



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

Juni 2011

Ad-hoc-Stellungnahme

Energiepolitische und forschungspolitische Empfehlungen nach den Ereignissen in Fukushima

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
– Nationale Akademie der Wissenschaften –

www.leopoldina.org

Impressum**Herausgeber:**

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina
– Nationale Akademie der Wissenschaften –
Geschäftsstelle: Emil-Abderhalden-Straße 37, 06108 Halle (Saale)
Berliner Büro: Reinhardtstraße 14, 10117 Berlin

Redaktion

Dr. Christian Anton

Gestaltung und Satz

unicommunication, Berlin

Druck

H. Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

Auflage

3000

© 2011 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V.
– Nationale Akademie der Wissenschaften –

Ad-hoc-Stellungnahme

Energiepolitische und forschungspolitische Empfehlungen nach den Ereignissen in Fukushima

Inhaltsverzeichnis

1	VORBEMERKUNG	3
2	KERNAUSSAGEN	4
3	LAGEANALYSE	6
	3.1 Herausforderungen für unsere Energiesysteme	6
	3.2 Die drei Seiten des Energiesystems: Physik – Markt - Akzeptanz	6
	3.3 Ausgangslage der vorliegenden Analyse.....	7
	3.4 Die Sicherheit der Elektrizitätsversorgung bei einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland	9
	3.4.1 Erforderliche Elektrizitätsmenge	9
	3.4.2 Erforderliche Leistung.....	10
	3.4.3 Stabilität der Übertragungsnetze.....	11
	3.5 Internationale Einbettung.....	13
	3.6 Effekt eines beschleunigten Kernenergieausstiegs auf die CO ₂ -Emissionen	14
	3.7 Effekt eines beschleunigten Ausstiegs auf die Energiekosten.....	15
	3.8 Sozio-kulturelle Rahmenbedingungen	17
	3.9 Schlussfolgerung	18
4	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	19
	4.1 Kurzfristige Empfehlungen.....	19
	4.1.1 Energiebereitstellung.....	19
	4.1.2 Netzinfrastruktur	20
	4.1.3 Energiespeicherung	21
	4.1.4 Effizienztechnologien.....	21
	4.1.5 Übergreifende Handlungs- und Forschungsempfehlungen	22
	4.1.6 Strukturelle Empfehlungen	23
	4.2 Forschungsprioritäten mit mittel- bis langfristigen Wirkungen	24
5	METHODIK	27
	5.1 Anlass, Mandat und Entstehung der Stellungnahme	27
	5.2 Mitwirkende in der Arbeitsgruppe	28
6	ANHANG	30

1. VORBEMERKUNG

Diese Stellungnahme ist in einem relativ kurzen Zeitraum als Reaktion auf die Entwicklungen nach Fukushima entstanden. Viele der Aussagen beruhen auf Abschätzungen, nicht auf präzisen Berechnungen. Abschätzungen wie die vorliegende können detaillierte Systemanalysen nicht ersetzen, geben aber einen nachvollziehbaren Rahmen für kurzfristige Entscheidungen. In den nächsten Monaten sind weitere detaillierte Analysen durchzuführen, insbesondere auch von den Energieversorgern und den Netzbetreibern. Die Aussagen dieser Stellungnahme können sich allerdings auf eine Reihe detaillierter Energiesystemstudien stützen, welche Atomausstiegsszenarien enthalten. Im Übrigen schließt diese Stellungnahme an das Energieforschungskonzept der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften - acatech und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften aus dem Jahr 2009 an.

2. KERNAUSSAGEN

1. Aus technisch-wissenschaftlicher Sicht scheint ein Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie auf einer Zeitskala von etwa 10 Jahren möglich, sofern die im weiteren Text genannten Randbedingungen eingehalten werden.

2. Auch wenn ein schnellerer Ausstieg als im ursprünglichen Atomausstiegsgesetz geplant technisch-wissenschaftlich realisierbar erscheint, sollten die Konsequenzen verschiedener möglicher Pfade in Bezug auf Versorgungssicherheit, Importabhängigkeit, Kosten und Akzeptanz genauer untersucht werden, bevor endgültige Entscheidungen getroffen werden.

3. Da es bei einer so großen Aufgabe wie der Umstellung eines Energiesystems viele Unwägbarkeiten gibt, werden im Prozess laufende Anpassungen erforderlich sein. Es ist wichtig, diese gesellschaftlich weitgehend konsensual vorzunehmen. Daher wird empfohlen, den Umbau des Energiesystems durch eine kompakte, neutrale, langfristig eingerichtete Instanz begleiten zu lassen. Auf ähnliche Weise sollte parallel dazu die Entwicklung von Forschungsprogrammen an die Eckdaten der neueren politischen Entscheidungen und an neue wissenschaftliche Erkenntnisse angepasst werden.

4. Die langfristigen Ziele der Energiepolitik und der Energieforschung würden durch einen beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie nicht beeinflusst, da die Kernenergie im Energiekonzept der Bundesregierung ohnehin nur die Rolle einer Brückentechnologie spielt(e). Auch die Kernaussagen des durch die Akademien formulierten Energieforschungskonzepts von 2009 gelten weiterhin.

5. Die Priorisierung und die zeitliche Staffelung von Forschungsanstrengungen können sich aber

verändern. Insbesondere **energiepolitische** Weichenstellungen müssen kurzfristig anders als geplant erfolgen.

6. Ein beschleunigter Ausstieg aus der Kernenergie beeinflusst **kurzfristig** primär den Elektrizitätssektor. Mögliche Maßnahmen müssen sich daher auf diesen Sektor konzentrieren. Allerdings gibt es Verknüpfungen zu anderen Bereichen des Energiesystems: Der Ersatz von Kernkraftwerken durch konventionelle Kraftwerke wird zu zusätzlichen CO₂-Emissionen aus dem Energiesektor führen. Die Gesamtemission wird sich für einen begrenzten Zeitraum erhöhen, da eine vollständige Kompensation durch verringerte Emissionen in anderen Bereichen angesichts der dort bereits gesetzten, ehrgeizigen Ziele nicht möglich ist.

7. Effizienzsteigerung beim Verbrauch elektrischer Energie – aber auch in anderen Sektoren – ist die wirksamste Maßnahme, um einen beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie zu unterstützen. Viele Technologien sind vorhanden und sparen sogar Kosten. Hier wird es entscheidend sein, *Rebound*-Effekte zu vermeiden und Anreize zu schaffen, diese möglichen Einsparpotenziale auch tatsächlich zu realisieren.

8. Es ist davon auszugehen, dass ein schnellerer Ausstieg als geplant mit Kostensteigerungen verbunden sein wird. Es sollte darauf geachtet werden, dass die kurzfristigen Maßnahmen mit den langfristigen Zielen kompatibel sind, um nicht jetzt vermeintlich günstigere Optionen zu verfolgen, die langfristig Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft belasten und dadurch zu wirtschaftlichen Einbußen, Umweltschäden oder Akzeptanzverlusten führen.

- 9.** Wenn kurzfristige Maßnahmen auch zunächst national geplant und umgesetzt werden müssen, darf Deutschland nicht isoliert betrachtet werden. Der europäische Markt für elektrische Energie wird weiter zusammenwachsen, viele Planungen erfolgen auf gesamteuropäischer Ebene. Zur Optimierung der Energieversorgung in Deutschland sollte daher eine gesamteuropäische Sichtweise im Vordergrund stehen. Die Öffnung Deutschlands zu einem integrierten europäischen Elektrizitätsmarkt kann allerdings auch zum Import von nuklear bereitgestellter elektrischer Energie führen.
- 10.** Die aktuellen Vorgänge zeigen, wie wichtig es ist, dass Energieforschung eine breite Palette von Optionen bereitstellt, damit auch bei sich verändernden Rahmenbedingungen die Energieversorgung sichergestellt werden kann.
- 11.** Forschungsanstrengungen müssen sich kurzfristig im Wesentlichen auf schnell einzuführende Effizienzmaßnahmen mit hoher Priorität im Elektrizitätssektor richten. Dabei ist die Einbeziehung der Nachfrageseite eine Schlüsselkomponente. Weiterhin sind Arbeiten voranzutreiben, die die Möglichkeiten zur verstärkten Einbindung regenerativer Energie in die Netze verbessern.
- 12.** Langfristig muss Energieforschung thematisch breit aufgestellt sein und die gesamte Spanne von Grundlagenforschung bis zur stark anwendungsorientierten Untersuchungen umfassen, um der Gesellschaft zusätzlich Optionen zu erschließen. Auch wenn priorisiert werden muss, sollten Richtungen, die nicht dem jeweils aktuellen Mainstream entsprechen, in gewissem Umfang weiterverfolgt werden. Energieforschung benötigt zwingend Kontinuität. Eingestellte Forschungsrichtungen lassen sich nur mit großem Aufwand und großem Zeitverlust wieder reaktivieren.

3. LAGEANALYSE

3.1 Herausforderungen für unsere Energiesysteme

Die sichere, klimaverträgliche, nachhaltige und kostengünstige Bereitstellung von Energie ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts für eine weiterhin wachsende Menschheit. Dabei bewegt sich die zukünftige Energieversorgung der Weltbevölkerung in einem durch mehrere Faktoren beeinflussten Spannungsfeld: Fossile Kraftstoffe stellen derzeit den weit überwiegenden Teil des Mobilitätsbedarfs sicher, allerdings sind die Vorräte endlich und das globale Fördermaximum liegt vermutlich nicht mehr weit in der Zukunft. Die Versorgung mit elektrischer Energie wird zu einem großen Teil ebenfalls durch fossile Energieträger, wie Braun- und Steinkohle und Erdgas gewährleistet. Die hierdurch hervorgerufenen CO₂-Emissionen, zusammen mit denen aus dem Verkehrssektor und aus der Bereitstellung von Heizenergie, sind in erheblichem Maße mitverantwortlich für den Klimawandel. Daher müssen über internationale Verträge die Emissionen von Treibhausgasen reduziert werden. Nukleare Energietechnologien sind insbesondere nach den Ereignissen in Fukushima zunehmend umstritten. Ein steigender Ausbau erneuerbarer Energien erfordert eine umfassende Umstrukturierung unserer Stromnetze, um den durch stark fluktuierende Einspeisungen hervorgerufenen Anforderungen gerecht zu werden. Zudem sind Elektrizitätsnetze nicht nur auf der nationalen Ebene zu betrachten. Der Ausbau der Netze erfordert international koordiniertes Handeln, eine Tendenz, die durch die geplante weitere Liberalisierung des europäischen Gas- und Elektrizitätsmarktes 2014 noch dringlicher wird. Eine nationale Energiepolitik muss daher immer international rückgekoppelt sein. Bei allen Entscheidungen über ein zukünftiges Energiesystem

sind diese Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, da sie den Handlungsspielraum erheblich einschränken können. Zudem wird das deutsche Vorgehen international intensiv und kritisch beobachtet: In einer Expertenanhörung zu dieser Stellungnahme durch das *Energy Steering Panel* des Europäischen Akademienverbands EASAC¹ wurde formuliert: “An important consideration in our review has been Germany’s position as a major economy and hence energy user in Europe, and also the leadership it has demonstrated in addressing the challenge of climate change, an issue inextricably linked to decisions on energy supply and use. We sincerely hope that decisions made on the future course of the energy system in Germany are consistent with Germany continuing to show leadership on tackling climate change“ (siehe Anhang).

