



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Den Umbau des Energiesystems risikoarm und richtungssicher voranbringen

**Einschätzungen des Wuppertal Instituts
nach dem Reaktorunfall in Japan**

Wuppertal, 18. März 2011
(2., leicht überarbeitete Fassung vom 22.3.2011)

Bearbeiter:

Prof. Dr. Manfred Fishedick (Ansprechpartner)
Dr. Stefan Lechtenböhmer
Dr. Stefan Thomas

Thesenpapier

Der Reaktorunfall im japanischen Fukushima am 11. März 2011 hat das mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie verbundene Risikopotenzial drastisch deutlich gemacht. Die Diskussion um die Energieversorgung der Zukunft steht damit wieder ganz oben auf der politischen Tagesordnung. Aktuell wird sie in Deutschland durch die Frage bestimmt, ob, wie und bis wann die 17 deutschen Kernkraftwerke oder zumindest ein Teil von ihnen dauerhaft vom Netz genommen werden können, ohne dass gleichzeitig die Versorgungssicherheit gefährdet ist. Dieses Thesenpapier soll einen Beitrag für die diesbezügliche Diskussion leisten und stellt dabei zugleich die Notwendigkeit eines Ausstiegs aus der Kernenergie in den Kontext der darüber hinausgehenden Transformationsanforderungen an das Energiesystem der Zukunft.

Das Impulspapier lässt sich in folgenden Aussagen zusammenfassen:

- Der Atomunfall in Japan führt zu einer Neubewertung der Risiken der Kernenergie. Das macht eine Neuorientierung der Energieversorgung und der entsprechenden Umbaupläne notwendig. Risikominimierung ist dabei eine der zentralen Herausforderungen. Trotz des akuten Handlungsdrucks bei der Kernenergie besteht die Aufgabe in der Entwicklung und Umsetzung eines integrierten Konzeptes, das auch andere – langfristige, aber deshalb nicht weniger schwere Risiken mit einbezieht. Nur so können Partialoptimierungen mit der Gefahr struktureller Fehlfestlegungen vermieden werden.
- Klimaschutz ist im Verbund mit der Risikominimierung die größte Gestaltungsaufgabe für die Energieversorgung der Zukunft. Adäquate Klimaschutzziele können dabei auch ohne Kernenergie erreicht werden.
- Ein gegenüber den bisherigen Planungen schnellerer Kernenergieausstieg bedeutet im Wesentlichen nur ein Vorziehen von Maßnahmen, die aus Klimaschutzgründen ohnehin notwendig sind.
- Während auf die Hälfte der Kernkraftwerksleistung nahezu sofort verzichtet werden kann, ist ein vollständiger Ersatz der gesamten Kernkraftwerksleistung vermutlich in einem Zeitraum von fünf bis zehn Jahren möglich, ohne dass die Klimaschutzziele verfehlt werden, die Stromkosten deutlich steigen und es zu Versorgungsengpässen kommt.
- Ein richtungssicheres Element für den Ersatz des Kernenergiebeitrags ist neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien auf jeden Fall die Stromeinsparung durch effizientere Technik. Sie könnte vom Potenzial her allein innerhalb von zehn Jahren die gegenwärtige Stromerzeugung durch Kernkraftwerke in Deutschland nahezu überflüssig machen und sollte daher nun rasch und entschieden angegangen werden.
- Der Umbau der Energieversorgung ist kein Selbstläufer, sondern stellt die Branche, aber auch die Gesellschaft insgesamt, vor große Herausforderungen.
- Ein umfassender gesellschaftspolitischer Diskurs über die Eckpunkte der Energieversorgung der Zukunft ist der zentrale Schlüssel für den bevorstehenden Transformationsprozess.
- Der sich in der Atomfrage abzeichnende gesellschaftliche Konsens, mit den Risiken unserer Energieversorgung verantwortlicher umzugehen sollte positiv genutzt wer-

den, um die großen Herausforderungen der bevorstehenden Transformation erfolgreich zu bewältigen.

- Die Entwicklung einer konsistenten Strategie statt Aktionismus ist das Gebot der Stunde: Kurz-, mittel- und langfristiges Handeln ist aufeinander abzustimmen und ein entsprechendes Stufenkonzept ist zu entwickeln

Der Atomunfall in Japan führt zu einer Neubewertung der Risiken der Kernenergie. Das macht eine Neuorientierung der Energieversorgung und der entsprechenden Umbaupläne notwendig. Risikominimierung ist dabei eine der zentralen Herausforderungen. Trotz des akuten Handlungsdrucks bei der Kernenergie besteht die Aufgabe in der Entwicklung und Umsetzung eines integrierten Konzeptes, das auch andere – langfristige, aber deshalb nicht weniger schwere Risiken mit einbezieht. Nur so können Partialoptimierungen mit der Gefahr struktureller Fehlfestlegungen vermeiden werden.

Die Energieversorgung steht nicht allein aufgrund der Folgen des Reaktorunfalls in Japan heute wohl vor ihrer bisher größten Umgestaltungsaufgabe. Dies gilt zusätzlich aufgrund der aus Klimaschutzgesichtspunkten abzuleitenden Notwendigkeit einer weitgehenden Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen. Aus Sicht der Klimawissenschaft ist es für Industrieländer wie Deutschland bis zur Mitte des Jahrhunderts notwendig, die Treibhausgasemissionen um 95 % gegenüber dem Jahr 1990 zurückzuführen. Selbst wenn man von der 80%-Minderungsvorgabe aus dem Energiekonzept der Bundesregierung ausgeht, ist dies nur mit einem sukzessiven und nachhaltigen Umbau des Energieversorgungssystems zu erreichen. Hierzu müssen alle Sektoren gleichermaßen beitragen. Dies macht die im Februar veröffentlichte „A roadmap for moving to a low carbon economy in 2050“¹ der EU Kommission unmissverständlich klar (vgl. Tabelle 1). Die Kommission stellt zudem klar, dass der erforderliche Transitionsprozess zu einer „low carbon economy“ maßgeblich auf der Basis von heimischen Maßnahmen zu erfolgen hat (EU should prepare for reductions in its *domestic* emissions by 80% by 2050 compared to 1990).

