

Streitpunkt Kernenergie

Eine neue Debatte über alte Probleme



Inhaltsverzeichnis

1	Überblick	1
2	Blick in die Welt – wie die Kernenergie genutzt wird	3
	2.1 Heutige Kernkraftwerke und ihre Altersstruktur	3
	2.2 Entwicklung des Kraftwerksparks und aktuelle Neubaupläne	6
3	Thema Sicherheit – weshalb das Risiko bleibt	9
	3.1 Grundlegende Probleme und die Gefahr schwerer Unfälle	9
	3.2 Beispiele für Störfälle	11
	3.3 Schnittstelle Mensch und Technik	14
	3.4 Alterung von Kernkraftwerken	17
	3.5 Terrorismus und Kriegsfolgen	19
4	(K)eine Frage der Kosten – was die Investitionen bedeuten	21
	4.1 Grundsätzlicher Investitionsbedarf	21
	4.2 Wirtschaftliche Risiken	24
	4.3 Staatliche Förderung	27
	4.4 Schwere Unfälle und die ökonomischen Folgen	29
5	Kernenergie und Klimaschutz – warum die nuklearen Versprechen unehrlich sind	31
	5.1 Herausforderung Klimawandel	31
	5.2 Lösung Kernenergie?	35
6	Massiver Ausbau der Kernenergie – welche Folgen das Szenario hat	40
	6.1 Kapazitäten und Infrastruktur für eine Renaissance der Kernenergie	40
	6.2 Ressourcenbedarf und Uranreichweite	42
	6.3 Ungelöste Entsorgung	45
	6.4 Nukleare Nichtverbreitung	48
	6.5 Neue Reaktortypen	51
7	Der Ausstieg aus dem Ausstieg – Aktuelle Situation der Kernenergie seit 2010	53
	7.1 Laufzeitverlängerung für Kernkraftwerke	53
	7.2 Klimapolitische und energiewirtschaftliche Bedeutung von Laufzeitverlängerungen	55
	Impressum	61

1 Überblick

Mit der Neuauflage dieser Broschüre erhält diese vor dem Hintergrund der Reaktorkatastrophe von Fukushima eine neue Relevanz. Mit den Ereignissen in Japan wird deutlich, dass es auch in Standardreaktoren in einem Industrieland mit hohen Sicherheitsstandards zu schweren Unfällen kommen kann. So zeigt sich heute mehr denn je, wie aktuell die Forderungen des Öko-Instituts nach einer Energiewende sind.

Denn dass es alternative Wege zur Vermeidung solcher Risiken gibt, haben wir parallel zu unseren Risikoforschungen immer wieder untersucht und aufgezeigt. Dabei werden mit den Investitionen von heute entscheidende Weichen für den Energiemix in den nächsten Jahrzehnten gestellt. Wenn die Politik hier den Kurs einer nachhaltigen, zukunftsfähigen Entwicklung ansteuern will, müssen aus Sicht des Öko-Instituts alle wichtigen Faktoren in die Entscheidung einbezogen werden: Welches Potential zur CO₂-Einsparung hat die Kernenergie tatsächlich? Wie ist die heutige Sicherheit von Kernkraftwerken zu bewerten? Welche Auswirkungen haben die im Jahr 2010 beschlossenen Verlängerungen der Laufzeiten für Kernkraftwerke für die Gesellschaft?

Um diese Fragen zu beantworten, ist zunächst von Interesse, welche Bedeutung die Kernenergie heute für die weltweite Energieversorgung hat. Hier zeigt sich, dass Kernenergie bislang nur eine Technik der großen Industrienationen ist. So werden etwa 70 Prozent aller Kernkraftwerke weltweit alleine in den G10-Staaten betrieben. Dementsprechend bleibt ihr Anteil an der weltweiten Primärenergieerzeugung auch sehr gering. Nach zwei Jahrzehnten der Stagnation beginnt zudem der bestehende Kraftwerkspark zu veralten, denn die heute laufenden Kernkraftwerke wurden zu einem großen Teil noch in den 1970er Jahren konzipiert. Mehrere hundert Kernkraftwerke müssten in den nächsten zwei Jahrzehnten ersetzt werden, um überhaupt das heutige Niveau der Kernenergie aufrecht zu erhalten. Selbst wenn alle bisher angekündigten Neubauvorhaben umgesetzt würden, bliebe bestenfalls der bisherige Bestand erhalten. Eine echte „Renaissance“ im Sinne eines erheblichen Ausbaus der heutigen Kernenergie zeichnet sich dagegen nicht ab.

Wer die Kernenergie als mögliche Alternative bewerten möchte, muss zunächst die Frage nach der Sicherheit stellen. Fundamental ist dabei zunächst, dass bis heute das Risiko schwerer Unfälle bleibt. Und das obwohl die Kerntechnik bereits seit einem halben Jahrhundert genutzt wird. Durch einen schweren Reaktorunfall können weite Landstriche unbewohnbar werden, die gesundheitlichen, sozialen und ökonomischen Folgen wären katastrophal. Auch für Anlagen neueren Typs wie sie derzeit zum Beispiel in Frankreich und Finnland gebaut werden, besteht weiterhin das Risiko einer Kernschmelze. Eine ganz neue Generation von Reaktoren, die vermeintlich alle bestehenden Schwierigkeiten löst, gibt es bisher nicht einmal auf dem Reißbrett. Für einen Ausbau der Kernenergie in den nächsten Jahrzehnten würden die heute als Generation IV bezeichneten Konzepte deshalb auch keine Rolle spielen.

Und selbst bei weiteren technischen Verbesserungen lässt sich eine vollständige Sicherheit nicht erreichen. Denn: Die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik stellt einen potentiellen Risikofaktor dar. Auch besteht die Gefahr, dass Terroristen absichtlich Anschläge auf Kernkraftwerke verüben.

Aber ist die Kernenergie dann wenigstens wirtschaftlich interessant? Keineswegs, denn während bei vielen regenerativen Energien die Kosten neuer Anlagen beständig abnehmen, ist bis zur Inbetriebnahme eines Kernkraftwerks nach wie vor ein immenser Kapi-

Die Diskussion um die Kernenergie muss alle Argumente berücksichtigen.

Das Risiko schwerer Unfälle bleibt bestehen.

*Neue Kernkraftwerke
sind auch
ökonomisch riskant.*

talbedarf erforderlich. Angesichts der hohen Anfangsinvestitionen, langen Amortisationszeiten und damit verbundenen hohen wirtschaftlichen Risiken sind neue Kernkraftwerke daher nicht so attraktiv, dass die Energiewirtschaft von selbst massiv in diese Technik investiert. Nur mit erheblichen staatlichen Subventionen lassen sich Unternehmen in liberalisierten Strommärkten zu Investitionen in die Kerntechnik bewegen. Schließlich sind auch die wirtschaftlichen Folgen eines möglichen Unfalls so groß, dass sie vom Unfallverursacher nicht gedeckt werden können, dieses Risiko wird daher praktisch vollständig von der Gesellschaft getragen.

Angesichts der globalen Herausforderung des Klimawandels heben Experten immer wieder hervor, dass die Kernenergie nahezu klimaneutral sei. Doch angesichts des niedrigen Anteils der Kernenergie an der weltweiten Primärenergieerzeugung bleibt ihr tatsächlicher Beitrag zum Klimaschutz gering. Nur wenn die Kernenergie von den heute laufenden 442 auf 1.000 bis 1.500 Anlagen ausgebaut würde, könnte sie überhaupt eine wichtige Rolle beim weltweiten Klimaschutz spielen.

Doch wären solche Ausbauszenarien überhaupt realisierbar? Nein, denn sie verschärfen vielmehr massiv weitere, auch heute bereits vorhandene Probleme. Einem schnellen Ausbau der Kernenergie stehen zunächst die heute sehr geringen industriellen und personellen Kapazitäten entgegen. Bereits jetzt befürchten Staaten wie China angesichts ihrer ambitionierten, wenn auch im Vergleich zum chinesischen Energieverbrauch relativ unbedeutenden Ausbaustrategien, Schwierigkeiten bei der Aufsicht über die Kernkraftwerke. Angesichts der begrenzten Uran-Ressourcen wäre bei einem massiven Ausbau der Kernenergie bereits innerhalb weniger Jahrzehnte der Brennstoff erschöpft. Es kommt hinzu, dass bisher alle großen Industrienationen noch weit davon entfernt sind, die Frage der Endlagerung in einer gesellschaftlich akzeptierten Form zu lösen. Bei einem massiven Ausbau der Kernenergie auch in Staaten, die bisher keine Kernenergie nutzen, würde sich das Problem Endlagerung vervielfältigen.

Bereits heute führen der Bau einer Urananreicherungsanlage im Iran und die Tests von Kernwaffen in Nord-Korea zu erheblichen weltpolitischen Spannungen. Haben immer mehr Länder durch ambitionierte Kernenergieprogramme Zugriff auf nukleare Technologien und Spaltmaterialien, wird es aber immer schwerer, eine weitere Verbreitung von Kernwaffen zu verhindern. Das vom amerikanischen Präsidenten Obama bei seiner „Prager Rede“ wieder auf die höchste politische Ebene gehobene Ziel einer kernwaffenfreien Welt wäre damit praktisch unerreichbar.

Vor diesem Hintergrund ist auch die seit Frühjahr 2010 wieder verstärkt geführte Debatte um die Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke zu bewerten. Die Bürgerinnen und Bürger haben vielerorts sehr sichtbar gegen die im Herbst vom deutschen Bundestag beschlossene Verlängerung der Laufzeiten demonstriert. Zuletzt haben Anfang des Jahres 2011 zahlreiche Bundesländer und Bundestagsabgeordnete Verfassungsklage gegen die Änderung der Atomgesetze eingereicht. In Folge der Unfälle im Kernkraftwerk Fukushima in Japan hat die Bundesregierung die ältesten sieben Kernkraftwerke in Deutschland bis Ende Mai 2011 abgeschaltet. Damit ist die politische und gesellschaftliche Debatte um die Kernenergie auf einem neuen Höhepunkt angekommen. Die Forschungen des Öko-Instituts aus der Vergangenheit und ganz aktuell zeigen: Weder auf die Versorgungssicherheit noch auf den Strompreis in Deutschland hätten längere Laufzeiten wirklich Einfluss. Lediglich die Gewinne der Kernkraftwerks-Betreiber würden deutlich steigen. Für den Klimaschutz ist der Emissionshandel entscheidend, da er die Obergrenzen für den Ausstoß der Treibhausgase in Europa festlegt. Ein Festhalten an der Kernenergie dagegen hilft nicht bei der Erreichung deutscher und europäischer Klimaziele. Im Gegenteil: Es erschwert den notwendigen Umbau des Energiesystems hin zu mehr erneuerbaren Energien und damit auch die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele bis 2050.

*Der Beitrag zum
Klimaschutz ist
gering.*

2

Blick in die Welt – wie die Kernenergie genutzt wird

2.1

Heutige Kernkraftwerke und ihre Altersstruktur

Weltweit sind momentan 442 Kernkraftwerke am Netz, die zusammen rund 15 Prozent des gesamten Strombedarfs erzeugen. Dies entspricht etwa sechs Prozent des weltweiten Primärenergieverbrauchs. Dabei stehen die Kernkraftwerke nur in wenigen Ländern, 70 Prozent aller Reaktoren werden in den G10-Staaten betrieben. Die Anzahl der Anlagen bleibt seit vielen Jahren praktisch konstant, allerdings ist deren durchschnittliches Alter mit 26 Jahren recht hoch. Bisher sind Anlagen mit durchschnittlich 22 Jahren vom Netz gegangen. Entsprechend wenige Erfahrungen gibt es mit älteren Reaktoren. Dennoch diskutieren viele Länder über eine Laufzeitverlängerung. Fazit: Um den heutigen Beitrag der Kernenergie am Strommix konstant zu halten, müssten alte Reaktoren erheblich länger laufen. Das hat Folgen, denn es ist deutlich schwieriger, ein hohes Sicherheitsniveau bei älteren Anlagen zu garantieren.

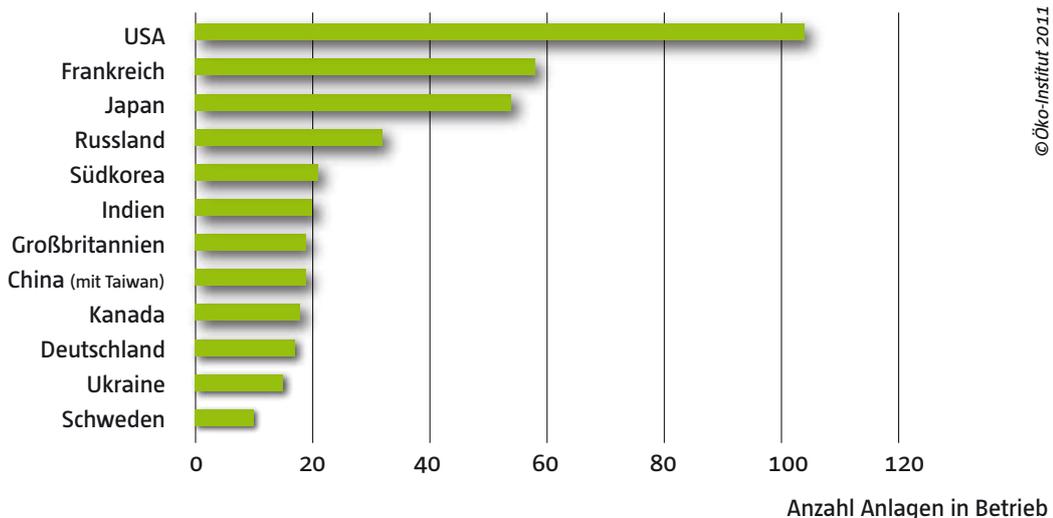


Bild 01: Länder mit mindestens zehn Kernkraftwerken am Netz. (Daten: IAEA PRIS 2011), Stand Januar 2011

442 Kernkraftwerke sind derzeit weltweit in Betrieb (Stand: Januar 2011). Diese Reaktoren verteilen sich auf nur 30 Länder, wovon lediglich 20 Länder mehr als zwei und nur zwölf Länder mindestens zehn Reaktoren betreiben (siehe Abbildung 01). Etwa 100 Anlagen stehen in den USA, weitere insgesamt rund 100 in verschiedenen asiatischen Staaten. In Kanada, Mexiko, Argentinien und Brasilien laufen insgesamt 24, in Afrika dagegen nur zwei Reaktoren. Alle übrigen Anlagen werden in Europa inklusive Russland betrieben. In den 27 EU-Ländern stehen 143 Anlagen, davon 17 in Deutschland. Die weltweit installierte elektrische Netto-Gesamtleistung dieser Reaktoren beläuft sich auf 375 Gigawatt elektrisch (GW_{el}), in der EU-27 auf 130,9 GW_{el} , in Deutschland auf 20,5 GW_{el} . Etwa 70 Prozent aller Kernkraftwerke weltweit werden alleine in den G10-Staaten (Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, die Niederlande, Schweden und USA sowie die Schweiz) betrieben.

Kernenergie wird fast ausschließlich genutzt, um Strom zu erzeugen. Nur in wenigen Ländern dient Kernenergie zum kleinen Teil auch dazu, Meerwasserentsalzungs-Anlagen zu betreiben oder Fernwärme zu produzieren (wie beispielsweise in Russland). Im Jahr 2009 haben alle Kernkraftwerke weltweit 2.558 Terawatt-Stunden Strom (TWh_{el}) erzeugt, was einem Anteil der Kernenergie am Strommix von etwa 15 Prozent entspricht. Bereits der Anteil der Wasserkraft an der weltweiten Stromerzeugung ist mit rund 16 Prozent größer. Der weltweite Beitrag zur Primärenergieversorgung liegt sogar nur bei sechs Prozent (vgl. Kapitel 5). Nur 15 Länder haben in 2009 mehr als ein Viertel ihres Strombedarfs mit Kernenergie gedeckt, dazu gehören zum Beispiel Frankreich und die Schweiz. In Deutschland haben die 17 Kernkraftwerke 2009 mit einer netto Stromerzeugung von knapp 130 TWh fast zehn Prozent weniger Strom als in 2008 erzeugt. Sie trugen damit zu etwa 23 Prozent des gesamten in Deutschland produzierten Stroms bei.

Mit 361 Anlagen stellen die so genannten Leichtwasserreaktoren den größten Anteil an Kraftwerken dar, die heute in Betrieb sind. Diese sind danach bezeichnet, dass sowohl für die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor wie für die Abbremsung der Neutronen im Reaktorkern normales Wasser (Leichtwasser) verwendet wird. So gehören auch alle in Deutschland laufenden Reaktoren zu diesem Anlagen-Typ. Andere Reaktortypen wie beispielsweise Schwerwasserreaktoren, gasgekühlte oder graphitmoderierte Reaktoren spielen dagegen nur eine sehr untergeordnete Rolle. Dies gilt auch für die Reaktoren, die heute gerade gebaut werden und die zu über 90 Prozent zum Typ Leichtwasser-Reaktor gehören.

Die Leistung der einzelnen Reaktoren ist über die Jahrzehnte erheblich angestiegen. Während anfangs ein Reaktor typischerweise einige hundert Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) erbrachte, weisen die heute gebauten Reaktoren eine Leistung über 1.000 MW_{el} auf. Der neu entwickelte Europäische Druckwasserreaktor (EPR) ist sogar für 1.600 MW_{el} Leistung konzipiert. Die durchschnittliche Leistung der heute laufenden Reaktoren liegt bei etwa 850 MW_{el} .

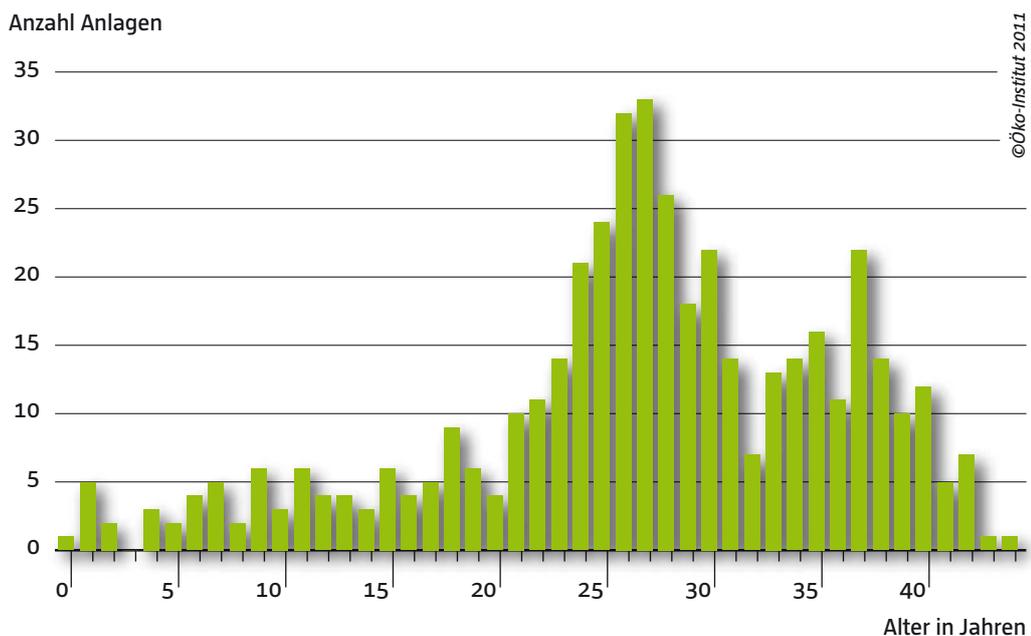


Bild 02: Altersverteilung aller Kernkraftwerke am Netz. (Daten: IAEA PRIS 2011), Stand: Januar 2011

Der heutige Bestand der Kernkraftwerke ist überaltert.

Die ersten, heute noch laufenden Anlagen sind bereits Ende der 1960er Jahre gebaut worden (siehe Abbildung 02). Der größte Teil der laufenden Reaktoren wurde in den 1970er und 1980er Jahren fertig gestellt. Somit sind die noch betriebenen Anlagen durchschnittlich etwas über 26 Jahre alt. Nur 33 Anlagen sind jünger als zehn Jahre, 26 Reaktoren weisen sogar schon eine Betriebsdauer zwischen 40 und 44 Jahren auf.

Insgesamt sind seit den Anfängen der Kernenergie etwa 125 Kraftwerke endgültig abgeschaltet worden. Deren durchschnittliches Alter lag bei rund 22 Jahren. Damit sind die heute noch laufenden Anlagen im Mittel älter als die bereits wieder stillgelegten Reaktoren. Der heutige Bestand der Kernkraftwerke ist also überaltert. Es lässt sich aus der bisherigen Erfahrung auch nur sehr begrenzt eine Aussage ableiten, welches Betriebsalter die Reaktoren aus technischer und sicherheitsrelevanter sowie aus wirtschaftlicher Sicht überhaupt erreichen können.

Wenn die heute noch laufenden Anlagen durchschnittlich 40 Jahre in Betrieb bleiben, dann müssen in den nächsten zehn Jahren weltweit rund 150 Reaktoren, in den nächsten 20 Jahren sogar 360 Reaktoren abgeschaltet und dann abgerissen werden.

Dies ist einer der Gründe, weshalb viele Länder über die möglichen Betriebszeiten der Kernkraftwerke diskutieren. Hinzu kommt, dass sich neue Anlagen aus wirtschaftlichen, technischen und politischen Gründen nicht so einfach bauen lassen. So haben verschiedene Staaten, beispielsweise die USA, die Betriebsgenehmigungen für ihre älteren Reaktoren verlängert. Jedoch: Es gibt bislang wenig Erfahrung mit Kernkraftwerken, die länger als 40 Jahre laufen.

In jedem Fall ist es notwendig, Reaktoren mit einer längeren Betriebszeit kontinuierlich nachzurüsten und an den Stand der Technik anzupassen. Nicht immer ist das technisch möglich oder ökonomisch sinnvoll. Deshalb werden ältere Kernkraftwerke auch nie die gleichen Sicherheitsanforderungen erfüllen können, wie sie an neu gebaute Reaktoren gestellt werden (vgl. Kapitel 3.4). Ein längerer Betrieb kann daher zu zusätzlichen Sicherheitsrisiken führen. Gleichzeitig haben die derzeitigen Betreiber mit längeren Laufzeiten weniger Druck, für Ersatzkapazitäten zu sorgen. Ob und wann daher heute geplante Anlagen wirklich gebaut werden, wird in vielen Fällen auch vom Zeitpunkt der Abschaltung älterer Anlagen abhängen.

Literatur

International Atomic Energy Agency (IAEA): Power Reactor Information System (PRIS). www.iaea.or.at/programmes/a2, Stand Januar 2011.

International Atomic Energy Agency (IAEA): International Status and Prospects of Nuclear Power. GOV/INF/2008/10-GC(52)/INF/6, 12 August 2008.

Nuclear Energy Agency (NEA): Nuclear Energy Data. OECD, Paris, 2008.

atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie: Kernenergie Weltreport 2009. April 2010.

2.2

Entwicklung des Kraftwerksparks und aktuelle Neubaupläne

Als die Kernenergie zwischen 1976 und 1982 so richtig boomte, waren weltweit über 200 Anlagen gleichzeitig im Bau. Zuletzt wurden über 15 Jahre lang nur noch etwa 40 Kernkraftwerke gleichzeitig neu errichtet. Zwar bauen mittlerweile mit Finnland und Frankreich wieder zwei westeuropäische Staaten neue Reaktoren. Dabei zeigen sich jedoch auch erhebliche Schwierigkeiten: So ist es kaum möglich, die vorgesehene Bauzeit und die ursprünglichen Kosten einzuhalten. Wer ein neues Kernkraftwerk errichtet, muss von der ersten Planung bis zum Betrieb rund zehn Jahre einkalkulieren. Dem steht ein überalterter Kraftwerkspark gegenüber, der es notwendig macht, in den nächsten 20 Jahren bis zu 360 Reaktoren abzuschalten. Selbst wenn alle Anlagen realisiert würden, die derzeit fest geplant oder bereits im Bau sind, wäre bestenfalls der Status Quo bei der Kernenergie zu halten. Fazit: Eine Renaissance im Sinne eines drastischen Ausbaus der Kernenergie zeichnet sich nicht ab.

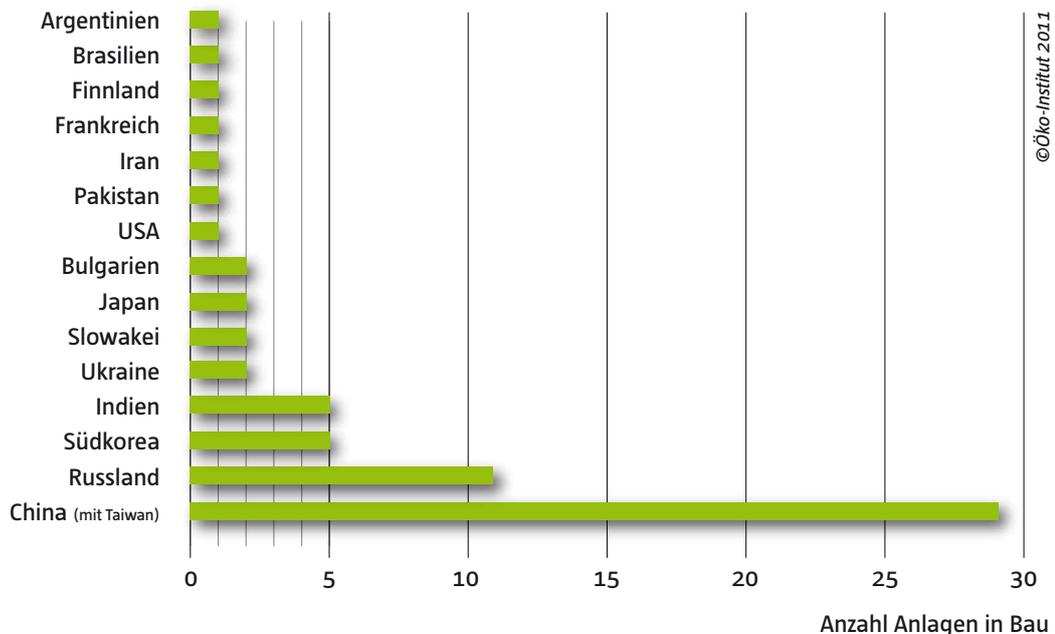


Bild 03: In Bau befindliche Anlagen, (Daten: IAEA PRIS 2011) Stand: Juni 2011

Nach einer Anlaufzeit in den 1950er und 1960er Jahren stieg die Zahl der Anlagen, die gleichzeitig im Bau sind, gleichmäßig auf ein Maximum von 233 Anlagen im Jahr 1979 an. Danach fiel diese Zahl wieder ab, bis sie seit 1993 bei 30 bis 40 Reaktoren lag, die gleichzeitig errichtet wurden. Erst in den letzten beiden Jahren wurde in China mit einer größeren Anzahl von Bauvorhaben begonnen. Offen bleibt hierbei vor allem, wie schnell diese Anlagen tatsächlich fertig gestellt werden können.

In den vergangenen fünf Jahren wurden weltweit 17 Reaktoren neu in Betrieb genommen (15 davon in Asien, zwei in Osteuropa), während 15 Reaktoren endgültig vom Netz gingen. Derzeit befinden sich 65 Anlagen im Bau, davon 29 Anlagen alleine in China (inklusive zwei Anlagen in Taiwan), 42 Anlagen in Asien insgesamt (siehe Abbildung 03). Elf dieser 65 Projekte werden bereits seit den 1980er Jahren oder länger in den Statistiken als Bauvorhaben geführt (siehe Abbildung 04). Ob und wann diese jemals fertig gestellt

werden, bleibt fraglich. 47 der weltweiten Neubauvorhaben wurden in den letzten fünf Jahren begonnen, im Wesentlichen in Asien sowie eine Anlage in Frankreich. In den USA, dem Land mit den meisten Kernkraftwerken weltweit, ist laut IAEA zurzeit ebenfalls ein einziger Reaktor im Bau. Dort nahm der Eigentümer im Jahr 2007 die Bauarbeiten wieder auf – 35 Jahre nach dem offiziellen Baubeginn im Dezember 1972. Auch einige osteuropäische Länder diskutieren darüber, Bauvorhaben aus den vergangenen Jahrzehnten nun fertig zu stellen. Iran ist zurzeit das einzige Land, das bislang noch keine Kernenergie nutzt und einen Reaktor im Bau hat.