3.2 Die drei Seiten des Energiesystems: Physik – Markt – Akzeptanz

Bei einer Diskussion des zukünftigen Energiesystems sollte beachtet werden, dass die Energiebereitstellung und -verteilung nicht nur physikalischen Gesetzen genügen muss, sondern dass auch Marktmechanismen wirken. Diese beiden Ebenen wechselwirken miteinander, wirken aber nicht notwendigerweise in die gleiche Richtung. Dies ist in der DENA-Netzstudie² für die Integration eines Speichers in ein Stromnetz exemplarisch diskutiert: Abhängig von der Lage des preisgünstigsten Kraftwerks relativ zum Speicher und zum Netzengpass kann ein Speicher das Netz entweder entlasten oder nicht. Wenn in Deutsch-

¹ European Academies Science Advisory Council; siehe auch <http://www.easac.eu/energy/steering-panel.html>

² Deutsche Energie-Agentur GmbH DENA (2010) DENA-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick 2025. Berlin, S. 285-286.

land auf die Nutzung von Nuklearenergie verzichten werden soll, müssten kurz- und mittelfristig stattdessen Kraftwerke eingesetzt werden, die in der *Merit-Order*-Kurve beim Börsenhandel von Elektrizität weiter unten liegen – hierzu zählen Gaskraftwerke. Marktmechanismen könnten aber dafür sorgen, dass stattdessen elektrische Energie günstiger aus dem Ausland bezogen würde, möglicherweise unter Einschluss nuklear erzeugter Energie. Wenn solche Effekte vermieden werden sollen, müssen neue Mechanismen entwickelt werden, um die intendierten Effekte tatsächlich zu erzielen. Diese Wechselwirkung zwischen physikalischem Netz und den durch den Markt beeinflussten Lastflüssen sollte bei jeder Maßnahme berücksichtigt werden. Der Markt für elektrische Energie ist trotz umfassender Liberalisierung einer der am stärksten regulierten Märkte. Technische Maßnahmen sollten daher immer daraufhin geprüft werden, ob sie angesichts der Vielzahl von gesetzlichen Regelungen und der Marktmechanismen die intendierte Wirkung auch entfalten können.

Eine dritte wesentliche Ebene ist die Nachfrageseite: Energiedienstleistungen, einschließlich Angebote zur Effizienzsteigerung, müssen vom Verbraucher nachgefragt und die dafür notwendigen Anlagen und Infrastrukturleistungen angenommen werden (Akzeptanz). Auch wenn Technologien ausgereift sind und zu akzeptablen Kosten zur Verfügung stehen, ist nicht auszuschließen, dass sie entweder nicht nachgefragt oder sogar abgelehnt werden. Ein Beispiel hierfür ist die schleppende energetische Ertüchtigung von Wohngebäuden, obwohl diese häufig ökonomisch sinnvoll ist. Diese sozialen und psychologischen Aspekte müssen daher neben den technologischen Randbedingungen und den Marktmechanismen beim Umbau des Energiesystems unbedingt berücksichtigt werden.

3.3 Ausgangslage der vorliegenden Analyse

Die Ereignisse in den japanischen Kernkraftwerken – insbesondere in der Anlage Fukushima I – in der Folge des Erdbebens und des Tsunamis haben in Deutschland ein Umdenken hinsichtlich der kurz- bis mittelfristigen Energiepolitik ausgelöst. Durch die Geschehnisse in Japan hat sich die objektive Sicherheitslage der deutschen Kernkraftwerke nicht verändert. Allerdings haben die Ereignisse in großen Teilen unserer Gesellschaft eine Neubewertung des akzeptablen Risikos ausgelöst und zu einer breiten Zustimmung zu einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland geführt. Als Reaktion auf diese schlagartig gesunkene Akzeptanz der Kernenergie sind durch Beschluss der Bundesregierung 7+1 Kernkraftwerke zunächst für drei Monate abgeschaltet worden. Zwei dieser Kraftwerke waren bereits vor den Ereignissen in Fukushima aufgrund von Nachrüstungen vom Netz genommen worden (Brunsbüttel und Krümmel), Block B des Kernkraftwerks Biblis war revisionsbedingt seit Ende Februar 2011 ohnehin nicht in Betrieb. Über diese unmittelbare Maßnahme hinaus ist außerdem die im Oktober 2010 beschlossene Laufzeitverlängerung ausgesetzt worden. Es ist derzeit unklar, ob an der Laufzeitverlängerung nach Ablauf des Moratoriums festgehalten wird, ob zu den ursprünglich vereinbarten Laufzeiten der Kernkraftwerke zurückgekehrt wird, oder ob ein drittes, möglicherweise beschleunigtes Ausstiegsszenario realisiert wird. Sicherlich ist es sinnvoll, weitere, längerfristig wirkende Entscheidungen mit einem zeitlichen Abstand zu den Ereignissen in Fukushima nach genauere Analyse der Situation zu treffen.

Unabhängig davon, wie die Entscheidung zum Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie im Detail ausfällt, lassen sich jetzt schon die

wesentlichen Konsequenzen für die Energiepolitik und für die Prioritäten in der Energieforschung ableiten. Im Folgenden wird eine Einschätzung der Situation und der möglichen Konsequenzen aus Sicht der Wissenschaft gegeben, die nicht nur Empfehlungen zur Energieforschungspolitik gibt, sondern auch zu damit verbundenen energiepolitischen Aspekten Stellung nimmt.

In jedem Falle zeigen die aktuellen Vorgänge, wie wichtig es ist, dass Energieforschung eine breite Palette von Optionen bereitstellt, damit auch bei sich verändernden Rahmenbedingungen die Energieversorgung sichergestellt werden kann. Langfristig muss sich unsere Gesellschaft darauf einstellen, flexible Strategien bereitzuhalten, die sich an eine kurzfristige Änderung der weltweiten ökonomischen, sozialen, klimatischen und technologischen Rahmenbedingungen anpassen lassen. Insofern werden wir uns stärker als bislang auf permanente Transformationsprozesse einzustellen haben und lernen müssen, eine Reihe von Brückentechnologien und Krisenüberbrückungsstrategien bis zur Einsatzfähigkeit zu entwickeln, selbst wenn, je nach veränderten Rahmenbedingungen, nicht alle von ihnen benötigt werden (siehe Energiekonzept der Akademien³). Dieses systemisch ausgelegte und auf Flexibilität hin optimierte Forschungs- und Entwicklungskonzept wird international mit dem Begriff der Resilienz verbunden. Eine resiliente Gesellschaft macht sich weniger verwundbar gegenüber externen Einflüssen und internen Veränderungen. Das Ziel der Resilienz liegt auch den folgenden Ausführungen zugrunde.

Im Lichte der aktuellen Diskussion muss berücksichtigt werden, dass Forschungsanstren-

gungen nur auf einer mittelfristigen Zeitskala wirksam werden. Kurzfristig kann man nur auf solche Technologien setzen, die auf früheren Forschungsanstrengungen beruhen und nun Anwendungsreife erlangt haben. Dennoch: Es ist unabdingbar, Forschungsansätze thematisch sehr breit und von der Grundlagenforschung bis hin zur angewandten Forschung zu verfolgen, wenn auch in Zukunft Optionen für eine Adaption der Energiestrategie an sich ändernde Randbedingungen verfügbar sein sollen. Die derzeitige Situation hat diese Forderung nachdrücklich bestärkt.

Während des Moratoriums der Laufzeitverlängerung sollen die deutschen Kernkraftwerke unter Sicherheitsaspekten neu bewertet werden. Dabei kann die Zeit des Moratoriums nur für elementare Analysen genutzt werden, da eine detaillierte Gesamtbewertung im Zeitraum von drei Monaten nicht zu leisten ist. Es sollte größter Wert darauf gelegt werden, dass die Kriterien der Analyse transparent sind, da ansonsten mit weiteren Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung gerechnet werden muss, unabhängig davon, wie die Analyse ausfällt. Kurzfristig sind die älteren Kernkraftwerke abgeschaltet worden. Das Alter ist zwar ein Indikator, sicher aber nicht das einzige Kriterium für den sicheren Betrieb von Kernkraftwerken. Auch hier ist eine differenzierte und transparente Bewertung von größter Wichtigkeit für die Akzeptanz einer darauf basierenden politischen Entscheidung.

Die Ereignisse in Fukushima haben besonders in Deutschland, aber auch in anderen Ländern eine breite gesellschaftliche Diskussion darüber ausgelöst, welche Risiken beim Einsatz unterschiedlicher Energietechnologien gesellschaftlich akzeptabel erscheinen und welche nicht. Diese Diskussion sollte aufgegriffen werden, um in Deutschland einen breit getragenen, im Idealfall parteienübergreifenden

³ Leopoldina, acatech & BBAW (2009) Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland. Halle.

Konsens hinsichtlich unserer zukünftigen Energiepolitik zu erreichen. Die Veränderung von Energiesystemen vollzieht sich auf einer so langen Zeitskala, dass ein Umsteuern im politisch bedingten Vierjahresrhythmus kontraproduktiv ist. Das bedeutet jedoch nicht, dass an einem einmal eingeschlagenen Pfad ohne weitere Anpassungen bis zum Ende festgehalten werden sollte. Unvorhersehbare Ereignisse oder Durchbrüche in Wissenschaft und Technik können eine Adaption der Energiestrategie erforderlich machen oder sinnvoll erscheinen lassen. Eine komplexe Gesellschaft sollte sich nicht auf ein einziges Szenario verlassen, sondern muss auch zweit-, dritt- und vierbeste Alternativen bereithalten, um auf externe Ereignisse und interne Veränderungen reagieren zu können. Allerdings ist es in hohem Maße erforderlich, vielleicht sogar unabdingbar, derartige Anpassungen so durchzuführen, dass sie gesellschaftlich breit getragen werden, da es sonst zu einer Blockade dringend erforderlicher Maßnahmen kommen könnte. Diese sich jetzt bietende Chance sollte genutzt werden, um partizipative Verfahren und Änderungen im geltenden Planungsrecht zu etablieren, durch die auf der einen Seite effizient, zeitgerecht und effektiv geplant und auf der anderen Seite den Bedenken und Anliegen der betroffenen Bevölkerung besser Rechnung getragen werden kann. Ziel muss es sein, einen breit getragenen, langfristig orientierten Energiekonsens zu schaffen. Dazu könnte es hilfreich sein, den Umbau des Energiesystems durch eine kompakte, neutrale, langfristig eingerichtete Instanz begleiten zu lassen. Ähnlich könnte auch die Entwicklung von Forschungsprogrammen und deren Anpassung an neue Entwicklungen begleitet werden.

3.4 Die Sicherheit der Elektrizitätsversorgung bei einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland

Ein zügigeres Abschalten von Kernkraftwerken als im ursprünglichen Atomausstiegsgesetz vorgesehen könnte unmittelbar zu kritischen Situationen in drei Bereichen führen: Bei der Gesamtmenge an elektrischer Energie, die in Deutschland erzeugt werden kann, bei der Leistung, die ständig bereitgestellt werden muss, um die Nachfrage nach elektrischer Energie zu befriedigen, und bei der Stabilität der Übertragungsnetze. Diese drei Bereiche gilt es auch zu adressieren, wenn auf den Einsatz der Kernenergie schneller verzichtet werden soll als im ursprünglichen Atomausstiegsgesetz vorgesehen.

3.4.1 Erforderliche Elektrizitätsmenge

Die Energiemenge wird auf der Ebene einer Volkswirtschaft meist in Terawattstunden (TWh, 1 TWh = 10^{12} Wh) oder in Petajoule (PJ, 1 PJ = 10^{15} J) angegeben. Eine TWh entspricht 3,6 PJ. In Deutschland sind in den vergangenen Jahren jeweils etwa 600 TWh pro Jahr an elektrischer Energie verbraucht worden (Bruttostromverbrauch). Zusätzlich wurden netto etwa 20 TWh elektrischer Energie exportiert.⁴ Durch Kernenergie wurden etwa 140 TWh elektrische Energie bereitgestellt. Dies könnte zunächst nahe legen, dass eine Lücke bei der bereitgestellten Energiemenge auftritt, wenn ein erheblicher Anteil der Kernkraftwerke abgeschaltet wird. Allerdings muss man berücksichtigen, dass die Bereitstellungskapazität nicht

⁴ Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsgb.), aktualisiert am 13.1.2011. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html>

vollständig genutzt wird, da Kraftwerke abhängig von der sogenannten *Merit Order* zur Deckung des Bedarfs eingesetzt werden, nachdem zunächst aufgrund des gesetzlichen Vorrangs die erneuerbaren Energien und durch KWK-Anlagen bereitgestellte Energie in die Netze eingespeist worden sind. 2008 und 2009 wurden jeweils etwa 94 TWh durch erneuerbare Energien bereitgestellt, so dass durch konventionelle Kraftwerke etwas über 500 TWh verfügbar sein müssten, um die Nachfrage nach Energie ohne Kernkraftwerke zu decken. Die installierte Bruttokapazität von konventionellen Kraftwerken beträgt nach der Kraftwerksdatenbank des Umweltbundesamtes etwa 72,5 GW.⁵ Diese Liste enthält allerdings nur Kraftwerke über 100 MW Leistung, durch kleinere Kraftwerke stehen nochmals etwa 7 GW zur Verfügung,⁶ so dass bei vollständiger Verfügbarkeit der Kraftwerke $79,5 \text{ GW} \times 8760 \text{ h} = 696,4 \text{ TWh}$ bereitgestellt werden könnten. D.h. selbst wenn die mittlere Kraftwerksverfügbarkeit bei nur etwa 72% läge – in der Realität ist sie deutlich höher –, reicht die derzeitige Bereitstellungskapazität aus, um auch bei vollständigem Verzicht auf Kernenergie die in Deutschland benötigte **Menge an elektrischer Energie** zu decken.