Zur Entwicklung der „roadmap“ sind umfangreiche Modellrechnungen durchgeführt worden, die unter anderem die notwendigen sektoralen Minderungsbeiträge erfassen (vgl. Tabelle 1). Danach sind in allen Sektoren maßgebliche Minderungen notwendig, überproportionale Beiträge werden gg. 1990 dabei vom Bereich der Stromerzeugung und leicht unterproportionale Beiträge vom Transportsektor erwartet, dessen Emissionen allerdings von 1990 bis heute angestiegen sind. Die Heraushebung der Stromerzeugung als zentralem Sektor für die Erreichung der Klimaschutzziele unterstreicht die Herausforderung der Umgestaltungsanforderungen an die Energieversorgung. Dies gilt erst recht dann, wenn der Minderungsbeitrag mit einem geringeren Anteil der Kernenergie erreicht werden soll.

¹ European Commission: A roadmap for moving to a low carbon economy in 2050 COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL, THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Brussels, 2011

Tabelle 1: Sektorale Treibhausgasminderungserfordernisse gemäß der EU Low Carbon Economy Roadmap

GHG Reduktion im Vergleich zu 1990	2005	2030	2050
Gesamt	-7%	-40 bis -44%	-79 bis -82%
Sektoren			
Stromerzeugung (CO ₂)	-7%	-54 bis -68%	-93 bis -99%
Industrie (CO ₂)	-20%	-34 bis -40%	-83 bis -87%
Transport (inkl. CO ₂ Flugverkehr, exkl. Schifffahrt)	+30%	+20 bis -9%	-54 bis -67%
<i>Straßen- und Schienenverkehr</i>	+25%	+8 bis -17%	-61 bis -74%
Haushalte und GHD (CO ₂)	-12%	-37 bis -53%	-88 bis -91%
Landwirtschaft (Non-CO ₂)	-20%	-36 bis -37%	-42 bis -49%
Andere Nicht-CO ₂ Emissionen	-30%	-72 bis -73%	-70 bis -78%

Klimaschutz und Risikominimierung sind aus heutiger Sicht zwar die wichtigsten, aber bei weitem nicht die einzigen Herausforderungen für die Energieversorgung der Zukunft. Bei den Entscheidungen über die künftigen Strukturen sind zusätzliche ökologische Gesichtspunkte ebenso zu berücksichtigen wie ökonomische und soziale Aspekte. Aus ökologischer Sicht ist dabei eine problemübergreifende Sichtweise notwendig. Die zukünftigen Energiesysteme müssen versorgungssicher sein, dürfen die Wettbewerbsfähigkeit der gewerblichen und industriellen Verbraucher nicht gefährden und auch einkommensschwache Haushalte nicht überfordern. Vor dem Hintergrund der Geschehnisse in Japan rücken zudem Anforderungen nach einer Minimierung der Systemverletzlichkeit in den Vordergrund, dies schließt die technischen Strukturen selber ein aber auch mögliche Angriffe von Außen (z.B. Sabotage, Terroranschläge). Zudem zeigt sich, dass die Energiesysteme der Zukunft anpassungsfähig an sich verändernde Rahmenbedingungen (z.B. demographische Faktoren) sein müssen und vor allem fehlertolerant. Zu vermeiden sind zu starke Abhängigkeiten von einzelnen Energieträgern, die das gesamte System ins Wanken bringen, wenn ihr weiterer Einsatz nicht mehr möglich ist oder eine schnelle Rückführung des Versorgungsanteils notwendig wird.

Im Rahmen der Umgestaltung der Energieversorgung müssen bei der Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen unerwünschte Nebeneffekte (z.B. Verwendung kritischer Ressourcen, Problemverlagerungen ins Ausland) weitgehend vermieden und Synergieeffekte (z.B. durch die Verbindung einer Klimaschutz- mit einer Ressourceneffizienzstrategie) möglichst ausgeschöpft werden. Dies erhöht nicht nur die Umsetzungschancen, weil potenzielle Widerstände bereits vorweggenommen werden, sondern führt auch ökonomisch betrachtet zu einer effizienteren Lösung, indem positive Begleiteffekte erzeugt werden. Notwendig ist daher eine integrierte, ganzheitliche Perspektive und kein Streben nach Partiallösungen.

Der mit den geschilderten Herausforderungen verbundene Transitionsprozess erfordert eine umsichtige Planung und muss auf robusten Strategieelementen basieren, die sich bei allen Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung aus heutiger Sicht als richtungssicher erweisen.

Jetzige Entscheidungen dürfen den Umbaupfad nicht gefährden und müssen bereits so getroffen werden, dass zukünftige Systemanforderungen antizipiert werden, zugleich aber Anpassungsmöglichkeiten bestehen bleiben. **Maßnahmen, die jetzt kurzfristig für den Ersatz von Kernkraftwerksleistung ergriffen werden, müssen so gewählt werden, dass sie eingebunden sind in eine in sich konsistente Mittel- und Langfriststrategie.**

Klimaschutz ist im Verbund mit der Risikominimierung die größte Gestaltungsaufgabe für die Energieversorgung der Zukunft. Adäquate Klimaschutzziele können dabei auch ohne Kernenergie erreicht werden.

Zahlreiche aktuelle Energieszenarien für Deutschland zeigen, dass die Erreichung der notwendigen Treibhausgasminderungsziele nicht von einer Verlängerung der Laufzeit der Kernkraftwerke abhängt. Der Schlüssel für den Klimaschutz liegt national wie international beim Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien und einer möglichst raschen und vollständigen Ausschöpfung der Energieeinsparpotenziale. Eine Strategie, die beides kombiniert, schafft die Möglichkeit, die Energieversorgung des Landes auf Dauer sicher und risikoarm abzudecken. Für den Klimaschutz gibt es innerhalb der Schlüsselstrategien Erneuerbare Energien und Energieeffizienz kein Königsinstrument. Hier ist die Anwendung zahlreicher und sehr unterschiedlicher Technologien notwendig, vom energieeffizienten Kühlschrank über energiesparende Antriebssysteme in der Industrie bis hin zu solaren Nahwärmelösungen. Notwendig ist auch die Stimulierung von Dienstleistungen und intelligenten Systemen, die die Energienachfrage senken.

