörde)

NRC	Nuclear Regulatory Commission (Atomaufsichtsbehörde der USA)
OPA	Ontario Power Authority (kanadische Genehmigungsbehörde der Provinz Ontario)
Overnight-Kosten	Kosten ohne Finanzierungskosten (also ohne Berücksichtigung der Zinsen und Inflation)
p	Pence
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor (Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor)
RBMK	Mit Graphit und Wasser betriebener russischer Reaktor
SBWR	Simplified Boiling Water Reactor
SE	Elektrarne (slowakischer Energieversorger)
SWR	Siedewasserreaktor
SZR	Sonderziehungsrechte
TVA	Tennessee Valley Authority (amerikanischer Energieversorger)
TVO	Teollisuuden Voima Oy (finnischer Energieversorger)
WWER	Druckwasserreaktor russischer Bauart

DIE AUTOREN

Antony Froggatt ist Senior Research Fellow am Chatham House in London. Seine Spezialgebiete sind vor allem Klimawandel, EU-Energiepolitik und Atomkraft. Über 20 Jahre lang war er auf dem Gebiet der EU-Energiepolitik für NGOs und Denkfabriken sowie als Berater für europäische Regierungen, die Europäische Kommission, das Europäische Parlament und Unternehmen tätig. Am Chatham House war er Ko-Autor von Studien über Synergien und Konflikte bzgl. der Energie- und Klimasicherheit und der kohlenstoffarmen Entwicklung in China. Kontakt: www.chathamhouse.org.uk

Otfried Nassauer ist freier Journalist und Friedensforscher. Er leitet seit 1991 das Berliner Informationszentrum für Transatlantische Sicherheit (BITS). Die Schwerpunkte seiner Arbeit sind Sicherheitspolitik und internationale sicherheitspolitische Organisationen (NATO, WEU, EU, OSZE, UN), Rüstungskontrolle und -exporte, Abrüstung, Atomwaffen und Proliferation. Zu seinen jüngeren Arbeiten zählen Analysen der Nuklearpolitik der USA, Russlands, des Irans und der NATO. Zahlreiche Veröffentlichungen. Kontakt: www.bits.de

Mycle Schneider arbeitet als unabhängiger internationaler Berater für Energie- und Nuklearpolitik. Gegenwärtig ist er Berater bei dem von USAID finanzierten Programm ECO-Asia zu Energieeffizienz und Energiepolitik. Von 2000 bis 2009 war er Berater des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Seit 2004 hat er einen Lehrauftrag im Rahmen des Master-Studienganges International Project Management for Environmental and Energy Engineering an der Ecole des Mines in Nantes (Frankreich). 1997 wurde er zusammen mit Jinzaburo Takagi mit dem Alternativen Nobelpreis ausgezeichnet.

Henry Sokolski ist Executive Director des Nonproliferation Policy Education Center (NPEC) in Washington. Er ist Berater vieler amerikanischer Institutionen und Politiker. Zahlreiche Veröffentlichungen. Kontakt: www.npolicy.org

Steve Thomas ist Professor an der Universität Greenwich in London im Bereich Energieforschung. Seit rund 30 Jahren ist die internationale Energiepolitik Schwerpunkt seiner Arbeit. Er ist ein ausgewiesener Kenner der Liberalisierungen im Energiesektor. Zahlreiche Veröffentlichungen. Kontakt: www.gre.ac.uk

NEUERSCHEINUNG

Mythen der Atomkraft

Hier das marode Atomlager Asse, dort das störungsanfällige AKW Krümmel: Die Schlagzeilen um die Nutzung der Atomkraft wollen nicht enden. Zugleich stellt die Bundesregierung Laufzeitverlängerungen in Aussicht, werden Lobbyisten nicht müde, die umstrittene Technologie als probates Mittel gegen die Erderwärmung zu preisen.

Der Band *Mythen der Atomkraft* von Gerd Rosenkranz liefert kurz und knackig Fakten und das überfällige, atomkritische Know-how zur Debatte, zeigt Alternativen auf und entlarvt die Atomenergie als das, was sie ist: eine unverantwortliche und teure Risikotechnologie.