Diese Schlussfolgerung trifft auch dann zu, wenn man berücksichtigt, dass nach den Plänen der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 1 Mio. Elektrofahrzeuge in Betrieb sein sollen. Für das Jahr 2007 waren etwa 47 Millionen Pkw in Deutschland zugelassen, die insgesamt 588 Mrd. Fahrzeugkilometer zurückgelegt haben.⁷ Unter der Voraussetzung, dass Elektrofahrzeuge genauso eingesetzt würden

wie der Rest der Fahrzeugflotte, würden 1 Mio. Elektroautos 12,5 Mrd. Fahrzeugkilometer entsprechen. Für Elektrofahrzeuge kann man von einem mittleren Verbrauch von 0,15 kWh/km ausgehen. Somit würde jährlich ein Zusatzverbrauch von etwa 1,9 TWh durch 1 Mio. Elektroautos verursacht, also weniger als 0,3% des jährlichen Verbrauchs an elektrischer Energie, so dass der Einfluss der Elektromobilität zumindest bis 2020 vernachlässigt werden kann.

3.4.2 Erforderliche Leistung

Bei obiger Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass bei der für unsere Volkswirtschaft benötigten Energiemenge über das gesamte Jahr gemittelt wird. Elektrische Energie muss aber in erster Näherung zu jedem Zeitpunkt in genau der Menge bereitgestellt werden wie sie verbraucht wird. Die relevante Messgröße ist die Leistung, physikalisch Energie/Zeit, gemessen auf der Ebene einer Volkswirtschaft meist in Gigawatt (GW, $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$). Um Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, muss die verfügbare Leistung die Nachfrage zum Zeitpunkt der höchsten Last plus einer Sicherheitsreserve plus einer Marge für Systemdienstleistungen überschreiten. In Deutschland tritt die höchste Last in der Regel im Winter auf, im Jahre 2009 lag die höchste Last am 2. Dezember um 18 Uhr bei 73 GW, 2008 lag diese bei 76,8 GW,⁸ unter Berücksichtigung einer Sicherheitsreserve kann mittelfristig von einer Maximallast von 80 GW ausgegangen werden. Dieser Maximallast muss entsprechende zuverlässige Bereitstellungskapazität gegenüber stehen, die nach dem Monitoring-Bericht 2010 der Bundesnetz-Agentur⁹ als stundengesicherte Nettolast mit 92,8 GW angegeben wird. Zur mittelfristig erwarteten Maximallast gibt es

⁵ Umweltbundesamt (2011) Datenbank "Kraftwerke in Deutschland". Dessau.

⁶ Daten zu Kraftwerken mit einer Leistung von weniger als 100 MW stammen aus dem Bericht „Platts World Electric Power Plants Database“ (Stand 2010).

⁷ Shell Deutschland Oil GmbH (2009) Shell PKW-Szenarien bis 2030. Hamburg.

⁸ Bundesnetz-Agentur (2011) Monitoring-Bericht 2010. Bonn, S. 30.

⁹ Ebd.

nach diesen Daten eine Spanne von knapp 13 GW Leistungsreserve. Durch das Moratorium entfallen etwa 8,5 GW Leistung, von denen allerdings etwas über 2 GW bereits eingeplant waren (Krümmel, Brunsbüttel). Mittelfristig bleibt somit nach dieser Analyse auch für den Fall, dass die jetzt abgeschalteten Kernkraftwerke nicht wieder ans Netz gehen, genügend Leistungsreserve verfügbar. Die Bundesnetzagentur¹⁰ kommt auf der Basis einer Analyse des Netzbetreibers Amprion zu einem ähnlichen Schluss. Danach verbleibt für ein Referenzszenario unter Berücksichtigung von Sicherheitsmargen und der für Systemdienstleistungen erforderlichen Leistung eine leicht positive Kapazität in der Größenordnung von 0,4 GW für das Winterhalbjahr 2011/12. Diese Aussage wurde auch in einer Aktualisierung des Berichts vom 26.5.2011 bestätigt.¹¹

Die Netzagentur kommt im Übrigen zu dem Schluss, dass von einer vollständigen Lastdeckung sicher von dem Zeitpunkt an ausgegangen werden kann, ab dem sich die Abschaltungen wieder im Fahrplan des ursprünglichen Atomausstiegsgesetzes befinden, da sich alle Beteiligten ursprünglich auf dieses Szenario eingestellt hatten. Dies wird im Jahre 2013 der Fall sein, lediglich für Krümmel ist von den jetzt abgeschalteten Kraftwerken eine geplante Laufzeit bis 2021 vorgesehen gewesen. Krümmel ist aber seit 2009 aufgrund technischer Nachrüstung nicht am Netz.

Ob über das ursprüngliche Ausstiegsgesetz hinaus Kernkraftwerke schneller abgeschaltet werden können, muss anhand der derzeitigen Ausbaupläne im Detail geprüft werden.

Für 2011/12 ist ein Nettozubau dargebotsunabhängiger¹² Kraftwerksleistung von etwa 6,6 GW vorgesehen, was die entsprechend des ursprünglichen Atomausstiegsgesetzes abzuschaltende Leistung überkompensiert. Nach einer Zusammenstellung des BDEW¹³ ist bis 2019 eine Kapazitätserweiterung um etwa 32 GW dargebotsunabhängiger Kraftwerksleistung geplant, hinzu kommt die Erweiterung der Kapazitäten von dargebotsabhängiger erneuerbarer Energie. Für den schnelleren Ausstieg ist maßgeblich, welche dieser Planungen sich in welchem Zeitraum realisieren lassen. Es scheinen somit in Bezug auf die in Deutschland erforderliche installierte Leistung weitere Spielräume für eine vorzeitige Abschaltung von Kernkraftwerken vorhanden zu sein.

Die Reaktivierung von Kraftwerken der Kaltreserve, deren Leistung auf etwa 2,5 GW geschätzt wird,¹⁴ wird hier nicht weiter berücksichtigt. Eine Reihe dieser Kraftwerke steht bereits so lange in der Kaltreserve, dass unklar ist, wie hoch der Aufwand für deren Wiederinbetriebnahme tatsächlich ist. Außerdem sind diese Kraftwerke in der Regel alt und wenig effizient, so dass die spezifischen CO₂-Emissionen höher lägen als bei neuen Kraftwerken.

3.4.3 Stabilität der Übertragungsnetze

In der öffentlichen Diskussion bleibt häufig die Funktion von Kraftwerken zur Stabilisierung der Übertragungsnetze unberücksichtigt. Neben der Wirkleistungsbilanz, die durch die Frequenzregelung sichergestellt wird, muss auch jederzeit die Blindleistungsbilanz ausgeglichen sein. Dazu werden Kraftwerke benötigt, die

10 Auswirkungen des Kernkraftwerk-Moratoriums auf die Übertragungsnetze und die Versorgungssicherheit. Bericht der Bundesnetz-Agentur an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn, 11. April 2011, S. 54.

11 Bundesnetzagentur, 26.5.2011, S. 6.

12 Dargebot = Die einer Anlage zur Verfügung stehende Menge

13 Anlage zur Presseinformation „Strom- und Gasverbrauch um vier Prozent gestiegen“. BDEW, 4. April 2011.

14 Schneller Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland. Kurzfristige Ersatzoptionen, Strom- und CO₂-Preiseffekte. Ökoinstitut, Berlin, März 2010.

zur variablen Blindleistungsbereitstellung zur Verfügung stehen. Die Blindleistungsregelung wird bisher überwiegend von den Synchrongeneratoren der großen Kraftwerke und von speziell dafür ausgerüsteten Pumpspeicherkraftwerken übernommen. Aus physikalischen Gründen sollte diese Blindleistung nicht über weite Strecken im Netz transportiert werden, Blindleistung sollte daher ortsverteilt verfügbar sein, um die Verbraucheranforderungen zu erfüllen und das Übertragungsnetz stabil zu halten. Da Kernkraftwerke vornehmlich im Süden Deutschlands abgeschaltet worden sind, wird die Aufgabe, Blindleistung zur Verfügung zu stellen, deutlich anspruchsvoller.¹⁵ In der Aktualisierung des Berichts der Netzagentur wurden mögliche kritische Situationen im Winterhalbjahr 2011/12 identifiziert.¹⁶ Hinzu kommt die Tatsache, dass die Lastflusssituation in den Übertragungsnetzen durch die Abschaltung der Kernkraftwerke verändert worden ist. Geplante Wartungsarbeiten und Netzausbaumaßnahmen sind bereits jetzt dadurch betroffen. Es kommt so zu der Situation, dass einerseits die Netzertüchtigung für die Einkopplung erneuerbarer Energie durch das schnellere Abschalten von Kernkraftwerken noch dringlicher geworden ist, diese Aufgabe aber durch die stärkere Belastung der Netze erschwert werden kann. Hier wird in den nächsten Monaten eine detaillierte Analyse erforderlich sein.

Zur Netzstabilisierung sind andere Maßnahmen als die Einkopplung von Kraftwerken ebenfalls geeignet (sogenannte FACTS: regelbare Kapazitäten und Induktivitäten). Allerdings müssen diese Systeme erst noch installiert werden. Hier werden Zeiten zwischen

14 Monaten und drei Jahren angegeben¹⁷. Aufgrund des ursprünglichen Atomausstiegsgesetzes sind diese Maßnahmen aber vorbereitet und das Netz sollte allen Stabilitätsanforderungen genügen, wenn der ursprüngliche Fahrplan wieder erreicht ist, d.h. spätestens im Jahre 2013. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die erforderlichen Netzmaßnahmen innerhalb dieses Zeitraums durchgeführt werden. Wenn über die derzeit erfolgten Abschaltungen von Kernkraftwerken zusätzlich Kraftwerke vorzeitig vom Netz genommen werden sollen, müssten die erforderlichen Anpassungen der Übertragungsnetze schneller erfolgen. Hier ist eine genaue Analyse der Netzbetreiber zusammen mit den Versorgern und der Bundesnetzagentur erforderlich, um realistische Zeitpläne zu entwerfen.

Die Liste der geplanten Kraftwerksneubauten¹⁸ enthält eine Reihe von Einträgen, die in der Nähe der Standorte von Kernkraftwerken liegen. Wenn diese Kraftwerke ans Netz gehen, könnten sie die netzstabilisierende Funktion der Kernkraftwerke teilweise übernehmen. Es handelt sich dabei im Norden um Hamburg-Moorburg (1640 MW, 2012) und Stade (1000 MW, 2014), zusätzlich gibt es hinsichtlich des Realisierungszeitpunkts noch offene Projekte in Brunsbüttel (1820 MW) und Stade (1100 MW). In der Umgebung von Grafenrheinfeld sind zwei Kraftwerke in Planung, Großkrotzenburg (1100 MW, 2013) und Ludwigsau (1100 MW, 2014), in der Region Philippsburg/Neckarwestheim sind Kraftwerke in Karlsruhe (912 MW, 2013) und Mannheim (911 MW, 2013) im Bau. Die Funktion der

¹⁵ Auswirkungen des Kernkraftwerk-Moratoriums auf die Übertragungsnetze und die Versorgungssicherheit. Bericht der Bundesnetzagentur an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn, 11. April 2011, S. 9.