Die meisten Szenarien gehen dabei von dem bis Herbst 2010 gültigen Kernenergieausstiegskonsens aus oder unterstellen sogar eine darüber hinausgehende Laufzeitverlängerung wie die im August 2010 für die Bundesregierung erstellten Energieszenarien. Mit Blick auf die Mitte des Jahrhunderts zeigen die Ergebnisse der Szenariorechnungen bei allen Unterschieden in den Annahmen und Rahmenbedingungen aber ein verhältnismäßig einheitliches Bild mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien (insbesondere an der Stromerzeugung) und einer hohen Rate für die jährliche Steigerung der Energieeffizienz. Die Unterschiede in den Szenarien manifestieren sich daher vor allem in der Frage der Ausgestaltung des Weges dahin, der Ausgestaltung des Transformationspfades.

Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Ergebnisse aktueller Energieszenarien für Deutschland (eigene Zusammenstellung)

Betrachtete Szenarien	Schlüsselindikatoren für 2050					
	-----Allg. Indikatoren -----			-----Stromerzeugung ^a -----		
	Energiebedingte CO ₂ Emissionen (vs. 1990) ^b	Durchschn. jährliche Effizienzsteigerung (2010-2050) ^c	Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergiebedarf ^d	Anteil erneuerbarer Energien ^e	Anteil Kernenergie	Anteil fossiler Kraftwerke mit CCS
Leitszenario (Nitsch et al. 2009)	- 80%	2.2%	50%	85%	0	0
Innovationsszenario ohne CCS (prognos, Ökoinstitut 2009)	- 91%	2.8%	76%	97%	0	0
Innovationszenario mit CCS (prognos, Ökoinstitut 2009)	- 90%	2.8%	59%	73%	0	22%
Plan B (Greenpeace 2009)	- 92%	k.A.	90%	100%	0	0
Szenario 3 (FfE2009)	- 68%	2.4%	36%	~ 50%	~ 12%	~ 3%
Energieszenarien Bundesregierung (prognos, ewi, gws 2010) ^f	- 85 %	~ 2.2%	~ 50%	77 – 81%	0 – 2.6%	8 – 9%

Anmerkungen: a: Keine Berücksichtigung von sekundärer Stromerzeugung (d.h. Stromerzeugung von Speicherkraftwerken). b: Alle CO₂ Reduktionen werden heimisch erreicht, damit innerhalb von Deutschland und ohne Zukauf von Emissionsrechten c: Energieeffizienz ist hier definiert als BIP pro Einheit Endenergienachfrage. d: Die Anteile erneuerbarer Energien sind nach der gebräuchlichen Methode des *physical energy content* bilanziert. e: Anteil enthält Stromimporte aus erneuerbaren Energien in einigen Szenarien. Zusätzlich sind (allein bezogen auf die Stromerzeugung) Szenarioanalysen kürzlich veröffentlicht worden (SRU 2010, UBA 2010), die eine vollständige Deckung des Strombedarfs in Deutschland auf der Basis erneuerbarer Energien beschreiben. f: Die Studie enthält acht Zielszenarien mit unterschiedlichen Annahmen über die Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke, die aufgeführten Zahlen geben die Bandbreite der Ergebnisse wieder.

Vom Ende her gedacht bedeutet dies, dass die Laufzeit der Kernkraftwerke für den Klimaschutz in Deutschland eher von untergeordneter Bedeutung ist und vielmehr die Frage der Umsetzbarkeit von Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienzsteigerung und Ausbau erneuerbarer Energien in den Mittelpunkt zu rücken ist. Anders ausgedrückt:

Ein adäquater Beitrag zum Klimaschutz kann auch ohne die Kernenergie in Deutschland erreicht werden. Ein schnellerer Kernenergieausstieg als es in dem bis Herbst 2010 geltenden Konsens vereinbart war, bedeutet daher primär ein Vorziehen mittel- bis langfristig ohnehin notwendiger Maßnahmen.

Analysiert man die vorliegenden Klimaschutzszenarien, lassen sich im Verbund mit eigenen Erkenntnissen des Wuppertal Instituts folgende robuste Aussagen ableiten:

- Eine deutliche Energieeffizienzsteigerung auf der Nachfrageseite (auch im Bereich der Stromnachfrage) ist in allen Szenarien von zentraler Bedeutung, nicht zuletzt we-

gen der hohen auch wirtschaftlich hochlukrativen Potenziale. Gegenüber heute erscheint dabei eine Halbierung des Energieverbrauchs möglich. Das senkt auch die Kosten für den Klimaschutz.