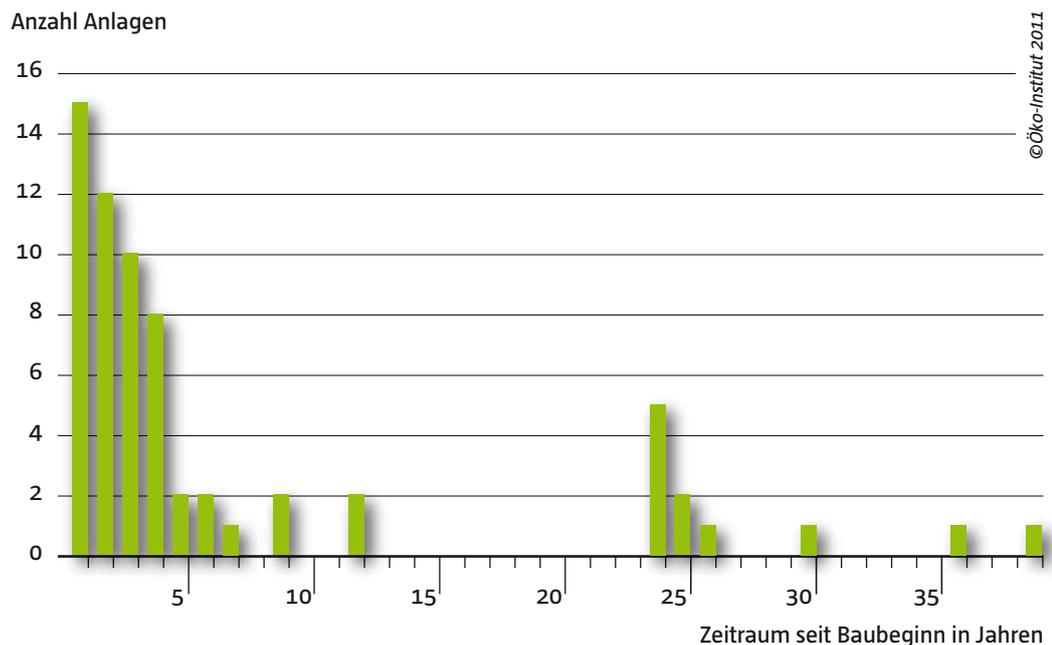


Bild 04: Bisherige Dauer der aktuellen Bauvorhaben (Daten: IAEA PRIS 2011), Stand: Juni 2011

Erstmals seit 1991 bauen mit Finnland und Frankreich derzeit zwei westeuropäische Staaten neue Anlagen. Diese sind vom Typ Europäischer Druckwasserreaktor (EPR). Der EPR ist auf der technischen Basis französischer und deutscher Reaktoren aus den 1980er Jahren entstanden. Jedoch zeigt sich hier, dass selbst mit dem Bau eines nur begrenzt neuen Reaktortyps enorme Schwierigkeiten verbunden sind.

So hat Finnland zwar nach langer Diskussion im Parlament den Beschluss zum Neubau gefällt, das finanzielle Risiko konnte jedoch nur durch ein breites Betreiberkonsortium unter Beteiligung verschiedener Industriesparten des Landes getragen werden. Bei Vertragsabschluss im Januar 2004 war zwischen dem Anbieter AREVA und dem Betreiberkonsortium ein Festpreis von 3,2 Milliarden Euro vertraglich vereinbart, mittlerweile wird geschätzt, dass die festgelegten Kosten um rund 65 Prozent überschritten werden.

Baubeginn des Reaktors war im August 2005, ans Netz gehen sollte das Kraftwerk laut Zusage von AREVA im Mai 2009. Doch Anpassungsbedarf der ursprünglichen Planungen an Sicherheitsanforderungen sowie Probleme beim Bau und der Qualitätssicherung führten zu erheblichem Verzug. Bereits im Jahr 2006 verschob sich der Termin auf den Jahreswechsel 2010/2011, mittlerweile rechnen Experten nicht vor 2013 mit der Fertigstellung. Damit läge die reine Bauzeit bei über 90 Monaten.

*Weltweit gehen
in den nächsten
20 Jahren bis zu
340 Anlagen
vom Netz.*

Wie lange ein Kraftwerksprojekt dauert, variiert sehr stark. Belastbare Daten gibt es in der Regel nur zu den reinen Bauzeiten. Die durchschnittliche Bauzeit der seit 2000 in Asien ans Netz gegangenen Anlagen in Asien betrug 57 Monate. Nur bei drei Anlagen, die weltweit seit 2000 fertig gestellt wurden, betrug die Bauzeit 50 Monate oder weniger, bei sieben Anlagen dagegen sogar über 200 Monate. Bei den zuletzt in Deutschland errichteten Anlagen betrug die Bauzeit knapp 70 Monate. Hinzu kommt, dass Planungen im Vorfeld wie politische Entscheidungen, Standortwahl, technische Konzeptentwicklung, Finanzierung, Genehmigungsverfahren viel Zeit kosten, dies aber von Fall zu Fall sehr unterschiedlich sein kann. Von der ersten Planung bis zum Betrieb eines neuen Kernkraftwerks vergehen daher typischerweise zehn Jahre oder mehr.

Oftmals diskutieren Länder den Ausbau der Kernenergie lediglich als unverbindliche politische Absichtserklärungen, erst in wenigen Staaten existieren konkrete Pläne. Dazu gehört China, das nach Angaben der Zeitschrift *atw* (*atw* 2009) im Rahmen seines 11. Fünfjahresplans vorsieht, insgesamt 30 Kernkraftwerke zu bauen. In Südkorea sollen nach Regierungsplänen weitere zehn Anlagen bis 2030 errichtet werden, von denen zwei bereits konkret beantragt sind. Auch in Finnland sind weitere zwei und in der Schweiz drei Anlagen beantragt. Russland möchte ab 2012 pro Jahr einen Reaktor in Betrieb nehmen, insgesamt sind dort 26 Kernkraftwerke geplant.

Nachdem die US-Regierung unter Präsident Bush eine intensive staatliche Förderung eingeführt hat, diskutieren auch die USA wieder verstärkt über den Neubau von Kernkraftwerken. Zu den Fördermaßnahmen gehören: Steuererleichterungen für die ersten Anlagen, die neu in Betrieb kommen, eine staatliche Absicherung falls die Reaktoren aufgrund von Genehmigungsproblemen verspätet ans Netz gehen, Kreditzusagen bis zu einer Höhe von 80 Prozent der Kosten und eine begrenzte Versicherungspflicht von Unfallrisiken. Angestoßen durch diese staatliche Förderung liegen bei den Behörden mittlerweile Anträge für bis zu 26 Kernkraftwerke vor. Konkrete Bauentscheidungen sind damit jedoch noch nicht getroffen. So wird in den USA lediglich die grundsätzliche Frage geklärt, ob ein bestimmter Reaktortyp an einem konkreten Standort aus Sicht der Genehmigungsbehörde gebaut werden dürfte.

Weltweit sind nach Angaben der Zeitschrift *atw* 80 Anlagen in konkreter Planung, weitere 130 befinden sich in insgesamt 27 Ländern in der Vorbereitung. Da weltweit in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten voraussichtlich 150 bis 360 Anlagen vom Netz gehen werden, wird die Zahl der laufenden Kraftwerke abnehmen oder höchstens konstant bleiben (vgl. Kapitel 2.1). Das trifft selbst dann zu, wenn alle heute geplanten Vorhaben wirklich realisiert werden. Nur wenn sich die Betriebsdauer der heute laufenden Anlagen auf mehr als 50 Jahre verlängert, so dass im nächsten Jahrzehnt noch keine Anlage abgeschaltet werden müsste, könnten mehr Kernkraftwerke in Betrieb kommen, als abgeschaltet werden.

Literatur

International Atomic Energy Agency (IAEA): Power Reactor Information System (PRIS). www.iaea.or.at/programmes/a2, Stand Februar 2011.

International Atomic Energy Agency (IAEA): International Status and Prospects of Nuclear Power. GOV/INF/2008/10-GC(52)/INF/6, 12 August 2008.

atw Schnellstatistik Kernkraftwerke 2008, *atw*, 54. Jg., Heft 1, Januar 2009.

atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie: Kernenergie Weltreport 2009. April 2010.

Nucleonics Week, Jahrgänge 2008 bis 2010.

3 Thema Sicherheit – weshalb das Risiko bleibt

3.1 Grundlegende Probleme und die Gefahr schwerer Unfälle

Ein grundlegendes Sicherheitsproblem eines Kernkraftwerks liegt darin, dass auch nach dem Abschalten im Reaktorkern weiter erhebliche Wärme entsteht. Um eine Kernschmelze zu verhindern, muss der Brennstoff deshalb ununterbrochen gekühlt werden. Dazu benötigt das Kernkraftwerk eine sehr komplexe Sicherheitstechnik. Aber auch damit ist keine hundertprozentige Sicherheit erreichbar. Fazit: Auch heute können jederzeit schwere Unfälle passieren – mit katastrophalen Folgen für Mensch und Umwelt.

Im Kernkraftwerk entsteht die Wärme durch Kernspaltung im Brennstoff. Bei den derzeit 17 in Deutschland betriebenen Kernkraftwerken handelt es sich um Leichtwasserreaktoren (elf Druckwasserreaktoren, sechs Siedewasserreaktoren). Bei diesen dient Wasser als Kühlmittel und Moderator. Über einen Wasser-Dampfkreislauf wird eine Turbine angetrieben und über einen Generator Strom erzeugt. Bei Druckwasserreaktoren (DWR) bleibt der primäre Kühlkreislauf unter hohem Druck, so dass das Kühlwasser beim Durchgang durch den Reaktorkern nicht siedet. Die Wärme wird an einen sekundären Kühlkreislauf abgegeben, in dem der Dampf erzeugt wird, der wiederum die Turbine antreibt. Bei Siedewasserreaktoren (SWR) verdampft dagegen Kühlmittel bereits im Reaktorkern. Dieser Dampf treibt direkt die Turbine an.

Bei der Kernspaltung entstehen sehr große Mengen radioaktiver Stoffe. Damit diese Stoffe nicht aus dem Reaktor entweichen, gibt es unterschiedliche Barrieren. Der größte Teil der im Reaktor vorhandenen radioaktiven Stoffe befindet sich im eingesetzten Brennstoff. Dieser Brennstoff ist in Brennstäbe eingebunden, die aus einem gasdicht verschweißten Metallrohr bestehen. Die zu Brennelementen zusammengefassten Brennstäbe bilden den Reaktorkern. Dieser befindet sich im Reaktordruckbehälter, einem Stahlbehälter, durch den heißes und unter hohem Druck stehendes Kühlmittel zur Abfuhr der erzeugten Wärmeleistung gepumpt wird. Der Reaktordruckbehälter, die umgebenden Strukturen und Komponenten sind von einer Stahlhülle, dem so genannten Sicherheitsbehälter, eingeschlossen. Dieser soll bei Störfällen verhindern, dass Kühlmittel verloren geht und radioaktive Stoffe in die Umgebung entweichen. Der Sicherheitsbehälter ist wiederum gegenüber Einwirkungen von außen geschützt – durch die Betonhülle des Reaktorgebäudes.

Der Reaktor muss jederzeit sicher abgeschaltet und in einem unterkritischen Zustand gehalten werden können. Es sind Steuerstäbe vorhanden, die zur Abschaltung des Reaktors vollständig in den Reaktorkern eingebracht werden müssen, um einen weiteren Ablauf der Kettenreaktion zu unterbinden. Beim DWR wird im primären Kühlkreislauf zusätzlich Borsäure zugefügt, um die Kettenreaktion zu beeinflussen. Weiterhin ist es erforderlich, die im Reaktorkern entstehende Wärme zuverlässig abzuführen. Auch wenn der Reaktor abgeschaltet ist, wird beim radioaktiven Zerfall der entstandenen Spaltprodukte die so genannte Nachzerfallswärme erzeugt. Diese beträgt sofort nach dem Abschalten der Kettenreaktion etwa sieben Prozent der ursprünglichen thermischen Leistung des Reaktors und klingt erst allmählich im Laufe der folgenden Stunden und Tage weiter ab.

Dies bedeutet für eine Anlage mit einer typischen thermischen Reaktorleistung von etwa 3.500 MW, dass unmittelbar nach dem Abschalten noch eine thermische Leistung von

rund 245 MW und auch einen Tag später noch über 20 MW abgeführt werden müssen. Diese Wärmemengen würden ausreichen, den Reaktorkern so weit zu erhitzen, dass der Brennstoff und die umgebenden Metallstrukturen zusammenschmelzen. Durch die bis zu 3.000 °C heiße Kernschmelze und weitere Wechselwirkungen (beispielsweise Druckaufbau, Dampfexplosionen, Wasserstoffexplosionen) können die umgebenden Barrieren (Reaktordruckbehälter, Sicherheitsbehälter, Reaktorgebäude) zerstört werden. In diesem Fall lässt es sich nicht verhindern, dass große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung entweichen.

Auch nach dem Abschalten des Reaktors müssen die Brennelemente also kontinuierlich gekühlt werden. Dies erfordert intakte Kühlketten mit ausreichenden Kühlmittelvorräten, um die Wärme abzuführen. Aktive Einrichtungen, wie beispielsweise die Pumpen und Armaturen, sowie die Überwachung und Steuerung dieser Einrichtungen müssen zuverlässig funktionieren. Zudem benötigen sie Betriebsmittel und Hilfsstoffe – beispielsweise Kraftstoffe und elektrische Energie.

Bei einem Leck am primären Kühlkreislauf wird das austretende Kühlmittel im Sicherheitsbehälter aufgefangen und gesammelt. Es ist dann erforderlich, mit Hoch- und Niederdruck-Notkühlsystemen dieses Wasser aus dem Sicherheitsbehälter in den Kühlkreislauf zurückzuspeisen, damit der Brennstoff kontinuierlich gekühlt bleibt. Da bei Störungen gegebenenfalls sehr schnell und optimal reagiert werden muss, benötigt ein Kernkraftwerk umfangreiche Mess- und Regelsysteme. Diese müssen auftretende Störungen und Störfälle sicher erkennen, identifizieren, und Aggregate ansteuern, die die Ereignisse beherrschen.

Generell braucht die Anlage kontinuierlich Strom. Während des Betriebs versorgt sich ein Kernkraftwerk selbst mit der benötigten Energie. Nach dem Abschalten des Reaktors muss die Energie von außen kommen, das erfolgt zuerst über das externe Stromnetz. Bei einem Netzausfall erzeugen Notstromsysteme (Dieselgeneratoren) die Energie für die erforderliche Sicherheitstechnik. Zusätzlich vorhandene Batterien haben nur eine begrenzte Kapazität. Erhält das Kernkraftwerk keinerlei Strom mehr, versagen in der Folge die Systeme, die den Brennstoff kühlen.

Insgesamt haben Kernkraftwerke eine sehr komplexe Sicherheitstechnik, die damit entsprechend anfällig für Störungen und Fehler ist. Und so können sich auch jederzeit schwere Unfälle ereignen. Wenn aber große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umgebung entweichen, werden weite Landstriche betroffen.

Nach den heute in Deutschland gültigen Strahlenschutzregelungen kann es notwendig werden, Flächen von zehntausend Quadratkilometern und mehr zu evakuieren. Ähnlich große Flächen können auch langfristig unbewohnbar bleiben. Evakuierungen und Umsiedlungen können auch in einigen hundert Kilometer Entfernung von einem Unfallreaktor noch erforderlich werden. Betroffen sein kann damit jede Großstadt und jede Region in Deutschland. Schwere Unfälle hätten somit katastrophale gesundheitliche, soziale, ökologische und wirtschaftliche Folgen (vgl. auch Kapitel 4.4). Auch wenn eine Evakuierung oder Umsiedlung sowie die sachgerechte Entsorgung von zu stark kontaminierten Lebensmitteln funktionieren würde, könnten immer noch mehr als 100.000 zusätzliche Todesfälle durch Krebs alleine in Deutschland die Folge sein. Die möglichen ökonomischen Schäden schwerer Unfälle in einem dicht besiedelten und industrialisierten Land wie Deutschland haben Experten vor einigen Jahren auf mehrere tausend Milliarden Euro geschätzt.

*Die Schwachstelle
von Kernkraftwerken
liegt in ihrer
Komplexität.*

3.2 Beispiele für Störfälle

Seit der Katastrophe von Tschernobyl hat sich zwar weltweit kein vergleichbar schwerer Unfall ereignet. Doch die internationale Betriebserfahrung der vergangenen 25 Jahre belegt, dass Anzahl und Schwere von Störungen nicht wesentlich zurückgehen. Eine Vielzahl von gefährlichen Ereignissen zeigt stattdessen, dass oft nur günstige Umstände Schlimmeres verhindert haben. So legte beispielsweise im schwedischen Forsmark ein Kurzschluss die Sicherheitssysteme fast vollständig lahm. Nur durch Zufall fielen bloß zwei der vier Notstrom-Aggregate aus, die zur Aufrechterhaltung der Kühlung des Reaktors notwendig waren. Außerdem treten weiterhin unerwartete Ereignisse und Abläufe auf, die in dieser Form nicht vorherzusehen waren. Selbst eigentlich bekannte Fehler wiederholen sich, was darauf schließen lässt, dass Organisationen im Kontext derart komplexer Technik nicht ausreichend aus den Störfällen lernen. Fazit: Die Kerntechnik ist auch heute noch weit davon entfernt, „ausgereift“ und sicher zu sein.

Die Betreiber von Kernkraftwerken in Deutschland sind gesetzlich verpflichtet, auftretende Ereignisse, die für die Sicherheit eines Kernkraftwerks von Bedeutung sein können, den Aufsichtsbehörden zu melden. Im Zeitraum zwischen 1996 und 2009 traten zwischen 92 und 167 meldepflichtige Ereignisse pro Jahr auf. Eine Tendenz zur Abnahme der Zahl meldepflichtiger Ereignisse ist nicht erkennbar (siehe Abbildung 05).

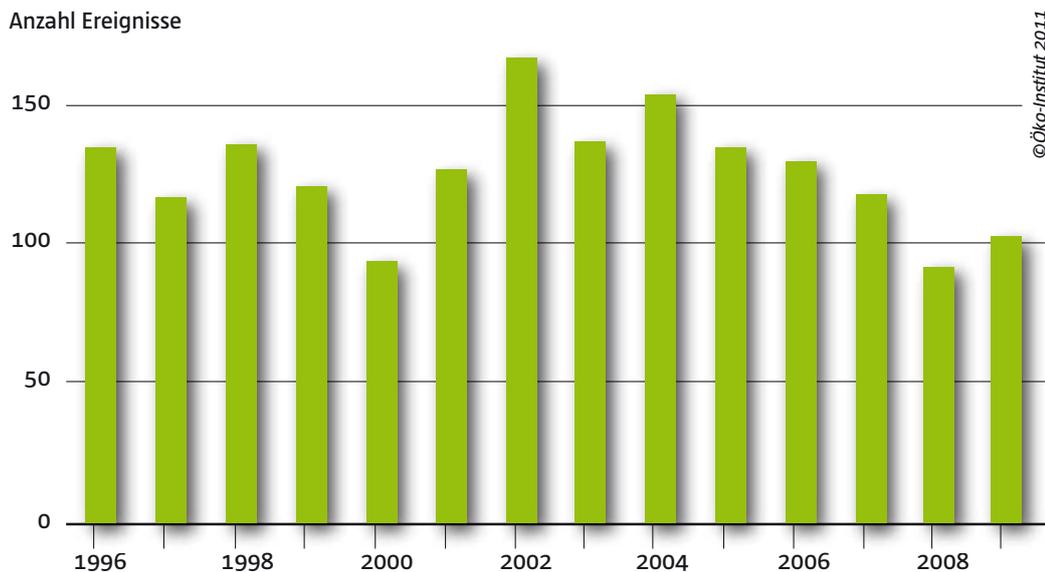


Bild 05: Anzahl meldepflichtiger Ereignisse (Daten: BMU 1996 bis 2009)

Eine Vielzahl von Ereignissen nach Tschernobyl zeigt, dass weltweit auch heute noch technisches Versagen sowie menschliche und organisatorische Fehler ein bedeutendes Sicherheitsrisiko darstellen. Im Folgenden soll dies an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

Bereits im Juli 1992 kam es in der schwedischen Anlage Barsebäck-2 zu einem Ereignis, dessen Auswirkungen bis heute die sicherheitstechnische Diskussion auch in Deutschland beeinflussen. Hierbei trat ein kleines Leck am primären Kühlkreislauf des Reaktors auf. Dabei handelt es sich um ein Ereignis, wie es bei allen Anlagen eines vergleichbaren Typs (DWR, SWR) vorkommen kann und das sicher beherrscht werden muss. Dazu muss das aus dem Leck austretende Kühlmittel im so genannten „Sumpf“ an der tiefsten Stelle des Sicherheitsbehälters aufgefangen und von dort mit den Notkühlpumpen wieder zur Kühlung in den Reaktor zurückgeführt werden. So genannte „Sumpfsiebe“ verhindern dabei, dass größere Bruchstücke oder Gegenstände, die vom Kühlmittel mitgerissen werden, in die Notkühlpumpen gesaugt werden und diese beschädigen können.

Bei dem Ereignis in Barsebäck-2 riss das unter hohem Druck ausströmende Kühlmittel Isoliermaterialien von benachbarten Leitungen ab. Diese sammelten sich im Sumpf und verstopften die Sumpfsiebe. Dadurch war das Ansaugen durch die Notkühlpumpen und damit insgesamt die Kühlung des Reaktors gefährdet. Erst nach einem improvisierten Eingriff funktionierten die Sicherheitssysteme wieder. Das Ereignis hat also in Frage gestellt, ob eine zentrale Sicherheitseinrichtung funktioniert, die eigentlich schwere Unfälle verhindern soll.

Bei der ursprünglichen Planung von Kernkraftwerken gehen die Experten von möglichen Ereignisabläufen aus. Am Beispiel des Ereignisses in Barsebäck zeigt sich jedoch, dass tatsächliche Störungen und Störfälle unter Bedingungen ablaufen können, die davon abweichen. Dadurch ergeben sich andersartige und zum Teil schwerwiegendere Abläufe als vorher bedacht.

Es kommt hinzu, dass Erkenntnisse aus Barsebäck und anderen vergleichbaren Ereignissen nicht zeitnah und gründlich aufgearbeitet wurden. Erst viele Jahre später stellten sich die Sicherheitsexperten grundlegende Fragen darüber, was das Sumpfsieb bei einem Leck gefährden könnte. In der deutschen Anlage in Biblis bemerkten die Betreiber beispielsweise erst 2003 per Zufall, dass die eingebauten Sumpfsiebe erheblich kleiner waren als geplant. Ein zentrales Sicherheitssystem war damit über mehr als 20 Jahre unter falschen Annahmen in Betrieb.

Im August 2001 wurde festgestellt, dass die Betriebsvorschriften beim Wiederanfahren des deutschen Kernkraftwerks Philippsburg nicht eingehalten wurden. So waren unter anderem die Kühlmittelvorräte in den Flutbehältern noch nicht so weit aufgefüllt, wie es die Vorschriften vorsahen. Diese Vorräte sind notwendig, um den Reaktor im Falle eines Lecks zu kühlen. Zudem war der Gehalt an Borsäure in den Behältern nicht so hoch, wie es vorgeschrieben ist. Die spätere Untersuchung dieses Ereignisses zeigte, dass hier die Mannschaft regelmäßig die Vorschriften verletzt hatte. Der Betreiber der Anlage nahm das Fehlverhalten über Jahre in Kauf und versäumte es, den nachlässigen Umgang mit den Betriebsvorschriften kritisch zu hinterfragen.

Für einen sicheren Betrieb der Kernkraftwerke sind wichtige Grenzwerte und Randbedingungen definiert. Wenn Betreiber von diesen Vorschriften abweichen, können in der Folge Sicherheitssysteme beeinträchtigt werden. Es kann dann auch zu Abläufen kommen, die so nicht vorgesehen waren und bei denen die Sicherheit der Anlage gefährdet ist.

Organisatorische Regelungen haben einen ebenso hohen Stellenwert für die Sicherheit wie die Technik. Es ist daher wichtig, dass die Vorschriften sorgfältig eingehalten werden. Probleme können auftauchen bei einem Fehlverhalten Einzelner, wegen unvollständiger oder schlecht ausformulierter Vorschriften sowie durch das Fehlen geeigneter Kontrollmechanismen (vgl. auch Kapitel 3.3). Bis heute ist nicht in allen Kernkraftwerken ein vollständiges und wirksames Sicherheitsmanagementsystem eingeführt, welches das komplexe Zusammenspiel zwischen Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt. Damit ließe sich die Fehlerhäufigkeit reduzieren, ein risikofreier Betrieb eines Kernkraftwerks ist aber dennoch nicht möglich.

Am 14. Dezember 2001 kam es in der Anlage Brunsbüttel zu ungewöhnlichen Signalen auf der Warte. Der Betreiber erklärte sich das zunächst damit, dass in einem System für den Normalbetrieb ein ungefährliches Leck entstanden sei. Erst im Februar 2002 untersuchte der Betreiber die genauen Ursachen im Beisein der Aufsichtsbehörde – nach einer

*Die Fehler
wiederholen sich.*

weitergehenden Analyse der automatischen Aufzeichnungen. Dazu musste der Reaktor abgeschaltet und abgefahren werden, um das Innere des Sicherheitsbehälters betreten zu können. Vor Ort stellte der Betreiber fest, dass ein Rohrleitungsteil von 2,7 Meter Länge in unmittelbarer Nähe des Reaktordruckbehälters durch eine Wasserstoffexplosion zerstört worden war.

Der Betreiber hat die Hinweise auf Unregelmäßigkeiten nicht sofort überprüft und stattdessen die Anlage über zwei Monate weiter laufen lassen. Ursache und Ausmaß des Ereignisses kamen daher erst mit erheblicher Verzögerung ans Licht.

Das Phänomen der Wasserstoffbildung und die damit verbundene Explosionsgefahr sind grundsätzlich bekannt. In dem betroffenen Bereich hielt der Betreiber nennenswerte Wasserstoffansammlungen aber nicht für möglich. Aufgrund dieser Fehleinschätzung wurden bei der Planung der Anlage keine ausreichenden Gegenmaßnahmen getroffen. Auch wenn dieser Vorfall letztendlich glimpflich ausging, hätte es zu weitaus schwerwiegenden Schäden an der Anlage kommen können.

Obwohl vergleichbare Ereignisse schon früher im Ausland aufgetreten waren, überprüfte niemand sorgfältig, ob eine solche Schwachstelle auch bei den eigenen Anlagen vorliegen könnte. Damit zeigt sich erneut, dass aus Fehlern nicht ausreichend gelernt wird.

Erst nach diesem Ereignis analysierte der Anlagenbetreiber dieses Phänomen und die möglichen Folgen in verschiedenen Bereichen des Reaktors systematisch. Die deutsche Reaktor-Sicherheitskommission erließ darüber hinaus neue Vorschriften, wie mit der Problematik umzugehen ist, und es wurden Vorkehrungen getroffen, um ähnliche Ereignisse in Zukunft zu vermeiden.

Am 25. Juli 2006 kam es im Stromnetz in der Nähe des schwedischen Kernkraftwerks Forsmark zu einem Kurzschluss. Die automatischen Steuerungen reagierten fehlerhaft und trennten die Anlage erst mit zeitlicher Verzögerung vom Netz. Somit wirkte sich der Kurzschluss auch im Kernkraftwerk aus.