¹⁶ Bundesnetzagentur, 26.5.2011, S. 9.

¹⁷ Auswirkungen des Kernkraftwerk-Moratoriums auf die Übertragungsnetze und die Versorgungssicherheit. Bericht der Bundesnetzagentur an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Bonn, 11. April 2011, S. 31.

¹⁸ Anlage zur Presseinformation „Strom- und Gasverbrauch um vier Prozent gestiegen“. BDEW, 4. April 2011.

Kernkraftwerke Isar 1 und Isar 2 könnte vermutlich teils durch die Kraftwerke Irsching 4 (530 MW, 2011) und Burghausen (850 MW, 2014) übernommen werden. In der Nähe der Kernkraftwerke Gundremmingen I und II gibt es keine größeren kurzfristigen Kraftwerksbaupläne, abgesehen von auch in der Kapazität noch offenen Planungen der Stadtwerke Ulm. Diese Auflistung legt nahe, dass auch ein erheblicher Teil der jetzt noch laufenden Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer netzstabilisierenden Funktion bis etwa 2015 nicht mehr unbedingt erforderlich sein würden. Aber auch hier ist es dringend geboten, zusammen mit den Netzbetreibern eine sorgfältige Analyse durchzuführen.

3.5 Internationale Einbettung

Energiesysteme sind nicht auf der Ebene einzelner Volkswirtschaften isoliert zu betrachten. Der Austausch von elektrischer Energie erfolgt über Ländergrenzen hinweg, selbst wenn primär die im Lande benötigte elektrische Energie auch dort bereitgestellt wird. Hiergegen gibt es zunächst keine Einwände, denn Energie ist ein gehandeltes Gut, wie die meisten anderen Güter auch. Elektrische Energie nimmt damit auf dem gesamten Energiesektor keine Sonderstellung ein, denn andere Energieträger, wie Gas und Erdöl, werden zum größten Teil ebenfalls nach Deutschland importiert. Allerdings ist elektrische Energie als zentraler Energieträger insofern einzigartig, als sie nur indirekt und in begrenzten Mengen gespeichert werden kann, so dass ähnlich große Abhängigkeiten wie bei Öl und Gas, bei denen kurz- bis mittelfristige Versorgungsengpässe durch Lagerung überbrückt werden können, möglichst vermieden werden sollten.

Deutschland kann über die Grenzkuppelstellen insgesamt knapp 17 GW Leistung aus den angrenzenden Ländern beziehen. Das bedeutet,

dass Lastspitzen in Deutschland, die durch hier bereitgestellte elektrische Energie nicht zu decken sind, durch Importe ausgeglichen werden können, falls in anderen Ländern genügend elektrische Energie verfügbar ist. Dies ist nach den vorliegenden Zahlen¹⁹ sowohl für den Sommer als auch den Winter in der Größenordnung mehrerer Gigawatt möglich (Sommer 8,1 GW, Winter 7,7 GW). Eine Ertüchtigung der Stromnetze auf europäischer Ebene²⁰ wird einen Beitrag dazu leisten können, mittelfristig weitere Kapazitäten zur Abfederung von Lastspitzen zu schaffen.

Allerdings muss man sich die Frage stellen, ob eine in Deutschland veränderte Risikobewertung in Bezug auf die Nutzung von Kernenergie dazu führen sollte, dass Deutschland zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit dieses Risiko ins Ausland exportiert, denn ein erheblicher Teil der elektrischen Energie wird in einigen Nachbarländern nuklear erzeugt. Zwar ist davon auszugehen, dass in Zeiten, in denen in Deutschland Lastspitzen entstehen, auch in den Nachbarländern tendenziell eher hohe Lasten anliegen. Dies bedeutet, dass die Kernkraftwerke, die im Grundlastbetrieb laufen, ohnehin bereits ausgelastet sind und zusätzliche Kapazitäten durch Kraftwerke niederrangiger *Merit Order* – also nicht-nuklear – bereitgestellt werden. Obwohl in Deutschland – wie oben ausgeführt – ausreichende Elektrizitätsmengen und ausreichende Leistung zur Verfügung steht, kann dennoch nicht ausgeschlossen werden, dass ein möglicher Zusatzbedarf Deutschlands nach Abschalten von Kernkraftwerken hierzulande zumindest für eine Übergangszeit

¹⁹ Auswirkungen des Kernkraftwerk-Moratoriums auf die Übertragungsnetze und die Versorgungssicherheit. Bericht der Bundesnetzagentur an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn, 11. April 2011, S. 57-58.

²⁰ European Academies Science Advisory Council EASAC (2009) Transforming Europe's Electricity Supply. London.

durch nukleare, aus dem Ausland bezogene elektrische Energie gedeckt würde, wenn diese deutlich kostengünstiger bereitgestellt würde als die in Deutschland als Ersatz für Kernenergie möglicherweise gewünschte nicht-nukleare elektrische Energie.

3.6 Effekt eines beschleunigten Kernenergieausstiegs auf die CO₂-Emissionen

Aufgrund der vereinbarten Deckelung der CO₂-Emissionen sollten die Mechanismen des CO₂-Handels dafür sorgen, dass entsprechende Mehremissionen im Energiesektor aufgrund des Abschaltens von Kernkraftwerken durch Minderemissionen in den Bereichen kompensiert werden, in denen die Grenzkosten für die Reduktion der CO₂-Emissionen am niedrigsten sind. Die Einhaltung der Klimaschutzziele durch den Zertifikatshandel ist aber an Bedingungen gebunden. Zum einen muss die vereinbarte Deckelung der Emissionen in der jetzigen Form beibehalten werden, was aufgrund der internationalen Signalwirkung des deutschen Handelns in jedem Fall gewährleistet werden sollte. Zum anderen handelt es sich zumindest zu Beginn des Emissionshandels um einen „Markt ohne Knappheit“, da einige Länder höhere Emissionsrechte besitzen als tatsächlich vorhandene Emissionen. Zumindest in der frühen Phase des Emissionshandels muss man daher davon ausgehen, dass durch die Abschaltung von Kernkraftwerken zusätzlich anfallende CO₂-Emissionen nur zum Teil in anderen Wirtschaftssektoren oder anderen Ländern kompensiert werden.

Das Fehlen der Erzeugungskapazität aus Kernkraftwerken erfordert den Ersatz der entsprechenden Leistung durch andere verfügbare Kraftwerke. Hier gibt es verschiedene Optionen. Wirtschaftlich würde die erforderliche Leistung durch verfügbare Kraftwerke

entsprechend ihrer *Merit-Order* bereitgestellt. Gemäß Daten des BDEW²¹ werden Steinkohlekraftwerke im Mittel 3550 h/a betrieben, Gaskraftwerke 3170 h/a. Der Einsatz dieser Kraftwerke müsste und könnte also entsprechend erhöht werden, um den Wegfall der Kernkraftwerkskapazitäten zu kompensieren. Die Emission beträgt etwa 900 g CO₂/kWh für die Bereitstellung aus Steinkohle und etwa 450 g CO₂/kWh bei Gas als Brennstoff²². Durch die Stilllegung der durch das Moratorium betroffenen Kernkraftwerke fallen etwa 40 TWh/a aus, errechnet aus den publizierten Produktionsdaten für 2008 und 2009 dieser Kraftwerke.²³ Würde die fehlende Kapazität ausschließlich durch Steinkohlekraftwerke gedeckt, würde dies eine zusätzliche CO₂ Emission von etwa 36 Mio. t/a bedeuten, bei Deckung durch Gaskraftwerke beträgt dies etwa die Hälfte. Bei energiebedingten CO₂ Emissionen von etwa 700 Mio. t/a²⁴ entspricht dies etwa 2,5 – 5 % der gesamten energiebedingten Emissionen.

Falls die **gesamte** nukleare Bereitstellung elektrischer Energie in Deutschland (etwa 140 TWh, gemittelt über die letzten vier Jahre) durch fossile Technologien wie Gas- oder Kohlekraftwerke ersetzt werden sollte, resultierte dies theoretisch in zusätzlichen CO₂-Emissionen zwischen 63 Mio. t/a und 126 Mio. t/a, d.h. die durch die Bereitstellung elektrischer Energie hervorgerufenen CO₂-Emissionen

21 http://bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten

22 H.-J. Wagner, M.K. Koch, J. Burkhardt, T. Große Böckmann, N. Feck, P. Kruse (2007) CO₂-Emissionen der Stromerzeugung- ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken BWK, Bd. 59, Nr. 10, S. 44-52, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf.

23 atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie (2010) Betriebsergebnisse für 2009.

24 Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsgb.), aktualisiert am 13.1.2011. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html>

würden sich um bis zu etwa 20% (Ersatz der gesamten AKW-Kapazität nur durch Steinkohlekraftwerke) erhöhen. Mit dem Ausbau von erneuerbaren Energien würden diese zusätzlichen CO₂-Emissionen aus dem Energiebereich nach und nach zurückgeführt werden können. Wie der genaue Pfad dahin aussehen könnte, müssen detailliertere Analysen zeigen.

Bei der Bewertung der oben angegebenen Zahlen sollte aber berücksichtigt werden, dass es sich hier um absolute Mehremissionen handelt. Das Auslaufen der Kernenergienutzung entsprechend des Ausstiegsgesetzes war bei der Formulierung der CO₂-Minderungsziele bereits berücksichtigt worden. Die im Vergleich zu diesem Referenzfall bei einem beschleunigten Ausstieg **zusätzlich** entstehenden CO₂-Emissionen liegen daher niedriger als die oben angegebenen Mengen, wobei die genauen Zahlen abhängig vom Ausstiegspfad sind.

3.7 Effekt eines beschleunigten Ausstiegs auf die Energiekosten

Hinsichtlich der Kosten eines beschleunigten Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie herrschen enorme Diskrepanzen zwischen den Kostenschätzungen verschiedener Studien. Dies ist auf unterschiedliche Basisannahmen bezüglich der Kosten der Bereitstellungstechnologien zurückzuführen. Zudem besteht auch keine Einigkeit über die anzuwendende Methodik und darüber, welche Effekte in die Kosten des Ausstiegs einzubeziehen sind. Im Rahmen der vorliegenden Stellungnahme sollen die zahlreichen teils widersprüchlichen Detailanalysen keine weitere hinzugefügt werden, sondern in einer einfachen Beispielrechnung eine Größenordnung der zu erwartenden Kosten abgeschätzt werden. Das Ergebnis hängt aber stark von den Basisannahmen, die hier explizit erwähnt sind.

Bei der Analyse des Einflusses eines beschleunigten Ausstiegs aus der Kernenergie auf die Energiekosten ist zunächst der Basisfall zu definieren. Der Umbau des deutschen Energiesystems mit den damit verbundenen Kosten ist im Energiekonzept der Bundesregierung vorgezeichnet. Die Netzkosten bei einem Ausstieg entsprechend des ursprünglichen Atomausstiegsgesetzes sind in der DENA-Netzstudie II²⁵ für unterschiedliche technische Realisierungen abgeschätzt worden. Danach liegen die jährlichen Kosten bis 2020 für die unterschiedlichen Szenarien zwischen knapp unter 1 Mrd. €/a (380 kV Freileitungen) und fast 5 Mrd. €/a (gasisolierte Leiter). Das Netznutzungsentgelt für Haushaltskunden würde nach der DENA-Netzstudie II durch den Netzausbau, unabhängig von weiteren Maßnahmen, um 0,2 ct/kWh bis 0,5 ct/kWh steigen.²⁶

Ein beschleunigter Ausstieg im Vergleich zum ursprünglichen Atomausstiegsgesetz wird weitere Netzadaptionen erfordern, mit denen kurzfristig den geänderten Anforderungen begegnet werden kann. Eine belastbare Kostenschätzung dazu kann zu diesem Zeitpunkt nicht abgegeben werden. Man kann aber die Dimension der erforderlichen Änderungen der Netze, die in der DENA-Netzstudie untersucht worden ist, mit den Maßnahmen vergleichen, die ein noch weiter beschleunigter Ausstieg aus der Kernenergie erfordern würde. Letztere sind mit hoher Wahrscheinlichkeit wesentlich geringer. Es erscheint daher realistisch, dass die zusätzlichen Netzkosten deutlich unter denen liegen, die bisher für den Netzausbau veranschlagt werden, also deutlich unter 0,2 ct/kWh.