- Eine reine Fokussierung auf die Energieeffizienzsteigerung greift gleichwohl zu kurz. Zielführender ist ein ganzheitlicher Ansatz, der die Möglichkeiten einer gekoppelten Energie- und Ressourceneffizienzstrategie systematisch analysiert und ausschöpft. Durch eine Verringerung des stofflichen Ressourceneinsatzes (z.B. Erhöhung der Recyclingquoten, Verringerung von Materialverschnitt durch Optimierung der Produktionsstrukturen, Wiederverwendung von Ressourcen aus dem Bestand im Sinne des „urban minings“) kann häufig direkt Energie eingespart werden. Neue ressourcenleichte Produkte (z.B. Leichtbaumaterialien als Ersatzprodukte für herkömmlichen Stahl, neue kalkbasierte Bindemittel als Ersatz für herkömmlichen Zement²) können ebenfalls signifikante Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz leisten.
- Alle langfristigen Klimaschutzstrategien setzen auf einen forcierten Ausbau der erneuerbaren Energien. Eine wichtige Vorreiterrolle spielt dabei die Stromerzeugung. Hier erscheinen Anteile von mindestens 40% in 2020³ und mehr als 85% im Jahr 2050 notwendig. Insbesondere die damit verbundenen Aufgaben der Systemintegration erfordern eine politische Flankierung, die über die bisherigen Regelungen im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) hinausgehen.
- Neben der Regelung und Zwischenspeicherung der fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energien ist die Anpassung und Weiterentwicklung der Netzstrukturen (Strom, Nah- und Fernwärme, Gas) eine zentrale Voraussetzung auf dem Weg in eine 100%ige regenerative Energieversorgung und erfordert höchste politische Beachtung.
- Konventionelle Kraftwerke, die heute noch den Eckpfeiler der Stromversorgung darstellen, verlieren sukzessive an Bedeutung. Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften (Regelfähigkeit) eignen sich insbesondere Erdgaskraftwerke zur Flankierung des Ausbaus erneuerbarer Energien. Neben zentralen Gaskraftwerken kommen dafür insbesondere auch dezentrale KWK-Anlagen in Betracht.
- Durch den starken Ausbau der erneuerbaren Energien, vor allem der fluktuierend in das Stromnetz einspeisenden Wind- und Solaranlagen, stellen sich an den Kraftwerkspark zukünftig ganz andere Laständerungsanforderungen als bisher, auch die An- und Abfahrhäufigkeit wird deutlich zunehmen. Die tradierten Grund-, Mittel- und Spitzenlasterzeugungsstrukturen werden heute schon zunehmend aufgeweicht und perspektivisch ganz verschwinden. Erdgaskraftwerke sind hingegen deutlich flexibler zu betreiben als Stein- und Braunkohlekraftwerke und insbesondere hinsichtlich des An- und Abfahrverhaltens auch als Kernkraftwerke. Zudem weisen sie nur etwa halb so große Kapitalkosten auf wie die fossilen Alternativen. Erdgas kann zudem in Form

² Bei der Herstellung von Alternativprodukten wie sie beispielsweise beim Karlsruher Institut für Technologie entwickelt werden sind nur noch Temperaturen unter 300 °C notwendig – im Vergleich zu den etwa 1450 °C bei der klassischen Zementherstellung.

³ Zum Vergleich: Während das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) einen Anteil von 30% für das Jahr 2020 gesetzlich vorschreibt, geht der aktuelle Nationale Aktionsplan der Bundesregierung für 2020 bereits von Anteilen in der Höhe von 38,6 % aus.

von kleinen, dezentralen KWK-Anlagen eingesetzt werden, die mit Hilfe eines Wärmespeichers zusätzliche Regelungsaufgaben übernehmen können. Die bestehende Erdgasinfrastruktur kann zudem als Stromspeicher genutzt werden, etwa wenn überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien in Wasserstoff umgewandelt und in die Erdgasnetze eingespeist wird.

- Kohlekraftwerke ohne Kohlenstoffabscheidung (CCS: Carbon Capture and Storage) sind langfristig nicht kompatibel mit ambitionierten Klimaschutzzielen. Mit Kohlenstoffabscheidung sind Kohlekraftwerke allerdings sehr fixkostenintensiv und weisen für die Ausregelung der fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energien deutliche Schwächen auf. Zudem fehlt bisher eine gesellschaftliche Akzeptanz für die Speicherung von CO₂.
- Wenngleich die vorliegenden Szenariobetrachtungen implizieren, dass ambitionierte Klimaschutzziele auch ohne eine Abtrennung und Lagerung von CO₂ im Kraftwerksbereich zu erreichen sind, kann sich CCS aber aufgrund fehlender Alternativen im Bereich der prozessbedingten (also nicht-energiebedingten) CO₂-Emissionen der Industrie je nach zu erreichendem Minderungsziel als notwendig erweisen.
- Geht man davon aus, dass die Potenziale der CO₂-Speicherung begrenzt sind, dürften sie primär für die Lagerung prozessbedingter CO₂-Emissionen aus der Industrie zur Anwendung kommen. Kraftwerksseitig hätte die Speicherung von CO₂ aus Abfall- respektive Erdgaskraftwerken aufgrund der Nettominderungseffekte (Biomasse) oder Mengenbilanzen (Erdgas) deutliche Vorteile gegenüber der Einbindung von CO₂ aus Kohlekraftwerken.
- Die Nutzung von CO₂ ist eine alternative Form der Verwendung von CO₂ und ermöglicht zudem (durch neue Produkte) zusätzliche Wertschöpfung zu schaffen. Das Potenzial ist aber vermutlich auf einige wenige Prozent-Punkte bezogen auf den gesamten CO₂-Ausstoß begrenzt.

Ein gegenüber den bisherigen Planungen schnellerer Kernenergieausstieg bedeutet im wesentlichen nur ein Vorziehen von Maßnahmen, die aus Klimaschutzgründen ohnehin notwendig sind.

Hinsichtlich der Möglichkeiten eines schnelleren Ausstiegs aus der Kernenergie ist zu unterscheiden zwischen dem, was kurzfristig möglich erscheint (im Sinne einer Übergangslösung) und dauerhaft substitutiven Maßnahmen (Investitionen). Insbesondere letztere müssen eingebunden werden in eine in sich konsistente Mittel- bis Langfriststrategie und dürfen zu keinen strukturellen Fehlfestlegungen kommen.

Kurzfristige (Übergangs-)Optionen

Unter Beibehaltung der Versorgungssicherheit kann auf rund die Hälfte der derzeitigen Kernkraftwerkskapazität (d.h. rd. 10.000 von derzeit rd. 20.500 MW) sofort verzichtet werden. Dies umfasst in jedem Fall die sieben ältesten Kraftwerke (Inbetriebnahme vor Ende 1980) und den seit längerem ohnehin stillstehenden Reaktor in Krümmel, die zusammen eine Bruttoleistung von ca. 8.800 MW aufweisen. Gegenüber dem Atomkonsens von 2002 wäre dies eine geringfügige Vorziehung der geplanten Außerbetriebnahme. Mit Ausnahme des Reaktors Krümmel hätten die betroffenen 7 Kraftwerke in den nächsten beiden

Jahren abgeschaltet werden müssen. Zum heutigen Zeitpunkt hätten die sieben ältesten Kraftwerke in Summe noch eine Strommenge von ca. 52 TWh (6% der insgesamt nach dieser Regelung noch nicht ausgenutzten Stromerzeugungsmenge) zur Verfügung gehabt, was einer Betriebszeit von ca. 11 Monaten für diese Anlagen im Mittel entspräche. Mit dem Kraftwerk Krümmel zusammen wären dies ca. 140 TWh oder gut 2 Jahre Betriebszeit, auf alle 8 Reaktoren gerechnet. In der derzeit geltenden Regelung (Laufzeitverlängerung nach Energiekonzept 2010) kämen dazu noch 8 Betriebsjahre für die sieben ältesten sowie 12 Betriebsjahre für das Kraftwerk Krümmel hinzu. Dies wäre eine Strommenge von rd. 685 TWh oder rd. 26% der nach der Regelung vom Herbst 2010 noch zulässigen Stromerzeugung aus Kernkraftwerken.

