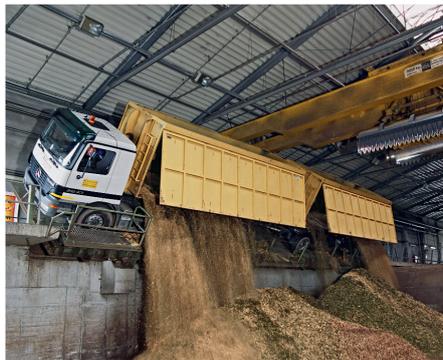


# WEGE ZUR 100 % ERNEUERBAREN STROMVERSORGUNG

**Kurzfassung für Entscheidungsträger**



## Fragestellung

Die Klimapolitik steht vor der Herausforderung, dass die Treibhausgasemissionen der Industrieländer um 80 bis 95 % reduziert werden müssen, um eine als gefährlich angesehene globale Temperaturerhöhung von über 2 °Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu vermeiden. Der Europäische Rat hat diesem Ziel im Oktober 2009 politische Rückendeckung verliehen. Nicht zuletzt wegen dieser Zielvorgabe werden zur Zeit der Veröffentlichung des vorliegenden Sondergutachtens in Deutschland wichtige Weichenstellungen für die zukünftige Struktur der Elektrizitätsversorgung diskutiert und getroffen.

Heute verursacht die Stromerzeugung fast 40 % der deutschen Treibhausgasemissionen. Da ein erheblicher Teil der konventionellen Kraftwerke in den nächsten Jahren erneuert werden muss, besteht die Chance, diese Erneuerung für den Aufbau einer nachhaltigen Stromversorgung zu nutzen. In Deutschland besteht ein weitgehender Konsens, dass eine nachhaltige Entwicklung des Energiebereichs langfristig eine möglichst vollständig auf regenerativen Energieträgern basierende Elektrizitätsversorgung erfordert. Hierbei wird kontrovers diskutiert, wie schnell dies erreicht werden kann und wie teuer die notwendige Umstellung des Systems ausfallen wird. Das vorliegende Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) soll einen wissenschaftlich gestützten Beitrag zur Urteilsbildung in Öffentlichkeit und Politik leisten. Es behandelt folgende Fragen:

**Ist es möglich, ausschließlich auf der Basis regenerativer Energiequellen zu jeder Stunde des Zieljahres 2050 Versorgungssicherheit zu garantieren?**

**Was kostet eine vollständig regenerative Stromversorgung?**

**Sind Brückentechnologien für den Übergang in das regenerative Energiezeitalter erforderlich?**

**Welche Maßnahmen und Instrumente sind erforderlich, um den Übergang in eine klimafreundliche, regenerative Stromversorgung zu flankieren?**

Die folgende Kurzfassung der wesentlichen Ergebnisse des Sondergutachtens soll Entscheidungsträgern die Möglichkeit bieten, sich einen Überblick über die Antworten auf diese Fragen zu verschaffen.

## 100 % Vollversorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien ist möglich, sicher und bezahlbar

Eine detaillierte Analyse des Potenzials der regenerativen Energiequellen zur Stromerzeugung in Deutschland, Europa und Nordafrika zeigt, dass eine ausschließlich auf regenerativen Energiequellen basierende Stromversorgung bis 2050 unter Beachtung strenger Anforderungen des Naturschutzes und bei Vermeidung von anderen Nutzungskonflikten möglich ist.

Die im Auftrag des SRU berechneten Zielszenarien unterscheiden sich in der Höhe der Elektrizitätsnachfrage für das Jahr 2050 (zwischen 500 und 700 TWh/a in Deutschland) sowie dem Grad des Austauschs und der Vernetzung mit den Nachbarländern. Sie reichen von einer vollständigen Selbstversorgung Deutschlands ohne jeden Austausch bis zur Möglichkeit des Stromaustausches mit 35 weiteren Ländern in Europa und Nordafrika. Dabei wird ein maximaler Nettoimport von 15 % der nationalen Stromerzeugung angenommen. Im Vergleich zu den Zielszenarien mit Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke für das Energiekonzept der Bundesregierung sind diese Annahmen konservativ. Die Zielszenarien dort nehmen einen deutlich niedrigeren Stromverbrauch von 410 bis 430 TWh/a und eine deutlich höhere Stromimportabhängigkeit von 22 bis 31 % im Jahr 2050 an. Die Tabelle gibt eine Übersicht über die berechneten acht Szenarien des SRU. Alle Berechnungen erfüllen die Bedingung, dass sich die jeweils untersuchte Region im Jahr 2050 vollständig regenerativ mit Strom versorgen muss.