²⁵ Deutsche Energie-Agentur GmbH DENA (2010) DENA-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick 2025, Berlin.

²⁶ Ebd., S. 16.

Neben den Netzkosten werden auch durch Ersatz von relativ kostengünstiger nuklearer Energie durch Kraftwerke mit höheren Grenzkosten die Preise für elektrische Energie ansteigen. Darüber hinaus gehen Ökonomen davon aus, dass bei Zubau von erheblichen Kraftwerkskapazitäten in kurzer Zeit teilweise Vollkosten die Preise bestimmen. Zu den Gestehungskosten für elektrische Energie durch unterschiedliche Energietechnologien gibt es zahlreiche, teils deutlich voneinander abweichende Angaben. Hier soll von einer vorsichtigen Schätzung ausgegangen werden, bei der die Kosten der Kernenergie eher niedrig angesetzt werden (bei Kernkraftwerksneubauten geht man von etwa den doppelten Kosten aus), die Kosten von Kohle- und Gaskraftwerken eher hoch angesetzt werden, d.h. die Schätzung bewegt sich an der Obergrenze der zu erwartenden Kostensteigerung. Wenn man die mittleren Gestehungskosten für nukleare elektrische Energie mit 2 bis 2,5 ct/kWh ansetzt, was durch Brennelementesteuer und Ökofonds auf etwa 3,5 ct/kWh ansteigt, die Kosten für Ersatzenergie (Kohle und Gas Neubaumix 2020, CO₂-Preis 50 €/t) mit 6,7 ct/kWh,²⁷ dann steigen bei Wegfall eines Kernenergieanteils von 23% die mittleren Kosten um knapp 1 ct/kWh inklusive der oben angesprochenen Netzausbaukosten. Diese Abschätzung liegt nicht weit entfernt von der Entwicklung des *Phelix Base Future* für 2012, der die Erwartungen der Marktteilnehmer abbildet und nach Ankündigung des Moratoriums um etwa 0,6 ct/kWh anstieg.²⁸

27 C. Kemfert & T. Traber, Wochenbericht DIW 23/2010, Nachhaltige Energieversorgung: Beim Brückenschlag das Ziel nicht aus dem Auge verlieren. Berlin. http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.357248.de/10-23.pdf

28 Auswirkungen des Kernkraftwerk-Moratoriums auf die Übertragungsnetze und die Versorgungssicherheit. Bericht der Bundesnetzagentur an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn, 11. April 2011, S. 62.

Allerdings handelt es sich bei dieser Betrachtung nur um eine vereinfachte Beispielrechnung. Der Energiepreis wird durch zahlreiche weitere Faktoren beeinflusst, die nicht einfach zu modellieren sind. Ein erhöhter Anteil von fossilen Kraftwerken würde die CO₂-Zertifikate verteuern, was sich preissteigernd auf den Strompreis auswirkt. Bei obiger Abschätzung wurde allerdings bereits von einem relativ hohen CO₂-Preis ausgegangen, zudem wurde im vorigen Kapitel bereits darauf hingewiesen dass es sich beim Zertifikate-Markt zumindest in der Anfangsphase vermutlich um einen „Markt ohne Knappheit“ handeln wird. Preissenkend wirkt dagegen eher die Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, die bei steigendem Börsenpreis für elektrische Energie zurückgeht. Schließlich könnten bei einem Zubau von Bereitstellungskapazität neue Anbieter auf dem Markt auftreten, die für einen verstärkten Wettbewerb sorgen würden, was tendenziell ebenfalls preismindernd wirkt. Im Übrigen muss man davon ausgehen, dass die Kosten für Kernenergie vermutlich steigen werden, da mit zusätzlichen Sicherheitsauflagen gerechnet werden muss.

Schließlich ist davon auszugehen, dass auf Grund der Marktmechanismen vermutlich eher günstigere elektrische Energie aus dem Ausland importiert würde, anstatt verstärkt Kraftwerke mit niedrigerer *Merit Order* einzusetzen. Dieser Effekt wird den Kostenanstieg dämpfen.

In der Summe liegt die obige Abschätzung von etwa 1 ct/kWh vermutlich in der richtigen Größenordnung, wenn nukleare elektrische Energie durch konventionelle Kraftwerke ersetzt werden soll. Dies ist für energieintensive Industriezweige eine erhebliche Kostensteigerung, die die internationale Konkurrenzfähigkeit stark beeinflussen kann. Für private Stromkunden halten sich die Effekte aber in einem Bereich, der grundsätzlich akzeptabel erscheint.

Wie bei der CO₂-Bilanz sind hier nicht die Zusatzkosten im Vergleich zum ursprünglichen oder modifizierten Atomausstieg, sondern die absoluten Kosten abgeschätzt worden. Relative Kostensteigerung im Vergleich zum ursprünglichen Fahrplan liegen niedriger und hängen vom genauen Ausstiegspfad ab.

Inwieweit zusätzlich mittelbare volkswirtschaftliche Effekte durch einen beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie auftreten werden, ist schwer vorherzusehen, da auch hier gegenläufige Effekte auftreten. So werden etwa einerseits energieintensive Branchen durch erhöhte Stromkosten in ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit geschwächt. Andererseits wird eine erhöhte Dynamik in der Umstellung des deutschen Energiesystems die auf diesen Gebieten tätigen Unternehmen stärken und mit dem deutschen Leitmarkt die Exportfähigkeit steigern. Unter anderem aufgrund unterschiedlicher Erwartungen hinsichtlich der relativen Bedeutung der Effekte kann man zu positiven oder negativen Prognosen hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Auswirkungen kommen; zudem sind die Zeitskalen, auf der diese Effekte wirksam werden, nicht identisch.

3.8 Sozio-kulturelle Rahmenbedingungen

Effizienzsteigerungen sind die am schnellsten aktivierbaren Maßnahmen, um eine Reduktion der Leistung durch einen beschleunigten Kernenergieausstieg klimaneutral und kostengünstig zumindest teilweise zu kompensieren. Viele Effizienztechnologien sind verfügbar und würden sogar die Energiekosten senken. Dennoch werden sie häufig nicht eingesetzt.

Die Wirksamkeit der verbesserten Effizienz bei der Umwandlung von Primär- in Sekundär-energie und von dort in die gewünschten Energiedienstleistungen ist zum einen von den Wirkungsgraden der eingesetzten Technologien,

zum anderen von organisatorischen, sozialen und psychologischen Faktoren bestimmt. Viele der heute diskutierten Energieszenarien gehen von einer Effizienzverbesserung von knapp 50% bis 2050 aus. Diese soll sich nach diesen Szenarien 1:1 auf die Reduktion von Primärenergien auswirken. Sieht man sich aber die Vergangenheit an, dann stellt man fest, dass beispielsweise von 1990 bis 2008 zwar die Effizienz der in Haushalten genutzten Geräten um rund 32% gesteigert werden konnte, aber gleichzeitig der Elektrizitätsverbrauch der privaten Haushalte um rund 21% zugenommen hat. Dieser so genannte *Rebound*-Effekt führt dazu, dass die Einsparungen überkompensiert werden. Es ist also dringend geboten, in der Zukunft Anreize zu schaffen, dass Effizienzgewinne die Verbraucher nicht zu mehr Energieverbrauch animieren.

Ebenso bedeutsam ist die Frage der Flexibilität und Geschwindigkeit der angestrebten Veränderungen im Bereich der energetischen Infrastruktur (vor allem Netze und Speicher). Wenn man bedenkt, dass heute die Verlegung einer Hochspannungsleitung von der Konzeption bis zur Umsetzung mindestens 10 Jahre dauert, wird deutlich, dass die notwendigen Anpassungen an einen beschleunigten Kernenergieausstieg nicht mehr synchron mit den Anforderungen ablaufen werden. Dabei darf es nicht darum gehen, Planungsprozesse dadurch zu beschleunigen, dass Mitwirkungsrechte der Bevölkerung abgebaut werden, sondern dass effektivere und effizientere Verfahren der Öffentlichkeitsbeteiligung entwickelt, erprobt und eingesetzt werden, durch die auf der einen Seite die für den Umbau des Energiesystems notwendigen Infrastrukturveränderungen zeitgerecht umgesetzt werden können und auf der anderen Seite die berechtigten Anliegen und Bedenken der Bevölkerung konstruktiv eingebunden werden. Gerade auf diesem Gebiet besteht großer Forschungs- und Handlungsbedarf.

3.9 Schlussfolgerung

Auf Basis der vorstehend vorgenommenen ersten Analyse kann gefolgert werden, dass aus technisch-wissenschaftlicher Sicht ein Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie auf einer Zeitskala von etwa 10 Jahren möglich erscheint. Dies setzt allerdings voraus, dass alle entsprechenden Maßnahmen zügig und aufeinander abgestimmt eingeleitet werden. Ein beschleunigter Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie sollte im übrigen nur als ein Element des Umbaus des deutschen Energiesystems gesehen werden. Dies ist eine äußerst anspruchsvolle Herausforderung, die auf einer weit längeren Zeitskala bewältigt werden muss. Die Formulierung einer entsprechenden *Roadmap* könnte helfen, hierbei zielgerichtet und abgestimmt vorzugehen. Die Größe dieser Aufgabe lässt es erforderlich erscheinen, den Umbau durch intensive Forschungsanstrengungen zu unterstützen und einen breiten gesellschaftlichen Konsens über das Ziel und den Weg dahin zu erreichen. Neben den technologischen Innovationen werden daher auch gesellschaftliche Innovationen benötigt, um diesen Weg mit all seinen Unsicherheiten und den erwartbaren Erfordernissen des Nachsturens gehen zu können. Darüber hinaus ist ein konstantes Monitoring erforderlich, um regelmäßig die Entwicklung zu beobachten und Maßnahmen vorzuschlagen, wenn die jeweils angepeilten Zielfunktionen nicht erreicht werden.

4. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Aus der Analyse im ersten Teil resultieren folgende Handlungsleitlinien auf unterschiedlichen Handlungsfeldern mit einem Schwerpunkt auf den zugehörigen Forschungsprioritäten. Hierzu werden zunächst die für einen beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie kurzfristig relevanten Handlungs- und Forschungsempfehlungen gegeben (Zeitskala < 10 Jahre). Daran schließt sich eine synoptische Darstellung der Forschungsprioritäten an, die wesentliche Wirkungen erst mittel- bis langfristig entfalten (Zeitskala 10-50 Jahre). Derartige Forschungsansätze sind von großer Bedeutung, können aber nicht zur Bewältigung der derzeitigen Situation beitragen. Diese sind im Energieforschungskonzept der Akademien von 2009 bereits formuliert, für Details wird auf dieses Papier verwiesen.²⁹ Zeitkonstanten von 10-50 Jahren sind im Energiesystem nicht ungewöhnlich. Die Technologien müssen zum einen wegen der hohen Kosten und der hohen Risiken bei einem Versagen einen hohen Entwicklungsstand aufweisen, um genügend robust für den Einsatz zu sein, zum anderen sind die Investitionszyklen auf dem Energiegebiet sehr lang, so dass selbst eine überlegene Technologie den Markt nur langsam durchdringen kann. Dies sollte aber nicht zu der Folgerung führen, dass die mittel- und langfristigen Forschungsprioritäten erst später angegangen werden könnten. Die Grundlagen müssen bereits jetzt gelegt werden, damit Optionen verfügbar sind, wenn sie benötigt werden.

²⁹ Leopoldina, acatech & BBAW (2009) Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland. Halle.