Die notwendige Stromversorgung könnte dann durch heute nicht vollständig ausgelastete primär in Mittel- oder Spitzenlast betriebene Kraftwerke übernommen werden und zum Teil durch Anlagen, die sich aktuell in der Kaltreserve befinden aber schnell reaktiviert werden könnten. Der Nachteil dieser mit fossilen Energieträgern betriebenen Anlagen (mit vergleichsweise schlechten Wirkungsgraden) sind deutlich höhere CO₂-Emissionen. Aus diesem Grund kann dies nur eine Übergangslösung sein.

Die Größenordnung der zur Verfügung stehenden Kraftwerke lässt sich aus den Angaben der sogenannten freien Leistung abschätzen. Die freie Leistung ergibt sich aus der Differenz zwischen der gesicherten Leistung (d.h. der insgesamt installierten Kraftwerksleistung unter Abzug der nicht einsetzbaren Leistung – wie nicht zu 100% leistungsseitig einplanbaren Windkraftwerken – unter Berücksichtigung von Ausfällen, Revisionen und einer Reserve für Systemdienstleistungen) und Jahreshöchstlast. Die freie Leistung ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Sie lag nach Angaben des Monitoringberichtes der Bundesnetzagentur (BNA) 2006 noch bei etwa 8.400 MW, im Jahr 2008 schon bei 13.700 MW und in 2009 bei 19.800 MW. Berücksichtigt man, dass das Jahr 2009 mit der Finanz- und Wirtschaftskrise durch besondere Rahmenbedingungen geprägt war, scheint eine Orientierung an den Zahlen des Jahres 2008 eher angezeigt (aktuelle, veröffentlichte Zahlen für 2010 liegen noch nicht vor). Vorsichtig abgeschätzt bedeutet dies, dass für die Sicherstellung der Stromversorgung in Deutschland auf rund die Hälfte der deutschen Kernkraftwerke sofort verzichtet werden kann.

Mittelfristige Optionen für einen vollständigen Ersatz des Stromerzeugungsbeitrags der Kernenergie

Ein vollständiger Ersatz der gesamten Kernkraftwerksleistung wäre vermutlich in einem kurzen Zeitraum von fünf bis zehn Jahren möglich⁴, ohne dass die Klimaschutzziele verfehlt werden, die Stromkosten deutlich steigen und es zu Versorgungsengpässen kommt. Als Alternativen, die vergleichsweise schnell realisiert werden können, stehen dabei zur Verfügung:

- ein Vorziehen von Investitionen im Bereich erneuerbare Energien
- der Zubau von zentralen und dezentralen Gaskraftwerken (insbesondere als KWK-Anlagen)

⁴ Dies deckt sich weitgehend mit Einschätzungen anderer Organisationen. Das Umweltbundesamt geht von der Möglichkeit eines vollständigen Ausstiegs aus der Kernenergie bis zum Jahr 2017 aus, die Deutsche Energie Agentur schätzt einen Zeitraum bis zum Jahr 2020.

- und vor allem
- die Ausschöpfung der auch wirtschaftlich hoch attraktiven Potenziale der Strom-einsparung.

Vorziehen von Investitionen im Bereich erneuerbare Energien und Ausbau der korrespondierenden Netzinfrastruktur

Bereits im Rahmen der bestehenden energiepolitischen Vorgaben der Bundesregierung sollen die erneuerbaren Energien im Bereich der Stromerzeugung deutlich an Bedeutung gewinnen. Der Nationale Aktionsplan erneuerbare Energien sieht eine Steigerung des Stromerzeugungsanteils von heute etwa 17% auf 38,6% in 2020 vor. Strebt man eine Beschleunigung des Kernenergieausstiegs an, dann kann ein Teil der geplanten Investitionen vorgezogen werden. Flaschenhals für den zügigeren Ausbau der erneuerbaren Energien sind die zunehmenden Engpässe in den Stromtransportsystemen und der wachsende Widerstand mittelbar (d.h. zusätzliche Netzinfrastruktur) als auch unmittelbar gegenüber erneuerbaren Energieanlagen. Auch wenn die Schätzungen der Deutschen Energie Agentur bezüglich des notwendigen Netzausbaus mit 3.600 km deutlich zu hoch erscheinen und sie flankierende Maßnahmen (z.B. Freileitungsmonitoring, Hochtemperaturleiterseile, Erdkabel) nicht hinreichend aufgreifen, bleibt der Netzausbau insbesondere aufgrund der langen Planungszeiten eine wesentliche Hürde. Eine gesellschaftliche Verständigung über ein langfristiges, nachhaltiges und risikoarmes Energiekonzept ist daher nötig (s.u.), um zu einem gesellschaftlichen Konsens über den Netzausbau zu kommen.

Zubau von zentralen und dezentralen Gaskraftwerken

Gegenüber Kohlekraftwerken haben Gaskraftwerke den großen Vorteil, dass sie relativ schnell (zwei bis drei Jahre) errichtet werden können und gute Einsatzmöglichkeiten im KWK-Bereich bieten. Zudem sind sie als stark regelfähige und schnell an- und abfahrbare Anlagen hochgradig kompatibel mit dem Ausbau der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und können wichtige Systemdienstleistungen übernehmen. Perspektivisch kann die bestehende Erdgasinfrastruktur zudem als Speichersystem für Überschussstrom aus erneuerbaren Energien (Umwandlung von Strom über Elektrolyse in Wasserstoff und direkte Einspeisung des Wasserstoff in das Gasnetz oder über eine weitere Methanisierungsreaktion als Erdgas in das Netz) genutzt werden.