Wird die Anlage vom Netz getrennt, muss sie sich selbst mit Energie versorgen, um den Reaktorkern weiter zu kühlen. Hierzu sind zunächst verschiedene Umschaltmöglichkeiten vorgesehen, damit die Anlage weiter Strom erhält. Aufgrund verschiedener, über längere Zeit unbemerkt vorhandener Fehler funktionierten diese Umschaltungen in Forsmark jedoch nicht.

Letztlich stehen Notstrom-Aggregate zur Verfügung, die alle Sicherheitssysteme mit Energie versorgen sollen. Durch den externen Kurzschluss und die dabei aufgetretenen Spannungsspitzen fielen jedoch zwei der vier vorhandenen Notstrom-Systeme aus. Nur durch Zufall waren dabei nur zwei und nicht alle vier vorhandenen Notstromdiesel betroffen.

An diesem Beispiel wird zunächst deutlich, dass neben den eigentlichen Sicherheitssystemen auch viele Hilfsfunktionen erforderlich sind. So benötigt die Sicherheitstechnik zuverlässig Strom. Wenn die gesamte Stromversorgung länger ausfällt, führt das zu Ereignissen, die sich nicht mehr beherrschen lassen bis hin zur Kernschmelze.

Das Beispiel Forsmark zeigt außerdem, dass in den Anlagen trotz einer Qualitätssicherung und umfangreicher Prüfungen Fehler über längere Zeiträume unbemerkt bleiben können. Diese werden unter Umständen erst entdeckt, wenn tatsächlich ein Störfall eintritt, bei dem die Sicherheitstechnik benötigt wird.

Ereignisse außerhalb der Anlage können die Sicherheit erheblich beeinträchtigen. Auch mehrere Ebenen von Schutzvorkehrungen zur Absicherung der Anlage können, wie es bei diesem Ereignis der Fall war, gleichzeitig versagen. Selbst Fehler in einem sicherheitstechnisch nicht direkt relevanten Bereich können sich dann auf grundlegende Sicherheitsvorkehrungen auswirken.

Alle Beispiele belegen: Trotz langjähriger Erfahrung mit Kernkraftwerken ereignen sich weiterhin viele Störfälle. Die Kenntnisse und Vorsorgemaßnahmen reichen bei weitem nicht aus, dies zu vermeiden. Zwar hat sich die Kerntechnik weiterentwickelt, trotzdem tauchen immer wieder unvorhergesehene Wechselwirkungen, neuartige Fehler und zuvor nicht bedachte Abläufe auf. Deshalb kann auch heute nicht von einer „ausgereiften“ und damit vollständig sicheren Kerntechnik die Rede sein.

Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Meldepflichtige Ereignisse in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen in der Bundesrepublik Deutschland. Jahres- und Quartalsberichte 1996–2009. www.bfs.de/de/kerntechnik/ereignisse/berichte, Stand Februar 2011.

Georgui Kastchiev, Wolfgang Kromp, Stephan Kurth, David Lochbaum, Ed Lyman, Michael Sailer, Mycle Schneider: Residual Risk. An Account of Events in Nuclear Power Plants Since the Chernobyl Accident in 1986. Mai 2007. www.greens-efa.org/cms/topics/dokbin/181/181995.pdf, Stand Februar 2011.

3.3

Schnittstelle Mensch und Technik

Das Personal in einem Kernkraftwerk kann jederzeit in das Betriebsgeschehen eingreifen – sowohl im normalen Betrieb als auch bei Störungen und Störfällen. In unterschiedlichem Umfang ist es sogar notwendig, dass sich die Mannschaft einschaltet. Dabei passieren jedoch immer wieder Fehler. Der menschliche Einfluss (Human Factor) in einer Anlage lässt sich also weder ausschließen noch lässt sich genau vorhersagen, welchen Fehler jemand macht und wann dies geschieht. Äußere Einflüsse wie Zeit- und Finanzdruck oder eine Kultur, die Regelverstöße in bestimmten Bereichen duldet, verstärken das erfahrungsgemäß. Auch eine schlecht organisierte Arbeitswelt mit unklaren Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten sowie Monotonie oder Überforderung gehören zu den Faktoren, die zu Fehlern führen. Darüber hinaus wird das Handeln jedes einzelnen Mitarbeiters immer auch durch seine persönliche Einstellung bestimmt. Auf diese hat die Anlagen- oder Unternehmensleitung kaum Einfluss. Fazit: Wie häufig das Personal in einer komplexen Anlage falsche Entscheidungen trifft, lässt sich zwar durch geeignete Arbeitsbedingungen positiv beeinflussen. Ausschließen lassen sich menschliche Fehler jedoch nicht.

Ein Kernkraftwerk ist ein technisch komplexes und hoch automatisiertes System. Trotzdem können die dortigen Mitarbeiter jederzeit in den Betrieb eingreifen – beim Normalbetrieb, bei Unregelmäßigkeiten oder bei Störfällen. In unterschiedlichem Umfang ist es sogar erforderlich, dass sich die Mannschaft einschaltet. Menschliche Entscheidungen spielen zudem von Anfang an eine entscheidende Rolle – wenn die Anlage geplant und errichtet wird. Der menschliche Einfluss oder Human Factor lässt sich also nicht ausschließen. Er stellt einen Unsicherheitsfaktor dar, weil es sich weder vorhersagen lässt, wel-

chen Fehler jemand macht, noch wann dies geschieht. Wichtig dabei ist die Kreativität des Menschen. Im positiven Sinne hilft das kreative Potential eines Mitarbeiters im Kernkraftwerk, Lösungen und Handlungsmöglichkeiten in unbekanntem Situationen zu finden. Im negativen Sinne sorgt die Kreativität für unerwünschtes Handeln, weil der Mitarbeiter bestehende Regeln, technische Barrieren oder organisatorische Vorschriften umgeht. Die Bandbreite solcher bewusster oder unbewusster Regelverstöße ist so groß, dass sie sich nicht vorhersagen oder in Sicherheitsanalysen berücksichtigen lassen.

Die Arbeitsbedingungen haben einen wichtigen Einfluss darauf, wie häufig Fehler passieren. Der Schnittstelle zwischen der komplexen Technik und dem Benutzer kommt hier eine besondere Bedeutung zu. So sollten technische Einrichtungen ergonomisch gestaltet, Anweisungen und Betriebsparameter zum Steuern der Anlage benutzerfreundlich dargestellt sowie klar und eindeutig formuliert sein. Beides kann dazu beitragen, Fehler zu reduzieren.

In den vergangenen Jahren ist zudem der Zusammenhang zwischen einer gut organisierten Arbeitswelt und dem Handeln von Personen stärker in den Fokus der Diskussion gerückt. Das betrifft nicht nur die Sicherheit in der Kerntechnik, sondern auch andere sicherheitsrelevante Branchen wie die Chemieindustrie und den Flugverkehr. Unter das Stichwort Sicherheitsmanagement fallen beispielsweise die Regelung von Zuständigkeiten, die Qualifikation der Mitarbeiter für die jeweilige Tätigkeit (inklusive Aspekte von Über- oder Unterforderung) und die Kommunikation. Ebenso wichtig sind die zeitlichen und finanziellen Ressourcen vor allem für Aufgaben, die in erster Linie der Sicherheit des Kernkraftwerks dienen. Diese Faktoren können erheblichen Einfluss darauf haben, wie verantwortungsbewusst sich ein Mitarbeiter verhält, welchen Handlungsfreiraum er hat, wie motiviert er ist und welchen Stellenwert Sicherheitsfragen bei betrieblichen Entscheidungen haben. Alle Aspekte beeinflussen damit auch die Wahrscheinlichkeit, ob es zu Fehlern kommt.

Technik und Organisation müssen sich letztendlich immer an dem Kompromiss orientieren, das Potential des Menschen als Sicherheitsfaktor im Betrieb der Anlage zu fördern, ohne ihn zum Risikofaktor zu machen (Grote 2002). Aufgrund der komplexen technischen und organisatorischen Zusammenhänge gibt es in der Praxis außerdem erhebliche Schwierigkeiten, Faktoren, die die Sicherheit beeinträchtigen können, zu identifizieren und wirksam Abhilfe zu schaffen.

Neben den äußeren Randbedingungen bestimmt die persönliche Einstellung jedes einzelnen Mitarbeiters maßgeblich das persönliche Verhalten bei sicherheitsrelevanten Entscheidungen und Handlungen. Darauf hat die Anlagen- oder Unternehmensleitung jedoch nur bedingt Einfluss. Im Bereich der Kerntechnik hat sich – wie auch in anderen Risikotechnologien – der Begriff der Sicherheitskultur etabliert (IAEA 1991). Darunter wird die umfassende Betrachtung aller Faktoren, die die Sicherheit beeinflussen, inklusive der Normen und Werte des Einzelnen verstanden.

Wie die Sicherheitskultur auf das Verhalten der Mitarbeiter einwirken kann, zeigt das folgende Zitat aus einem Bericht des Betreibers des schwedischen Kernkraftwerks Forsmark nach einem Störfall im Jahre 2006 (Vattenfall 2006):

„Die aufgetretene Störung muss leider aus der Perspektive eines Höhepunktes im Verfall der Sicherheitskultur des Unternehmens betrachtet werden. Dies ist wahrscheinlich zu einem großen Teil der in letzter Zeit erfolgten Konzentration auf Produktionssteigerung und vielleicht einer allzu schnellen Erneuerung der Anlagen geschuldet. ...

*Menschliche Fehler
lassen sich kaum
ausschließen.*

Vieles deutet darauf hin, dass die grundlegenden Ursachen für das Ereignis am 25.7.2006 in Mängeln im Qualitätsmanagementsystem zu finden sind, das nicht die Anforderungen der Umwelt erfüllt. Es sieht auch so aus, dass sich die Möglichkeiten und sogar der Wille, Anweisungen und Verordnungen zu befolgen, verschlechtert haben. Wir erfüllen oft deren Buchstaben, aber nicht deren wahren Sinn. In bestimmten Fällen sind leider auch eindeutige Verstöße festzustellen. Der Mangel an Zeit scheint zu rechtfertigen, dass oftmals verstärkt Risiken auf allen Ebenen des Unternehmens eingegangen werden und die Bestimmungen für Reaktorsicherheit und Arbeitsschutz eine immer breitere Auslegung erfahren.“

Das Beispiel belegt, dass weiterhin mit Schwächen im organisatorischen Bereich zu rechnen ist, die mit Fehlern des Personals einhergehen. Dabei ist bekannt, wie wichtig die Organisation und der Human Factor für die Sicherheit sind. Ein systematischer Lern- und Entwicklungsprozess, der menschliche Fehler weitgehend ausschließt, zeichnet sich hingegen nicht ab.

Letztendlich können auch im besten Fall nur einzelne Einflussgrößen verbessert werden – in erster Linie die Arbeitsbedingungen. Die persönliche Einstellung, die menschliche Kreativität und die Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen, werden auch zukünftig von Bedeutung bleiben. Sie führen dazu, dass der Mitarbeiter sowohl die Sicherheit garantieren als auch Auslöser für schwerwiegende Fehler werden kann. Der Einfluss des Human Factor auf die Sicherheit von Kernkraftwerken lässt sich somit niemals ausschließen.

Literatur

International Atomic Energy Agency (International Nuclear Safety Advisory Group): Safety Culture. 75-INSAG-4, Wien, 1991, www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub882_web.pdf, Stand Juni 2011.

G. Grote und C. Künzler: Sicherheitsmanagement, Sicherheitskultur und Merkmale einer „guten Organisation“: Begriffsklärung und Ansätze der Bewertung. In: Tagungsband „Sicherheitsmanagement in der Kerntechnik“, Symposium des TÜV Süd, München, 30.–31. Oktober 2002.

Vattenfall, Kraftwerkgruppe Forsmark (FKA): Analyse des laufenden Betriebs, des Qualitätsmanagements und der Leitungsprozesse innerhalb des FKA. Stockholm, 23.10.2006, Nummer des Dokuments FM-206-0968, unautorisierte Übersetzung aus dem Schwedischen.

3.4 Alterung von Kernkraftwerken

Auch Kernkraftwerke kommen in die Jahre und so verändern sich mit der Zeit die Qualität und das Sicherheitsniveau einer Anlage. Ursprünglich vorgesehene Sicherheitsreserven gehen mit zunehmendem Alter verloren. Daher muss der Anlagenbetreiber bei einem älteren Reaktor darauf achten, dass er altersbedingte Schäden frühzeitig erkennt, bewertet und auf einen akzeptablen Umfang begrenzt. Doch ein vollständiger Schutz vor altersbedingten Schäden ist auch damit nicht möglich. Reparaturen und Nachbesserungen in begrenztem Umfang sind möglich. Veraltete Anlagenkonzepte, die praktisch die gesamte Anlage betreffen, lassen sich jedoch nur teilweise durch Nachrüstungen verbessern. Fazit: Da der weltweite Kraftwerkspark immer älter wird, hat das entsprechende Konsequenzen für die Sicherheit.

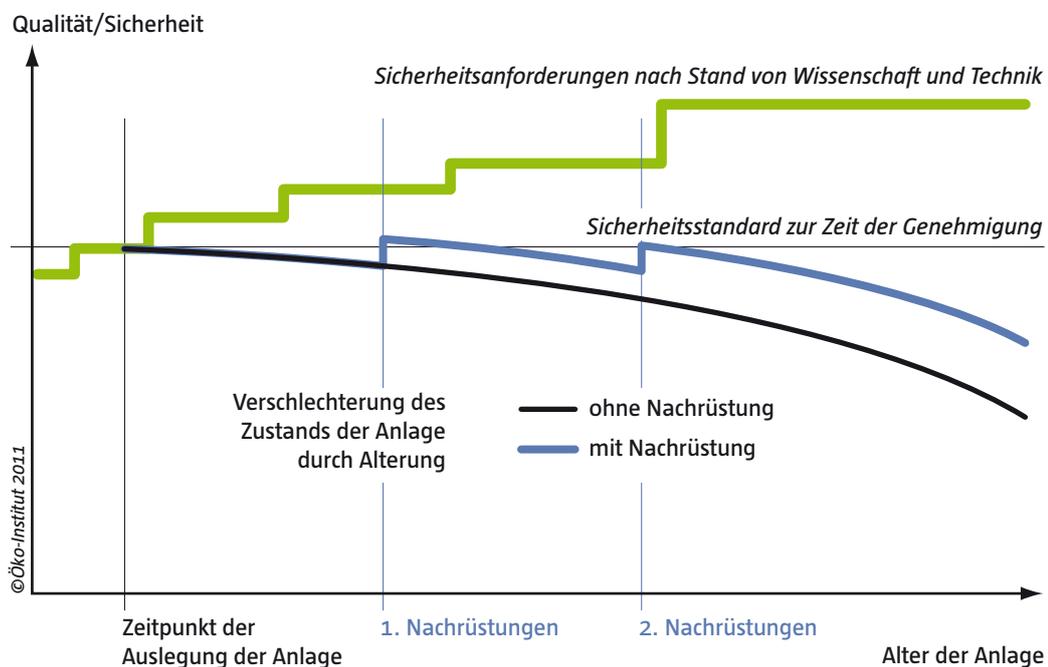


Bild 06: Schematische Darstellung der Alterungsproblematik

Die Fachwelt verwendet keine einheitlichen Kriterien für den Begriff „Alterung“. Deshalb zeichnen die Statistiken über Störfälle auch kein eindeutiges Bild alterungsbedingter Schäden oder Ereignisse. Vielfach beziehen die Experten den Begriff Alterung lediglich auf technische Einrichtungen, wobei die darunter fallenden Einzelphänomene weitgehend bekannt sind. Die Prüfung der Experten kann dann nur in Bezug auf die Technik bescheinigen, dass die altersbedingten Schäden erwartungsgemäß verlaufen und die technischen sowie organisatorischen Hilfen ausreichen. Es zeigt sich jedoch bei den gemeldeten Störfällen in Kernkraftwerken, dass technische Altersprozesse trotzdem nicht rechtzeitig erkannt oder gestoppt werden konnten und so die Sicherheit gefährden. Einige Beispiele für typische Altersschäden an den Anlagen sind: Erosion, Risse in Bauteilen als Folge betrieblicher Belastungen, Veränderung elektrischer Kenngrößen, veränderte Eigenschaften von Schmierstoffen.

Aktuellere Konzepte wie die Empfehlung der deutschen Reaktor-Sicherheitskommission verfolgen dagegen einen umfassenden Ansatz. Diese verstehen unter dem Begriff Alte-

Die zeitabhängige Veränderung der Technik, der Organisation und des Personals. Es ist nicht ausreichend, das Alter nur auf technische Aspekte wie mechanische oder elektrische Eigenschaften zu beschränken, weil dann wesentliche Folgen außer Acht gelassen werden. Denn veralten können beispielsweise auch Management- und Betriebsführungssysteme und organisatorische Regelungen oder die Fachkompetenz des Personals. So kommt es in Kernkraftwerken vor, dass kaum noch Erfahrungen aus erster Hand vorhanden sind. Veralten können aber auch Sicherheitskonzepte sowie Grundsätze oder Anforderungen, die bei der Planung des Sicherheitskonzepts angelegt wurden und heute nicht mehr gelten, beispielsweise aufgrund technischer Weiterentwicklungen oder verschärfter Regelwerke (siehe Abbildung 06).

Folge der beschriebenen Prozesse: Die Anlagen entfernen sich mit zunehmendem Alter immer weiter vom Stand von Wissenschaft und Technik. Zwar können die Betreiber der Kernkraftwerke versuchen, ältere Anlagen durch Nachrüstungen an den aktuellen Stand der Sicherheitstechnik anzugleichen. Das gelingt jedoch nur mit Abstrichen, denn grundlegende Merkmale können mit vertretbarem Aufwand kaum verändert werden (zum Beispiel die Anordnung von Gebäuden und Systemen, die Wandstärken von Gebäuden, die Auslegung von Großkomponenten). Daher erreichen ältere Meiler in der Regel nicht das Sicherheitsniveau von neuen Reaktoren.

Zwei Beispiele:

Die heute laufenden deutschen Kernkraftwerke gingen zwischen 1974 und 1988 in Betrieb. Seitdem hat sich die Sicherheitstechnik weiter entwickelt. Unterschiede bestehen beispielsweise darin, dass in neueren Anlagen üblicherweise vier gleichartige Sicherheitssysteme vorhanden sind, die räumlich getrennt und gegen Angriffe von außen geschützt sind. In älteren Anlagen sind die Systeme dagegen teilweise verknüpft und nur unzureichend voneinander getrennt. Dadurch besteht bei Störfällen die Gefahr weitreichender Auswirkungen, die nicht auf einen Strang des Systems beschränkt bleiben. Auch die Hülle des Reaktorgebäudes ist bei neueren Anlagen stärker und gewährt dadurch mehr Schutz. Selbst mit Nachrüstungen können Altanlagen diesen verbesserten Sicherheitsstandard nicht gleichwertig umsetzen.

Bei der Inbetriebnahme von Biblis A im Jahr 1975 war nur ein kleiner Bruchteil des heute gültigen kerntechnischen Regelwerks veröffentlicht. Daraus ergeben sich in vielen Details altersbedingte Unterschiede zwischen den Anlagen. Anlagenbetreiber argumentieren, dass für sie die Standards aus der Genehmigungszeit des Kernkraftwerks maßgeblich sind. Dadurch werden neuere Entwicklungen der Sicherheitsanforderungen außer Acht gelassen.

Literatur

Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission: Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken. 22.07.2004, www.rskonline.de, Stand Februar 2011.

3.5

Terrorismus und Kriegsfolgen

Kernkraftwerke können ein potentiell Ziel für Terroristen sein oder sie können in einem Krieg zur Zielscheibe eines Angriffs werden. Spätestens die Anschläge auf das World Trade Center und das Pentagon am 11. September 2001 haben gezeigt, dass Angriffe von einer solchen Dimension heute möglich sind. Fazit: Da ein Kernkraftwerk auch von Außen angegriffen werden kann, erhöht sich sein Sicherheitsrisiko und macht dieses zudem unberechenbar.

Es hat in der Vergangenheit bereits reale Fälle gegeben, in denen Kriminelle oder Terroristen Kernkraftwerke bedroht haben. So liegen diesbezügliche Berichte beispielsweise aus Argentinien, Russland, Litauen, Südafrika, Südkorea, den USA und Frankreich vor (vgl. Kelle 2001). Dabei handelte es sich um eine breite Palette von Ereignissen, die von Sabotageversuchen durch unzufriedene Mitarbeiter über die Androhung von Bombenanschlägen bis hin zu Selbstmorddrohungen von Flugzeugentführern reichten. Dies war beispielsweise im November 1972 der Fall, als drei Entführer damit drohten, ein Flugzeug in Oak Ridge, USA, in eine Nuklearforschungsanlage zu stürzen. Sicherheitsexperten haben daher auch schon früh auf die Risiken hingewiesen, die Angriffe von Außen mit sich bringen. Es hat sogar schon militärische Angriffe von Staaten auf Nuklearanlagen anderer Länder gegeben, die allerdings zum Glück noch im Bau waren.

Die Anschläge vom 11. September 2001 sowie weitere terroristische Ereignisse in der Folgezeit (London, Madrid, Sauerland etc.) haben in jüngerer Zeit dazu geführt, dass Sicherheitsexperten die spezifische Bedrohungslage auch in der Bundesrepublik Deutschland verändert betrachten. Bislang als eher unwahrscheinlich betrachtete terroristische Szenarien stehen vor diesem Hintergrund neu in der Diskussion. Hierzu zählt insbesondere auch der gezielte Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf ein Kernkraftwerk.

Als die ältesten heute noch in Deutschland betriebenen Kernkraftwerke geplant wurden, gehörte ein besonderer Schutz gegen einen unfallbedingten Flugzeugabsturz noch nicht in den Anforderungskatalog. Dies gilt auch für den größten Teil der heute international betriebenen Kernkraftwerke. Erst später berücksichtigten die Planungen in Deutschland den unfallbedingten Absturz auf ein Kraftwerk – unter anderem deshalb, weil eine größere Anzahl von Militärmaschinen des Typs Starfighter verunglückte. Doch auch hier legten die Planer nicht den gezielten Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs zugrunde. Es macht jedoch in verschiedener Hinsicht einen Unterschied für das Kernkraftwerk, ob es gegen den Absturz eines schnell fliegenden Militärflugzeugs oder eines zivilen Großflugzeugs geschützt werden soll.

Bei den ältesten Kernkraftwerken ist es möglich, dass das Reaktorgebäude bei einem Absturz großflächig zerstört wird. Auch neuere deutsche Anlagen sind nicht für alle möglichen Szenarien optimal geschützt. Welche Folgen ein Absturz auf einen Reaktor hätte, hängt von den konkreten Randbedingungen ab wie beispielsweise dem tatsächlichen Zerstörungsumfang in der Anlage, aber auch den vorliegenden Wetterbedingungen (Windstärke, Niederschlag etc.). Untersuchungen zeigen, dass bei einer Zerstörung Teile der Bevölkerung auch in sehr weit von der betroffenen Anlage entfernt gelegenen Gebieten noch evakuiert oder langfristig umgesiedelt werden müssten. Die ökonomischen und gesellschaftlichen Folgen eines solchen Ereignisses wären katastrophal.

Ein Absturz eines großen Flugzeugs hätte katastrophale Folgen insbesondere für ältere Kernkraftwerke.

Wie groß die Gefahr eines Angriffs auf nukleare Anlagen ist, hängt dabei von vielen Einflüssen ab, die weitgehend unberechenbar bleiben. Während noch in den 1980er Jahren in der Bundesrepublik die Gefahren kriegerischer Auseinandersetzungen in der sicherheitspolitischen Diskussion eine Rolle spielten, betrachten die Experten heute eher die Bedrohung durch internationale Terroristen als entscheidend. Bereits hieran wird deutlich, dass sich die politischen und gesellschaftlichen Randbedingungen selbst in relativ stabilen Staaten über die Lebensdauer eines Kernkraftwerks grundlegend ändern können.

Dies kann sich in Ländern, die heute über einen Einstieg in die Kernenergie nachdenken, nochmals extremer darstellen. So erfüllen manche Nationalstaaten bereits heute ihre originären Sicherheitsaufgaben nicht mehr in ausreichendem Maße (so genannte schwache oder fragile Staaten). Zu diesen Aufgaben gehört insbesondere, dass der Staat das Gewaltmonopol wahren, die sozioökonomischen Faktoren wie Infrastruktur oder Bildung sichern und rechtsstaatliche Institutionen aufrecht erhalten muss. Würden in fragilen Staaten Kernkraftwerke betrieben, so könnten die Konsequenzen, die der Zerfall staatlicher Ordnungsfunktionen auf die Sicherheit von Kernkraftwerken hat, vielfältig sein. Sie könnten von einem schlechten technischen Sicherheitsniveau bis hin zu einer mangelhaften Aufsicht über die Kernkraftwerke reichen. Schließlich drohen bei einem Verlust des Gewaltmonopols innerstaatliche oder gar kriegerische Auseinandersetzungen, was wiederum potentiell gefährlich für die Anlagen ist.

Mögliche Folgen für die Sicherheit der Kernkraftwerke lassen sich aus Sicht des Öko-Instituts daher oft nicht vorhersehen.

Literatur

Christoph Pistner, Christian Küppers: Analyse des Bedrohungspotenzials „gezielter Flugzeugabsturz“ am Beispiel der Anlage Biblis-A. Im Auftrag der EUROSOLAR, Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e. V., Dr. Hermann Scheer, MdB. Darmstadt, 20.11.2007.

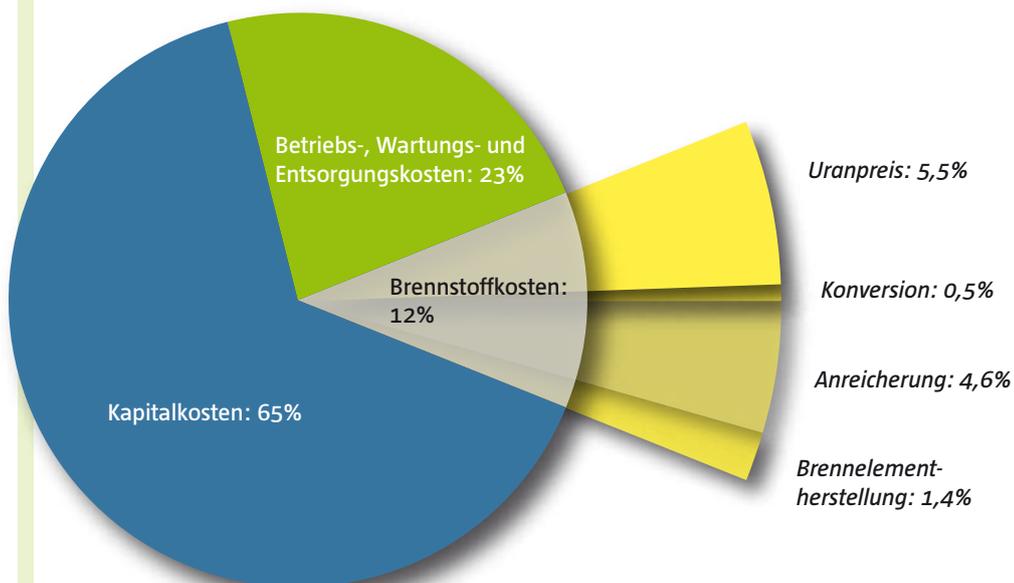
Alexander Kelle, Annette Schaper: Bio- und Nuklearterrorismus. Eine kritische Analyse der Risiken nach dem 11. September 2001. HSFK-Report 10/2001.

4 (K)eine Frage der Kosten – was die Investitionen bedeuten

4.1 Grundsätzlicher Investitionsbedarf

Der Neubau eines Kernkraftwerks kostet sehr viel Geld und lässt sich unter Marktbedingungen nur schwer finanzieren. Die Investitionsentscheidung des Betreibers ist dabei immer mit der Erwartung verbunden, eine entsprechende Rendite zu erwirtschaften. Doch das lässt sich für die Kernenergie nicht verlässlich planen. Es ist nicht zu erwarten, dass neue Kernkraftwerke Strom wesentlich günstiger produzieren können als andere Energieträger. Fazit: Auch aus wirtschaftlicher Sicht stellt die Kernenergie keine besonders attraktive Option für die zukünftige Energieversorgung dar.