4.1 Kurzfristige Empfehlungen

4.1.1 Energiebereitstellung

- Die in Bau befindlichen und geplanten Kraftwerksprojekte sollten möglichst ohne weitere Verzögerung realisiert werden. Gegebenenfalls sollte bei den noch in Planung befindlichen Kraftwerken eine Neubewertung der vorgesehenen Brennstoffe erfolgen.
- Die notwendige zusätzliche Kraftwerkskapazität bei einem beschleunigten Atomausstieg sollte zur kurzfristigen Überbrückung der möglichen Kapazitätslücke und längerfristig für zusätzliche Regelleistung vorrangig über effiziente GuD-Gaskraftwerke bereit gestellt werden. Diese sind mit einem zukünftigen, stärker regenerativen Energiesystem gut kompatibel und erzeugen geringere CO₂-Emissionen als Kohlekraftwerke. Allerdings sollte auf eine genügende Diversifizierung der eingesetzten Brennstoffe geachtet werden.
- Windparks werden mittelfristig die günstigste Quelle für erneuerbare Energie bleiben, allerdings müssen auch hier die Akzeptanzprobleme beachtet werden.
- Die Kosten der Photovoltaik in Deutschland sind im Vergleich zu anderen regenerativen Technologien relativ hoch. Die Photovoltaik kann einen signifikanten Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs leisten, unter Kostengesichtspunkten sollte dieser Pfad kurzfristig aber nicht mit höchster Priorität verfolgt werden. Bei Erreichen von Netzparität kann der PV-Markt allerdings neue Impulse erhalten.
- Da durch Ausbau von Erdgaskraftwerken die Abhängigkeit von importierten Energieträgern noch weiter zunimmt, müssen zum einen die soziokulturellen Rahmenbedingungen für eine sichere Energieversorgung

untersucht werden, zum anderen sollten Forschungsanstrengungen unternommen werden, unkonventionelle Erdgasquellen in Deutschland zu erschließen, wie etwas Kohleflözgas und Schiefergas (shale gas).

- Bei allen erneuerbaren Energien sollten besonders Forschungsarbeiten vorangetrieben werden, die zu schnellen Kostensenkungen führen könnten, da die im Vergleich zu fossilen Energietechnologien hohen Kosten der erneuerbaren Energien eine der wesentlichen Hürden darstellen.
- Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Windenergieanlagen, die zusätzliche Systemdienstleistungen für das Netze übernehmen können, können dazu beitragen, die fluktuierende elektrische Energie systemgerechter einzukoppeln.
- Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung muss unter der Prämisse eines abnehmenden Wärmemarktes hinsichtlich ihrer systemischen Effizienz analysiert werden.
- Die Rolle virtueller Kraftwerke muss vor dem Hintergrund neuer Strukturen auf dem Elektrizitätsmarkt hinsichtlich ihrer systemischen Effizienz analysiert werden.
- Innovative Formen der Beteiligung an dezentralen Lösungen durch Kommunen oder Genossenschaften, neue Formen der Bürgerbeteiligung, innovative Betreibermodelle und neue Formate zur Einbindung von Anliegen und Präferenzen der Anwohner sind zu entwickeln und zu erproben.

4.1.2 Netzinfrastuktur

Die Anpassung der Netzinfrastuktur ist eine entscheidende Voraussetzung für einen beschleunigten Kernenergieausstieg. Viele der damit in Zusammenhang stehenden Fragen sind detailliert in einer Reihe von Studien untersucht, für Deutschland durch die DENA

Netzstudie II³⁰, für die europäischen Netze etwa durch die Studie „Transforming Europe's Electricity Supply“ des European Academies Science Advisory Council³¹. Die Verfasser der vorliegenden Stellungnahme schließen sich den Aussagen dieser Studien im Grundsatz an, die wesentlichen Handlungsempfehlungen werden nachstehend gegeben:

- Für die verstärkte Einkopplung von Elektrizität aus Windenergie ist der Ausbau von Stromleitungssystemen unabdingbar. Die Übertragungsstruktur muss flexibler werden, um höheren Anteilen erneuerbarer Energieformen gerecht zu werden. Die Wege dazu sind in der DENA-Netzstudie³² analysiert.
- Da die Abschaltung von Kernkraftwerken lokal die für die Übertragungsnetze verfügbare Blindleistung stark reduziert, müssen schnellstmöglich alternative Einrichtungen zur Netzstabilisierung installiert werden. Neue Kraftwerke sollten so platziert werden, dass sie die Stabilisierungsfunktion der Kernkraftwerke im System übernehmen können.
- Die internationale Verknüpfung der Netze auf europäischer Ebene wird bedeutender werden. Beim Ausbau des deutschen Netzes muss daher auf die Passfähigkeit zu europäischen Planungen geachtet werden.
- Die Übertragungskapazität des europäischen Netzes muss erhöht werden durch die Integration von europaweiten Kontrollelementen und Messstellen. Weitere Detailsempfehlungen enthält der EASAC-Bericht.

³⁰ Deutsche Energie-Agentur GmbH DENA (2010) DENA -Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick 2025, Berlin.

³¹ European Academies Science Advisory Council EASAC (2009) Transforming Europe's Electricity Supply. London.

³² Deutsche Energie-Agentur GmbH DENA (2010) DENA -Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick 2025, Berlin.

- Maßnahmen zur Dynamisierung der Übertragungskapazität (Betrieb an der physikalischen Grenze, Hochtemperaturfreileitungsseile, Freileitungsmonitoring) müssen entwickelt und implementiert werden.
- Unterschiedliche Beiträge zum *Demand Side Management* und die Einbeziehung der Verbraucher in solche Konzepte müssen untersucht werden.
- Neue Marktinstrumente müssen erforscht und implementiert werden, die die Integration von fluktuierender Leistung in die Netze unterstützen.
- Innovative Planungs- und Beteiligungsverfahren beim Ausbau der Netze und ihrer Trassenführung sind zu erforschen und zu erproben.
- Die Kommunikation über die Bedeutung der neuen Leitungsnetze muss verbessert werden.
- Alternativen zur Energiespeicherung, etwa durch Zubau von Windturbinen, PV-Anlagen oder Gasturbinen, die nicht mit maximaler Auslastung betrieben werden, oder durch weiter verstärkten Netzausbau sind hinsichtlich Machbarkeit und Kosten zu analysieren.
- Die Effizienz der Wasserelektrolyse muss bei gleichzeitiger Verringerung der Investitionskosten erhöht werden.

4.1.4 Effizienztechnologien

- Da bei einem schnelleren Auslaufen der Kernenergienutzung die Lücken am ehesten im Bereich der elektrischen Energieversorgung auftreten, sollten kurzfristige Effizienzmaßnahmen vorrangig bei Verbrauchern elektrischer Energie ansetzen.
 - Effizienzmaßnahmen auch in anderen Bereichen der Energiesysteme (Verkehr, Wärme) sollten dann besonders hoch priorisiert werden, wenn sie einen hohen Effekt hinsichtlich der CO₂-Bilanz haben.
 - Anreizsysteme und Interventionen zur Vermeidung von *Rebound*-Effekten und zur Motivation privater Verbraucher, mehr auf effiziente Energienutzung zu setzen, müssen entwickelt, erforscht und erprobt werden.
 - Kurzfristig sollte eine Analyse erfolgen, in welchen Verbrauchssektoren elektrischer Energie durch Forschungsanstrengungen die größten Potenziale bestehen. Hier bestehen noch große Einsparmöglichkeiten, deren Realisierung volks- und betriebswirtschaftlich oftmals sehr sinnvoll ist.
 - In der Industrie sind insbesondere die elektrischen Querschnittstechnologien (Elektromotoren und deren Anwendungen), neue Materialien und Tribologie sowie die Materialeffizienz und der Leichtbau wichtige Forschungsthemen.
- #### 4.1.3 Energiespeicherung
- Speicherkapazität sollte unter Berücksichtigung des erwarteten Netzausbaus geplant werden.
 - Übertragungsleitungen hoher Kapazität sollten EU-weit etabliert werden, um das deutsche Netz an Skandinavien und den Alpenraum besser anzubinden. Die Anbindung nach Südeuropa und Nordafrika ist bereits jetzt zu diskutieren und zu bewerten, um mittel- bis langfristig Zugriff auf günstigen und regelbaren Solarstrom zu erhalten.
 - Kostengünstige, effiziente Stromspeichersysteme für Zeiträume von wenigstens bis zu einem Tag (stationäre Großbatterien, adiabate Druckluftspeicher, neue Speicherkonzepte) sind zu entwickeln.
 - Untersuchungen zur optimalen Netzeinbindung von Speichersystemen sind erforderlich.

- Forschungsarbeiten zur stofflichen Nutzung biogener Rohstoffe in der chemischen Industrie sollten vorangetrieben werden, da hier im Vergleich zur direkten Verbrennung oder zur Herstellung von Biokraftstoffen höhere CO₂-Einsparungspotenziale liegen können.
- Im Gewerbe-Handel-Dienstleistungssektor sind prioritäre Forschungsthemen ebenfalls die Querschnittstechnologien, insbesondere zur Beleuchtung, Warmwasserbereitstellung, Kühlung, Ventilation und Klimatisierung sowie im IT-Bereich.
- Wichtige Themen im Bereich der Stromnutzung in Haushalten sind Effizienzmaßnahmen bei der Beleuchtung, bei der Wärme-, Kälte- und Warmwasserbereitstellung, bei großen elektrischen Haushaltsgeräten, sowie bei TV und im IT-Bereich.

4.1.5 Übergreifende Handlungs- und Forschungsempfehlungen

- Die Wahrnehmung der Bevölkerung für die Risiken unterschiedlicher Energietechnologien entspricht nur zum Teil den naturwissenschaftlich und technisch berechneten Werten. Zum einen ist es wichtig, dass die zu erwartenden Vor- und Nachteile der jeweiligen Energieträger und Energiesysteme nachvollziehbar und verständlich kommuniziert werden. Zum anderen ist es notwendig, die den Wahrnehmungen zugrundeliegenden Anliegen und Werte der Bevölkerung zu erfassen und so weit wie möglich in die Planungen einfließen zu lassen. Für beide Zielsetzungen sind entsprechende Dialogverfahren und Kommunikationsplattformen zu schaffen und zu betreiben.
- Eine umfassende und transparente Risikoanalyse unterschiedlicher Bereitstellungstechnologien unter Einbeziehung unterschiedlicher Risikodimensionen ist essentiell, um sachlich fundierte, transparente und von einer breiten Mehrheit getragene Entscheidungen über zukünftigen Energietechnologien und -systeme zu ermöglichen.
- Der Umstieg auf andere Energieformen muss durch eine permanente Kostenanalyse begleitet werden. Dazu ist es erforderlich, in einer konzertierten Aktion zwischen Wissenschaft und Energiewirtschaft eine belastbare Datenbasis zu erstellen.
- Ein erhebliches Einsparpotenzial elektrischer Energie jenseits technologischer Innovation liegt in der Veränderung von Verbraucherverhalten. Nachfrageforschung und die Untersuchung der Wirkungen von Anreizsystemen sowie von regulatorischen und informatorischen Maßnahmen sind wichtig, weil die damit zu erzielenden Ergebnisse eine Verbrauchssenkung mit relativ geringem Aufwand versprechen. Bislang ist in der Erforschung der Nachfrageseite noch zu wenig investiert worden. Diese Lücke gilt es schnell zu schließen.
- Angesichts der internationalen Auswirkungen möglicher Atomunfälle müssen internationale Governance-Strukturen untersucht und geschaffen werden, durch die allgemein akzeptierte Standards etabliert werden könnten.
- Die aktuelle Situation zeigt, dass wir *Second-* und *Third Best-*Strategien benötigen, die dann greifen, wenn sich Rahmenbedingungen verändern, beispielsweise ein großer Atomunfall eintritt oder ein weltweit geltendes klimapolitisches Abkommen nicht zustande kommt.
- Forschung im nuklearen Bereich muss weiterhin sicherstellen, dass internationale Entwicklungen wissenschaftlich begleitet werden können und neue Entwicklungen wie Stilllegung und Rückbau bewältigt wer-

den. Die aktuellen Erfahrungen aus Japan sollten sorgfältig ausgewertet werden, um den Sicherheitsstandard von Kraftwerken und peripheren Anlagen (etwa Abklingbecken) zu steigern.