Ausbaumöglichkeiten im Bereich der KWK ergeben sich durch den Ersatz von Altanlagen für die Fernwärmeversorgung sowie Nachverdichtung und Erweiterung an den Rändern. Zusätzliche Potenziale bestehen zudem im Bereich der industriellen KWK, wo Heizwerke, die ausschließlich zur Wärmebereitstellung genutzt werden, ersetzt werden können durch hoch effiziente KWK-Anlagen. Darüber hinaus bestehen erhebliche Möglichkeiten im Bereich der dezentralen KWK, deren Potenziale bei weitem noch nicht ausgeschöpft sind. Neue Technologien (sog. Zuhause-Kraftwerke in kleinen Leistungseinheiten) und durch steigende Strompreise attraktivere wirtschaftlichere Einsatzbedingungen können hier Impulse setzen. Der Ausbau der KWK steht seit langem in den jeweiligen Energieprogrammen der Bundesregierungen, ist bisher aber nicht ansatzweise so intensiv verfolgt (und politisch unterstützt) worden wie der Ausbau erneuerbarer Energien. Die schon Anfang des letzten Jahrzehnts formulierte Zielsetzung den KWK-Anteil an der Stromerzeugung gegenüber dem Status Quo auf

etwa 25% zu verdoppeln, würde bereits einen substantiellen Substitutionsbeitrag für die Kernenergie leisten können.

Schnellstart für ein strategisches Langfristprogramm zur Ausschöpfung der auch wirtschaftlich hoch attraktiven Potenziale der Stromeinsparung

Die größten Potenziale zum Atomausstieg und für den Klimaschutz liegen in einem strategischen Beschleunigungsprogramm zur Stromeinsparung. In Deutschland wurden im Jahr 2010 etwa 530 TWh an Strom verbraucht, davon rund 243 TWh in Industrie und Bergbau, 141 TWh in den Haushalten, 130 TWh in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, öffentlichen Einrichtungen und Landwirtschaft und 17 TWh im Verkehr. Schon bis 2021 also in zehn Jahren könnten nach einer detaillierten Untersuchung des Wuppertal Instituts rund 130 TWh, also fast 25 % des jährlichen Stromverbrauchs, durch energieeffizientere Anwendungstechnik in allen Verbrauchssektoren zusammen **wirtschaftlich eingespart** oder durch andere Energieträger ersetzt werden. Diese Einsparung ist möglich, wenn statt der im Trend zu erwartenden Technologieentwicklung bei jeder Erneuerung oder Neuanschaffung von Geräten, Anlagen und Gebäuden (d.h. im Rahmen des normalen Erneuerungszyklus) die jeweils effizienteste verfügbare Option zum Einsatz kommt. Diese Einsparung wird aber von alleine nicht realisiert, weil es auf der Nachfrage- wie auch der Anbieterseite dieser energieeffizienten Technologien und Lösungen zahlreiche Hemmnisse gibt.

Mit einem strategischen Beschleunigungsprogramm zur Stromeinsparung könnte daher der Stromverbrauch gegenüber dem Trend pro Jahr um rund 13 TWh oder 2,5 % vermindert werden. Ein Zehntel davon, also rund 0,25 % pro Jahr, wird nach eigenen Berechnungen schon durch die bestehenden Ökodesign-Maßnahmen der EU beim Standby-Verbrauch und bei Heizungspumpen sowie durch das Glühlampenverbot erreicht, die verbleibenden 2,25 % sind aber zusätzlich erschließbar.

Die Ausschöpfung der Potenziale erfordert zielorientierte, mehrjährige und verlässliche Förder- und Markteinführungsprogramme mit Beratung, Zuschüssen, Werbung, Aus- und Weiterbildung und eine Verbesserung der Zusammenarbeit der Marktpartner. Vor allem die Gesamtoptimierung von Gebäuden und von Anlagen zur Lüftung, Klimatisierung und Kälte, Beleuchtung, Druckluft, Produktion birgt hohe Potenziale. Ebenso wichtig ist ein Beschleunigungsprogramm für die Umstellung von elektrischer Direkt- oder Nachtspeicherheizung, Warmwasser und Prozesswärmeerzeugung auf andere Energieträger. Aber es lohnen auch gezielte Markteinführungsprogramme für hocheffiziente Kühl- und Gefriergeräte, Wäschetrockner und Heizungspumpen.

Diese Programme können über den Energieeffizienzfonds des Bundes (wie er strukturell im Energiekonzept der Bundesregierung bereits angelegt ist) oder über eine spezifische Verpflichtung der Energiewirtschaft (wie sie in anderen europäischen Ländern besteht, z.B. Dänemark, Großbritannien) umgesetzt und finanziert werden. Denkbar wäre auch eine Mischlösung, bei der die Energieunternehmen vor allem Programme für die privaten Haushalte und das Gewerbe umsetzen, während der Energieeffizienzfonds Programme für die größeren Betriebe und übergreifende Informations- und Weiterbildungsprogramme koordiniert. Zwar müssten hierfür Programmkosten von rund 1,5 bis 2 Milliarden Euro pro Jahr investiert werden. Dadurch würde jedoch etwa das Dreifache an Investitionen ausgelöst und über die nächsten 20 Jahre bei den Energiekosten für die Gesamtwirtschaft etwa das Fünffache und für die Verbraucherinnen, Verbraucher und Unternehmen etwa das Achtfache dieser Pro-

grammkosten eingespart. Diese Abschätzung basiert auf einer detaillierten Analyse des Wuppertal Instituts von zwölf konkreten Einsparprogrammen für einen EnergieSparFonds für Deutschland.