Eine wirkliche Renaissance der Kernenergie setzt voraus, dass viele neue Kernkraftwerke gebaut werden. Die Investitionskosten beeinflussen bei Neubauvorhaben überwiegend die Kosten für den Strom, der zukünftig in dem neuen Kraftwerk erzeugt wird. Diese Kosten sind abhängig von der Bauart und Kapazität der Anlage, von den lokalen Standortbedingungen und nicht zuletzt von den Bedingungen des Kapitalmarktes, unter denen ein Neubauvorhaben finanziert werden muss. Die Kalkulation weist für jedes konkrete Vorhaben Unterschiede auf. Beim Neubau des derzeit am weitesten verbreiteten Reaktortyps, dem Leichtwasserreaktor, mit einer typischen Leistung zwischen 1.200 und 1.600 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) machen die Investitionskosten einen Anteil von rund 65 Prozent an der Kalkulation der zukünftigen Stromerzeugungskosten aus (siehe Abbildung 07). Betrieb, Wartung, Rückbau und Entsorgung des Kernkraftwerks schlagen mit rund 23 Prozent zu Buche, während Brennstoffkosten (ohne Entsorgung der abgebrannten Brennelemente) mit etwa zwölf Prozent in die Kalkulation eingehen (IAEA 2008).



©Öko-Institut 2011

Bild 07: Anteile verschiedener Kostenarten an der Stromerzeugung aus Kernenergie (Daten: IAEA 2008)

Es gibt derzeit keine aktuellen Erfahrungen, welche Kosten tatsächlich bei einem Kernkraftwerk-Neubau entstehen, da bis heute keine Neubauprojekte unter realen Marktbedingungen realisiert werden. Auch die Kosten für die aktiv betriebenen, aber noch nicht abgeschlossenen Neubauten, beispielsweise in Finnland oder Frankreich, stehen keineswegs fest.

Die Hersteller von Kernkraftwerken machen Angaben auf der Basis von Kosten, die unmittelbar durch Planung, Beschaffung und Bau des Kernkraftwerks verursacht werden. Betreiber hingegen gehen meist von ihrem Gesamtkapitalbedarf aus, das heißt sie berücksichtigen zusätzlich zu den reinen Anschaffungskosten die so genannten „owner's costs“, die bis zur Inbetriebnahme des Kraftwerks anfallen. Hierunter gehören zum Beispiel: Kosten für Landerwerb, zusätzliche Infrastrukturinvestitionen beispielsweise in die Übertragungsnetze und die Standorterschließung, Personalschulung, Genehmigungsverfahren, Sicherstellen von Ersatzteilen und Versicherungen. Die Kosten, die der Betreiber zusätzlich berücksichtigen muss, sind sehr variabel, da sie entscheidend von verschiedenen Faktoren abhängen. Dazu gehören: die Standortbedingungen (zum Beispiel „Grüne Wiese“ oder Bau am entwickelten Standort), der Grad der bereits verfügbaren Infrastruktur (zum Beispiel die Stromübertragungsnetze) und das allgemeine Kostenniveau im Land (Löhne, Steuern).

Ergeben sich vor diesem Hintergrund bereits deutliche Unterschiede in den Angaben von Anbietern und Betreibern, so ist zusätzlich zu berücksichtigen, ob die Kostenschätzung als „Overnight Costs“ oder „Total Capital Investment Costs“ bezeichnet und angegeben wird.

„Overnight Costs“ lassen Kapitalzinsen und Preissteigerungen durch Inflation unberücksichtigt, stellen also dar, mit welchen Kosten der Anbieter oder zukünftige Betreiber eines Kernkraftwerks rechnen müsste, wenn das Kraftwerk „über Nacht“ fertig gestellt wäre und sämtliche Kosten nach heutigen Preisen zu begleichen wären. „Total Capital Investment Costs“ berücksichtigen zusätzlich Kapitalzinsen, Kostensteigerungen und Inflation während der Bauzeit.

Es ist also festzuhalten, dass bei Angaben zu den Kosten immer genau betrachtet werden muss, wer die Zahlen herausgibt. Zudem bedarf der Umfang der Kosten, die in der Schätzung enthaltenen sind, immer einer Erläuterung. Bei den unterschiedlichen, unter diesem Aspekt kursierenden Angaben, lassen sich, umgerechnet auf Euro und angegeben als Kosten je installiertem Kilowatt elektrischer Leistung ($\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$), folgende Bandbreiten beobachten: Anbieter nannten in den letzten Jahren (Nucleonics Week 2008, 2009) Schätzungen der Baukosten zwischen 1.500 und 3.000 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$, im Mittel um 2.300 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$. Die wohl bekannteste Kostenschätzung eines Anbieters liegt für den finnischen Reaktor Olkiluoto-3 (siehe Kapitel 4.2) vor, bei dem die Gesamtkosten für ein Kernkraftwerk des Typs EPR mit einer Kapazität von 1.600 MW_{el} mittlerweile mit etwa 5,3 Milliarden Euro (beziehungsweise rund 3.300 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$) prognostiziert werden.

Betreiber nannten zuletzt Schätzungen ihrer „Overnight-Costs“ zwischen 1.900 und 4.000 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$, bei einem Mittelwert von ca. 3.000 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$. Für den Gesamtkapitalbedarf gaben Betreiber Schätzungen ab, die umgerechnet zwischen 2.000 und 5.000 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$ liegen, bei einem Mittelwert von etwa 3.100 $\text{€}/\text{kW}_{\text{el}}$.

Ein Beispiel für eine betreiberseitige Kostenschätzung ist das Neubauvorhaben des US-amerikanischen Energieversorgers Progress Energy. Der Energieversorger geht für den geplanten Neubau von zwei Kraftwerksblöcken vom Typ Westinghouse AP-1000 in Florida „auf der grünen Wiese“, also an einem Standort ohne Energie-Infrastruktur, von

Gesamtkosten von rund 14 Milliarden US-Dollar (rund elf Milliarden Euro oder etwa 5.000 €/kW_{el}) und zusätzlichen Kosten für den Anschluss der Anlage an das Stromnetz von etwa drei Milliarden US-Dollar (rund 2,3 Milliarden Euro oder etwa 1.100 €/kW_{el}) aus. Ein anderer Energieversorger, Florida Power & Light Co., rechnet für ein ähnliches Projekt mit Kosten bis zu 18 Milliarden US-Dollar (rund 14 Milliarden Euro). Schätzungen über andere geplante Neubauvorhaben ähnlich großer Kernkraftwerke liegen in der Größenordnung um zehn Milliarden US-Dollar.

Für den daraus resultierenden Strompreis muss weiterhin beachtet werden, dass nahezu alle Kernkraftwerke, die heute weltweit in Betrieb sind, unter den Bedingungen eines stark regulierten Strommarktes finanziert und gebaut wurden. Unter diesen Randbedingungen fanden die Investoren einen festen Kundenstamm vor, zudem konnten sie mit grundsätzlich profitablen Energiepreisen rechnen, die ohne Wettbewerbsrisiko kalkuliert waren. Höhere Kosten konnten direkt auf den Strompreis umgelegt und an den Verbraucher weitergegeben werden.

Mit der Liberalisierung der Strommärkte stehen die Energieerzeuger jedoch stärker im Wettbewerb um den Absatz des erzeugten Stroms.

In den USA werden die Kosten der Stromerzeugung mit einem neuen Kernkraftwerk derzeit auf 64 bis 80 US-Dollar pro Megawatt-Stunde (US-\$/MWh_{el}) geschätzt, was umgerechnet zwischen 49 und 61 €/MWh_{el} ausmacht. Vattenfall schätzte zuletzt, dass ein neues Kernkraftwerk in Europa Strompreise von mindestens 54 €/MWh_{el} erzielen müsse, um profitabel arbeiten zu können. Der französische Stromkonzern EDF nennt für den derzeit im Bau befindlichen EPR in Flamanville ebenfalls Erzeugungskosten von 54 €/MWh_{el} für einen zukünftigen zweiten EPR auf französischem Boden gibt EDF Erzeugungskosten zwischen 55 und 60 €/MWh_{el} an. Zum Vergleich: In älteren und abgeschriebenen Kernkraftwerken wird mit Stromerzeugungskosten von rund 12 €/MWh_{el} gerechnet (IAEA 2008). Für die bestehenden und abgeschriebenen deutschen Kernkraftwerke lagen die Betriebskosten 2005 um 17 €/MWh_{el} (EWI 2005).

Preise für Grundlaststrom von über 50 €/MWh_{el} wurden an der europäischen Strombörse EEX zwar in den vergangenen beiden Jahren erreicht, aktuell pendeln sich die erzielbaren Preise im europäischen Markt für Stromlieferungen in 2012 um 54 €/MWh_{el} ein. Damit liegen sie im Bereich der Wirtschaftlichkeitsschwelle neuer Kernkraftwerke. Mittelfristig werden häufig Börsenpreise zwischen 60 und 70 €/MWh_{el} erwartet. Noch bestehen große Unsicherheiten, wie sich die Kosten bei der Kernenergie entwickeln werden. Deshalb bleibt abzuwarten, ob das Verhältnis zwischen Kosten und Ertrag bei der Stromerzeugung in neuen Kernkraftwerken im Vergleich zu alternativen Technologien wettbewerbsfähig sein wird.

Derzeit gibt es keine Hinweise darauf, dass mit neuen Kernkraftwerken Renditen erwirtschaftet werden können, die einen Neubau für privatwirtschaftliches Investment attraktiv machen würden. Da aber für eine tatsächliche Renaissance der Kernenergie erhebliches privatwirtschaftliches Engagement erforderlich ist, wird diese daher mit hoher Sicherheit ausbleiben. Festzustellen bleibt: Es ist kein klarer wirtschaftlicher Vorteil zu erkennen. Deshalb lässt es sich auch volkswirtschaftlich nicht rechtfertigen, die Risiken der Kernenergie in Kauf zu nehmen.

Dabei sind weitere wirtschaftliche Risiken und externe Kosten an dieser Stelle noch gar nicht berücksichtigt. Auf diese wird in den nun folgenden Abschnitten eingegangen.

Ob neue Kernkraftwerke ohne Staatshilfen zuverlässig eine Rendite erwirtschaften, ist fraglich.

Literatur

Antonio González: NPP Costs (Capital, O&M and Fuel Costs) Calculation of LUEC. Technical Cooperation Workshop on Nuclear Power Plant Technology Assessment. IAEA, Wien, 17–20 November 2008.

Energiewirtschaftliches Institut der Universität zu Köln (EWI): Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) 2005: Ökonomische Auswirkungen alternativer Laufzeiten von Kernkraftwerken in Deutschland. Gutachten für den Bundesverband der deutschen Industrie e. V. (BDI), Köln, Berlin, Oktober 2005.

Nucleonics Week, Jahrgänge 2008 und 2009.

4.2

Wirtschaftliche Risiken

Ein Kernkraftwerk muss über Jahrzehnte stabil laufen, damit es das eingesetzte Kapital und die erhoffte Rendite erwirtschaftet. Das Kapital unterliegt in dieser Zeit erheblichen Risiken. Hinzu kommt, dass Planer und Betreiber die Kosten für einen Neubau oft zu gering schätzen. Große Unsicherheiten bestehen außerdem, welche Laufzeit und welche Auslastung ein neues Kernkraftwerk überhaupt erreichen kann. Es gibt daher derzeit keinen Neubau, der ohne staatliche Hilfe auskommt. Die Liberalisierung der Strommärkte sorgt in Kombination mit dem weltweiten Ausbau der erneuerbaren Energien dafür, dass Großkraftwerke zukünftig eine immer geringere Rolle spielen werden. Somit ist der wirtschaftliche Betrieb neuer Kernkraftwerke nicht sichergestellt. Fazit: Angesichts der großen ökonomischen Risiken ist eine Renaissance der Kernenergie aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu erwarten.

Wenn ein neues Kernkraftwerk gebaut wird, lassen sich die ursprünglichen Kostenschätzungen oft nicht einhalten. Prominentes Beispiel hierfür ist der finnische Kraftwerksneubau Olkiluoto-3.

Im Januar 2002 befürwortete der finnische Ministerrat nach langer Debatte grundsätzlich, dass ein fünftes Kernkraftwerk in Finnland mit einer Kapazität von bis zu 1.600 Megawatt elektrischer Leistung (MW_e) errichtet wird. Die Baukosten bezifferten die Planer seinerzeit mit einem Höchstwert von 2,5 Milliarden Euro.

Im Januar 2004 schlossen die finnische Betreibergesellschaft TVO und der französische Anbieter AREVA NP einen Vertrag, um das Kernkraftwerk vom Typ EPR zu bauen. Mit Vertragsabschluss vereinbarten die beiden Parteien eine feste Kaufsumme für das schlüsselfertige Kraftwerk von 3,2 Milliarden Euro.

Baubeginn des Reaktors war im August 2005. Schon Ende 2008 lagen die Bauarbeiten weit hinter dem Zeitplan zurück. Die ursprünglich für Mitte 2009 vorgesehene Inbetriebnahme wird aktuell erst in der zweiten Jahreshälfte 2013 erwartet. Das sind vier Jahre Verzug. Neben den zeitlichen Verzögerungen schätzen Experten die Baukosten mittlerweile auf 5,3 Milliarden Euro, also etwa 2,1 Milliarden Euro über dem vertraglich vereinbarten Festpreis. Dabei handelt es sich um die anbieterseitigen Kosten für Planung, Beschaffung und Bau des Kraftwerks. Die zusätzlichen Kosten des späteren Betreibers (owner's cost's) sind darin nicht enthalten. Hierzu gibt es keine offiziellen Angaben.

Die Erfahrungen beim Bau von Olkiluoto-3 beeinflussen auch die Kostenangaben für den zweiten EPR-Reaktor, der im französischen Flamanville im Bau ist. Die Kosten werden hier mittlerweile mit fünf Milliarden Euro anstelle der ursprünglich geplanten 3,3 Milliarden Euro geschätzt. Für einen weiteren geplanten EPR am Standort Penly, dessen Baubeginn für 2012 vorgesehen ist, liegen die geschätzten Baukosten mittlerweile ebenfalls bei fünf Milliarden Euro anstelle der ursprünglich geplanten drei Milliarden Euro. Aktuell schätzen Experten, dass bei Kernkraftwerken des Typs EPR die allgemeinen Baukosten zwischen fünf und sechs Milliarden Euro liegen.

Zusätzlich zu den gestiegenen Baukosten entsteht dem zukünftigen Betreiber TVO in Finnland aufgrund der deutlich verzögerten Inbetriebnahme nach eigenen Angaben ein erheblicher Schaden, der zuletzt mit einem Streitwert von etwa 2,4 Milliarden Euro angegeben wurde.

Die hohen Kapitalkosten für den Bau eines Reaktors werden erst nach langem Betrieb durch die Einnahmen wieder gedeckt. Typische Refinanzierungszeiträume liegen im Bereich von zwei bis drei Jahrzehnten. Jede Verzögerung beim Bau eines Kernkraftwerks, unabhängig davon, ob sie technische, organisatorische oder auch gesellschaftliche Ursachen hat, verzögert die Refinanzierung, erhöht die Kapitalkosten und verringert somit die Kapitalrendite.

Es ist daher festzuhalten, dass Kostenschätzungen für den Neubau eines Kernkraftwerks mit großer Vorsicht zu betrachten sind. Sie können derzeit, wenn überhaupt, nur eine grobe Hilfestellung sein. Einige Hersteller wollten vor diesem Hintergrund zuletzt keine Kostenschätzungen mehr abgeben.

Wirtschaftliche Erwägungen können Kernkraftwerksprojekte in allen Stadien der Planung und Realisierung scheitern lassen. Der Stopp des südafrikanischen Atomprogramms ist ein Beispiel dafür, dass die hohen Investitionskosten und die damit verbundenen Risiken den Neubau von Kernkraftwerken in Frage stellen können (Nucleonics Week v. 11.12.2008). Der südafrikanische Energieversorger ESKOM hat Ende 2008 die erste Stufe seines Nuklearprogramms zum Bau von insgesamt 20.000 MW_{el} an Kernenergiekapazität auf unbestimmte Zeit verschoben. Die bis dato vorliegenden Angebote für die ersten Neubauvorhaben seien nicht zu finanzieren, hieß es.

Auch US-amerikanische Energieversorger stellen ihre Neubauprojekte verstärkt selbst in Frage. Im Januar 2008 wurde bekannt, dass MidAmerican Nuclear Energy aus Kostengründen auf den Neubau eines geplanten Kernkraftwerks in Idaho verzichtet. Entergy Corp. hat Pläne für einen Reaktorneubau unter Verweis auf auf ständig steigende Kostenschätzungen des Anlagenanbieters GE Hitachi auf unbestimmte Zeit verschoben. Die Exelon Corp., der derzeit größte Kernkraftwerksbetreiber in den USA, hat im Mai 2009 ein Neubauprojekt in Texas vorerst abgesagt. Grund: Das Projekt erhält keine Unterstützung aus dem Bürgerschafts-Budget, das die US-Regierung aufgelegt hat (Nucleonics Week 2008 und 2009). 2010 gab das Unternehmen hierzu bekannt, der Neubau von Kernkraftwerken sei derzeit zu teuer und ein Engagement im Bereich Gas und Windkraft wirtschaftlich attraktiver. Constellation Energy hat sich 2010 trotz staatlicher Bürgerschaft aus einem Neubauvorhaben in Maryland zurückgezogen, weil die von der US-Regierung geforderten Bürgerschaftskosten zu hoch seien.

Kein Kernkraftwerk hat bisher eine Betriebsdauer von 60 Jahren erreicht. Die ältesten noch aktiven Kernkraftwerke haben gerade eine Laufzeit von 40 Jahren überschritten. Es

*Südafrika stoppt
Neubauvorhaben
wegen der hohen
Kosten.*

gibt zudem derzeit keine belastbaren Informationen darüber, ob ein Kernkraftwerk aus Sicherheitsgründen überhaupt 60 Jahre am Netz bleiben kann (vgl. auch Kapitel 3.4). Dennoch werden bei Neubauten – wie dem des Kernkraftwerks Olkiluoto-3 – solche Betriebszeiträume den Wirtschaftlichkeitsberechnungen zugrunde gelegt.

Die Schätzungen sehen zudem eine mittlere Auslastung von 90 Prozent über die gesamte Betriebsdauer vor. Zwar können Kernkraftwerke durchaus eine derartige Auslastung erreichen, aber nach den bisherigen Betriebserfahrungen nicht über ihre gesamte Lebensdauer. Wenn die Anlage aus technischen Gründen heruntergefahren wird, verringert das die Stromausbeute und damit dauert die Refinanzierung des eingesetzten Kapitals entsprechend länger. Die modernsten deutschen Kernkraftwerke der Konvoi-Baureihe erreichten bisher über ihre gesamte Betriebsdauer Werte von 91,8 Prozent (ISAR-2, 1988–2009) bzw. 93,3 Prozent (Emsland, 1988–2009, Neckarwestheim-2, 1989–2009). Allerdings laufen sie erst seit wenig mehr als 20 Jahren. Ältere Kernkraftwerke liegen deutlich darunter. Im langjährigen Durchschnitt haben deutsche Kernkraftwerke insgesamt Auslastungen von etwa 82 Prozent erreicht. Für die Jahre 1999 bis 2009 lagen auch im weltweiten Durchschnitt die Werte nur knapp über 80 Prozent, 2009 sogar knapp darunter. Das Maximum von rund 83,8 Prozent Auslastung lag in 2002 (IAEA PRIS 2011).

Die Grundlagen für die Kalkulation sind unsicher.

Eine 90-prozentige Auslastung eines Großkraftwerks stellt damit auf Basis der bisherigen Betriebserfahrung keine sichere Kalkulationsgrundlage dar. Hinzu kommt, dass sich mit dem stetig wachsenden Anteil erneuerbarer, aber zeitlich variabler Energieträger das Einspeiseverhalten fossiler oder nuklearer Großkraftwerke ändern wird. Es wird zukünftig in immer stärkerem Maße auch von dem steigenden Angebot erneuerbarer Energiequellen bestimmt. Denn der weltweite Ausbau der Energieerzeugung mit erneuerbaren Energieträgern und Kraft-Wärme-Kopplung wird die Energiesysteme nachhaltig verändern.

Um die weltweiten Klimaschutzziele zu erreichen, wird diese Entwicklung mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten. Deutschland gilt dabei als vorbildlich, Instrumente ähnlich dem deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetz finden mittlerweile weltweit breite Anwendung.

Diese Entwicklung bedingt einerseits ein intelligentes und flexibles Management bei Stromerzeugung und Stromverbrauch und wird andererseits der Auslastung von Grundlastkraftwerken Grenzen setzen. Zukünftig werden immer stärker Lastfolgekraftwerke und Speichertechnologien benötigt, die flexibel und verbrauchsorientiert Strom zur Verfügung stellen. Dies wird dazu führen, dass der Bedarf an immer verfügbarer Grundlast und damit auch der Bedarf an entsprechenden Großkraftwerken zugunsten einer flexiblen Stromerzeugung zurückgehen wird.

Beim Betrieb von Reaktoren lässt sich das Risiko schwerer Unfälle auch bei modernen Anlagen und bei einer ausgeprägten Sicherheitskultur nicht gänzlich ausschließen. Dies gilt auch für die Reaktorkonzepte, die derzeit am Markt verfügbar sind. Ein schwerer Unfall würde die weitere Nutzung der Kernenergie folglich gesellschaftlich erneut in Frage stellen. Dabei spielt es erfahrungsgemäß nur eine geringe Rolle, ob sich dieser Unfall im eigenen oder in einem anderen Land ereignet. So hat beispielsweise Italien als unmittelbare Folge des Tschernobyl-Unfalls 1986 den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen und die bis dato existierenden Kernkraftwerke stillgelegt. Das größte italienische Kernkraftwerk Caorso mit einer Kapazität von 860 MW_{el} hatte zu diesem Zeitpunkt gerade einmal neun Betriebsjahre hinter sich, davon lediglich sechs Jahre mit einer Verfügbarkeit von mehr als 50 Prozent.

Es bleibt daher mehr als fraglich, ob die lange Lebensdauer und hohe Auslastung, wie sie für Wirtschaftlichkeitsberechnungen neuer Kernkraftwerke angenommen werden, überhaupt realistisch sind. Entsprechend groß ist das Risiko für das eingesetzte Kapital. Privatwirtschaftliche Investitionen in den Neubau eines Kernkraftwerks bergen vor diesem Hintergrund erhebliche Risiken bei unsicheren Renditen. Die WissenschaftlerInnen im Öko-Institut rechnen deshalb damit, dass aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus keine Renaissance der Kernenergie erfolgen wird.

Literatur

Nucleonics Week, Jahrgänge 2008 und 2009.

International Atomic Energy Agency (IAEA): Power Reactor Information System (PRIS) <http://www.iaea.or.at/programmes/a2/>, Stand Februar 2011.

4.3

Staatliche Förderung

In der Vergangenheit hat die Kernenergie in Deutschland sehr hohe staatliche Hilfen erhalten – umgerechnet etwa 2.000 Euro je installiertem Kilowatt. Die bisherige Förderung erneuerbarer Energien beträgt demgegenüber etwa 590 Euro je installiertem Kilowatt. Neue Kernkraftwerke entstehen derzeit nur dort, wo Kapitalrisiken über staatliche Garantien abgesichert sind oder wo Anbieter wesentliche ökonomische Risiken selbst tragen, um beispielsweise ein Reaktorkonzept auf dem Markt einzuführen. Wenn Strommärkte staatlich reguliert sind und deshalb der Strom zu fest planbaren Konditionen geliefert werden kann, errichten Betreiber ebenfalls neue Kernkraftwerke. Fazit: Bestehende wirtschaftliche Risiken tragen bei einer solchen Förderpolitik letzten Endes nicht die Kraftwerksbetreiber, sondern Stromkunden und Steuerzahler.

Kernenergie hat in der Vergangenheit hohe staatliche Vergünstigungen erhalten, ohne die ihre Markteinführung nicht möglich gewesen wäre. Tatsächlich beziffert beispielsweise das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW 2007) die Subventionen für die Kernenergie in Deutschland seit den 1950er Jahren bis 2006 auf etwa 54 Milliarden Euro. 29 Kernkraftwerke sind zwischen 1966 und 1988 in Deutschland errichtet und zum Teil bereits wieder stillgelegt worden. Umgerechnet hat die Kernenergie bei insgesamt etwa 26 Gigawatt (GW_{el}) kommerziell genutzter Kraftwerksleistung demnach bis einschließlich 2006 rund 2.000 Euro je installiertem Kilowatt elektrischer Leistung (kW_{el}) erhalten.

Die staatliche Förderung neuer Technologien ist ein weit verbreitetes politisches Instrument. Dies gilt beispielsweise auch für erneuerbare Energieträger. Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat in Deutschland bis 2006 etwa 20 Milliarden Euro erhalten, wobei hier die Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz eingerechnet ist. Zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien waren 2007 rund 34 GW_{el} an installierter Leistung vorhanden (BMU 2008). Die bisherige staatliche Hilfe entspricht also etwa 590 Euro je installiertem kW_{el} . 2006 betrug die vom DIW ausgewiesene gesamte Förderung der Kernenergie noch etwa das 2,7-fache derjenigen erneuerbarer Energien. Die weitere Subventionierung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz wird bei gleichzeitig zurückgehender beziehungsweise aufgebener Förderung der Kernenergie dazu

führen, dass sich die Fördervolumina in Deutschland einander angleichen. Wichtiges Ziel solcher Förderung ist es, neue Technologien besser zu verbreiten und den Einstieg in den Markt zu erleichtern. Langfristig sollen die geförderten Technologien auch ohne Hilfen am Markt bestehen können. Der rasante Ausbau der erneuerbaren Energien bestätigt, dass die hier investierten Gelder im Vergleich zur Kernenergie einen sehr effizienten Entwicklungsbeitrag leisten.

Unabhängig von der massiven staatlichen Unterstützung in der Vergangenheit können neue Kernkraftwerke heute offenbar immer noch nicht vollständig privatwirtschaftlich realisiert werden. So geht es derzeit mit Neubauprojekten vor allem dort konkret voran, wo staatliche Gelder fließen (zum Beispiel in den USA), wo der Strommarkt nicht wettbewerblich organisiert ist (Frankreich, Russland, China) oder wo das grundsätzliche Interesse am Bau eines Prototypen größtenteils auf Seiten des Herstellers liegt (in Finnland). Die wirtschaftlichen Risiken tragen in diesen Fällen letzten Endes nicht die Kraftwerksbetreiber, sondern Stromkunden, Steuerzahler oder die Hersteller selbst.

*Staatliche Anreize
sorgen unter
Umständen für mehr
Neubaupläne.*

Die US-Regierung unter Bush hat Bürgschaften in Höhe von rund 18,5 Milliarden US-Dollar zur Verfügung gestellt, um neue Kernkraftwerke zu fördern. Damit sollten bis zu 80 Prozent der Investitionskosten abgesichert werden. Diese Mittel könnten auf Basis bisheriger Kostenschätzungen jedoch lediglich zwei bis drei Neubauten fördern. Das amerikanische Energieministerium hat entschieden, maximal fünf Projekte mit Bürgschaften zu unterstützen. 15 Stromversorger haben bis zum Stichtag 19. Dezember 2008 zusammen Bürgschaften im Gesamtwert von 93 Milliarden US-Dollar beantragt. In 2010 wurde das staatliche Bürgschaftsprogramm unter der Administration Obama um weitere 36 Milliarden US-Dollar aufgestockt. Derartige staatliche Anreize, erneut in Kernenergie zu investieren, können daher durchaus zu mehr Neubauplänen führen und haben auch diesbezüglich Anstöße gegeben. Wie viele der geplanten Projekte angesichts der begrenzten Mittel wirklich umgesetzt werden, bleibt aus heutiger Sicht jedoch völlig offen. Es ist bezeichnend, dass auch in den USA Kernkraftwerksneubauten ohne staatliche Bürgschaften offenbar nicht zu realisieren sind (siehe auch Kapitel 4.2). Eine tatsächliche Renaissance der Kernenergie lässt sich aus solchen Plänen sicher nicht ableiten.