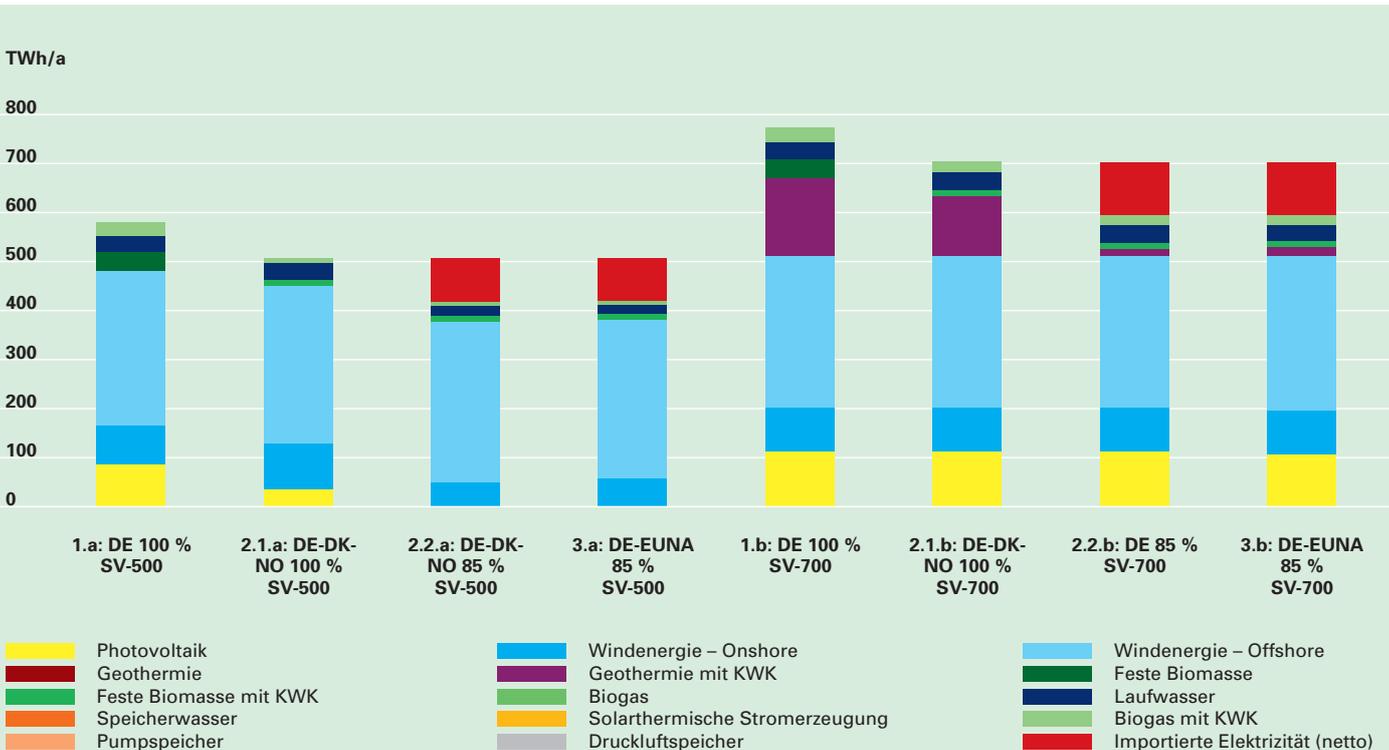
	Nachfrage DE 2050: 500 TWh	Nachfrage DE 2050: 700 TWh
<b>Selbstversorgung</b>	Szenario 1.a DE 100 % SV-500	Szenario 1.b DE 100 % SV-700
<b>Netto-Selbstversorgung Austausch mit DK/NO</b>	Szenario 2.1.a DE-DK-NO 100 % SV-500	Szenario 2.1.b DE-DK-NO 100 % SV-700
<b>Maximal 15 % Nettoimport aus DK/NO</b>	Szenario 2.2.a DE-DK-NO 85 % SV-500	Szenario 2.2.b DE-DK-NO 85 % SV-700
<b>Maximal 15 % Nettoimport aus EUNA</b>	Szenario 3.a DE-EUNA 85 % SV-500	Szenario 3.b DE-EUNA 85 % SV-700