- Für die Endlagerung von nuklearem Abfall sollte baldmöglichst eine technisch fundierte und sozial verträgliche Lösung gefunden werden.
- Havarien in ausländischen Kernkraftwerken könnten Folgen auch auf deutschen Boden haben. Forschung zur Sicherheit, zum Unfallmanagement und zur Bewältigung der Folgen wird als Vorsorgemaßnahme benötigt.
- Während durch staatliches Handeln Rahmenbedingungen gesetzt werden sollten, ist die Umsetzung vorrangig eine Aufgabe der Wirtschaft. Hier sollten Instrumente entwickelt werden, die gesellschaftliche Prioritätensetzung erlauben, die aber gleichzeitig so verlässlich sind, dass Unternehmen langfristige Planungssicherheit haben.
- Die derzeitige Diskussion über die Energieversorgung und die spürbare Bereitschaft zu Veränderungen über viele gesellschaftliche Gruppen hinweg sollte genutzt werden, um rasch das entsprechende politische Instrumentarium zu etablieren und dauerhafte Strukturen zu schaffen, durch die der erforderliche Transformationsprozess unseres Energiesystems begleitet wird.

4.1.6 Strukturelle Empfehlungen

- Auf dem Energiesektor ist aufgrund der langen Zeiten, über die eine installierte Technologie normalerweise betrieben wird, ein hohes Maß an Kontinuität in der Energiepolitik unverzichtbar, um Unternehmen und Verbrauchern verlässliche Rahmenbedingungen zu geben. Daher sollte die intensive öffentliche Diskussion nach Fukushima dafür genutzt werden, so weit als möglich einen überparteilichen und breit legitimierten Konsens für die künftige Energiepolitik herzustellen. Dazu bedarf es auch eines intensiven Dialogs in der Gesellschaft über künftige Leitbilder der Energieversorgung und deren Implikationen für die Volkswirtschaft, die individuelle Lebensqualität und die natürliche Umwelt (inklusive Klima).
- Diese weitgehend konsensuale Richtschnur der Energiepolitik sollte kontinuierlich angesichts möglicherweise wechselnder Randbedingungen überprüft und gegebenenfalls – ebenfalls in einem überparteilichen Prozess – angepasst werden. Wenn plurale Strategien der Energiepolitik verfolgt werden, könnten solche Anpassungen ohne größere Brüche erfolgen.
- Auf Regierungsebene sollten die Bestrebungen zu einer besseren Koordinierung und Bündelung der Zuständigkeiten für den Energiebereich weiter vorangetrieben werden, um effiziente Entscheidungs- und Umsetzungsstrukturen zu gewährleisten.

4.2 Forschungsprioritäten mit mittel- bis langfristigen Wirkungen

Die Ereignisse in Japan und die darauf folgenden Reaktionen bis hin zu einem möglichen früheren Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie in Deutschland haben gezeigt, wie schnell sich die Rahmenbedingungen des Energiesystems ändern können. Dieser Sachverhalt unterstreicht nachdrücklich die Forderung des Energieforschungskonzepts der Akademien, dass Forschung breit aufgestellt sein muss, um Optionen für energiepolitische Entscheidungen bereitstellen zu können. Anstelle in einer ersten Reaktion auf Fukushima die Forschung auf die derzeit im Zentrum des Interesses stehenden Technologien zu verengen, sollten durch Forschungsanstrengungen weiterhin Optionen für zukünftige Entwicklungen offen gehalten und neue Möglichkeiten erschlossen werden. Zwar ist offensichtlich, dass bei limitierten finanziellen Ressourcen auch eine Priorisierung erforderlich ist, diese sollte aber mit Augenmaß erfolgen. Zum einen sollten die verfügbaren Mittel an die Größe der Aufgabe angepasst werden, was die Notwendigkeit einer scharfen Fokussierung verringern würde. Zum anderen sollte ein Teil der verfügbaren finanziellen und personellen Ressourcen ausdrücklich für Forschungsrichtungen eingesetzt werden, die nicht im derzeitigen Mainstream liegen und deren Erträge erst längerfristig erwartet werden können. Dies ist auch gut vereinbar mit den ohnehin langen Zeitskalen, auf denen ein Energiesystem deutlich verändert werden kann. Wie die Entwicklung des Energiesystems selbst sollte auch die Forschung in die europäischen Bemühungen integriert werden. Der europäische SET-Plan³³ (Strategieplan für Energietechnologie in Euro-

pa) greift viele der im Energieforschungskonzept von Leopoldina, acatech und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften³⁴ formulierten Themenbereiche auf, wenn auch in Teilen deutliche Unterschiede aufgrund abweichender nationaler Strategien vorliegen.

Das Energieforschungskonzept der Akademien von 2009 hatte eine Reihe von langfristigen Forschungserfordernissen formuliert. Die wesentlichen Aspekte sind hier noch einmal aufgegriffen, für Details wird auf das Energieforschungskonzept verwiesen.

- Der allen Empfehlungen zu Grunde liegende Gedanke ist die systemische Sichtweise. Die technischen und organisatorischen Lösungen für den notwendigen Übergang in eine nachhaltige Energieversorgung lassen sich nur in dem komplexen Umfeld von technischen, sozialen, politischen, kulturellen und wirtschaftlichen Wechselbeziehungen beurteilen und effektiv umsetzen.
- Forschung muss daraufhin orientiert sein, kontinuierlich Effizienzpotenziale zu erschließen und auszuschöpfen. Um für eine zügige Marktdurchdringung zu sorgen und *Rebound*-Effekte zu vermeiden, ist hier die Einbeziehung gesellschafts- und geisteswissenschaftlicher Forschungsansätze besonders bedeutend.
- Da zumindest weltweit fossile Energieträger bedeutend bleiben werden, müssen alle Optionen zur Vermeidung von CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen (einschließlich *carbon capture and sequestration* (CCS) und *carbon capture and utilization* (CCU)) vergleichend erforscht und ihre Nebenwirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft abgeschätzt werden.

³³ Europäische Kommission (2007) Ein europäischer Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) – Der Weg zu einer kohlenstoffemissionsarmen Zukunft. Brüssel.

³⁴ Leopoldina, acatech & BBAW (2009) Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland. Halle.

- Forschungsarbeiten für innovative Bereitstellungstechnologien sind von entscheidender Bedeutung, wenn gemäß des Energiekonzepts der Bundesregierung bis 2050 80% der elektrischen Energie am Bruttostromverbrauch und 60% am Bruttoendenergieverbrauch regenerativ bereitgestellt werden soll. Hohes Potenzial für die Energieversorgung Deutschlands haben Wind, Photovoltaik, konzentrierende Solarthermie (in Südeuropa und Nordafrika mit Transport der Elektrizität nach Mitteleuropa) und Erdwärme. Neben verbesserter Effizienz muss vor allem die Senkung der Kosten ein wesentliches Ziel sein. Die Fusionsforschung sollte als internationale Gemeinschaftsaufgabe mit dem Potenzial zu sehr großen Beiträgen für die Energieversorgung weiterverfolgt werden.
- Die Eignung verschiedener Arten der Biomasse für die energetische Nutzung sollte neu überprüft und die Forschung unter Berücksichtigung von Skaleneffekten und unter systemischen Gesichtspunkten vorangetrieben werden. Ohne Importe scheint allerdings in Deutschland das Potenzial von Biomasse, die nachhaltig energetisch genutzt werden kann, limitiert zu sein. Größere CO₂- und Energieminderungspotenziale liegen in der stofflichen Nutzung von Biomasse, die systematisch weiter erforscht werden sollte.
- Wie auf der kurzen Zeitskala muss auch langfristig weiter an verlustarmen und flexiblen, grenzüberschreitenden Netzen geforscht werden. Insbesondere ist dabei auch die Interaktion von Netzkonzepten mit den Markt-, Vertrags- und Rechtssystemen der beteiligten Staaten zu untersuchen. Die Kombination von Wechselstromnetzen mit Gleichstromnetzen auf allen Spannungsebenen ist ein Forschungsthema von großer Bedeutung.
- Speicher können Schlüsselkomponenten in zukünftigen Energienetzen sein. Forschung an Speichertechnologien für elektrische, thermische, mechanische und chemische Energie muss Speicher mit hoher Energie- und Leistungsdichte und niedrigen Kosten entwickeln. Langfristig werden saisonale Energiespeicher wichtig werden, die aus heutiger Sicht am besten stofflich unter Nutzung kleiner Moleküle wie Wasserstoff oder Methan realisiert werden können. Technologien für die Nutzung solcher stofflicher Speicher müssen entwickelt werden.
- Für nachhaltige Mobilitätskonzepte muss die Elektromobilität weiter entwickelt werden, Batteriekonzepte jenseits der Lithium-Ionen-Batterie sollten erforscht werden. Wesentlich für den Mobilitätssektor ist auch die Erforschung der Bedingungen für eine stärkere Integration technologischer und gesellschaftlicher Mobilitätskonzepte.
- Effizientere Bereitstellungstechnologien erfordern Hochleistungsmaterialien, etwa für flexibel einsetzbare Hochtemperaturkraftwerke, Windturbinen oder Wärmeträger in solarthermischen Kraftwerken. Die Stärke der Werkstoff- und Materialforschung in Deutschland sollte genutzt werden, um innovative Materialien für die Anwendung in Energiesystemen bereitzustellen.
- Unabhängig von der industriellen Umsetzung von Technologien besteht die Notwendigkeit, das grundlegende Verständnis von energieübertragenden Prozessen auf molekularer Ebene zu verbessern, da solche Prozesse fast allen Energietechnologien zu Grund liegen. Grundlagenforschung zu diesen Themen bildet die Basis für die Optimierung bestehender Verfahren und die Entdeckung und Entwicklung ganz neuer Technologien.

- Energiepolitik benötigt integrierte Modelle und Szenarien, die dynamisch an die Entwicklungen angepasst werden können. Die Forschungsaktivitäten sind besonders auf die Interaktionen zwischen den Bereichen Technologieentwicklung, Diffusion von Innovationen, rechtliche und ethische Bewertung, staatliche Regulierung sowie sozio-politische Anreize und Barrieren auszurichten.
- Nachfrageforschung ist eine Schlüsselkomponente bei der Etablierung eines nachhaltigen Energiesystems. Es muss erforscht werden, welche ökonomischen, rechtlichen und politischen Steuerungsinstrumente die energie- und klimapolitischen Ziele effektiv, effizient, rechts- und sozialverträglich erfüllen helfen und wie sich diese in die globalen Rechts- und Governance-Strukturen wirksam einbinden lassen.

5. METHODIK

5.1 Anlass, Mandat und Entstehung der Stellungnahme

Die Havarie des japanischen Atomkraftwerkes Fukushima am 11. März 2011 in Folge eines Erdbebens und eines Tsunamis hat in Deutschland zu einer erneuten gesellschaftlichen Diskussion der Risiken der Kernenergie-Nutzung geführt. Die Bundesregierung beschloss am 14. März 2011, alle Kernkraftwerke, die vor Ende des Jahres 1980 in Betrieb gegangen sind, für die Dauer von zunächst drei Monaten vom Netz zu nehmen.

Am 21. März 2011 wurde die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina von der Bundesministerin für Bildung und Forschung Prof. Dr. Annette Schavan um eine Stellungnahme zur Energiepolitik und zur Energieforschung gebeten. Im Mittelpunkt der Arbeit sollte die Frage stehen, welche Schlussfolgerungen nach der Aussetzung der Laufzeitverlängerung für Kernkraftwerke infolge des Reaktorunfalls in Japan für das Energiesystem und die Energieforschung in Deutschland zu ziehen sind.