Literatur

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW): Abschlussbericht zum Vorhaben „Fachgespräch zur Bestandsaufnahme und methodischen Bewertung vorliegender Ansätze zur Quantifizierung der Förderung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Förderung der Atomenergie in Deutschland“. Berlin, 31. Mai 2007.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen. Stand: Dezember 2008.

4.4

Schwere Unfälle und die ökonomischen Folgen

Die immensen Schäden, die bei einem schweren Reaktorunfall auftreten können, sind bei weltweit allen Anlagen nur zu einem Bruchteil gedeckt. In Deutschland macht die so genannte Deckungsvorsorge nur etwa ein Tausendstel der möglichen Schadenssumme aus. In anderen Ländern sind teilweise noch geringere Deckungsvorsorgen üblich. Auch privat lässt sich das Risiko nicht absichern, da Versicherungen Schäden aus einer nuklearen Katastrophe aus dem Versicherungsschutz herausnehmen. Fazit: Das Risiko eines schweren Unfalls in einem Kernkraftwerk trägt weltweit nahezu vollständig die Gesellschaft.

Eines der größten Probleme bei der Kernenergie liegt darin, dass ein schwerer Unfall passieren kann. Und dieser hat katastrophale gesundheitliche, ökologische, soziale und wirtschaftliche Folgen.

Bereits 1992 haben Experten den volkswirtschaftlichen Schaden eines großen Reaktorunfalls für Deutschland auf umgerechnet fast 5.500 Milliarden Euro geschätzt (Prognose 1992). Zum Vergleich: Das deutsche Bruttoinlandsprodukt betrug 2008 etwa 2.500 Milliarden Euro.

In den meisten Staaten mit Kernkraftwerken beschränkt sich die Haftung der Betreiber demgegenüber auf vergleichsweise geringe Summen.

In Deutschland haftet der Verursacher eines schweren Unfalls summenmäßig zwar unbegrenzt, jedoch muss er nur in begrenztem Umfang für potentielle Unfallkosten eine so genannte Deckungsvorsorge treffen. Der Höchstwert beträgt hier je Schadensfall lediglich 2,5 Milliarden Euro und damit nur etwa ein Tausendstel der potentiellen Schadenssumme. Die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke decken diese Summe zu etwa zehn Prozent durch einen gemeinsamen Haftpflicht-Versicherungspool ab. Die restlichen 90 Prozent werden durch eine Solidarvereinbarung der Muttergesellschaften der deutschen Kernkraftwerksbetreiber (E.ON, Vattenfall Europe, RWE und EnBW) untereinander vertraglich abgesichert.

Für Schäden, die über die Vorsorgesumme hinausgehen, haftet die jeweilige Betreiber-gesellschaft zwar mit ihrem gesamten Vermögen. Da dieses aber bei der zu erwartenden Schadensdimension sicher ebenfalls nur einen geringen Bruchteil ausmacht, ist abzusehen, dass im Wesentlichen die Allgemeinheit für die Schäden eines schweren kerntechnischen Unfalls aufkommen muss.

Im weltweiten Vergleich liegt Deutschland bezüglich der Deckungsvorsorge dennoch an der Weltspitze. In fast allen anderen Staaten beläuft sich diese auf deutlich geringere Werte. In den USA muss derzeit für alle Kernkraftwerksbetreiber zusammen eine Deckungsvorsorge von zehn Milliarden US-Dollar vorgehalten werden. Sie setzt sich zusammen aus einer Haftpflichtversicherung über die Schadenssumme, die derzeit maximal zu versichern ist (300 Millionen US-Dollar je Anlage) und einer zusätzlichen Deckungszusage des jeweiligen Betreibers (rund 100 Millionen US-Dollar je Anlage).

In Kanada haften Betreiber zwar grundsätzlich unbegrenzt, die verpflichtende Vorsorge ist aber auf 75 Millionen kanadische Dollar (rund 45 Millionen Euro) je Anlage begrenzt. Der kanadische Gesetzgeber arbeitet aktuell daran, die Vorsorgepflicht auf 650 Millionen kanadische Dollar (rund 420 Millionen Euro) zu erhöhen.

Im Wesentlichen muss die Gesellschaft für die Schäden eines Reaktorunfalls aufkommen.

Im dicht besiedelten Japan bleibt die Deckungsvorsorge je Kernkraftwerk sogar auf umgerechnet 38 Millionen Euro beschränkt. Für darüber hinaus gehende Schäden und für besondere Schadensursachen haftet der Staat, der hierfür Gebühren aus dem laufenden Kraftwerksbetrieb erhält. In Südkorea gelten ähnliche Bedingungen, bei einer Haftungsobergrenze von rund 330 Millionen Euro je Schadensfall und einer Deckungsvorsorge von 37 Millionen Euro je Anlage, die als Zahlung im Voraus zu leisten ist.

Verschiedene europäische Staaten sorgen teilweise sogar mit noch geringeren Beträgen für die Haftung bei nuklearen Unfällen vor.

Eine Vorsorge durch eine private Versicherung ist im Übrigen nicht möglich. Die Versicherungsbedingungen privater Unfall- oder Sachversicherungen schließen allgemein Schäden, die mittelbar oder unmittelbar durch Kernenergie verursacht werden, aus dem Versicherungsschutz aus.

Literatur

Prognos-Schriftenreihe „Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung“: Prof. Dr. Hans-Jürgen Ewers, Klaus Rennings, Universität Münster – Abschätzung der Schäden durch einen sogenannten „Super-Gau“. 1992.

5 Kernenergie und Klimaschutz – warum die nuklearen Versprechen unehrlich sind

5.1 Herausforderung Klimawandel

1990 haben die Staaten erstmals anerkannt, dass der Treibhauseffekt vom Menschen verursacht wird und dass dieser negative Folgen hat. Damals legten die Vereinten Nationen den ersten Bericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaveränderungen (IPCC) vor, der über die physikalischen Grundlagen des Klimawandels berichtet. In Industrienationen verursacht der Stromsektor den größten Ausstoß an Treibhausgasen, insbesondere von CO₂. Damit spielt dieser Bereich eine wichtige Rolle beim Klimaschutz. Mit der Klimarahmenkonvention von 1992 und dem Kyoto-Protokoll von 1997 haben die Staaten auf politischer Ebene erste wichtige Vereinbarungen getroffen, um die Treibhausgase zu verringern. Das Aushandeln weiterer Vereinbarungen gestaltet sich aber schwierig. Deutschland sieht sich dabei in einer Vorreiterrolle. Fazit: Um dem Klimawandel zu begegnen, müssen die Treibhausgasemissionen weltweit bis zum Jahr 2050 um mindestens 50 Prozent sinken.

Seit Beginn der Industrialisierung vor etwa 150 Jahren steigt der Anteil der so genannten Treibhausgase in unserer Atmosphäre immer weiter an. Zu den Treibhausgasen im Sinne des Kyoto-Protokolls gehören Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid („Lachgas“ N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆) und die Gruppen der teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe sowie der perfluorierten Kohlenwasserstoffe (Kyoto-Protokoll 1997). Diese Gase, die ursprünglich etwa drei Promille der Masse in der Atmosphäre ausmachten, begrenzen die Wärmerückstrahlung der Erdoberfläche. Dadurch herrscht auf der Erdoberfläche natürlicherweise eine durchschnittliche Temperatur von 15°C. Stark vereinfacht führt der massive Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre dazu, dass sich der Treibhauseffekt verstärkt und die Erdoberfläche damit erwärmt. Zu den Folgen zählen unter anderem: ein Anstieg der Meeresspiegel, Veränderungen der Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse mit Konsequenzen für die Nahrungsmittelproduktion und die Artenvielfalt, die wahrscheinliche Ausbreitung von Tropenkrankheiten und die Zunahme extremer Wetterverhältnisse.

In ihrer Wirkung auf den Treibhauseffekt unterscheiden sich die einzelnen Stoffe beziehungsweise Stoffgruppen sehr. Im Vergleich zu Kohlendioxid ist Methan um den Faktor 21 und Lachgas um den Faktor 310 klimawirksamer. Die höchste Klimawirksamkeit haben die fluorierten Verbindungen. Ihr globales Erwärmungspotential ist 1300- bis 9300-mal wirksamer als das von CO₂. Deswegen haben die Experten diese Verbindungen in das Kyoto-Protokoll aufgenommen. Die Treibhausgasemissionen werden meist als CO₂-Äquivalente ausgedrückt. Bei der Umrechnung werden die nicht-CO₂-Gase gemäß ihrer Klimawirksamkeit gewichtet. Bei den emittierten Mengen hat CO₂ mit Abstand den größten Anteil (siehe Abbildung 08). 1990 betrug der CO₂-Anteil der gesamten emittierten Treibhausgase der Industrie- und Schwellenländer (so genannte Annex I Staaten) 79,9 Prozent und im Jahr 2008 lag der Anteil bei 82,4 Prozent, jeweils ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten.

Annex I Staaten sind 41 Industrie- und Schwellenländer, die die Verpflichtung übernommen haben, ihre Treibhausgas-Emissionen zu senken. Sie sind im Anhang I (Annex I) des Rahmen-Übereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) aufgeführt.

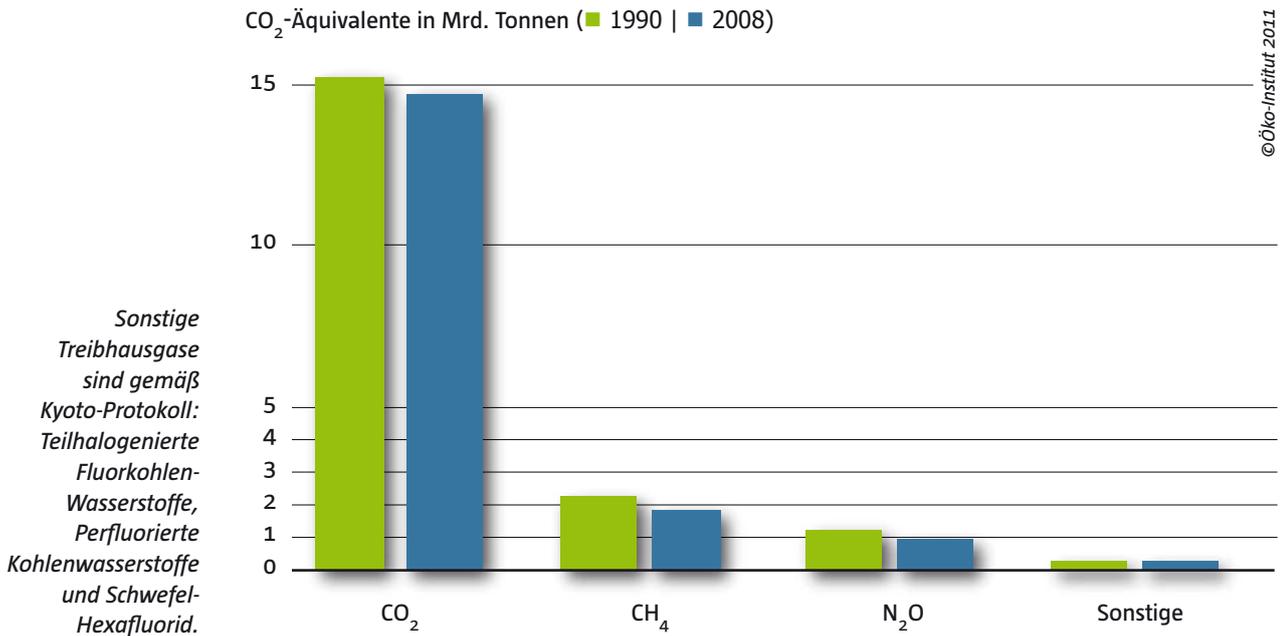


Bild 08: Treibhausgasemissionen der Annex I Staaten nach Einzelgasen für das Jahr 1990 und 2008 (Daten: UNFCCC 2010)

Mehrere Gründe sorgen dafür, dass die Treibhausgase in der Atmosphäre ansteigen. So entweicht das meiste CO₂ bei der Verbrennung von Öl, Kohle und Gas, um beispielsweise Strom zu erzeugen. Bei den Industrie- und Schwellenländern (Annex I Staaten) resultieren rund 83 Prozent der Treibhausgasemissionen aus diesem Energiesektor. Die übrigen 17 Prozent der Treibhausgasemissionen ergeben sich aus industriellen Prozessen (beispielsweise fluorierte Verbindungen), der Landwirtschaft (zum Beispiel Methan durch Rinderzucht und Reisanbau, Lachgas durch Düngung) und der Abfallwirtschaft (zum Beispiel Methan aus Deponien). Insgesamt haben die so genannten Annex I Staaten einen Anteil von 46 Prozent an den weltweiten Treibhausgasemissionen (Stand 2004).

Die weltweiten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Klimawandel, die daraus folgenden Konsequenzen, Gegen- und Anpassungsstrategien und vieles mehr werden in den Sachstandsberichten des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) zusammengestellt und veröffentlicht. Wissenschaftler aus aller Welt schreiben diese Sachstandsberichte, die den Anspruch haben, den weltweiten wissenschaftlichen Konsens widerzuspiegeln. Die Berichte, von denen der erste 1990 und der derzeit aktuelle vierte 2007 erschien, dienen gleichzeitig als wissenschaftliche Grundlage für Verhandlungen auf politischer Ebene.

Aufgrund der Erkenntnisse des IPCC haben die Vereinten Nationen die Konferenz über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro einberufen. Die teilnehmenden Staaten haben ein Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) angenommen. Auf diesem Übereinkommen basieren die internationalen Forschungs- und Verhandlungsprozesse sowie die jährlich tagenden Vertragsstaatenkonferenzen. Im Anhang I dieses Übereinkommens werden insgesamt 41 Industrie- und Schwellenländer aufgeführt, das sind die so genannten Annex I Staaten. Als größte Emittenten sollen sie darauf verpflichtet werden, ihren Treibhausgasausstoß zu senken. Alle übrigen Unterzeichnerstaaten werden als non-Annex I Staaten bezeichnet.

Deutschland will die Emissionen um 40 Prozent senken.

Ein wesentliches Ergebnis ist das Protokoll von Kyoto, das 1997 im Rahmen der 3. Vertragsstaatenkonferenz angenommen wurde. Es macht erstmals verbindliche quantitative Vorgaben, um die Treibhausgasemissionen zu senken. So sollen sich die Emissionen im weltweiten Durchschnitt von 2008 bis 2012 um 5,2 Prozent verringern – bezogen auf das Basisjahr 1990. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die einzelnen Staaten in unterschiedlichem Maße dazu beitragen. Der Gedanke dahinter: Die Staaten haben eine gemeinsame Verantwortung für das Klima, tragen aber unterschiedlich zum Klimawandel bei. Deutschland bemüht sich dabei um eine Vorreiterrolle und strebt an, seine Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 Prozent zu senken.

Die Unterzeichnernationen des Kyoto-Protokolls berichten regelmäßig, welche Erfolge sie diesbezüglich erzielt haben. Um die Zahlen vergleichen zu können, gibt es genaue Berechnungsvorschriften. Alle Daten werden beim Sekretariat der Klimarahmenkonvention (www.unfccc.int) zusammengeführt und veröffentlicht.

Die nachfolgende Tabelle (Abbildung 09) zeigt die bisherigen Treibhausgasemissionen einzelner Nationen. Für die Annex I Länder werden den Emissionen überwiegend aus dem Basisjahr 1990 die Emissionen der Folgejahre gegenübergestellt, dabei werden auch die Zahlen aus dem Basisjahr jedes Jahr neu berechnet und präzisiert. Die Zahlen umfassen die sechs definierten Treibhausgase und sind jeweils als CO₂-Äquivalente ausgedrückt. Sie schließen hier die Emissionen aus Landwirtschaft, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Abkürzung LULUCF) aus. Auch über die so genannten Non-Annex I Länder wird berichtet. Bei diesen Ländern ist allerdings häufig die Datenlage nicht sehr ausführlich.

Staat	Emissionen in Mio. t CO ₂ -Äquivalente (gerundet)				Veränderung von 1990 zu 2008
	1990	1995	2000	2008	
USA	6.112	6.472	7.008	6.925	+13,3 %
Russland	3.322	2.174	2.025	2.230	- 32,9 %
Japan	1.269	1.340	1.344	1.282	+ 1,0 %
Deutschland	1.251	1.125	1.050	984	- 21,4 %
Europäische Union	4.245	4.137	4.114	3.970	- 6,5 %
Annex I Staaten	18.763	17.349	17.658	17.801	- 5,4 %
Non-Annex I Staaten		1994			
China		4.057			
Indien		1.214			

Bild 09: Treibhausgasemissionen als CO₂-Äquivalente einzelner Industrienationen und Schwellenländer (Annex I) und Non-Annex I Länder, Europäische Union (Zahlen für die 15 bis 1995 beigetretenen Mitgliedsländer), Angaben ohne Landnutzung (excluding emissions/removals from LULUCF) (Daten: UNFCCC 2005 und 2010)

Zwischen 1990 und 2008 sind die Treibhausgasemissionen aller Nationen des Annex I um 5,1 Prozent gesunken (ohne LULUCF). Dabei entfällt auf die so genannten Schwellenländer des Annex I ein Abfall der Treibhausgase um 35 Prozent. Die Industrienationen des Annex I haben dagegen ihre Treibhausgasemissionen um acht Prozent gesteigert. Dass die Treibhausgasemissionen der Schwellenländer so rapide gesunken sind, liegt im

*Es müssen deutliche
Erfolge her.*

Wesentlichen am Zusammenbruch der osteuropäischen Industrien nach 1990. Seit 2000 steigen die Emissionen auch in diesen Ländern wieder an. Die Ergebnisse zeigen, dass die bisherigen Maßnahmen bei weitem nicht ausreichen, um den Klimawandel zu stoppen.

Die Vereinten Nationen haben 2007 bei der Weltklimakonferenz in Bali darauf verwiesen, dass die globale Temperatur höchstens um zwei Grad Celsius steigen darf. Dazu müssen die weltweiten Emissionen an Treibhausgasen bis 2050 um mindestens 50 Prozent abnehmen. Da die Treibhausgase zudem teilweise Tausende von Jahren in der Atmosphäre verbleiben, muss schnell gehandelt werden.

Klimaexperten im Öko-Institut fordern deshalb ehrgeizige Reduktionsziele und deutliche Erfolge. Auch Schwellen- und fortgeschrittene Entwicklungsländer müssen ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Vor allem aber sind nach Ansicht des Öko-Instituts die Industrienationen in der Pflicht. Wichtige nächste Etappe: die Verhandlungen über die Nach-Kyoto-Verpflichtungsperiode ab 2013 zu einem Abschluss bringen. Konkrete Verpflichtungen zu vereinbaren, gestaltet sich aber schwierig. Auf der Weltklimakonferenz 2010 in Cancún in Mexiko wurden auf diesem Weg erste Fortschritte erzielt. Allerdings reichen die vorliegenden Verpflichtungen noch nicht aus, um die Erderwärmung auf maximal zwei Grad Celsius zu begrenzen.

Literatur

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, September 2010, über www.bmwi.de oder www.bmu.de

Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. 1997, deutsche Fassung über www.bmu.de

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): 4th Assessment Report (AR4). 2007, www.ipcc.ch (hier finden sich auch deutsche Kurzfassungen).

United Nations: Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), www.unfccc.int, GHG Data – UNFCCC, Stand Februar 2010.

United Nations: Sixth compilation and synthesis of initial national communications from Parties not included Annex I to the Convention – Inventories of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases. Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), November 2005, www.unfccc.int, Stand Februar 2011.

5.2

Lösung Kernenergie?

Manche Experten betrachten die Kernenergie als Klimaschützer Nummer 1. Tatsächlich trifft diese Aussage jedoch nicht zu, wie sich beispielsweise an den Treibhausgasemissionen zeigt: Kernenergie ist betrachtet über den gesamten Lebensweg lediglich eine CO₂-arme, aber keine CO₂-freie Technologie. Auch der Anteil der Kernenergie am Primärenergieverbrauch von etwa sechs Prozent belegt, dass diese nur wenig zur weltweiten Energieversorgung beiträgt. Fazit: Die Kernenergie schützt das Klima nicht. Um einen wirklichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, wäre ein Ausbau von heute 442 auf mindestens 1.000 bis 1.500 Reaktoren weltweit erforderlich.

Im Jahr 2008 betrug der weltweite Primärenergieverbrauch 12.267 Megatonnen Rohöleinheiten.

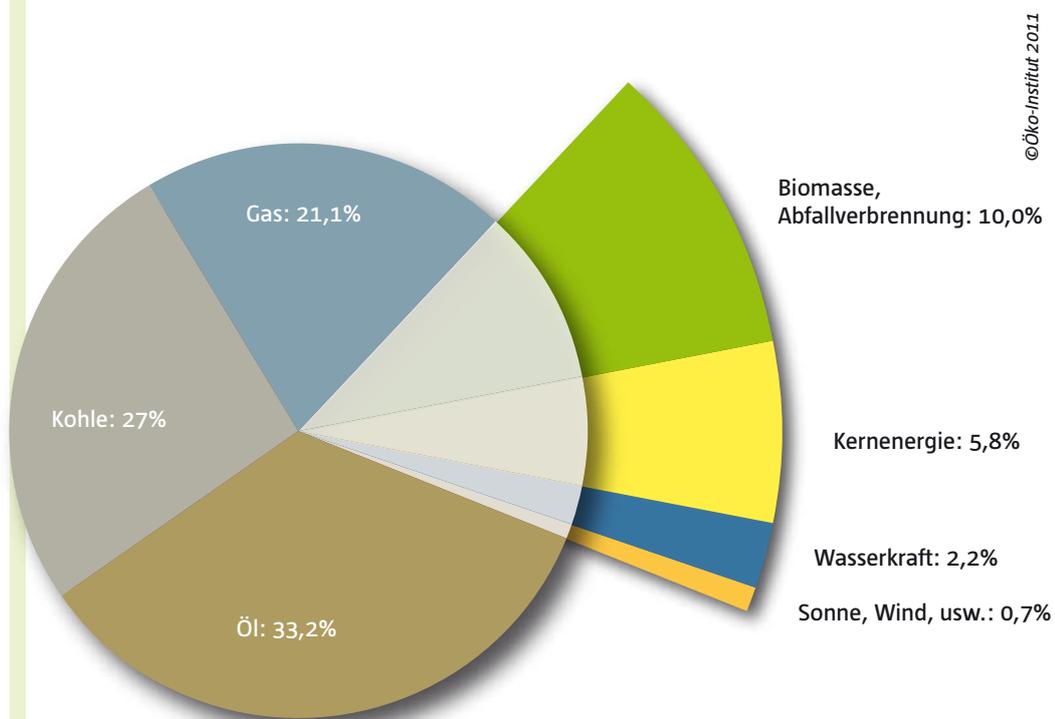


Bild 10: Weltweiter Primärenergieverbrauch im Jahr 2008 (Daten: IEA 2010)

Die kerntechnische Industrie behauptet, dass die Kernenergie einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leiste. Tatsächlich ist diese Aussage in Frage zu stellen. So beträgt der weltweite Anteil der Kernenergie am Primärenergieverbrauch in 2008 nur knapp sechs Prozent. Den weitaus größten Anteil am Primärenergieverbrauch hat Öl (33 Prozent) gefolgt von Kohle (27 Prozent) und Gas (21 Prozent). Wie sich der weltweite Primärenergieverbrauch auf die einzelnen Energieträger verteilt, zeigt Abbildung 10. Über 80 Prozent unseres weltweiten Primärenergieverbrauchs stellen demzufolge fossile Energieträger bereit.

Dabei wird unter Primärenergie die Energie verstanden, die mit den verschiedenen Energiequellen wie Kohle, Öl, Gas (fossile Energieträger), Wind, Wasser, Sonne, etc. (regenerative Energieträger) und Uran beziehungsweise Kernenergie verfügbar ist. Damit der Verbraucher die Energie nutzen kann (Endenergie), sind Umwandlungsprozesse erforderlich wie beispielsweise die Verbrennung von Kohle oder Gas im Kraftwerk, um Strom zu erzeugen oder die Aufbereitung von Öl, um es als Treibstoff für den Verkehr zu nutzen. Bei den Umwandlungsprozessen entstehen die schädlichen Treibhausgasemissionen, wobei deren jeweils anfallende Menge vom Energieträger und der verwendeten Technik abhängig ist.

Da Kernenergie praktisch nur genutzt wird, um Strom zu erzeugen, wird häufig nur ihr Anteil an der Stromerzeugung angegeben. Die Zahlen fallen dann entsprechend höher aus. So waren in 2009 die Kernkraftwerke in Deutschland zu etwa 23 Prozent an der gesamten Stromerzeugung beteiligt. Die Stromgewinnung ist in Deutschland für 44 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich. Tatsächlich nutzen wegen der komplexen Technik jedoch nur wenige Länder die Kernenergie. Ihr Anteil an der weltweiten Stromerzeugung bleibt entsprechend gering. Im Jahr 2009 machte der Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromerzeugung weniger als 15 Prozent aus. Das ist sogar weniger als der Anteil der Wasserkraft, der mit etwa 16 Prozent zur Stromerzeugung beitrug. Der Energieträger Kohle dominiert mit 41 Prozent bisher den Strommix (IEA 2010).

Kernenergie ist keineswegs CO₂-frei.

Kohlekraftwerke stoßen große Mengen an klimaschädlichen Treibhausgasen aus, weshalb eine Trendwende hin zu anderen Energieträgern und zu mehr Energieeffizienz erforderlich ist. Die Kernenergie wird in diesem Zusammenhang häufig als klimaneutrale Alternative dargestellt. Tatsächlich entsteht beim laufenden Betrieb eines Kernkraftwerkes praktisch kein CO₂, die Technik insgesamt ist jedoch keineswegs CO₂-frei. Bei der gesamten Prozesskette vom Bau über den Betrieb bis zur Entsorgung und insbesondere bei der Urangewinnung und Brennstoffherstellung entstehen Treibhausgase. So erfordern der Abbau und die Verarbeitung von Uran-Erz, die Anreicherung des spaltbaren Urans und die Brennelementherstellung Energie. Auch der Bau eines Kernkraftwerkes und die Gewinnung der dazu erforderlichen Materialien sind energieintensiv. Für viele Prozesse werden fossile Primärenergieträger umgesetzt und so Treibhausgase erzeugt. Diese Vorgänge werden als vorgelagerte Prozesskette bezeichnet und betreffen nicht nur die Kernenergie. Für jeden anderen Kraftwerkstyp sind ebenfalls Herstellung, Energieträgergewinnung und Transporte zu berücksichtigen.

Die Tabelle (Abbildung 11) stellt CO₂-Emissionen der einzelnen Energieformen zusammen – bezogen auf die erzeugte Leistung in Kilowattstunden elektrischer Energie und unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette. Die CO₂-Emissionen der Prozesskette Kernenergie können zum Beispiel aufgrund von länderspezifischen Randbedingungen sehr unterschiedlich ausfallen. Im Vergleich zu einem konventionellen Kohlekraftwerk spart das Kernkraftwerk erhebliche Mengen an CO₂ ein, regenerative Energiequellen haben aber vergleichbar geringe CO₂-Emissionen. Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass Strom aus anderen Energiequellen genauso viel oder sogar mehr CO₂ einsparen kann als Strom aus Kernkraftwerken.