**Tabelle: Acht Szenarien einer 100 % erneuerbaren Stromversorgung im Jahr 2050** (Quelle: SRU/SG 2011-1/Tab. 0-1)  
DE – Deutschland, DK – Dänemark, NO – Norwegen, EUNA – Europa und Nordafrika, SV – Selbstversorgung

Die nutzbaren Potenziale an erneuerbaren Energien in Deutschland und Europa erlauben es bei einem entsprechenden Ausbau von Speichern und Netzen, zu jeder Stunde des Jahres die maximal anzunehmende Nachfrage nach Strom zu bedienen. Die Sicherheit der Versorgung kann somit, trotz der Schwankungen in der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, zu jeder Zeit gewährleistet werden. Die bereits heute verfügbaren Technologien

insbesondere zur Nutzung von Wind und Sonnenenergie sind dafür ausreichend.

Für das Jahr 2050 wurde in den verschiedenen Szenarien ein möglichst kostengünstiges Portfolio aus erneuerbaren Energien berechnet, wobei langfristig sinkende Kosten für die erneuerbaren Energien als Folge von Lernkurven berücksichtigt wurden. Auf der Basis dieser Kostenoptimierung ergibt sich,



**Abbildung 1: Elektrizitätserzeugung in Deutschland und Nettoimporte im Jahr 2050** (Quelle: SRU/SG 2011-1/Abb. 0-1)

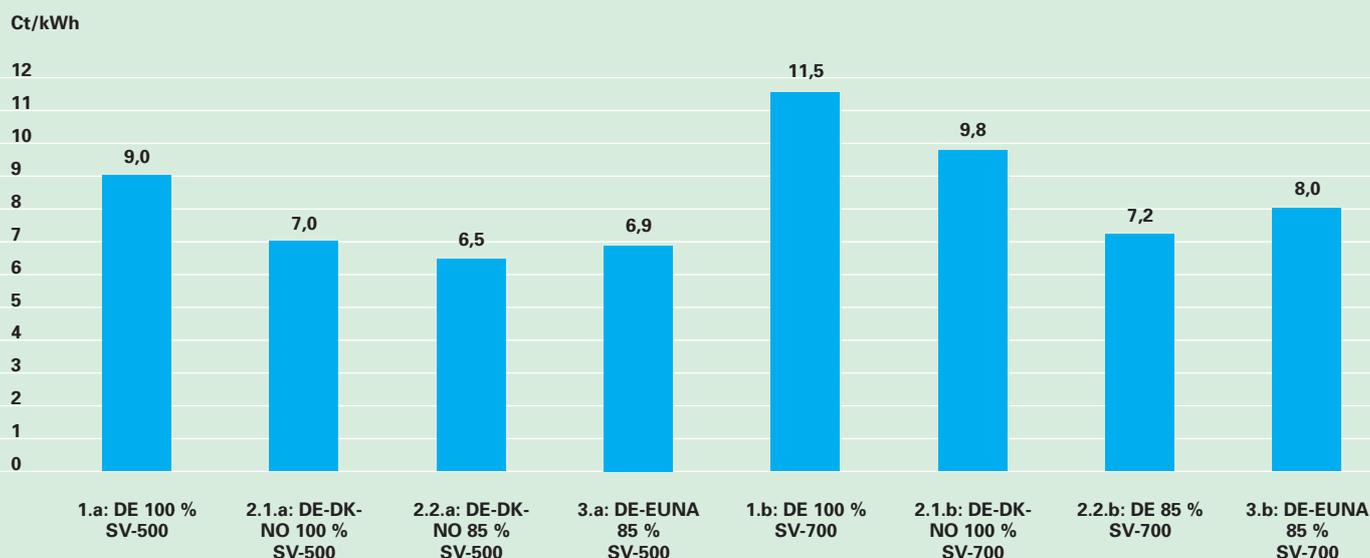


Abbildung 2: Stromgestehungskosten in Deutschland (2050) (Quelle: SRU/SG 2011-1/Abb. 0-2)