„Als Übergangsstrategie ins Solarzeitalter ist die Atomenergie untauglich."
Ralf Fücks in seinem Vorwort zum Band *Mythen der Atomkraft*

Gerd Rosenkranz
Mythen der Atomkraft
Wie uns die Energielobby hinters Licht führt

Herausgegeben von der Heinrich-Böll-Stiftung
Band 1 der Reihe *quergedacht*
112 Seiten; EUR 8,95
oekom Verlag München; ISBN 978-3-86581-198-1

Das Buch ist bei der Heinrich-Böll-Stiftung (www.boell.de) sowie im Buchhandel erhältlich.

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
FREUNDINNEN + FREUNDE

Die Freundinnen und Freunde der Heinrich-Böll-Stiftung unterstützen die Werte und Ziele der Stiftung. Sie fühlen sich der politischen und moralischen Haltung Heinrich Bölls verbunden. Menschenrechte, Kunst und Kultur liegen den Freundinnen und Freunden der Heinrich-Böll-Stiftung am Herzen. Mit ihren Mitgliedsbeiträgen fördern sie unbürokratisch und schnell Menschenrechtsaktivisten, Künstler und Kunstprojekte.

Angebote an die Freundinnen und Freunde:

- exklusive Informationen über die Stiftungsarbeit
- spezielles Veranstaltungsangebot
- politische Begegnungsreisen zu den Auslandsbüros
- Vernetzung im grünen Umfeld
- persönliche Einladungen zu besonderen Veranstaltungen wie der Petra-Kelly-Preisverleihung oder dem Sommerfest des Heinrich-Böll-Hauses in Langenbroich
- Verlinkung unserer Homepage mit ihrer Website

Wir laden Sie ein, Mitglied zu werden und damit Teil unserer grünen Ideenwerkstatt und unseres internationalen Netzwerkes – ob als Privatperson, als Institution oder als Unternehmen. Als Freund oder Freundin tragen Sie dazu bei, Qualität und Selbstständigkeit der Heinrich-Böll-Stiftung langfristig zu sichern.

«Die Heinrich-Böll-Stiftung ist ein Stück autonomer und engagierter politischer Kultur in Deutschland – sie verdient Ihre Unterstützung.»
György Dalos, ungarischer Autor in Berlin

Machen Sie mit!

Ansprechpartnerin:
Dr. Janina Bach
Heinrich-Böll-Stiftung
Schumannstraße 8, 10117 Berlin
T 030 28534-112 **F** -119 **E** bach@boell.de

Informieren Sie sich über unser Programm unter: www.boell.de/freundeskreis

In vielen Ländern ist der Mythos von der Atomkraft als unbegrenzte, günstige und sichere Energiequelle stark verblasst, in anderen Teilen der Welt erlebt er gerade einen Aufschwung. In Deutschland hat die liberal-konservative Bundesregierung mit dem Argument, Atomkraft sei eine Brückentechnologie ins Solarzeitalter und unerlässlich für eine CO_2-neutrale Energieversorgung, quasi den „Ausstieg aus dem Ausstieg" beschlossen. Trotzdem bleiben die alten Fragen um Uranabbau, Unfallrisiken und die Endlagerung des radioaktiven Abfalls unbeantwortet. Die Heinrich-Böll-Stiftung hat internationale Experten beauftragt, Fakten und Argumente zu den wichtigsten Themen in Sachen Atomkraft zu überprüfen. Ihre Ergebnisse machen deutlich: Die Atomkraft ist eine teure Technologie und eine massive Bremse für den notwendigen Ausbau der Erneuerbaren Energien. Zudem wächst mit jedem weiteren Atomkraftwerk das Risiko nuklearer Proliferation – die Welt wird unsicherer.

Heinrich-Böll-Stiftung
Die grüne politische Stiftung

Schumannstraße 8, 10117 Berlin
T 030 285340 **F** 030 28534109 **E** info@boell.de **W** www.boell.de

ISBN 978-3-86928-039-4