Strom aus:	Emissionen in g/kWh _{el}	
	CO ₂ -Äquivalente	nur CO ₂
KKW (Uran nach Import-Mix)	32	31
KKW (Uran nur aus Russland)	65	61
Braunkohle-Kraftwerk	1153	1142
Braunkohle-Heizkraftwerk	729	703
Erdgas-GuD-Heizkraftwerk	148	116
Erdgas-Blockheizkraftwerk	49	5
Biogas-Blockheizkraftwerk	- 409	- 414
Windpark onshore	24	23
Windpark offshore	23	22
Wasserkraftwerk	40	39
Solarstrom-Import (Spanien)	27	25

Bild 11: Gesamte Treibhausgasemissionen verschiedener Stromerzeugungsoptionen (inkl. vorgelagerte Prozesse und Stoffeinsatz zur Anlagenherstellung) (Daten: Öko-Institut 2007)

Es stellt sich die Frage, ob denn die Kernenergie die geeignete Option ist, um solche CO₂-intensiven Energieträger wie die Kohle abzulösen und welcher Zubau denn dazu erforderlich wäre. Manche Institutionen und Verbände sehen diese Möglichkeit. Die World Nuclear Association, ein Lobbyverband der Kernenergie, stellt Prognosen auf, nach denen bis zum Jahr 2060 1.130 bis 3.500 Gigawatt elektrischer Leistung (GW_{el}) aus Kernkraftwerken bereitgestellt werden könnte, bis ins Jahr 2100 sogar 11.000 GW_{el}. Werden Reaktoren mit einer Leistung von 1.600 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) zu Grunde gelegt, wären dies bis zu 6.800 neue Reaktoren oder eine Steigerung gegenüber der heutigen Anzahl an Reaktoren um den Faktor 15.

Experten haben der Kernenergie schon häufiger hohe Wachstumsraten vorhergesagt. Abbildung 12 stellt Prognosen aus den Jahren 1973, 1977, 1982 und 2001 zusammen und beschreibt die vorhergesagte installierte Kernkraftwerkskapazität in den OECD-Ländern. Die Abbildung ist ergänzt um die Prognose der IAEA aus dem Jahr 2010 für die zukünftig weltweit installierten Kernenergiekapazitäten. Zum Vergleich: Die Ende 2010 installierte weltweite Kernenergiekapazität beträgt 375 GW_{el}. Zunächst wird an dieser Abbildung deutlich, dass bereits in der Vergangenheit wiederholt ein massiver Zuwachs der Kernenergie prognostiziert wurde, der sich jedoch nie realisierte.

In der Vergangenheit gab es immer wieder Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Kernenergie in den Ländern der OECD oder weltweit. Bis 1982 sagten Prognosen regelmäßig eine installierte Kernkraftwerks-Leistung von mehr als 1000 GW_{el} für die Zukunft voraus, heute sind etwa 375 GW_{el} in Betrieb. In 2001 sagte die Internationale Atomenergie-Organisation schließlich eine Abnahme der installierten Kernkraftwerks-Leistung voraus, erst in den Prognosen seit 2007 hält sie wieder einen moderaten Anstieg für möglich.

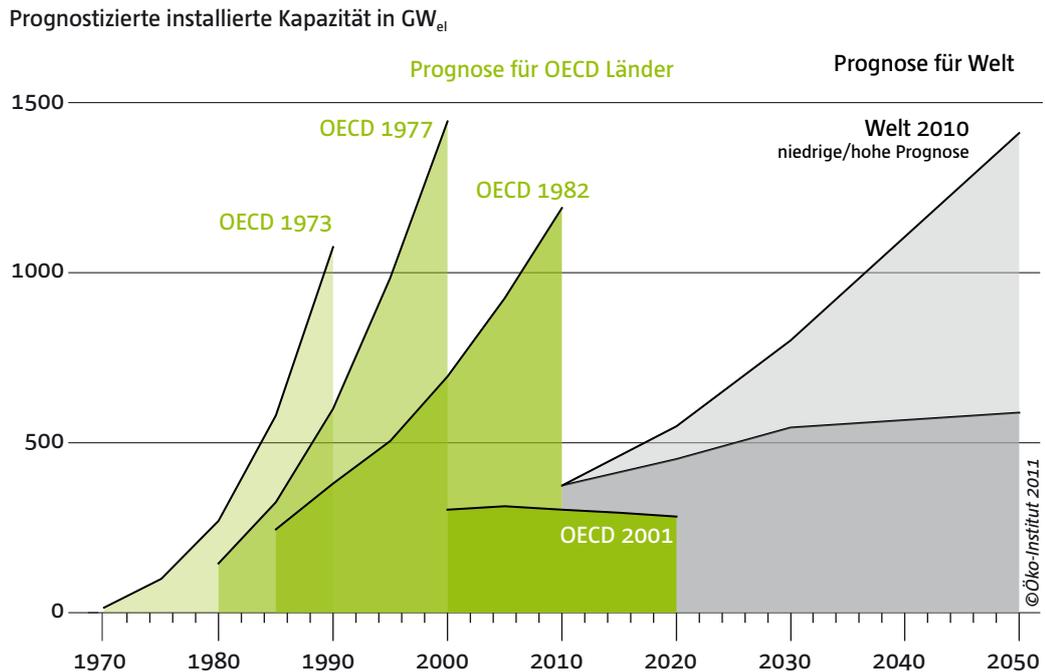


Bild 12: Frühere Prognosen zur Entwicklung der Kernenergie (IPFM 2009)

Die aktuelle Prognose der IAEA von 2010 hält im Jahr 2020 eine weltweit installierte elektrische Leistung von 453 bis 550 GW_{el}, für 2030 von 546 bis 803 GW_{el} und für 2050 eine erhebliche Spannweite von 590 bis 1.415 GW_{el} für möglich. Die letzte Annahme entspräche fast einer Vervielfachung der aktuellen Kraftwerksleistung. Mit dieser installierten Kapazität sieht die IAEA auch zukünftig den Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromerzeugung im Jahr 2050 bei 7,1 bis 17 Prozent. Unter der Annahme eines weltweit höheren Strombedarfs hält die IAEA damit sowohl eine deutliche Abnahme als auch eine leichte Zunahme der Bedeutung der Kernenergie für möglich. Zum Vergleich: 2009 lag der Anteil der weltweiten Stromerzeugung aus Kernkraft bei unter 15 Prozent.

Wissenschaftler am Massachusetts Institute of Technology haben 2003 untersucht, welche Kernenergie-Infrastruktur in der Zukunft nötig wäre, um den Ausstoß an Treibhausgasen bedeutend zu verringern. Die Studie legt eine Steigerungsrate des weltweiten Stromverbrauchs zwischen 1,5 bis 2,5 Prozent pro Jahr im Zeitraum 2000 bis 2050 zu Grunde. Soll die Kernenergie ihren bisherigen Anteil an der weltweiten Stromversorgung beibehalten oder diesen sogar auf etwa 25 Prozent ausbauen, so ergäbe sich für das Jahr 2050 eine erforderliche Bandbreite der installierten Kraftwerksleistung zwischen 650 und 1.545 GW_{el}. Bei einer installierten Leistung von 1.000 GW_{el} könnte die Kernenergie dann im Jahr 2050 1.800 Millionen Tonnen an CO₂-Äquivalenten einsparen. Dies entspräche etwa zehn Prozent der heutigen weltweiten Treibhausgas-Emissionen. Um einen aus Sicht dieser Studie bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, müssten daher im Jahr 2050 zwischen 1.000 und 1.500 Reaktoren mit jeweils 1.000 MW_{el} installiert sein. Zum Vergleich: Heute gibt es weltweit 442 Kernkraftwerke.

Studien, die von der Kernenergie einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz erwarten, fordern also typischerweise mindestens eine Verdreifachung des heutigen Kraftwerks-parks bis zum Jahr 2050. Die möglichen Folgen eines solchen massiven Kernenergieausbaus werden im anschließenden Kapitel 6 diskutiert.

Literatur

International Energy Agency (IEA): Key World Energy Statistics. 2010.

Öko-Institut: Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. März 2007.

International Atomic Energy Agency (IAEA): Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050; 2010 Edition. Reference Data Series No. 1, Wien, 2010.

World Nuclear Association (WNA): The WNA Nuclear Century Outlook. www.world-nuclear.org, Stand März 2009.

Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Power. An Interdisciplinary MIT Study. 2003.

International Panel on Fissile Materials (IPFM). www.fissilematerials.org, Stand Februar 2011.

6 Massiver Ausbau der Kernenergie – welche Folgen das Szenario hat

6.1

Kapazitäten und Infrastruktur für eine Renaissance der Kernenergie

Ein weltweiter Ausbau der Kernenergie, wie er zwischenzeitlich immer wieder zur Diskussion steht, würde eine Reihe von Problemen aufwerfen. Es müssten praktisch ab sofort 30 bis 40 neue Anlagen pro Jahr in Betrieb gehen, was aber auf Seiten der Industrie zu massiven Engpässen in der Produktion führen würde. Es fehlt zudem qualifiziertes Personal, womit solche Ausbauszenarien ebenfalls ernsthaft in Frage gestellt sind. Länder, die neu in die Technologie einsteigen, müssten zusätzlich zum eigentlichen Kernkraftwerksbau noch eine geeignete Infrastruktur schaffen und Aufsichtsbehörden aufbauen. Auch das kostet Zeit und Geld. Fazit: Ein schneller Ausbau der Kernenergie lässt sich kaum realisieren, ohne die Sicherheit ernsthaft zu gefährden.

Im Zuge der Klimadiskussion fordern einige Experten, mehr Strom aus Kernkraftwerken zu erzeugen. Praktisch alle heute laufenden Anlagen werden jedoch bis zum Jahr 2050 aufgrund ihres Alters abgeschaltet sein. Wie könnten solche Ausbau-Szenarien also aussehen? Dazu einige Gedankenspiele: Um bis 2050 einen hohen Anteil der Kernenergie an der Stromversorgung von beispielsweise 1.200 Gigawatt elektrischer Leistung (GW_{el}) zu erreichen, was etwa einer Verdreifachung der heutigen Kraftwerksleistung entspricht, müssten die hierfür erforderlichen Anlagen zwischen den Jahren 2010 und 2050 neu errichtet werden. Bei beispielsweise 1.000 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) einer Anlage wären hierzu 1.200 Kernkraftwerke erforderlich. Dies würde einen mittleren jährlichen Neubau von 30.000 bis 40.000 MW_{el} installierter Kraftwerksleistung bedeuten. Das entspricht der Inbetriebnahme von 30 bis 40 Reaktoren mit jeweils 1.000 MW_{el} pro Jahr, je nach dem, ab wann tatsächlich so viele Anlagen pro Jahr gebaut werden könnten.

Dem steht gegenüber, dass während der vergangenen zehn Jahre im Mittel nur 2.700 MW_{el} pro Jahr neu in Betrieb genommen wurden. Selbst in der Periode des stärksten weltweiten Neubaus der Kernenergie um 1980 betrug die mittlere Kapazität, die jährlich ans Netz ging, etwa 21.000 MW_{el} . Das entspricht nur etwa der Hälfte dessen, was für einen umfassenden Ausbau bis zum Jahr 2050 erforderlich wäre.

So viele Neubau-Projekte würden zu Kapazitätsengpässen bei der bestehenden Industrie führen, die in den vergangenen 20 Jahren stark zurückgegangen und auf den heutigen weltweiten Bedarf ausgelegt wurde. Müsste sich die installierte Kraftwerksleistung aus Klimaschutzgründen verdreifachen, so wäre in relativ kurzer Zeit ein deutlicher Ausbau auf Seiten der Industrie erforderlich. Dazu gehört ebenfalls, dass der Uranbergbau ausgeweitet, zusätzliche Fabrikationsanlagen für die Brennstoffherstellung bis zur Fertigung von Reaktorkomponenten geschaffen und zusätzliches Personal ausgebildet werden müsste.

So gibt es derzeit beispielsweise nur eine stark beschränkte Kapazität, große Bauteile wie Reaktordruckbehälter zu fertigen. Dies hat zur Folge, dass einige US-Unternehmen bereits heute zentrale Bauteile in Auftrag gegeben haben, obwohl der Reaktor-Neubau noch nicht beschlossen ist. Damit wollen die Unternehmen Zeitverzögerungen und steigende Kosten vermeiden. Aufgrund der speziellen und besonders hohen Anforderungen an die

*Für einen massiven
Ausbau der
Kernenergie fehlt
qualifiziertes
Personal.*

Qualität, lässt sich die Produktion auch nicht beliebig schnell ausweiten. Denn Abstriche bei der Qualität könnten gefährlich werden.

Probleme gibt es auch, qualifiziertes Personal anzuwerben und auszubilden. Das gilt für alle Bereiche wie beispielsweise die Planungsorganisation oder auch die Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden. Weil das Personal entsprechend geschult werden muss, haben die Planungen einen langen zeitlichen Vorlauf. Denn bei einem umfangreichen Ausbau der Kernenergie müssten zusätzliche Ausbildungseinrichtungen geschaffen werden, was wiederum Zeit und Geld kostet. Nach Einschätzung der IAEA kann dies selbst in Ländern mit einer etablierten Kerntechnik den Ausbauplänen Grenzen setzen (IAEA 2008).

Mehr als 60 Staaten, überwiegend Entwicklungsländer, haben Interesse an einem Ausbau der Kernenergie bekundet (IAEA 2009). Wer die Kernenergie nutzen möchte, muss zuvor jedoch in eine umfangreiche Infrastruktur investieren. Dazu müssten die Staaten kompetente und durchsetzungsfähige Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden aufbauen. Zudem benötigen die Länder Stromnetze, die für Anlagen mit heute üblichen Leistungsgrößen von über 1.000 MW_{el} ausgelegt sind. Da Kernkraftwerke auch auf eine dauerhaft stabile Stromversorgung ihrer Sicherheitstechnik angewiesen sind, können ungeeignete Netzstrukturen zudem die Sicherheit einer Anlage gefährden. Der Ausbau der Netzstruktur erfordert ebenfalls einen erheblichen zeitlichen Vorlauf und sehr hohe Kosten, bevor das erste Kraftwerk gebaut werden könnte.

Es bleibt zu befürchten, dass die Staaten gerade an zentralen Punkten wie der Aufsicht sparen könnten. So erläuterte im April 2009 der Direktor der chinesischen Behörde für Nuklearsicherheit, dass die Aufsicht über die Sicherheit nicht mit dem schnellen Ausbau der Kernenergie in China Schritt halte (n-tv 2009).

Sowohl für Länder, die die Kernenergie heute schon nutzen, als auch für solche, die bislang noch über keine eigene kerntechnische Industrie verfügen, sind den ehrgeizigen Ausbauszenarien daher realistischerweise enge Grenzen gesetzt.

Literatur

International Atomic Energy Agency (IAEA): International Status and Prospects of Nuclear Power. GOV/INF/2008/10-GC(52)/INF/6, 12 August 2008.

International Atomic Energy Agency (IAEA) (Organisator): International Ministerial Conference on Nuclear Energy in the 21st Century. Concluding Statement by the President of the Conference. Beijing, 20–22 April 2009.

N-TV: „Nicht vollständig unter Kontrolle – Pekings Nuklearchef warnt“, 21.04.2009, www.n-tv.de, Stand Juni 2009.

6.2

Ressourcenbedarf und Uranreichweite

Beim Abbau von Natururan fallen langlebige radioaktive Abfälle an. Wegen der niedrigen Urangehalte im Erz sind diese Abfallberge jetzt schon riesig, knapper werdende Vorräte lassen sie zunehmend schneller anwachsen. In vielen Ländern gibt es trotzdem kein nachhaltiges Entsorgungskonzept für die Erzreste. Es kommt hinzu, dass die Uranvorräte endlich sind. Sie reichen für die vorgesehene Betriebszeit der heute laufenden Reaktoren aus. Mit einem massiven Ausbau der Kernenergie ginge aber auch ein entsprechend größerer Uranverbrauch einher. Fazit: Die heute bekannten Vorräte würden in diesem Falle rasch zu Ende gehen und für neu errichtete Anlagen wäre noch während der vorgesehenen Betriebszeit kein Uran mehr vorhanden.

Ein Reaktor mit 1.300 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) wie zum Beispiel Biblis B verbraucht pro Jahr rund 28 Tonnen Brennstoff aus angereichertem Uran. Um diesen Brennstoff herzustellen, sind pro Betriebsjahr etwa 260 Tonnen Natururan erforderlich. Je nach Urangehalt im Erz, müssen dafür zwischen 5.700 und 760.000 Tonnen uranhaltiges Erz gefördert, das Uran chemisch extrahiert und weiterverarbeitet werden. Die deutschen Reaktoren benötigen jährlich etwa 4.500 Tonnen Natururan. Die weltweit 442 Reaktoren mit netto 375.000 MW_{el} verbrauchen rund 10.000 Tonnen Brennstoff beziehungsweise rund 70.000 Tonnen Natururan. Das entspricht 1,5 bis 200 Millionen Tonnen Erz, die dafür gefördert werden müssen.

Aus welchen Ländern das Natururan stammt, das 2009 in der Europäischen Union verwendet wurde, zeigt Abbildung 13.

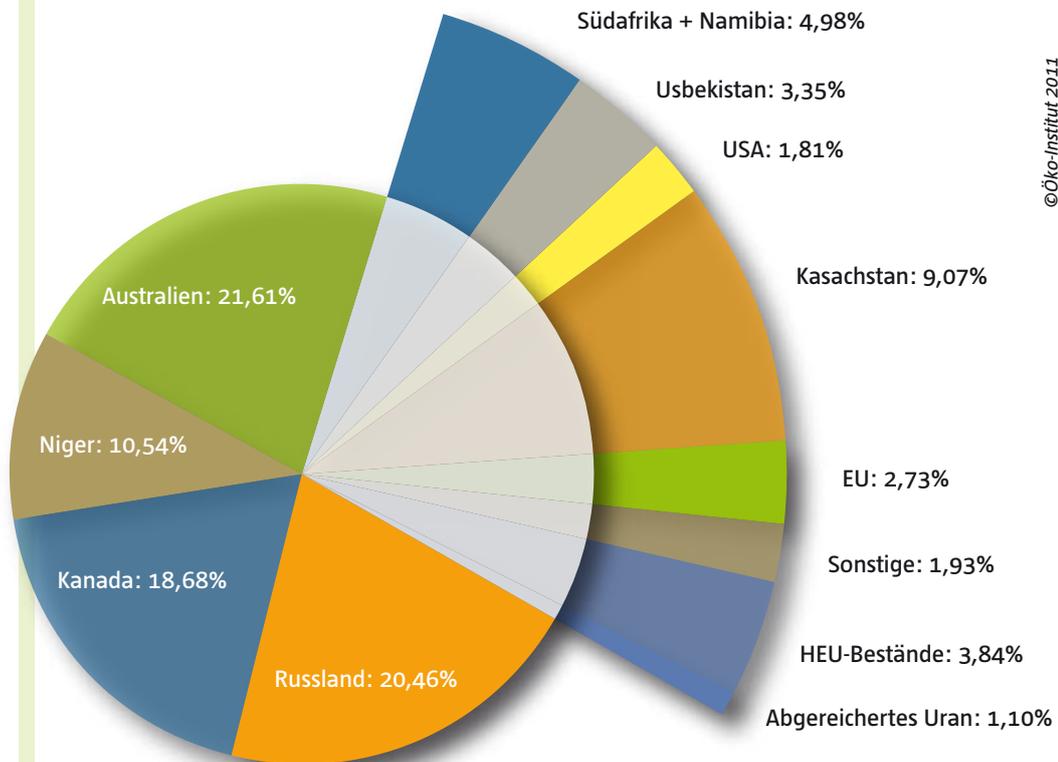


Bild 13: Herkunftsländer für Uran zur Verwendung in der EU 2009 (aus ESA 2010)

Die Grafik belegt, dass das verwendete Uran nur zu 2,73 Prozent aus Ländern der EU selbst stammt. Der weit überwiegende Bedarf wird aus Ländern gedeckt, die als wenig zuverlässig (Russland, Usbekistan, Kasachstan) oder deren Bergbau-Umweltstandards als unterentwickelt gelten (Kanada, Niger, Südafrika/Namibia). Der führende Beitrag Russlands hängt im Wesentlichen nicht mit aktiv betriebenem Uranbergbau zusammen, sondern lässt sich auf den Verkauf bestehender Vorräte zurückführen. Darüber hinaus baut Russland ehemalige militärische Bestände an waffenfähigem Uran durch „Herunterblenden“ auf reaktorgängiges Uran ab („HEU Bestände“) und reichert bereits abgereichertes Uran erneut an („abgereichertes Uran“).

Die wichtigsten Lieferländer aus 2009 werden auch die künftigen Lieferanten von Natururan bleiben. Nach Australien verfügen Kasachstan, Kanada, Südafrika und die USA über große bekannte („reasonably assured resources“, RAR) und vermutete („estimated additional resources“, EAR I) Reserven.

OECD/NEA und IAEA gehen nach umfangreichen Befragungen in den Ländern davon aus, dass Vorräte von rund 4,6 Millionen Tonnen Uran in diesen beiden Kategorien vorkommen. Sie können gefördert werden, ohne dass die Kosten 130 US-Dollar pro Kilo Uran überschreiten. Diese Preiskategorie liegt etwas oberhalb der heutigen Preise für langfristige Lieferverträge und etwa beim oberen Preisniveau für so genannte Spotkäufe. Da der Spotpreis stark schwankt, kann das Preisniveau von 130 US-Dollar pro Kilo Uran zeitweise auch überschritten werden.

Wer Lagerstätten abbauen möchte, die einen sehr niedrigen Gehalt an Uran haben und bei denen die Kosten für den Abbau jenseits der 130 US-Dollar pro Kilogramm Uran liegen, stößt dabei auch an ökologische Grenzen. Schon bei den heute ausgebeuteten Lagerstätten in Kanada und Australien mit vergleichsweise hohen Urangehalten von vier Prozent verursacht ein 1.300-MW_{el}-Reaktor jährlich einen Abfallkonus mit 23 Metern Durchmesser und Höhe. Dieser wächst bei der Verwendung namibischen Urans mit nur 0,03 Prozent Urangehalt im Erz auf 118 Meter an. Welches Ausmaß die Abfallberge bei einem durchschnittlichen Erzgehalt von 0,1 Prozent haben, zeigt die Abbildung 14. Weltweit betrachtet erzeugt der Uranabbau jährlich einen radioaktiven Abfallberg von etwa 500 Meter Durchmesser und Höhe.

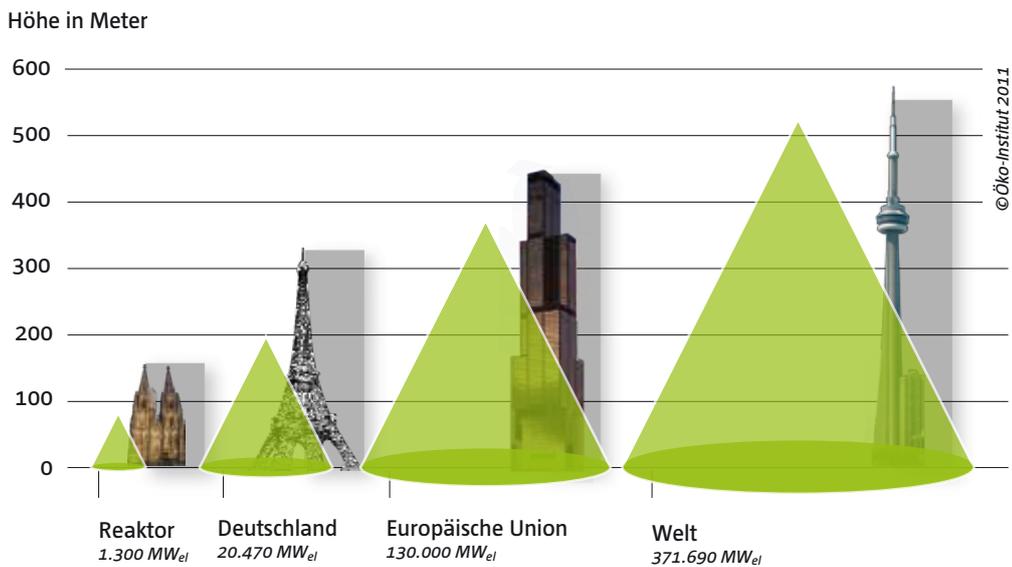


Bild 14: Erzreste aus der jährlichen Versorgung mit Natururan (durchschnittlicher Erzgehalt von 0,1 Prozent)

*Die Uranvorräte
sind endlich.*

Die langfristige Verwahrung solcher „radioaktiver Berge“ ist schwierig. So muss ein gutes Entsorgungskonzept die Radonausgasung reduzieren, die am gefährlichsten für den Menschen ist. Zudem darf das Material nicht in das Grundwasser gelangen, weshalb zuverlässige Abdeckungen notwendig sind. Deren Haltbarkeit ist jedoch auch nach heutigem Stand der Technik auf einige Jahrzehnte begrenzt. In der Vergangenheit gab es häufig gar keinen sicheren Umgang mit diesen radioaktiven Hinterlassenschaften. Und auch heute werden noch Minen ohne ein schlüssiges Abfallkonzept genehmigt. Entweder bleiben die Erzreste dann einfach liegen, landen in Bächen, Flüssen oder im Grundwasser oder werden von der unkundigen lokalen Bevölkerung sogar zum Bau von Häusern verwendet.

Bisher wurden weltweit 2,3 Millionen Tonnen Uran gefördert und verbraucht. Bei einem derzeitigen Jahresbedarf von ca. 70.000 Tonnen ist in etwa 16 Jahren „Peak-Uran“ erreicht, zu dem etwa die Hälfte des heute bekannten und vermuteten Urans gefördert und verbraucht sein wird.

Einige Experten rechnen mit weiteren Vorräten, deren Existenz (Kategorien „Estimated additional resources, category II“, EAR II, und „speculative resources“, SR) aber rein spekulativ ist. Es liegen keine Anhaltspunkte dafür vor, dass sie im vermuteten Umfang vorhanden sind.

Auffällig ist, dass Länder mit eigenen großen Plänen für den künftigen Ausbau der Kernenergie (China, Indien, Russland, Japan) selbst gar nicht über nennenswerte Vorkommen verfügen. Wenn sie ihre Pläne realisieren, werden sie darauf angewiesen sein, sich das dafür nötige Uran aus anderen Ländern zu beschaffen. Die Situation ähnelt sehr derjenigen bei Erdöl und Erdgas. Deshalb ist auf diesen und anderen Rohstoffmärkten mit ähnlichen Verteilungsproblemen zu rechnen.

Falls der Uranverbrauch auf dem heutigen Niveau verbleibt, würden die bekannten und vermuteten Vorräte für etwa 70 Jahre den Bedarf decken. Falls sich jedoch die heutigen Nuklearkapazitäten im Laufe der nächsten vier Jahrzehnte verdoppeln, dann reichen die Uranvorräte bis etwa zum Jahr 2050. Bei einer Verdreifachung wäre die Reichweite sogar ungefähr bis zum Jahr 2040 begrenzt, so dass für viele Reaktoren schon während ihrer geplanten Betriebszeit der Brennstoff ausgehen würde.

Literatur

European Supply Agency (ESA): Annual Report 2009. Luxembourg 2010.

International Atomic Energy Agency (IAEA): Power Reactor Information System (PRIS). www.iaea.org, Stand Januar 2011.

Nuclear Energy Agency (NEA)/International Atomic Energy Agency (IAEA): Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in Perspective. Paris 2006.

6.3 Ungelöste Entsorgung

Weltweit ist die endgültige Entsorgung insbesondere der hochradioaktiven Abfälle und abgebrannten Brennelemente nicht vollständig gelöst. Die geplante Endlagerung in tiefen geologischen Formationen zeigt nur in wenigen Staaten nennenswerte Fortschritte. Dies liegt vor allem an politischen Entscheidungen sowie an gesellschaftlichem Widerstand. Falls es zu einem weltweiten Ausbau der Kernenergie käme, würden viele Staaten die hochradioaktiven Abfälle aus finanziellen Gründen langfristig zwischenlagern statt für eine baldige Endlagerung zu sorgen. Dies birgt jedoch erhebliche Risiken, da der Kernbrennstoff nicht sicher vor Zugriffen und Störfällen geschützt ist. Außerdem wird das Problem der endgültigen Entsorgung zukünftigen Generationen aufgebürdet. Fazit: Ein weltweiter Ausbau der Kernenergie ist angesichts der bestehenden Probleme der Abfallentsorgung nicht zu verantworten.