dass die Windenergie, insbesondere die Offshore-Windenergie, bis zum Jahr 2050 in allen Szenarien eine herausragende Bedeutung erhalten wird (Abbildung 1). Die Solarenergie kommt in Abhängigkeit von der Stromnachfrage und der Höhe der Importe in den verschiedenen Szenarien unterschiedlich stark zum Einsatz. Der Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung steigt in den Verbundscenarien vor allem wegen möglicher Landnutzungskonflikte und relativ hoher Kosten nicht über etwa 7 %.

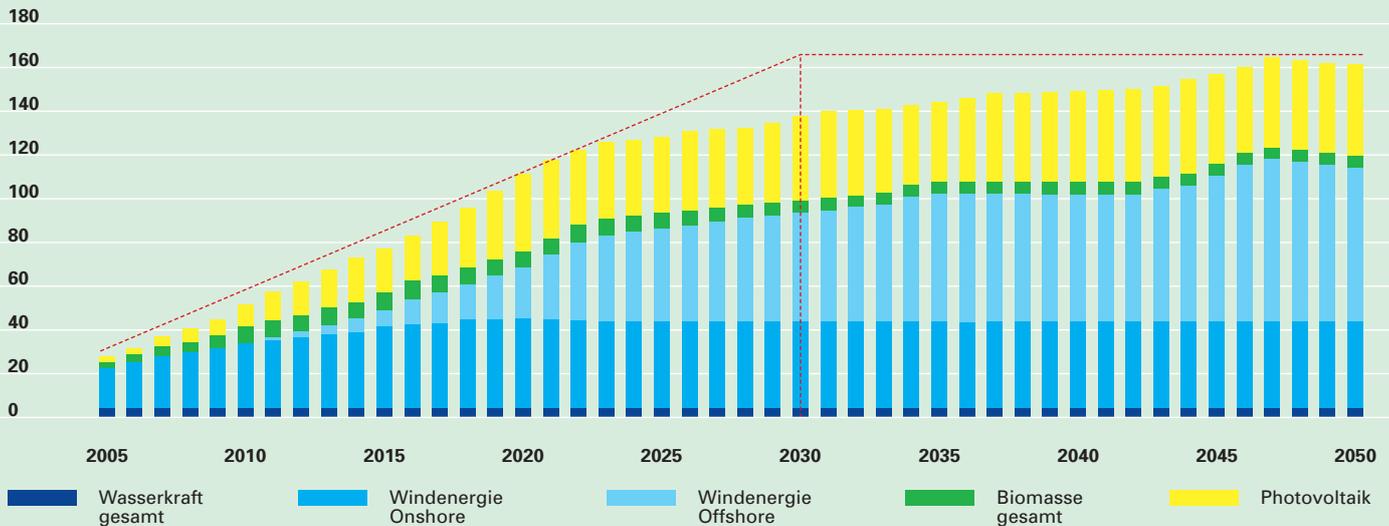
Die inflationsbereinigten Stromgestehungskosten einer regenerativen Vollversorgung im Jahr 2050

werden insgesamt unter denjenigen eines CO<sub>2</sub>-armen, konventionellen Energiemix liegen, da steigende Brennstoffkosten und die Kosten für Emissionszertifikate vermieden werden können. Die Gesamtkosten einer regenerativen Vollversorgung, einschließlich der Kosten für den internationalen Netzausbau und der Speicher, liegen dabei unter 7 ct/kWh. Die Kosten sind umso niedriger, je erfolgreicher eine anspruchsvolle Energiespar- und Effizienzpolitik ist und je mehr die Nutzung kostengünstiger Speichertechnologien, insbesondere von Pumpspeicherkraftwerken in Skandinavien oder im Alpenraum, gelingt (Abbildung 2).