Neben dieser eher technisch orientierten Energieeinsparung ist zu erwarten, dass das Energiebewusstsein in Folge des Atomunfalls in Japan zunimmt und hierdurch weitere Einsparpotenziale erschlossen werden können. Eine höhere Sensibilität bezüglich der Auswirkungen und Risiken der Energieversorgung ist aber auch notwendig, um Reboundeffekte (also die teilweise Kompensation von Einsparerefolgen durch neue Energieanwendungen) zu vermeiden.

....und was ist mit den Strompreisen in Folge eines schnelleren Ausstiegs?

Die Preisbildungsmechanismen an den Strommärkten sind komplex. Neben dem Handel über die Börse erfolgt ein intensiver und bis heute vom Volumen her sogar deutlich bedeutender „over the counter“ Handel. Damit ist die Entwicklung der Börsenpreise nicht der alleinige Preis bestimmende Mechanismus. Zudem stellt sich aufgrund der langfristigen Beschaffungsstrategie der Unternehmen eine Zeitverzögerung ein, das heißt, heute steigende Preise werden ganz oder teilweise erst später an die Kunden weiter gegeben.

Infolge der vielschichtigen Mechanismen sind ohne komplexe Modellrechnungen nur Schätzungen über die Entwicklung der Strompreise möglich. Kurzfristig würden bei der Entscheidung für einen schnellen Ausstieg vermutlich die Strompreise um eine Größenordnung zwischen 0,5 und 1 ct/kWh ansteigen. Bezogen auf die Haushaltsstrompreise wären dies weniger als 5%, für industrielle und gewerbliche Kunden entspräche dies deutlich höheren Anteilen. Der Preis steigernde Effekt hängt damit zusammen, dass die (älteren) Ersatzkraftwerke über vergleichsweise schlechte Wirkungsgrade verfügen und damit höhere Stromgestehungskosten aufweisen als die heute in Betrieb befindlichen Anlagen. Fallen die Kernkraftwerke mit ihren geringen spezifischen Stromgestehungskosten aus, verschiebt sich in der sog. Merit Order das Preis bestimmende Grenzkraftwerk (also das Kraftwerk, das gerade noch gebraucht wird um die Nachfrage vollständig zu decken) nach oben. Gleichmaßen sei aber darauf hingewiesen, dass der Unterschied zwischen niedrigen Stromgestehungskosten der Kernkraftwerke und den Strompreisen an der Börse nicht etwa den Kunden zu Gute kommt, sondern als Gewinn den Einnahmen der Betreiber zufließt. Schätzungen zufolge würde die im Herbst 2010 beschlossene Laufzeitverlängerung den Kernkraftwerksbetreibern je nach Entwicklung der Strompreise Zusatzerlöse zwischen 80 und 120 Mrd. € bescheren. Weniger als die Hälfte – so die bisherigen Planungen der Bundesregierung – würden davon durch die Brennelementesteuer und Einzahlungen in den Energie- und Klimafonds abgeschöpft werden.

Mittelfristig hängt der Preiseffekt von der Wahl der Alternativen ab. Gelingt es in substantiellem Umfang, die wirtschaftlichen Potenziale der Stromeinsparung auszuschöpfen (die für Deutschland insgesamt auf rund 40% des heutigen Strombedarfs abgeschätzt werden, mindestens zu drei Vierteln wirtschaftlich hoch lukrativ sind, deren Umsetzung aus unterschiedlichen Gründen bisher aber gehemmt ist), dann kann dies mittelfristig sogar zu einer Stromkostenentlastung der Verbraucher führen.

Der Umbau der Energieversorgung ist kein Selbstläufer, sondern stellt die Branche, aber auch die Gesellschaft insgesamt, vor große Herausforderungen.

Aus heutiger Sicht ergeben sich große Herausforderungen für die Umgestaltung der Energieversorgung. Dies gilt bereits ohne eine Beschleunigung der Kernenergieausstiegsplanungen, insbesondere aber dann, wenn die Nutzung der Kernenergie in Deutschland, schneller als bisher geplant, beendet werden soll. Speziell mit Blick auf den Ausbau der erneuerbaren Energien sind nachfolgend die resultierenden Herausforderungen im einzelnen aufgeführt:

- **Technologische Herausforderung:** ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von Technologien für die Systemintegration erneuerbarer Energien (z.B. Speicher- und Hybridsysteme, Prognosemethoden, Demand Side Management, Kombikraftwerke)
- **Kompatibilitätsherausforderung:** Kooperation und Zusammenspiel zwischen konventionellen Anlagen und neuen Technologien (Systemintegration erneuerbarer Energien)
- **Infrastrukturherausforderung:** Weiterentwicklung geeigneter Infrastrukturen (z.B. smart und super smart grid), insbesondere für die Einbindung erneuerbarer Energien (Transport von den Erzeugungszu den Verbrauchsschwerpunkten)
- **Institutionelle Herausforderungen:** Die Umgestaltung des Energiesystems erfordert erhebliche Produkt-, Prozess- und Systeminnovationen einerseits und Systemanpassungen (z.B. Preisbildungsmechanismen am Strommarkt: Regelenergie- und Reservekapazität) andererseits.
- **Ressourcenherausforderung:** Intelligenter Umgang mit begrenzten Ressourcen betrifft nicht nur fossile Energieträger. Dies umfasst die Vermeidung von negativen Ressourcenauswirkungen und Nutzungskonkurrenzen (insbesondere bei der Nutzung von Biomasse) und einen umsichtigen Umgang mit kritischen Ressourcen und Materialien (z.B. Nutzung toxischer oder seltener Materialien bei der Herstellung)
- **Herausforderung der Kapitalverfügbarkeit:** Abdeckung der Investitionserfordernisse (insbesondere der notwendigen Vorleistungen: pay now – earn back money later) und intelligente Allokation des Kapitals (inkl. privaten Kapitals). Gerade erneuerbare Energien und Energieeffizienzmaßnahmen sind mit vergleichsweise hohen Anfangsinvestitionen aber sehr geringen laufenden Kosten verbunden.
- **Stakeholder Herausforderung:** Überwindung der Beharrungskräfte etablierter Stakeholder durch Stärkung alternativer Anbieter und Anreizsysteme für die Ausweitung des Portfolios.
- **Politik-Herausforderung:** Die Umsetzung eines ambitionierten Klimaschutzpfads erfordert eine Integration (Konsistenz) regionaler, nationaler und internationaler Politikinitiativen (multi-level approach)
- **Gesellschaftliche Herausforderung:** Keine Form der Energieversorgung ist ohne Auswirkungen, die gesellschaftliche Akzeptanz daher eine Kernvoraussetzung für die Umsetzung der notwendigen strukturellen Veränderungen; partizipative Prozesse helfen, eine Verständigung über den Weg der Umgestaltung des Energiesystems zu schaffen; eine offene gesellschaftlichen Frage ist auch, in welchem Umfang die Nachfrage nach Wohnraum, Gütern und Dienstleistungen immer weiter steigen soll