Bild 15: Entsorgungsanlagen in Deutschland
(ohne dezentrale Brennelementzwischenlager an den Kernkraftwerks-Standorten)

Selbst Staaten mit einem größeren Kernenergieprogramm haben vielfach noch keine endgültige Lösung gefunden, wie sie die abgebrannten Brennelemente und hochradioaktiven Abfälle aus ihren Kernkraftwerken entsorgen:

Lediglich Finnland verfügt über einen festgelegten Endlagerstandort für diese Abfälle, der ohne nennenswerte gesellschaftliche oder politische Verwerfungen die erste Genehmigungsstufe passiert hat. Das schwedische Untersuchungsprogramm ist ebenfalls weit fortgeschritten, im Juni 2009 hat der Betreiber einen Endlagerstandort vorgeschlagen.

Einzelne Länder haben ihre Endlagerprogramme nach verschiedenen Rückschlägen und Verzögerungen in der Vergangenheit wieder in Schwung gebracht, indem sie das Verfahren neu ausgerichtet haben:

- Frankreich hat 1991 mit einem Gesetz Meilensteine für die Entsorgungsplanung festgelegt. Im Jahr 2006 hat der Gesetzgeber diesen Fahrplan konkretisiert und für die Endlagerung fortgeschrieben.
- Die Schweiz hat in den vergangenen Jahren ein neues Standortauswahlverfahren entwickelt, das seit April 2008 verbindlich festgelegt ist. Derzeit setzen die zuständigen Organisationen das Verfahren schrittweise um.

In beiden Ländern sehen die derzeitigen Bemühungen, einen Endlagerstandort zu finden, erfolgversprechend aus. Sie erfordern aber noch verschiedene naturwissenschaftlich-technische Nachweise sowie politische und gesellschaftliche Diskussionen.

In den USA wurde der Antrag auf Errichtung eines Endlagers am Standort Yucca Mountain, der 2001 vom Kongress festgelegt worden war, wegen Zweifeln an der Eignung des Standortes im Frühjahr 2010 zurückgezogen. Der amerikanische Präsident hat nachfolgend die sogenannte „Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future“ eingerichtet, die innerhalb von zwei Jahren unter anderem Empfehlungen für die Endlagerung erarbeiten soll.

In Deutschland ist die Diskussion um ein Endlager festgefahren.

Eine Vielzahl von Staaten mit erheblichen Mengen hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente haben noch gar nichts unternommen, um das gefährliche Material zu entsorgen:

- Die Niederlande setzen beispielsweise auf die langfristige Zwischenlagerung für etwa 100 Jahre.
- Spanien konzentriert sich derzeit darauf, einen geeigneten Standort für ein zentrales Zwischenlager für die abgebrannten Brennelemente zu finden. Was langfristig mit diesen Abfällen passieren soll, ist noch völlig offen.
- Japan hat nach Angaben der Regierung im Jahr 2002 ein mehrstufiges Auswahlverfahren begonnen, um zwischen 2023 und 2027 den Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle festzulegen. Dabei werden im ersten Schritt, interessierte Gemeinden aufgerufen, sich freiwillig zu melden. Dieser Schritt sollte nach dem ursprünglichen Zeitplan noch vor 2010 abgeschlossen werden. Im Jahr 2007 hatte Toyo Town sich freiwillig gemeldet, hat aber dieses Angebot nur wenige Monate später wieder zurückgezogen. Bisher zeichnen sich im ersten Schritt keine weiteren Fortschritte ab.
- Russland plant grundlegende Untersuchungen, wie sich die abgebrannten Brennelemente in einem Endlager entsorgen lassen. Auch für die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestehen nur allgemeine Planungen, entsprechende Umsetzungsschritte sind nicht erkennbar.

Die Diskussion über die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in Deutschland ist seit Jahren festgefahren. Der Standort Gorleben bleibt gesellschaftlich und politisch äußerst umstritten. Zwischen den wesentlichen Akteuren auf Seiten der Politik, der Industrie und der Gesellschaft gibt es bislang kein Einvernehmen darüber, wie ein Standort festgelegt werden soll.

Verschiedene Länder, insbesondere Staaten, die nur ein oder wenige Kernkraftwerke betreiben, setzen – auch aus finanziellen Gründen – auf ein internationales Endlager, das radioaktive Abfälle aus verschiedenen Ländern aufnehmen soll. Aus nachfolgenden Gründen ist allerdings nicht zu erwarten, dass eine solche Lösung in absehbarer Zeit zu einer sicheren Entsorgung der radioaktiven Abfälle führt:

- In praktisch allen Ländern besteht ein erheblicher gesellschaftlicher Widerstand gegen ein Endlager, der die Standortauswahl erheblich einschränkt.
- In vielen Ländern ist die Einfuhr von radioaktiven Abfällen aus dem Ausland gesetzlich ausgeschlossen. In Anbetracht der Schwierigkeiten, die bereits bei der Entsorgung der jeweils national anfallenden radioaktiven Abfälle auftreten, wird sich daran kaum etwas ändern.
- Außerdem bestehen keinerlei Grundlagen, wie sich eine grenzüberschreitende Suche nach einem geeigneten Standort gestalten könnte.

Es ist allerdings denkbar, dass einzelne Staaten die Endlagerung letztendlich als lukratives Geschäft verfolgen. Sie könnten die hochradioaktiven Abfälle unter nicht kontrollierbaren Bedingungen zu Dumping-Kosten in unsicheren Anlagen beseitigen.

Die bisherigen Erfahrungen lassen erwarten, dass der weltweite Ausbau der Kernenergienutzung dazu führen würde, dass zukünftig nicht nur in 30, sondern in 40 oder 50 Ländern radioaktive Abfälle in mehr oder weniger geeigneten Übergangslösungen langfristig aufbewahrt werden.

Zwischenlager stellen ein permanentes Sicherheitsrisiko dar.

Die Motivation, den Aufwand und die hohen Kosten für eine eigene, verantwortungsbewusste Endlagerlösung zu tragen, wird dabei eher abnehmen als steigen. Denn im Falle eines weltweiten Ausbaus würden viele Staaten nur einzelne Kernkraftwerke betreiben.

Jede Art von Zwischenlager benötigt jedoch eine permanente Überwachung sowie eine regelmäßige Inspektion und Wartung. Sie verursacht somit kontinuierlich Kosten, setzt technisches Know-how voraus und erfordert letztendlich eine endgültige Entsorgung, die zukünftigen Generationen aufgebürdet wird.

Wenn die Abfälle bei einer oberflächennahen Lagerung permanent zugänglich sind, stellen sie somit in mehrfacher Hinsicht ein Sicherheitsrisiko dar:

- Störfälle, bei denen Radioaktivität entweicht, lassen sich nicht vollständig ausschließen.
- Zwischenlager stellen potentielle Ziele für terroristische oder kriegsgerichtete Angriffe dar.
- Für eine permanente Überwachung benötigt ein Staat entsprechend stabile gesellschaftliche und politische Strukturen.
- Im Vergleich zur Endlagerung in geologischen Formationen bleiben die Kernbrennstoffe bei der Zwischenlagerung zugänglich. Somit lässt sich nicht völlig ausschließen, dass waffenfähiges Material aus den Kernbrennstoffen abgezweigt wird.

Falls es zu einem weltweiten Ausbau der Kernenergie käme, würde mit der Abfallmenge und der Verteilung dieser Abfälle auf eine wachsende Zahl von Staaten auch das Sicherheitsrisiko in der Entsorgung wachsen.

Literatur

Öko-Institut e.V./GRS mbH: Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland. – Hauptband und 22 Anhänge, Braunschweig/Darmstadt September 2008, <http://endlagerung.oeko.info>, insbesondere zu Entsorgungsstrategien: http://endlagerung.oeko.info/dokumente/Anhang_Entsorgungsstrategien.pdf

Department of Energy (US-DOE): Press Release: Secretary Chu Announces Blue Rib-bon Commission on America's Nuclear Future, 29. Januar 2010 <http://www.energy.gov/news/8584.htm>

6.4

Nukleare Nichtverbreitung

Eines der größten Probleme für die internationale Sicherheit besteht heute darin, dass Kernwaffen weiter verbreitet werden. Da Staaten wichtige nukleare Technologien sowohl zivil wie militärisch nutzen können, lässt sich nicht scharf zwischen zivilen Nuklearprogrammen und tatsächlichen militärischen Vorhaben trennen. So zeichnet sich ein zunehmendes Interesse bei einer Vielzahl von Staaten ab, sich die nukleare Option zumindest offen zu halten. Gleichzeitig ist das internationale Regime zur Kontrolle der nuklearen Nichtverbreitung ernsthaft in Frage gestellt. Grund sind verschiedene Entwicklungen in der Vergangenheit – von Iran über Nord-Korea bis Indien. Fazit: Die Sorge vor der Weiterverbreitung von Kernwaffentechnik und -material führt immer wieder zu internationalen Spannungen. Die hiermit verbundenen Risiken würden sich mit einem Ausbau der zivilen Kernenergie in vielen Ländern nochmals deutlich erhöhen.

Wichtige nukleare Technologien lassen sich zivil und militärisch nutzen.

Mit einer bis dato unüblichen Deutlichkeit wandten sich im Januar 2007 zwei ehemalige US-Außenminister, ein ehemaliger Verteidigungsminister und der ehemalige Vorsitzende des Streitkräfteausschusses des amerikanischen Senats in einem Leitartikel im Wall Street Journal an die amerikanische und die Weltöffentlichkeit. Eine Reihe weiterer Persönlichkeiten unterstützte sie dabei. In dem Artikel wiesen sie darauf hin, dass die Existenz und die zunehmende Weiterverbreitung von Kernwaffen eine akute Bedrohung für den Frieden darstellt. Zudem führt nach ihrer Ansicht die nukleare Abschreckung auch in vielen regionalen Konfliktsituationen zu einer zunehmenden Destabilisierung.

Um Zugang zu Kernwaffen zu erhalten, benötigen Staaten vor allem Zugriff auf ausreichende Mengen an kernwaffenrelevanten Nuklearmaterialien. Hierzu zählen im Wesentlichen hochangereichertes Uran und Plutonium. Die Konstruktion eines funktionsfähigen Kernsprengkörpers ist demgegenüber aus heutiger Sicht für einen Staat mit nuklearen Ambitionen keine wirkliche Hürde mehr. Zu den wichtigen Nukleartechnologien, die sowohl zivil wie militärisch genutzt werden können, gehören vor allem Anreicherungstechnologien (wie Zentrifugen zur Urananreicherung) und Wiederaufarbeitungstechnologien, um Plutonium aus bestrahltem Brennstoff abzutrennen. Viele zivile Kernenergieprogramme nutzen diese Technologien, die prinzipiell jedoch auch dazu eingesetzt werden können, Spaltstoffe für Kernwaffen zu gewinnen.

Um die internationale Kontrolle über die nukleare Nichtverbreitung zu gewährleisten, ist es vor allem wichtig, den Zugriff auf ausreichende Mengen an Spaltstoff zu verhindern. Deshalb betrachten Sicherheitsexperten zivile Nuklearprogramme ebenfalls kritisch.

Heute gehören mit Ausnahme von Israel, Pakistan und Indien, die de-facto Kernwaffenstaaten darstellen, sämtliche Länder der Erde dem nuklearen Nichtverbreitungsvertrag (NVV) an. Nord-Korea hat allerdings seine Mitgliedschaft 2003 gekündigt und in der Folge selbst Kernwaffen getestet. Nur fünf Länder (USA, Großbritannien, Russland, China, Frankreich) zählen zu den offiziellen Kernwaffenstaaten im Sinne dieses Vertrages. Die Nicht-Kernwaffenstaaten haben im Rahmen des NVV ihren Verzicht auf Kernwaffen erklärt und unterwerfen ihre zivilen Nuklearprogramme Kontrollen, so genannten Sicherungsmaßnahmen („Safeguards“) durch die Internationale Atomenergiebehörde (IAEO). Im Gegenzug sichert ihnen dieser Vertrag jedoch auch einen unbeschränkten Zugang zu zivilen nuklearen Technologien zu und verpflichtet alle anderen Staaten zu technischer Hilfe.

Safeguards beinhalten zum Beispiel Meldepflichten sowie eine Überwachung kernwaffenfähiger Materialien und wichtiger Anlagen. Klar ist, dass Safeguards ein wesentliches Element zur Kontrolle der nuklearen Nichtverbreitung darstellen. Jedoch wird im Rahmen von Safeguards lediglich sichergestellt, dass ein Vertragsbruch mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums entdeckt würde. So führt diese Kontrolle bestenfalls dazu, dass Verstöße nachträglich entdeckt werden und dies abschreckend wirkt. Grundsätzlich verhindern lässt es sich jedoch nicht, dass ein Staat Kernwaffenmaterialien abzweigt. Stattdessen ist es auch möglich, dass Staaten die Kontrollen umgehen oder heimlich handeln. Zwar ermöglicht das Zusatzprotokoll der IAEO nach 1997 eine weitergehende Überwachung und Kontrolle, aber Safeguards können einen Staat, der über vollen Zugriff auf die Technologien der Anreicherung oder der Wiederaufarbeitung verfügt, trotzdem nicht sicher am Zugriff auf Kernwaffen hindern.

Der aktuelle Streit um das iranische Nuklearprogramm verweist deutlich auf diese zentrale Problematik. So befindet sich im Iran zurzeit ein erster kommerzieller Leistungsreaktor im Bau – in den 1970er Jahren mit deutscher Unterstützung begonnen, wird dieser seit einigen Jahren mit russischer Hilfe fertig gestellt. Zudem errichtet der Iran eine eigene Anlage, um Uran anzureichern. Während zur gleichen Zeit weitgehend unbeachtet in Brasilien ebenfalls eine kommerzielle Anlage zur Urananreicherung in Betrieb genommen wird, die ebenfalls mit deutscher Hilfe seit den 1970er Jahren entwickelt wurde, entbrennt über das iranische Nuklearprogramm ein internationaler Konflikt. Dieser hat sogar zu Resolutionen des UN-Sicherheitsrats geführt.

Im Kern dieses Konflikts geht es neben den offenen oder verdeckten politischen Zielen darum, ob die als zivil bezeichneten Nuklearprogramme auch wirklich zivil sind (dual-use). Während der Iran auf sein – im Rahmen des NVV – zugesichertes Recht besteht, Uran für zivile Zwecke anzureichern zu dürfen, interpretieren andere Staaten dies anders. Sie befürchten, dass sich der Iran auf diesem Weg die notwendigen Technologien und Spaltmaterialien aneignen will, um Zugriff zur Bombe zu erhalten. Bereits das technische Potential des Iran, sich nach einer entsprechenden politischen Entscheidung in kurzer Zeit in den Besitz von Kernwaffen zu bringen, verändert dramatisch die regionale und globale Sicherheitsstruktur.

Vor dem Hintergrund dieses Konflikts sind auch die Planungen einer ganzen Reihe von Staaten der Region, von Saudi Arabien über Syrien und Ägypten bis hin zur Türkei, ebenfalls Kernenergieprogramme aufzubauen, durchaus problematisch. So werfen die USA einerseits dem Iran vor, dass sein als rein zivil deklariertes Nuklearprogramm wegen der beträchtlichen Ölreserven aus energiepolitischer Sicht unglaubwürdig sei. Gleichzeitig unterstützen die USA aber selbst nukleare Forschungs-Programme in anderen Staaten mit

großen Ölvorräten – beispielsweise in Saudi Arabien. Ebenfalls problematisch: Frankreich hat angekündigt, einen Leistungsreaktor an Libyen zu liefern. Dabei wurde nur wenige Jahre zuvor ein bis dato geheimes libysches Kernwaffenprogramm aufgedeckt. Alle diese Beispiele zeugen nicht von einer klaren, langfristigen Nichtverbreitungspolitik der großen Lieferländer.

Der Mangel einer langfristigen Nichtverbreitungspolitik zeigt sich auch am Umgang mit Staaten, die nicht dem NVV angehören. Nachdem Indien in den 1970er Jahren Kernwaffen testete, erklärten alle Kerntechnik exportierenden Nationen einen Exportstopp gegenüber Indien. Doch diese nukleare Isolation Indiens ist mittlerweile weitgehend aufgehoben, was wiederum dazu beiträgt, das bestehende Regime von Nichtkernwaffenstaaten zu untergraben. Damit erkennen die exportierenden Nationen Indien praktisch als Kernwaffenstaat an und fördern gleichzeitig Indiens zivile Ambitionen. Welche Auswirkungen dies auf das Verhalten weiterer Staaten haben wird, die sich bislang noch den Regeln des NVV unterwerfen, bleibt unklar. Im Zweifelsfall lässt sich das erst erkennen, wenn das bisherige System der internationalen Nichtverbreitung kollabiert.

Bereits heute tragen also zivile Kernenergieprogramme zu politischen Instabilitäten und regionalen Spannungsherden bei. Ein massiver Ausbau der zivilen Kernenergie würde auch eine größere Anzahl von Ländern umfassen, die bisher noch keine Kerntechnik nutzen. Dadurch würden sie besseren Zugriff auf kernwaffenrelevante Technologien und Materialien erhalten. Und damit könnten sie potentiell auch Kernwaffen produzieren oder zumindest diesbezüglich in Verdacht geraten. Daraus ergeben sich aus Sicht des Öko-Instituts viele Gefahren wie beispielsweise eine Verschärfung regionaler Konflikte bis hin zu neuen Rüstungswettläufen.

Literatur

George P. Shultz, William J. Perry, Henry A. Kissinger and Sam Nunn: A World Free of Nuclear Weapons. The Wall Street Journal, 4. Januar 2007.

Matthias Englert, Christoph Pistner: Der Stoff für die Bomben. Zugriffs- und Beseitigungswege. In: Wissenschaft und Frieden. Vol. 26, 1/2008. pp. 11–15.

David Albright und Andrea Scheel: Unprecedented Projected Nuclear Growth in the Middle East: Now Is the Time to Create Effective Barriers to Proliferation. ISIS Report, November 2008.

International Panel on Fissile Materials: Global Fissile Material Report 2010. Fifth annual report of the International Panel on Fissile Materials, www.fissilematerials.org, Stand Februar 2011.

6.5 Neue Reaktortypen

Seit vielen Jahren sprechen Experten davon, dass bald Reaktoren der so genannten Generation IV auf den Markt kommen. Diese sollen dann im Vergleich zu heutigen Anlagen grundlegende Lösungen bei den Themen Sicherheit, Proliferation und Entsorgung bieten und dabei gleichzeitig wirtschaftlich attraktiv sein. Solche Reaktorkonzepte existieren jedoch bisher nur auf dem Papier. Auch lässt der zurückhaltende Forschungsaufwand nicht erwarten, dass diese Konzepte schnell realisiert werden. Erste Projekte, die beispielsweise in Südafrika einen Prototypen bauen wollten, müssen ihre Zeitpläne immer wieder drastisch korrigieren. Die eigentlichen Probleme tauchen häufig erst beim konkreten ingenieurtechnischen Design, während des Baus und im Betrieb auf. Fazit: Es ist fraglich, ob und wann Reaktoren der so genannten Generation IV gebaut werden. Deshalb spielen solche Konzepte in den nächsten Jahrzehnten praktisch keine Rolle, selbst wenn es zu einem massiven Ausbau der Kernenergie kommen würde.

Die Reaktoren, die derzeit auf dem Markt sind, wie beispielsweise der Europäische Druckwasserreaktor (EPR) stellen kontinuierliche Weiterentwicklungen der bisherigen Technik dar. Sie sind zwar technisch auf einem neuen Stand, können aber die bisherigen Probleme der Kernenergie nicht grundsätzlich lösen.

Im Jahr 2000 haben sich verschiedene Staaten zu einem gemeinsamen Forum zusammengeschlossen, um die Entwicklung für zukünftige Nuklearanlagen (Generation IV) zu koordinieren. Diese Kernkraftwerke sollen über grundlegend neue Eigenschaften verfügen. Das Forum konzentriert sich seither auf sechs wesentliche Reaktorkonzepte und einige Querschnittsthemen. Dabei will das Forum alle Typen gleichzeitig weiter entwickeln, wobei sich einzelne Staaten jeweils nur auf eines oder wenige der Konzepte konzentrieren. Zu den zentralen Problemen, die dort behandelt werden, gehören: Fragen der Sicherheit und der Nuklearen Nichtverbreitung, die verbesserte Nutzung der Ressourcen, die Entsorgung sowie die Wirtschaftlichkeit. Dabei versprechen einzelne Konzepte jeweils Vorteile in einem der zentralen Felder. Ob allerdings einer der Reaktortypen oder gar eine Kombination aus verschiedenen in der Lage sein wird, alle Probleme letztendlich zu lösen, ist aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich.

Es ist mehr als fraglich, ob die neuen Reaktortypen der Generation IV bald auf den Markt kommen.

Eine Einschätzung des Generation IV International Forums zu den Entwicklungskosten dieser Reaktoren kam zu dem Ergebnis, dass pro verfolgtem Reaktortyp zwischen 600 und 1.000 Millionen US-Dollar bis 2020 erforderlich wären. Darin sind die Kosten für den Bau von Demonstrationskraftwerken noch gar nicht enthalten. Dies entspräche pro Reaktortyp einer notwendigen jährlichen Investition in der Größenordnung von 300 bis 350 Millionen US-Dollar. Dem stehen bisher (Stand 2009) für alle sechs Konzepte zusammen Forschungs- und Entwicklungsausgaben in der EU und den USA zwischen 50 und 100 Millionen US-Dollar gegenüber. Selbst wenn sich weitere Länder beteiligen sollten, fallen die tatsächlichen Anstrengungen damit weit hinter den eigentlich erforderlichen Aufwand zurück. Damit solche Reaktorkonzepte die heutigen Kernkraftwerke ersetzen könnten, müssten sie jedoch innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte auf den Markt kommen. Ob dies auch nur für eines der Konzepte gelingen kann, ist angesichts des zurückhaltenden Forschungsaufwands und der vielen ungelösten technischen Probleme aus Sicht des Öko-Instituts mehr als fraglich.

Beispiel Hochtemperatur-Reaktor:

In Südafrika befand sich seit 1998 ein so genannter Hochtemperatur-Kugelhaufenreaktor in der Entwicklung. In diesem Reaktortyp wird der in Graphitkugeln eingebettete Brennstoff durch Heliumgas gekühlt. Grundsätzlich sollen damit sehr hohe Kühlmitteltemperaturen ($> 1.000^{\circ}\text{C}$) und damit auch ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden. Dieser ursprünglich in Deutschland entwickelte Reaktortyp sollte in Südafrika als Prototypreaktor errichtet werden.

Beim offiziellen Projektstart in 1998 sahen die Planungen vor, dass ein Prototyp im Jahr 2003 in Betrieb gehen sollte. Bei diesem sollte eine Turbine direkt vom Kühlmittel betrieben werden, um einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Bereits ab 2004 sollte der Reaktor kommerziell angeboten werden, wobei die Entwickler mit einer Nachfrage von bis zu zehn Anlagen pro Jahr rechneten. Nachdem im Jahr 2005 eine bereits positiv beschiedene Umweltverträglichkeitsprüfung, die eine Voraussetzung für den Bau des Reaktors darstellt, vor Gericht widerrufen wurde, sollte der Baustart nunmehr 2009 sein, die Inbetriebnahme 2012. Bereits bis 2006 stiegen die Kostenschätzungen des Projekts um etwa einen Faktor sieben an. Es zogen sich verschiedene Industriepartner aus der Finanzierung zurück, die südafrikanische Regierung beteiligte sich stattdessen am Projekt.

Noch im August 2008 schloss die Betreibergesellschaft Verträge ab und bestellte größere Bauteile für den Prototypreaktor. Im Februar 2009 stoppte die Gesellschaft die bereits abgeschlossenen Verträge jedoch wieder und verwies auf Finanzierungsschwierigkeiten. Anfang 2010 hat sich die Südafrikanische Regierung aus der Förderung des Kugelhaufenreaktors zurückgezogen, nachdem weder neue Investoren noch potenzielle Kunden gewonnen werden konnten. Die Betreibergesellschaft wurde quasi aufgelöst. Bis zu diesem Zeitpunkt waren etwa eine Milliarde Euro in das Projekt investiert worden.

Die Entwicklung grundlegend neuer Reaktorkonzepte, die entscheidende Vorteile gegenüber der heute genutzten Kerntechnik bieten, steht weltweit noch in einer sehr frühen Phase. Die konkreten Forschungsprogramme stoßen dabei immer wieder auf neue technische Hürden und wirtschaftliche Probleme. Zeitpläne müssen drastisch nach hinten korrigiert werden. Diese Konzepte werden daher aus Sicht des Öko-Instituts in den nächsten Jahrzehnten praktisch keine Rolle spielen.

Literatur

U. S. Department of Energy und Generation IV International Forum: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. März 2003.

Generation IV International Forum, www.gen-4.org

Nucleonics Week, diverse Jahrgänge.

7 Der Ausstieg aus dem Ausstieg – Aktuelle Situation der Kernenergie in Deutschland seit 2010

7.1 Laufzeitverlängerung für Kernkraftwerke

Im Oktober 2010 hat der Bundestag mit einer Novelle des Atomgesetzes Laufzeitverlängerungen für die deutschen Kernkraftwerke beschlossen. Danach dürfen alle 17 noch in Betrieb befindlichen deutschen Reaktoren zusätzliche große Mengen an Strom erzeugen. Gegen diese mit der Unterschrift des Bundespräsidenten im Dezember 2010 geltende Gesetzeslage haben sowohl einige Bundesländer als auch mehr als 200 Bundestagsabgeordnete im Februar 2011 Klage beim Bundesverfassungsgericht eingereicht. Seit den dramatischen Ereignissen im Reaktorkomplex Fukushima in Japan im März 2011 wird in Deutschland erneut die politische Option diskutiert, auf die Kernkraft zu verzichten. Für die sieben ältesten Kernkraftwerke (Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser und Philippsburg 1) hat die Bundesregierung am 14. März 2011 ein Moratorium zur vorübergehenden, dreimonatigen Außerbetriebnahme beschlossen. Der Ausgang der gesellschaftlichen Debatte ist zu diesem Zeitpunkt ungewiss. Es besteht damit jedoch heute Unsicherheit darüber, wie das Atomgesetz und der Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland tatsächlich gestaltet werden. Politische Entscheidungen sind im Verlauf des Jahres 2011 zu erwarten.

Bis dahin gilt formal das von der Bundesregierung im Herbst 2010 beschlossene neue Atomgesetz. Dieses soll im nachfolgenden Kapitel noch einmal zusammenfassend dargestellt werden. Die Atomgesetz-Novelle 2010 legt fest, dass die deutschen Kernkraftwerke eine zusätzliche Strommenge von insgesamt 1.804 Terawattstunden (Milliarden Kilowattstunden) produzieren dürfen. Damit erhöht sich die Reststrommenge, die ab dem 1. Januar 2011 noch verfügbar ist, von rund 981TWh nach altem Atomgesetz auf insgesamt 2.785 TWh. Das ist mehr als im bisherigen Atomgesetz als Reststrommenge ab dem Stichtag 01.01.2000 vereinbart wurde (2.623 TWh). Mit Beginn des Jahres 2011 stehen wir also vor einer größeren noch zu produzierenden Strommenge, als mit Beginn des Jahres 2000. Vergleicht man die historische Stromproduktion aus westdeutschen Kernkraftwerken seit 1969 bis Ende 2010 (4.313 TWh) mit der gesamten (historischen wie zukünftigen) Stromproduktion (7.098 TWh), so haben die Kernkraftwerke erst etwa 60 Prozent der Gesamt-Strommenge produziert. 40 Prozent stehen noch bevor.