## Signifikante Laufzeitverlängerungen oder neue Kohlekraftwerke sind für den Übergang nicht nötig

Weder eine Verlängerung der Laufzeit von Atomkraftwerken noch der Bau neuer Kohlekraftwerke mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung sind notwendig. Bereits der Bestand an konventionellen Kraftwerken mit einem geringen Zubau an Gaskraftwerken reicht als Brücke hin zu einer regenerativen Stromversorgung aus. Dies ist selbst unter der restriktiven Annahme einer durchschnittlichen Laufzeit von 35 Jahren für alle konventionel-

len Kraftwerke und unter Beibehaltung des bisherigen Ausbautempos bei den erneuerbaren Energien darstellbar (Abbildung 3). Der Bedarf an sogenannten Grundlastkraftwerken sinkt in einem System mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien. Die hohe Volatilität der erneuerbaren Energien erfordert eine substantiell erhöhte Flexibilität aller konventionellen Kraftwerke. Die Anzahl notwendiger Abschaltungen und schneller Ab- und Anfahrvor-



**Abbildung 3: Ausbau der Elektrizitätserzeugungskapazitäten für den Übergang zu einer vollständig regenerativen Stromversorgung im Jahr 2050 (Szenario 2.1.a) (Quelle: SRU/SG 2011-1/Abb. 0-3)**

gänge wird zur Bewältigung der sogenannten Residuallast erheblich steigen. Der Bedarf einer dauerhaft gleichmäßigen Grundlast besteht damit nicht mehr. Sowohl die Laufzeitverlängerung für Kern-

kraftwerke als auch ein zusätzlicher Neubau von Kohlekraftwerken erhöhen damit das Risiko, dass über zunehmend längere Zeiträume Überkapazitäten im System entstehen.

## Handlungsempfehlungen für die Energiepolitik

Zentrale energie- und klimapolitische Ansatzpunkte einer Transformation der Stromversorgung sind:

- **Energieeffizienz ist die eigentliche Brückentechnologie für eine vollständige Umstellung der Stromversorgung auf erneuerbare Energien und muss entsprechend gefördert werden.**
- **Erst ein möglichst verbindliches europäisches und nationales Klimaschutz und Dekarbonisierungsziel für das Jahr 2050 sowie seine Übersetzung in den Emissionshandel setzt den richtigen Begründungsrahmen und wichtige ökonomische Anreize für die anstehende Transformation.**
- **Darüber hinaus müssen sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene die Förderbedingungen für die erneuerbaren Energien weiterentwickelt werden, um die Voraussetzungen für eine sichere und effiziente Stromversorgung der Zukunft zu schaffen, die vollständig auf erneuerbaren Energien basiert.**
- **Der Neubau von Kraftwerken, die aus technisch-ökonomischen Gründen nicht die Anforderungen einer sehr flexiblen Erzeugung erfüllen und nicht mit den langfristigen Klimaschutzziele vereinbar sind, sollte unterlassen werden. Auch die beschlossene Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke ist nicht mit den Flexibilitätserfordernissen eines Übergangs zu den erneuerbaren Energien vereinbar.**
- **Flankierend zum Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein beschleunigter und hinreichend dimensionierter Netzausbau und vor allem -umbau erforderlich, um Versorgungs-**

**sicherheit gewährleisten zu können. Investitionsanreize und Netzplanung müssen hierfür grundlegend geändert werden.**

- **Aus nationaler Perspektive ist die Kooperation Deutschlands mit den Nordseeanrainerstaaten von strategischem energiepolitischem Interesse, um die Anbindung und Erschließung der erheblichen und vergleichsweise kostengünstigen Pumpspeicherpotenziale Skandinaviens voranzutreiben.**

Auf dieser Basis hat der SRU acht zentrale Handlungsempfehlungen für die deutsche und die europäische Energiepolitik formuliert.