oder ob eine genügsamere (und damit weniger energieverbrauchende) Gesellschaft möglich und aus unterschiedlichen Gründen auch erstrebenswert ist.

Ein umfassender gesellschaftspolitischer Diskurs über die Eckpunkte der Energieversorgung der Zukunft ist der zentrale Schlüssel für den bevorstehenden Transformationsprozess.

Die Reaktorkatastrophe in Japan wie auch die Klimaproblematik sind die sichtbarsten Zeichen, dass unser bestehendes Energiesystem in seiner jetzigen Form nicht tragbare Risiken verursacht. Deshalb ist ein zügiger und konsequenter, an den Zielen der Nachhaltigkeit orientierter Umbau unserer Energieversorgungsstrukturen dringend erforderlich.

Die Gestaltung dieser Transformation des Energiesektors erfordert eine mutige, konsequente und kontinuierliche politische Flankierung. Dabei ist Handeln mit Augenmaß und Weitsicht erforderlich. Es geht einerseits darum, langfristige Weichenstellungen zu setzen (z.B. für den Aufbau neuer Infrastrukturen), andererseits im Zuge eines forcierten Ausstiegs aus der Kernenergie kurzfristig zu agieren. Zudem geht es darum, die Handlungs- und Steuerungsfähigkeit des Staates dauerhaft zu erhalten. Die Umsetzung ambitionierter Minderungsziele in Kombination mit einer Risikominimierungsstrategie ist aber keine rein staatliche Aufgabe, sondern gelingt nur, wenn dies vom überwiegenden Teil der Gesellschaft getragen wird. Hierzu bedarf es eines umfassenden gesellschaftspolitischen Diskurses über die richtigen Strategieelemente.

In der Gesellschaft gibt es heute eine tiefe Verunsicherung über die zukünftigen Strukturen der Energieversorgung – nicht zuletzt aufgrund der komplexen Zusammenhänge aber auch der widersprüchlichen Äußerungen der Parteien und maßgeblicher Multiplikatoren sowie der Machtstrukturen auf dem Energiemarkt. Hinzu kommt durch den Atomunfall in Japan eine stärkeres subjektives Bedrohungsgefühl. Die Verunsicherung der Bevölkerung kommt unter anderem durch die zunehmenden Widerstände gegenüber Infrastrukturmaßnahmen vor Ort zum Ausdruck. Ihr ist es bisher kaum möglich, einzelne Projekte in den Gesamtzusammenhang einordnen zu können. Hierzu bedarf es eines in der Breite der Bevölkerung abgestimmten und akzeptierten Orientierungsrahmens, der nur auf der Basis eines gesellschaftspolitischen Diskurses entstehen kann. Nie war die Notwendigkeit eines solchen Orientierungsrahmens größer aber auch die Gelegenheit (aufgrund der hohen Sensibilisierung der Bevölkerung) günstiger um den Dialog nun zu starten und einen breiten Konsens in der Gesellschaft über die Eckpfeiler der zukünftigen Energieversorgung anzustreben.

Die Entwicklung einer konsistenten Strategie statt Aktionismus ist das Gebot der Stunde, kurz-, mittel- und langfristiges Handeln ist aufeinander abzustimmen und ein entsprechendes Stufenkonzept zu entwickeln

Der Atomunfall in Japan macht ein Umdenken notwendig und stellt die Reflektion über die zukünftige Energieversorgung und die Sicherheitsmaßstäbe hoch oben auf die Tagesordnung. Risikominimierung und Fehlerfreundlichkeit gewinnen als handlungsleitende Kriterien einen noch höheren Stellenwert als zuvor. Durch den Atomunfall in Japan sind andere energiepolitische Ziele aber nicht außer Kraft gesetzt. Dies gilt insbesondere auch für den Klimaschutz. Das, was jetzt im Zuge eines schnelleren Ausstiegs aus der Kernenergie ansteht, ist nichts anderes, als die Notwendigkeit, den Umbauprozess der Energieversorgung zu beschleunigen. Es geht damit um das Vorziehen von Maßnahmen, die aus Klimaschutzgründen ohnehin unvermeidlich sind.

Das bedeutet, dass Maßnahmen, die jetzt getroffen werden, um den Kernenergieanteil an der Stromerzeugung zu verringern, aufgrund der langen Zeitkonstanten im Bereich der Energieversorgung auf ihre strukturelle Klimaschutzwirkung hin überprüft werden müssen. Anders ausgedrückt, muss mit Blick auf den Ersatz der Kernkraftwerke klar sein, dass

- bestimmte kurzfristig ergriffene Maßnahmen nur Übergangslösungen sein können (z.B. Überführung von fossilen Kraftwerken aus der Kaltreserve in die Betriebsphase)
- kurzfristig ausgelöste Investitionen in neue Infrastrukturen kompatibel sein müssen mit einer in sich konsistenten Mittel- und Langfriststrategie.
- die breite gesellschaftliche Sensibilisierung für die Risiken unseres Energiesystems von den politischen und gesellschaftlichen Entscheidern/-innen konstruktiv aufgenommen wird und
- die jetzt eröffnete Chance für einen ehrlichen Dialog mit dem Ziel eines gesellschaftlich breit getragenen Umbaukonzepts hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung aufgegriffen wird.