Mit dem neuen Atomgesetz werden die Kernkraftwerke voraussichtlich deutlich später abgeschaltet, als nach bisheriger Gesetzeslage. Je nachdem, wie sich die erlaubte Strommenge auf die kommenden Jahre verteilt, können die ältesten sieben Reaktoren aus den 1970er Jahren im Durchschnitt zusätzliche acht Jahre am Netz bleiben. Für die zwölf Anlagen, die in den 1980er Jahren gebaut wurden, ergeben sich im Durchschnitt zusätzliche 14 Jahre Betriebszeit. Das letzte Kernkraftwerk würde demnach erst ungefähr im Jahr 2038 abgeschaltet, statt wie bisher um das Jahr 2023 bis 2027, wie die Abbildung 16 zeigt.

Anlage	Beginn des kommerziellen Leistungsbetriebs	Elektrizitätsmengen ab 1.1.2000 nach altem AtG 2002 ohne Laufzeitverlängerung (TWh netto)	Mit AtG-Novelle 2010 beschlossene zusätzliche Elektrizitätsmengen (TWh netto)	Mögliches Stilllegungsdatum nach Projektion des Öko-Instituts
Obrigheim	1.4.1969	8,70	-	
Stade	19.5.1972	23,18	-	
Biblis A	26.2.1975	62,00	68,617	2020
Neckarwestheim 1	1.12.1976	57,35	51,000	2020
Biblis B	31.1.1977	81,46	70,663	2021
Brunsbüttel	9.2.1977	47,67	41,038	2020
Isar 1	21.3.1979	78,35	54,984	2019
Unterweser	6.9.1979	117,98	79,104	2020
Philippsburg 1	26.3.1980	87,14	55,826	2021
Grafenrheinfeld	17.06.1982	150,03	135,617	2029
Krümmel	28.3.1984	158,22	124,161	2032
Gundremmingen B	19.7.1984	160,92	125,759	2031
Philippsburg 2	18.4.1985	198,61	146,956	2032
Grohnde	1.2.1985	200,90	150,442	2034
Gundremmingen C	18.1.1985	168,35	126,938	2032
Brokdorf	22.12.1986	217,88	146,347	2032
Isar 2	9.4.1988	231,21	144,704	2033
Emsland	20.6.1988	230,07	142,328	2038
Neckarwestheim 2	15.4.1989	236,04	139,793	2036
Summe		2.516,06	1.804,277	
Mülheim-Kärlich*		107,25		
Gesamtsumme		2.623,31	1.804,278	

Bild 16: Inbetriebnahmedaten und verbleibende Strommengen der Kernkraftwerke in Deutschland nach Atomgesetz (AtG) 2002/2010 und daraus resultierende mögliche Stilllegungsdaten nach Berechnungen des Öko-Instituts

Die Abbildungen 17 und 18 zeigen die voraussichtliche Stromerzeugung aus Kernkraftwerken ohne und mit Laufzeitverlängerung. Die Verteilung der festgelegten Strommengen auf die kommenden Jahre – und damit auch das Datum der Abschaltung – hängt auch davon ab, wie sich die erneuerbaren Energien entwickeln: Je häufiger Strom aus erneuerbaren Energien große Teile des Verbrauchs deckt, desto weniger werden die anderen Kraftwerke ausgelastet. Weniger Volllaststunden für die Kernkraftwerke pro Jahr führen dazu, dass sich ihre erlaubte Strommenge auf mehr Jahre verteilt und sie erst später abgeschaltet werden. In den hier gezeigten Berechnungen ist nur ein leichter Rückgang der Volllaststunden berücksichtigt (bis 2030 auf 90 Prozent des Wertes aus dem Jahr 2010). Mit niedrigerer Auslastung könnten sich die Stilllegungen der letzten Kernkraftwerke noch bis deutlich nach 2040 verschieben.

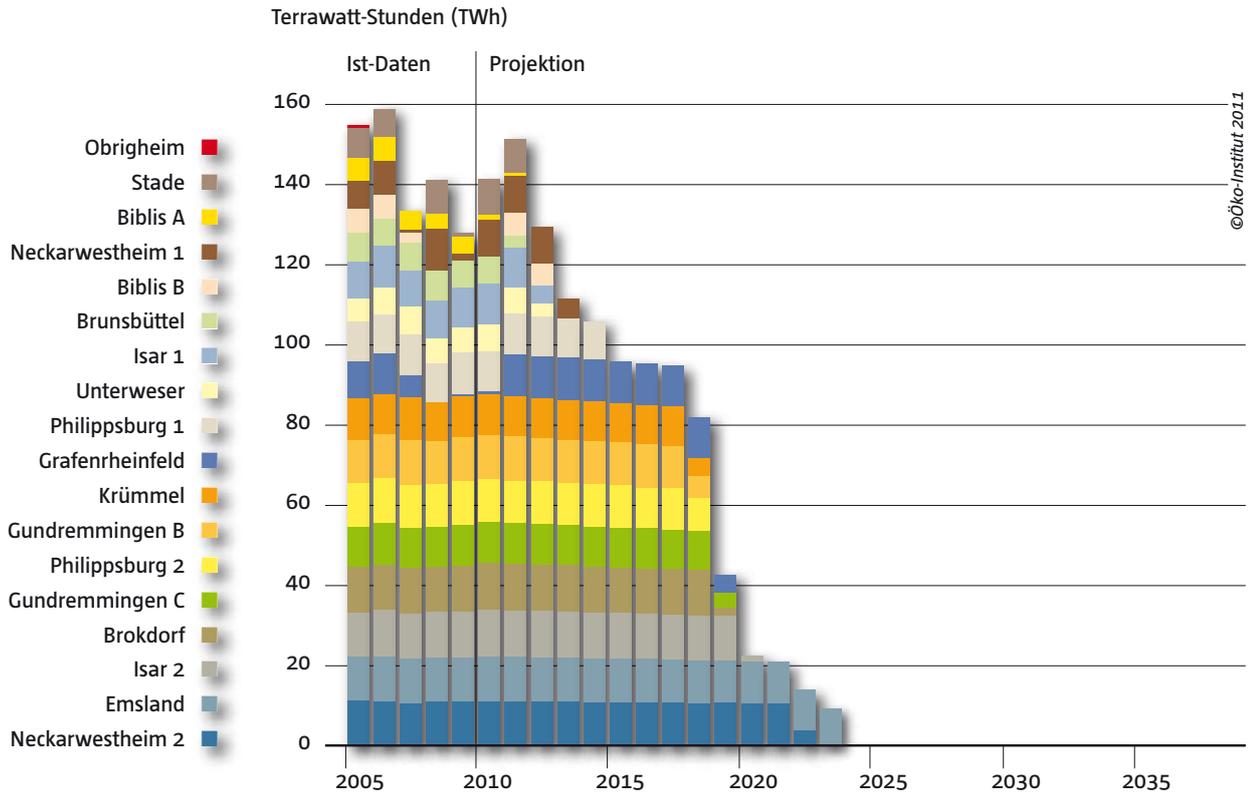


Bild 17: Nettostromerzeugung in deutschen KKW nach dem Auslaufmodell des AtG 2002 (ohne Laufzeitverlängerung)

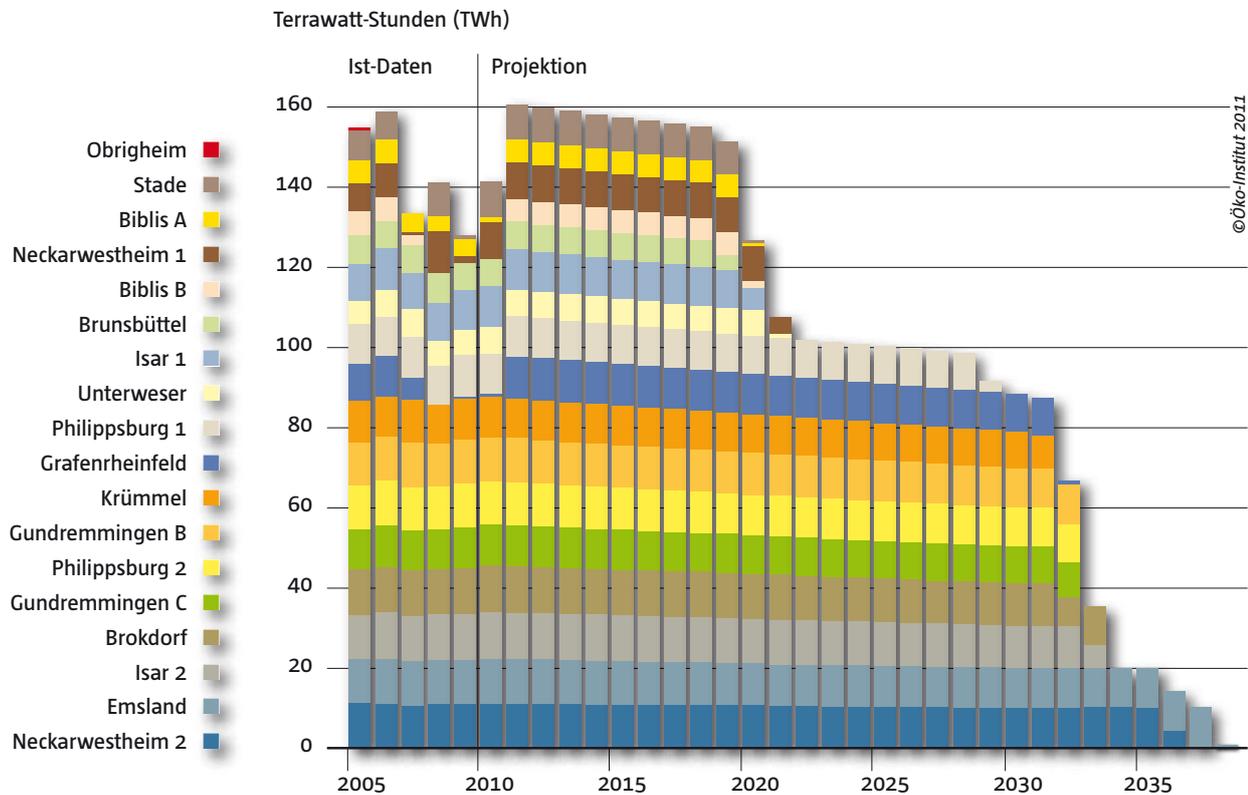


Bild 18: Nettostromerzeugung in deutschen KKW nach dem Auslaufmodell des AtG 2010 (mit beschlossener Laufzeitverlängerung)

Die Lebensdauer der Kernkraftwerke würde mit den hier angenommenen Abschalt-Daten für die einzelnen Anlagen zwischen 40 und 50 Jahren liegen und mit niedriger Auslastung noch höher. Demgegenüber sah der bisherige Ausstiegsfahrplan Lebensdauern von durchschnittlich etwa 34 Jahren vor.

Die geplanten Laufzeitverlängerungen lassen für die Nuklearstromerzeugung in Deutschland drei Etappen erkennen, bis das letzte Kernkraftwerk vom Netz geht:

- bis zum Jahr 2020 würde sich eine Stromerzeugung auf dem Niveau von ungefähr 150 bis 160 TWh jährlich einstellen;
- nach einem scharfen Abfall der Nuklearstromerzeugung würde sich für den Zeitraum 2021 bis 2031 ein Erzeugungsniveau von etwa 90 bis 100 TWh einstellen;
- ab 2032 würde die Stromerzeugung aus Kernkraftwerken relativ steil abfallen und etwa 2038 auslaufen.

Bei deutlich zurückgehender Auslastung der Kernkraftwerke könnten sich diese Phasen leicht nach hinten verschieben.

7.2

Klimapolitische und energiewirtschaftliche Bedeutung von Laufzeitverlängerungen

Stichwort Klimaschutz:

Der Ausstoß der CO₂-Emissionen der Stromerzeugung ist über den Emissionshandel europaweit begrenzt und wird ab 2013 jährlich reduziert. Diese festgelegte CO₂-Menge stellt nicht nur die Obergrenze der Emissionen dar, sondern faktisch zugleich die Untergrenze, da damit zu rechnen ist, dass die Anlagenbetreiber das erlaubte Emissionsbudget ausschöpfen werden. Ein längerer Betrieb der Kernkraftwerke spart deshalb insgesamt keine Emissionen ein, sondern verschiebt lediglich CO₂-Emissionen aus der deutschen Stromversorgung in andere Teile der europäischen Energiewirtschaft oder Industrie.

Das gleiche gilt umgekehrt: Wenn durch einen schnellen Ausstieg aus der Kernenergie die Auslastung von deutschen Kohle- und Gaskraftwerken steigt, sind damit dennoch europaweit keine höheren CO₂-Emissionen verbunden, da insgesamt nur so viele Treibhausgase emittiert werden dürfen, wie im Emissionshandel festgelegt ist.

Laufzeitverlängerungen behindern dagegen sogar den konsequenten Ausbau der erneuerbaren Energien, von Technologien zur Energieeffizienz oder Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS). Denn der Druck auf die Energieversorger, in den notwendigen Umbau des Energiesystems zu investieren, sinkt. Ein Festhalten an der Kernenergie erschwert den Umbau des Energiesystems und damit auch die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele bis 2050.

Stichwort Strompreise:

Der Einfluss der Laufzeitverlängerungen auf die Strompreise wäre vorraussichtlich vergleichsweise gering. Denn Strompreise bilden sich in Deutschland am Markt nach Angebot und Nachfrage. Den Preis setzt dabei das Kraftwerk, das die letzte benötigte Kilowattstunde Strom liefert. In Deutschland sind das meist Erdgas- und Steinkohlekraftwerke, die höhere Kosten für Brennstoffe und CO₂-Zertifikate haben. Betreiber von Kernkraftwerken mit vergleichsweise niedrigeren Brennstoffkosten verkaufen den Strom zum gleichen Marktpreis und verbuchen die Differenz als Gewinne.

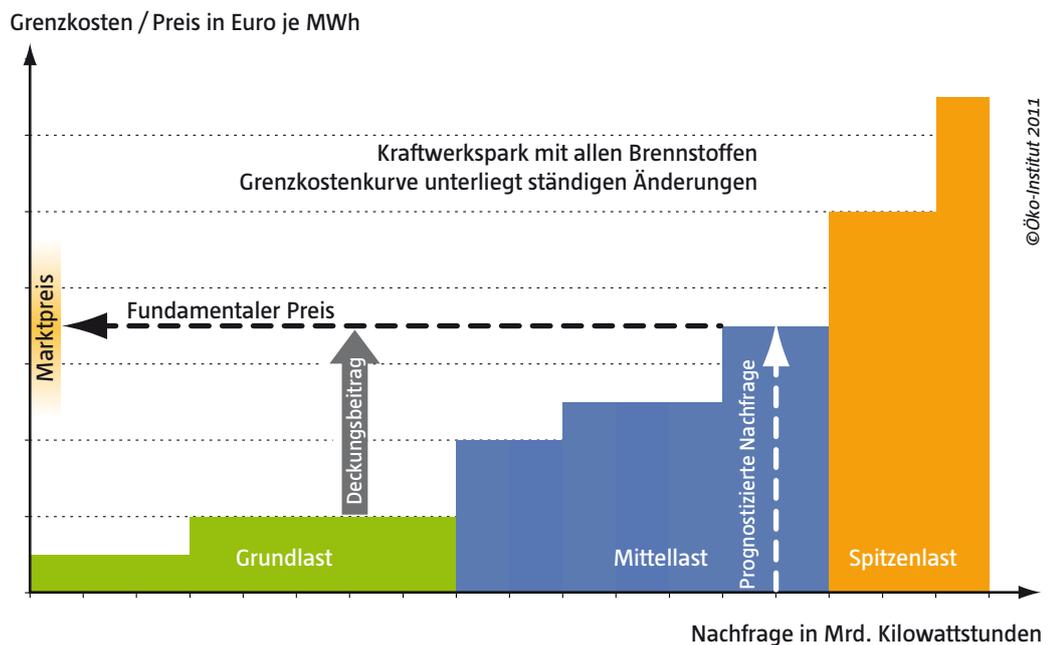


Bild 19: Prinzipdarstellung der Grenzkostenpreisbildung

Der Vergleich mit Frankreich mit einem Anteil an 85 Prozent Kernenergie im Strommix zeigt: Auch dort sind die Strompreise am Großhandelsmarkt ähnlich hoch wie in Deutschland mit einem Anteil von 23 Prozent Kernenergie.

Eine empirische Analyse der Strompreiseffekte, die nach der Ankündigung des Moratoriums Mitte März 2011 zu beobachten waren, bestätigt die Einschätzung, dass sich der Einsatz der Kernkraftwerke auf den Strompreis nur mäßig auswirkt: Nach der Bekanntgabe der vorübergehenden Abschaltung der sieben ältesten Kernkraftwerke stiegen die Preise am 15. März 2011 für langfristige Lieferkontrakte für das Jahr 2012 um ca. 0,5 ct/kWh an, begannen jedoch zwei Tage später wieder zu sinken.

Bleibt es bei der Laufzeitverlängerung, könnten durch die damit einhergehenden Unsicherheiten und Risikozuschlägen bei Investitionen langfristig sogar Strompreis treibende Effekte entstehen.

*Hohe Zusatzgewinne
für Betreiber von
Kernkraftwerken*

Laufzeitverlängerungen würden den Betreibern von Kernkraftwerken zu zusätzlichen Gewinnen verhelfen, die sich vor allem aus zwei Quellen speisen:

- Mit der Laufzeitverlängerung kann die Differenz zwischen Marktpreis und Betriebskosten als Netto-Ertrag (Vorsteuergewinn) verbucht werden. Bei einem Strompreisniveau von ca. 53 Euro pro Megawattstunde (MWh) und Betriebskosten von 17 Euro/MWh ergibt sich ein Ertrag von 36 Euro/MWh. Bei einem großen Kernkraftwerksblock mit einer Leistung 1.250 MW kann sein Betreiber einen (Vorsteuer-) Gewinn von etwa einer Million Euro pro Kalendertag erzielen, bei steigenden Strompreisen entsprechend mehr.
- Die Kernkraftwerksbetreiber müssen für den Abriss und die Entsorgung der Kernkraftwerke Rückstellungen bilden. Diese Rückstellungen müssen bis zum 25. Jahr nach Inbetriebnahme angesammelt werden, verbleiben in den Bilanzen der Betreiber und können zur Erwirtschaftung von Finanzerträgen genutzt werden. Bei Laufzeitverlängerungen können diese Rückstellung über einen verlängerten Zeitraum zur Erwirtschaftung von Finanzerträgen herangezogen werden, die dann wiederum die Gewinne der Betreiberunternehmen vergrößern.

Wir haben nachgerechnet: Je nach Entwicklung der Strompreise entstehen damit für die deutschen Kernkraftwerksbetreiber bis zum Jahr 2038 Zusatzerträge von 78,8 Milliarden Euro bei real konstanten Strompreisen bzw. 115,4 Milliarden Euro bei moderat steigenden Strompreisen.

Ein in der öffentlichen Diskussion um die Laufzeitverlängerungen wichtiger Punkt war die mögliche Abschöpfung dieser Zusatzgewinne durch den deutschen Staat und die mögliche Verwendung dieses Geldes für Klimaschutzmaßnahmen. Die Abschöpfung der Gewinne setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen: einer Kernbrennstoffsteuer, freiwilligen Vorabzahlungen für die Jahre 2011 bis 2016 sowie sogenannten Gewinnausgleichszahlungen, ebenfalls auf freiwilliger Basis ab 2017. Zusätzlich unterliegen die anfallenden Gewinne der Ertragsbesteuerung. Insgesamt kann der Staat je nach Strompreisentwicklung und bei Ansatz eines Ertragsteuersatzes von 25 Prozent zwischen 47 Prozent (real konstante Strompreise) und 44 Prozent (moderat steigende Strompreise) der Zusatzerträge abschöpfen. In realen Preisen von 2010 bedeutet dies für den Zeitraum 2011 bis 2038 etwa 37 bis 51 Milliarden Euro, die den Kernkraftwerksbetreibern entzogen werden können.

Von diesen Einnahmen werden nach Willen der Bundesregierung jedoch nur 13 bzw. 15 Prozentpunkte in den so genannten Energie- und Klimaschutzfonds eingezahlt. Der größte Teil der abgeschöpften Mittel fließt in die allgemeinen Haushalte von Bund, Ländern und Kommunen.

In diesem Zusammenhang ist auch die zeitliche Planung der Mittelflüsse in den Energie- und Klimaschutzfonds von Bedeutung: Nur rund 20 bis 30 Prozent der Gewinnabführungen für diesen Fonds würden im Zeitraum bis 2020 erfolgen. Etwa 55 bis 60 Prozent würden in der Dekade nach 2020 eingezahlt und weitere 15 bis 20 Prozent wären erst nach 2030 verfügbar. Aber: Ein effizienter Umbau des Energiesystems muss in den kommenden Jahren voran getrieben werden. Dazu gehören wichtige Infrastrukturmaßnahmen wie der Ausbau der Stromnetze und der erneuerbaren Energien. Dazu können die Zahlungen der Kernkraftwerksbetreiber über den Fonds nach jetzigen Planungen der Politik nur in sehr engen Grenzen beitragen.

*Geringe Mittel für
den Energie- und
Klimaschutzfonds*

Die wesentliche Finanzierungsquelle des Fonds ab 2013 sind Erträge aus der Versteigerung von CO₂-Zertifikaten im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems. Diese werden in der nächsten Dekade über 80 Prozent der Einnahmen des Fonds stellen. Bei perspektivisch steigenden CO₂-Preisen kann sich dieser Anteil nochmals erheblich vergrößern. Bei der Verlängerung der Laufzeiten für Kernkraftwerke steht jedoch künftig im Strommix mehr CO₂-armer Strom zur Verfügung. Wenn damit Strom aus fossilen Quellen verdrängt wird, fallen die Preise der CO₂-Zertifikate und die Einnahmen des Klimaschutzfonds verringern sich.

Unterstellt man die im Gutachten zum Energiekonzept der Bundesregierung angenommenen – und hoch strittigen – CO₂-Preiseffekte von ca. fünf Euro / Emissionszertifikat, so ergeben sich jährliche Mindereinnahmen von etwa 980 Millionen Euro für die Erlöse aus den Versteigerungen. Verglichen mit den oben dargestellten Einnahmen aus der Gewinnabschöpfung der Kraftwerksbetreiber (in der Spitze 740 Millionen Euro für die nächste Dekade) müsste der Klimaschutzfonds durch diesen Mechanismus netto sogar mit weniger Einnahmen rechnen. Wird mit realistischeren CO₂-Preiseffekten aus Laufzeitverlängerungen für die deutschen Kernkraftwerke gerechnet, so ergeben sich Mindereinnahmen von etwa 290 Millionen Euro. Diese würden die Förderbeiträge der Betreiber gegen Ende der Dekade immerhin zu etwa 40 Prozent aufzehren.

Für die Finanzierung von Energieeffizienz, Infrastruktur, Forschung und anderen Klimaschutzmaßnahmen werden also im Energie- und Klimaschutzfonds die wesentlichen Mittel aus den Versteigerungen des EU-Emissionshandelssystems bereitgestellt. Die Gewinnabführungen aus den Laufzeitverlängerungen repräsentieren dagegen nur einen vergleichsweise geringen Beitrag zum Finanzaufkommen für den Klimaschutzfonds. Darüber hinaus können Laufzeitverlängerungen auf die Einkünfte des Fonds sogar kontraproduktiv wirken.

Fazit: Klimaschutzziele lassen sich ohne Kernenergie erreichen

Insgesamt gibt es viele Möglichkeiten, um die deutschen, aber auch die europäischen und weltweiten Klimaschutzziele zu erreichen. Dazu gehören umfangreiche Vorschläge, um Energie zu sparen. Aber auch der Ausbau erneuerbarer Energien sowohl für die Stromerzeugung als auch im Wärme- und Kältebereich und im Transport zählt dazu. Neue Technologien, wie die CO₂-Abtrennung und Speicherung, könnten fossile Brennstoffe für bestimmte Industriezweige klimaverträglicher machen. Zudem sollten kohlenstoffintensive Energieträger wie Kohle und Öl durch weniger CO₂-intensive wie Erdgas ersetzt werden. Ebenso gehören Vorschläge aus anderen Emissionsbereichen wie der Landnutzung und Entwaldung dazu. Aus Sicht des Öko-Instituts lassen sich die Klimaschutzziele selbst dann erreichen, wenn alle Staaten weltweit auf die Kernenergie verzichten.

Um das Klima zu schützen, braucht die Welt jedoch mehr als nur einen klaren politischen Willen: Alle Staaten müssen sich gemeinsam bemühen, das Energiesystem umzubauen und die gesetzten Ziele auch zu erreichen. Darauf sollte aus Sicht des Öko-Instituts der Fokus liegen, anstatt weiterhin den Ausstieg aus der Kernenergie zu verzögern.

Literatur

BfS 2011: http://www.bfs.de/de/kerntechnik/Strommenge_1210.pdf

Prognos, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI), Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologien. Basel, Köln, Osnabrück, 27. August 2010.

Matthes, F. Chr. et al (2011): Schneller Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland. Kurzfristige Ersatzoptionen, Strom- und CO₂-Preiseffekte. Kurzanalyse für die Umweltstiftung WWF Deutschland, Öko-Institut, Berlin, März 2011. <http://www.oeko.de/oekodoc/1121/2011-008-de.pdf>

Matthes, F. Chr. (2010a): Erste Auswertungen der „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“. Kurzanalyse für WWF Deutschland, Öko-Institut, Berlin, 2. September 2010. <http://oeko.de/oekodoc/1064/2010-110-de.pdf>

Matthes, F. Chr. (2010b): Erste Auswertung des am 5. September 2010 ausgehandelten Modells für die Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke. Kurzanalyse für WWF Deutschland, Öko-Institut, Berlin, 6. September 2010. <http://oeko.de/oekodoc/1065/2010-111-de.pdf>

Matthes, F. Chr. (2010c): Auswertungsaktualisierung des am 5. September 2010 ausgehandelten Modells für die Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke. Öko-Institut, Berlin, 9. September 2010. <http://oeko.de/oekodoc/1066/2010-112-de.pdf>

Matthes, F. Chr. (2010d): Kernbrennstoffsteuergesetz und Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“. Stellungnahme zur Anhörung des Haushaltsausschusses des 17. Deutschen Bundestages am 14. Oktober 2010, Öko-Institut, Berlin, 12. Oktober 2010. <http://oeko.de/oekodoc/1073/2010-118-de.pdf>

Öko-Institut 2010: Hintergrundpapier zur Laufzeitverlängerung, Stand Oktober 2010. <http://www.oeko.de/oekodoc/1074/2010-119-de.pdf>

Impressum

Herausgeber

Öko-Institut e. V.

2. Auflage: April 2011

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71

79017 Freiburg

Telefon 0761/452 95-0

Fax: 0761/452 95-88

E-Mail: info@oeko.de

www.oeko.de

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt

Telefon 06151/81 91-0

Fax 06151/81 91-33

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7

10179 Berlin

Telefon 030/40 50 85-0

Fax 030/40 50 85-388

Förderung

Stiftung Zukunftserbe, www.zukunftserbe.de

AutorInnen

Stefan Alt

Beate Kallenbach-Herbert

Stephan Kurth

Charlotte Loreck

Julia Neles

Dr. Christoph Pistner

Gerd Schmidt (alle Öko-Institut e. V.)

Redaktion

Christiane Rathmann, Aktualisierung: Mandy Schoßig, Öko-Institut e. V.

Grafik/Layout

3f design, Darmstadt, www.3fdesign.de

Druck

schwarz auf weiss litho und druck GmbH, Freiburg, www.sawdruck.de

Foto

photocase.com©kallejipp

Öko-Institut e. V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Telefon 0761/452 95-0
Fax: 0761/452 95-88,
E-Mail: info@oeko.de

www.oeko.de

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Telefon 06151/81 91-0
Fax 06151/81 91-33

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin

Telefon 030/40 50 85-0
Fax 030/40 50 85-388