## 1. Klima- und Energiekonzept: sektorales Klimaschutzziel 2050 und Bekenntnis zu 100 % erneuerbaren Energien

Messlatte der mittelfristigen deutschen und europäischen Klimaschutzpolitik muss die Verminderung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % bis 2050 sein, um eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu vermeiden. Selbst bei einem weniger ambitionierten Klimaschutzziel von bis 80 % ist eine klimaneutrale Stromversorgung bis 2050 erforderlich. Für die Stromversorgung ist das Ziel der Klimaneutralität kostengünstiger erreichbar als in anderen Sektoren wie Mobilität, Wärme, Landwirtschaft und Industrie. Zugleich sollte das Ziel einer nachhaltigen Stromversorgung durch die vollständige Umstellung auf regenerative Energieträger bis 2050 in hochrangigen Programmdokumenten verankert werden.

## 2. Energieeffizienz durch Stromkundenkonten

Die Einsparung von Strom kann als die wichtigste Brückentechnologie auf dem Weg zur regenerativen Vollversorgung betrachtet werden. Die Bundesregierung sollte daher ein absolutes Verbrauchsziel für den Stromverbrauch setzen. Ein geeignetes Instrument zur deutlichen Stärkung der Marktanreize für ein solches Ziel könnte die Einführung von Stromkundenkonten sein. Stromkundenkonten sind auf der Basis der Anzahl der belieferten Haushalte

berechnete Verkaufsobergrenzen für die Energieversorgungsunternehmen. Diese sind wie bei einem "cap-and-trade"-System handelbar und können mit einem nationalen Verbrauchsziel abgestimmt werden. Damit wird Energieeffizienz zum strategischen Geschäftsziel von Energieversorgungsunternehmen.

## 3. Kontinuität und Reform für das EEG

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat sich als ein wirksames und vergleichsweise effizientes Instrument bewährt. Seine beiden tragenden Säulen, der Einspeisevorrang für erneuerbare Energien und die garantierte Vergütung für die nicht regelbaren erneuerbaren Energien, sollten als Grundstruktur beibehalten werden. Der konventionelle Kraftwerkpark sollte im Übergang flexibel für das Lastmanagement eingesetzt werden und so wesentlich zur Systemintegration der erneuerbaren Energien beitragen. Die Weiterentwicklung des EEG sollte auf langfristige Kosteneffizienz und Portfoliooptimierung abzielen und – wo sinnvoll – die Systemintegration der erneuerbaren Energien fördern.

Für die Offshore-Windenergie sollten in Zukunft Ausschreibungsmodelle in Betracht gezogen werden, bei denen Unternehmen Bau und Betrieb für einen möglichst geringen garantierten Einspeisevergütungssatz anbieten. Hierdurch kann die Verzahnung mit dem Netzausbau verbessert werden. Zudem wird der Wettbewerb um kostengünstige Strombereitstellung gestärkt. Für Windenergie auf dem Land sollte das EEG in seiner bisherigen Form fortgeführt werden. Wegen großer Prognoseunsicherheiten hinsichtlich des zukünftigen Bedarfs an Photovoltaik (PV) in einem kostengünstigen Strommix sollte die PV-Förderung auf ein niedriges, aber stabiles Wachstum setzen und einen Aufbau unwirtschaftlicher Überkapazitäten vermeiden. Neben einer an den sinkenden Kosten orientierten Vergütung ist auch eine absolute Obergrenze der geförderten PV-Kapazitäten sinnvoll. Die Förderung für Biomasse sollte stärker auf Regelenergieleistungen und Reststoffnutzung ausgerichtet und deshalb als Marktprämie ausgestaltet werden. Die Höhe der Vergütung sollte mit dem Anteil von Reststoffen an der eingesetzten Substratmasse steigen und der Bonus für Strom aus nachwachsenden

Rohstoffen (NaWaRo-Bonus) wegen seiner negativen Umweltfolgen abgeschafft werden. Für andere Technologien, die sich zurzeit noch in der Entwicklung befinden, bieten sich zuerst staatliche Projektförderungen an, die bei entsprechendem Erfolg der Technologien in eine Förderung nach den Grundsätzen des EEG überführt werden können.