Unter der Leitung von Prof. Dr. Ferdi Schüth (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim) hat in den darauf folgenden acht Wochen eine Arbeitsgruppe von 28 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf der Basis des „Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland“ aus dem Jahr 2009 die vorliegende Stellungnahme erarbeitet.

Eine englischsprachige vorläufige Fassung dieser Stellungnahme wurde am 3. Mai 2011 dem *Energy Steering Panel* des Europäischen Akademienverbunds EASAC (*European Academies Science Advisory Council*) zur Diskussion vorgelegt. Die Ad-hoc-Stellungnahme des erweiterten *Energy Steering Panel* und die

Liste der Teilnehmer an dem Treffen sind dieser Stellungnahme angehängt.

Eine weitgehend endgültige Arbeitsversion der Stellungnahme „Energiepolitische und forschungspolitische Empfehlungen nach den Ereignissen in Fukushima“ wurde der Ethik-Kommission „Sichere Energieversorgung“, welche am 22. März 2011 von Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel berufen worden ist, zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse dieser Stellungnahme sind in den Bericht „Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft“ eingeflossen.

Die Stellungnahme wurde von drei Gutachtern evaluiert, deren Anmerkungen in der Schlussfassung berücksichtigt wurden.

Darüber hinaus wurden Anmerkungen aus dem Präsidium der Leopoldina berücksichtigt.

5.2 Mitwirkende in der Arbeitsgruppe

Koordinator

Prof. Dr. Ferdi Schüth *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim*

Folgende Personen haben die Endfassung des Papiers erarbeitet und tragen es inhaltlich:

Prof. Dr. Frank Behrendt *Technische Universität Berlin*
 Prof. Dr. Ortwin Renn *Universität Stuttgart*
 Prof. Dr. Robert Schlögl *Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin*
 Prof. Dr. Ferdi Schüth *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim*
 Prof. Dr. Eberhard Umbach *Karlsruher Institut für Technologie KIT, Karlsruhe*
 Prof. Dr. Hermann-Josef Wagner *Ruhr-Universität Bochum*

Folgende Personen haben durch Kommentare zu unterschiedlichen Arbeitsfassungen dieser Stellungnahme, durch Diskussionen oder auf sonstige Weise an der Erstellung dieser Schrift mitgearbeitet, nicht aber in jedem Falle den gesamten Text gelesen oder autorisiert:

Prof. Dr. Alexander Bradshaw *Max-Planck-Institut für Plasmaforschung, München*
 Prof. Dr. Detlev Drenckhahn *Julius-Maximilians-Universität Würzburg*
 Prof. Dr. Ottmar Edenhofer *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung PIK, Potsdam*
 Dr. Wolfgang Eichhammer *Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe*
 Prof. Dr. Rolf Emmermann *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*
 Prof. Dr. Georg Erdmann *Technische Universität Berlin*
 Prof. Dr. Herbert Gleiter *Karlsruher Institut für Technologie KIT, Karlsruhe*
 Prof. Dr. Brian Horsfield *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*
 Prof. Dr. Reinhard Hüttl *Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*
 Prof. Dr.-Ing. Johannes Janicka *Technische Universität Darmstadt*
 Prof. Dr. Claudia Kemfert *Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung DIW, Berlin*
 Prof. Dr. Karl Leo *Technische Universität Dresden*
 Dipl.-Ing. Bernhard Milow *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Köln*
 Dipl.-Wirt.-Ing. Benjamin Pfluger *Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe*
 Prof. Dr. Robert Pitz-Paal *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Köln*
 Dr. Mario Ragwitz *Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe*
 Prof. Dr. Roland Sauerbrey *Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf*

Prof. Dr. Hans Joachim Schellnhuber	<i>Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung PIK, Potsdam</i>
Prof. Dr. Joachim Schleich	<i>Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe</i>
Prof. Dr. Jürgen Schmid	<i>Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Kassel</i>
Prof. Dr. Günter Stock	<i>Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin</i>
Dr. Daniela Thrän	<i>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig</i>
Prof. Dr. Kurt Wagemann	<i>Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. DECHEMA, Frankfurt</i>
Prof. Dr. Martin Wietschel	<i>Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe</i>

Gutachter und Kommentare aus dem Präsidium:

Prof. Dr. Wolfgang Ertmer	<i>Leibniz Universität Hannover</i>
Prof. Dr. Paul Leiderer	<i>Universität Konstanz</i>
Prof. Dr. Rudolf Thauer	<i>Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Marburg</i>
Prof. Dr. Hans-Peter Zenner	<i>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</i>

Wissenschaftlicher Referent der Arbeitsgruppe:

Dr. Christian Anton,	<i>Leopoldina, Abteilung Wissenschaft – Politik – Gesellschaft</i>
----------------------	--

Das Präsidium der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina hat die vorliegende Stellungnahme zustimmend zur Kenntnis genommen.

Die Leopoldina dankt allen Autorinnen, Autoren und Gutachtern für ihre Beiträge.

6. ANHANG

Anhang 1

Ad-hoc-Stellungnahme des *Energy Steering Panel* (ESP) des Europäischen Akademienverbands EASAC (European Academies Science Advisory Council; Mai 2011)

Diese Stellungnahme bezieht sich auf eine frühere Arbeitsfassung der endgültigen Schrift. Ein Teil der Kommentare des ESP ist bei der weiteren Bearbeitung der Stellungnahme aufgegriffen worden, so dass sie für die Endfassung nicht mehr oder nicht mehr in vollem Umfang gültig sind.

EASAC Energy Steering Panel review of the Leopoldina reports on German energy policy and energy research policy

This report responds to a request from the Leopoldina to comment on the following two reports concerned with energy policy, and energy research policy, in Germany:

- The 2009 report 'Concept for an integrated energy research programme for Germany'.
- The draft report 'Outline of energy and research policy recommendations following the accident at Fukushima'.

Our review has been informed by a meeting held at Frankfurt Airport on 3rd May 2011, which involved invited experts and representatives of the Leopoldina, as well as members of the EASAC *Energy Steering Panel*. Attendees at this meeting and the members of the EASAC *Energy Steering Panel* are listed in the Annex. The invaluable contribution of the invited experts is gratefully acknowledged.

Our task has been to provide an international perspective on the issues raised in the two reports, reflecting on the identified priorities for German energy research, and on the implications for other European countries, and for the

EU as a whole, of German decisions on nuclear power. Timescales for our review have, of necessity, been short given the pace of the current public debate in Germany. We are pleased to have had the opportunity to contribute.

An important consideration in our review has been Germany's position as a major economy and hence energy user in Europe, and also the leadership it has demonstrated in addressing the challenge of climate change, an issue inextricably linked to decisions on energy supply and use. We sincerely hope that decisions made on the future course of the energy system in Germany are consistent with Germany continuing to show leadership on tackling climate change. And we have suggested that rather more is said about the broader context – climate change, fossil fuel depletion, energy security etc. – in finalising the second Leopoldina report.

We are similarly concerned that decisions on the German energy system, and on energy research, be positioned firmly within EU policies and initiatives. The EU is committed to integrated gas and electricity markets by 2014, and the development of the necessary European transmission infrastructures. These physical and market integrations could be of great help to Germany in meeting its future energy needs and in ensuring a stable electricity grid. But their realisation will require Germany's full support, and we felt that they should have had a rather higher profile in the draft report that we reviewed.

Similarly, the EU has recognised that the magnitude of the energy challenge requires a concerted effort on research and development at a European level. The SET plan has therefore been put in place, which relies to a large extent on activities initiated at a national level. Given the importance of German R&D activities within the SET Plan, its continuing support is essential to a successful outcome. We felt that rather more emphasis could be put on EU-

level R&D initiatives in planning Germany's future research programme.

Decisions on energy systems need to be informed by a systematic and quantitative evaluation of the options. Such analysis is essential to ensure that decisions are firmly grounded in practical realities, and to evaluate how reduction of risks in one area, e.g. phase-out of nuclear, can lead to increased risks in another, e.g. insecurity of gas supplies, increased climate change risks etc. Without it, unrealistic choices may be made. While such quantitative analyses may have been beyond the scope of the current exercise due to its short timescales, we hope they will be available to inform public debate before decisions on Germany's energy system, and in particular on the phase-out of nuclear power, are finalised.

Turning to the recommendations presented for energy research we were impressed by the breadth of the proposals, and the depth of analysis and consultation that underpinned them. However, notwithstanding the difficulties, some clearer sense of priorities will be needed given the large resources and long timescales needed to bring new energy technologies to commercial application. And the Leopoldina should not shy away from stating that research budgets must match the task, otherwise society's expectations will not be met.

Our own sense of priorities point to more emphasis being given to the following areas:

- The design and operation of a future integrated European electricity grid, dominated by non-synchronous generators and employing a mix of AC and DC technologies. This will be a very different system to those currently operating and will require many fundamental questions to be answered.
- On increasing the efficiency of energy use, in service and industrial sectors as well as households. Closer integration of social and technical aspects is needed to avoid rebound effects.
- Concentrating solar power (CSP) given the potential resources available in Southern Europe and North Africa, and the capability of CSP with thermal storage to supply most of the grid operational services of mid-range fossil plants.
- Carbon capture and storage which will become more important if Germany places increased emphasis on fossil fuels due to an early nuclear phase-out.
- Reducing the cost of renewable technologies.
- Basic research in areas such as nano-science, materials and biosciences that may be the source of future breakthroughs in energy technologies.

Conversely, we felt that research on electricity storage technologies had been rather over-emphasised as other approaches to matching electrical supply and demand, such as integrated, intelligent grids, demand management and peaking turbines, may be preferred. And research on fusion and hydrogen technologies will, at best, only bring returns in the long-term. We have been impressed by the quality of the analysis and thought presented in the two Leopoldina reports, and by the desire of the German Government to ensure that there is a strong voice for science in the current debate. We hope that our contribution will prove to be useful in providing a broader scientific perspective on the issues 'on the table' in Germany at the present time. These issues, and German decisions on them, resonate across Europe, particularly in light of events at the Fukushima power plant in Japan. There are no easy choices if a future reliable supply of energy in Europe is to be consistent with meeting the pressing need to substantially reduce greenhouse gas emissions.

Anhang 2

Teilnehmer der Anhörung des *Energy Steering Panel (ESP)* des Europäischen Akademienverbands EASAC am 3. Mai 2011 in Frankfurt.

Prof. Dr. Sven Kullander	<i>Royal Swedish Academy of Science (ESP-Vorsitzender)</i>
Prof. Dr. Sébastien Candell	<i>Ecole Centrale Paris; Institut Universitaire de France</i>
Prof. Dr. Ronald Griessen	<i>Vrije Universiteit in Amsterdam</i>
Prof. Dr. Peter Lund	<i>Delegation of the Finnish Academies (ESP-Mitglied)</i>
Prof. Dr. David MacKay	<i>Chief Scientific Advisor, Ministry for Energy and Climate Change; University of Cambridge</i>
Dr. Giovanni de Santi	<i>European Commission, Institute for Energy, DG Joint Research Centre</i>
Prof. Dr. Ferdi Schüth	<i>Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim (ESP-Mitglied)</i>
Prof. Dr. Jan Vaagen	<i>Academia Europaea (ESP-Mitglied)</i>
Prof. Dr. Hermann-Josef Wagner	<i>Ruhr-Universität Bochum</i>
Dr. Vladimír Wagner	<i>Academy of Sciences of the Czech Republic – Nuclear Physics Institute</i>
Prof. Dr. Sir Brian Heap	<i>Präsident EASAC</i>
Prof. Dr. Jörg Hacker	<i>Präsident Leopoldina</i>
Prof. Dr. Volker ter Meulen	<i>Leopoldina</i>
Dr. John Holmes	<i>EASAC, Energy Programme Secretary (ESP-Sekretar)</i>
Dr. Christian Anton	<i>Leopoldina</i>
Dr. Christiane Diehl	<i>Leopoldina / EASAC</i>

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina

– Nationale Akademie der Wissenschaften –

Emil-Abderhalden-Straße 37

06108 Halle (Saale)

Tel.: (0345) 472 39-0

Fax: (0345) 472 39-19

E-Mail: leopoldina@leopoldina.org