## 4. Bundesfachplan "Stromübertragungsnetz 2030"

Der SRU schlägt die Entwicklung eines Bundesfachplanes "Stromübertragungsnetz 2030" zur hochstufigen Bedarfsfestlegung, Trassenkorridorfestlegung und Alternativendebatte mit Zielhorizont 2030 vor. Der Bundesfachplan berücksichtigt die Planungen der Übertragungsnetzbetreiber, die Vorgaben zu den transeuropäischen Energienetzen sowie ein zukünftiges Bedarfsmodell der Bundesnetzagentur und legt den Ausbaubedarf nach einem transparenten und offenen Beteiligungsverfahren fest, das die Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung und das geltende Naturschutzrecht integriert. Er bündelt die übergeordneten Elemente einer nur noch zweistufigen Fachplanung. Die Detailplanung und Projektgenehmigung erfolgt wie bisher über die Planfeststellung. Ergänzend zum Netzausbau der Übertragungsnetzbetreiber sollten zentrale Trassen ausgeschrieben werden, um den Bau notwendiger Verbindungen sichern zu können.

## 5. Keine Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke

Im Übergang hin zu einer regenerativen Stromversorgung ist eine Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke nicht erforderlich. Der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Flexibilitätsreserven des übrigen konventionellen Kraftwerkparcs reichen aus, um den Strombedarf zu decken – das Entstehen einer Stromlücke ist nicht zu befürchten. Wegen ihrer begrenzten Flexibilität eignen sich Kernkraftwerke nicht als "Brückentechnologie" zur Ergänzung der erneuerbaren Energien. Der Systemkonflikt zwischen hohen Anteilen volatiler erneuerbarer Energien und schlecht regelbarer Grundlastenergie wird sich bei der geplanten Laufzeitverlängerung im Laufe der 2020er Jahre

erheblich zuspitzen und letztlich hohe volkswirtschaftliche Kosten und Investitionsrisiken für die erneuerbaren Energien schaffen.

## 6. Den Abgang konventioneller Kraftwerke gestalten

Eine integrierte Energiepolitik sollte das Auslaufen konventioneller Kapazitäten mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien synchronisieren. Hilfreich wird sein, dass mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und einem strengeren europäischen Emissionshandelsregime die wirtschaftliche Attraktivität neuer Kohlekraftwerke abnimmt. Dennoch sollten flankierende ordnungsrechtliche Maßnahmen erwogen werden, durch die der Neubau von Kohlekraftwerken gegebenenfalls gesteuert werden kann. Nach Einschätzung des SRU ist eine Novelle des Bundes-Immissionsschutzgesetzes mit der Festsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerten europarechtlich möglich. Gesonderte Maßnahmen zur Beschleunigung der Schließung alter Kraftwerke werden nicht erforderlich sein, da diese wegen des Einspeisevorrangs von erneuerbaren Energien ohnehin zunehmend nur noch für die Residuallast eingesetzt werden. Wegen der langen Übergangsfristen bestehen erhebliche Spielräume, den Strukturwandel der Energieversorgung sozialverträglich zu gestalten. Er sollte zudem regionalpolitisch flankiert werden.

## 7. Europäische Roadmap für erneuerbare Energien mit Zielhorizont 2030

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie von 2009 hat zur europaweiten Verstärkung des Ausbaus der erneuerbaren Energien und damit auch zu einer Konvergenz der Förderstrategien der Mitgliedstaaten beigetragen. Die mit den Zielvorgaben und nationalen Aktionsplänen verbundene Orientierungssicherheit hat auch neue Initiativen zum Ausbau der Stromnetze entstehen lassen. Die Ausbauziele sollten daher frühzeitig zunächst für 2030 fortgeschrieben werden. Bis 2030 ist in der EU ein Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung von deutlich über 50 % erreichbar. Die Bundesregierung sollte die Instrumente der Richtlinie für eine regionale grenzüberschreitende Kooperation bei der

Ausbauförderung aktiv nutzen. Eine europäische Harmonisierung der Förderung wäre hingegen auf absehbare Zeit nicht sachgerecht und könnte instrumentelle Innovationen eher bremsen.

## 8. Aktionsplan Offshore-Anbindung und Kooperation im Nordseeraum

Der Windenergiegürtel im Nordseeraum von Schottland bis Dänemark spielt für die Weiterentwicklung

der erneuerbaren Energien in der EU eine wesentliche strategische Rolle. Um diese zu nutzen, sind eine koordinierte Netzplanung im Nordseeraum sowie die Integration der skandinavischen Pumpspeicherpotenziale in die Planung notwendig. Von der Bundesregierung sollten deutliche und verbindliche Initiativen und Impulse für eine solche integrierte Kapazitäts- und Netzplanung für den Nordseeraum ausgehen. Die Netzbetreiber sollten ermutigt werden, sich in der anstehenden Kooperation zu engagieren.

## Ausblick: Die weitere Europäisierung der Energie- und Klimapolitik

Mit dem Energie- und Klimaschutzpaket von 2008 ist ein wichtiger Europäisierungsschub gelungen, der die nationale Politik für den Ausbau der erneuerbaren Energien unterstützend flankiert. Wichtige Zukunftsinitiativen wie die für 2011 vorgesehene "Road Map 2050 zur Dekarbonisierung", der europaweite Ausbau einer hochleistungsfähigen Stromfernübertragung sowie die Weiterentwicklung des Emissionshandels und der Erneuerbare-Energien-Richtlinie bieten weitere Chancen, die Flankierung

der nationalen Politik durch die europäische Klima- und Energiepolitik auch in Zukunft fortzusetzen. Mit einer besonders auf Klimaschutz und erneuerbare Energien ausgerichteten europäischen Energiestrategie wären vielfältige Vorteile, wie eine Angleichung der Wettbewerbsbedingungen, der Zugang zu günstigeren Energiequellen und Speichern sowie auch erweiterte Absatzmärkte für alle an der Wertschöpfungskette der erneuerbaren Energien beteiligten Unternehmen verbunden.

### Impressum

#### Herausgeber:

**Sachverständigenrat für Umweltfragen**

#### Geschäftsstelle:

Luisenstraße 46

10117 Berlin

Telefon: (0 30) 26 36 96 - 104

Fax: (0 30) 26 36 96 - 109

E-Mail: [info@umweltrat.de](mailto:info@umweltrat.de)

Internet: [www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de)

#### Bildrechte:

Seite 1 (Titel): DOTI (1), Bernd Müller (2, 3), B. Hiss (4), Bernd Müller (5), Regenerative Modellregion Harz (6)

#### Gestaltung & Produktion:

BLOCK DESIGN Kommunikation & Werbung

**Eine PDF-Datei des Sondergutachtens sowie weitere Informationen zum Thema finden Sie unter [www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de)**

Der SRU berät die Bundesregierung seit 1972 in Fragen der Umweltpolitik. Die Zusammensetzung des Rates aus sieben Universitätsprofessorinnen und -professoren verschiedener Fachdisziplinen gewährleistet eine wissenschaftlich unabhängige und umfassende Begutachtung, sowohl aus naturwissenschaftlich-technischer als auch aus ökonomischer, rechtlicher und politikwissenschaftlicher Perspektive. Der Rat besteht derzeit aus folgenden Mitgliedern:

**Prof. Dr. Martin Faulstich** (Vorsitzender), Technische Universität München  
**Prof. Dr. Heidi Foth** (stellv. Vorsitzende), Universität Halle-Wittenberg  
**Prof. Dr. Christian Calliess**, Freie Universität Berlin  
**Prof. Dr. Olav Hohmeyer**, Universität Flensburg  
**Prof. Dr. Karin Holm-Müller**, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
**Prof. Dr. Manfred Niekisch**, Goethe-Universität Frankfurt und Zoologischer Garten Frankfurt  
**Prof. Dr. Miranda Schreurs**, Freie Universität Berlin