



Thesenpapier

**Weichenstellungen
für eine nachhaltige
Stromversorgung**

Mai 2009

Inhalt

Einleitung	1
These 1 Die Herausforderung: Bis 2050 müssen die Industrieländer ihre Treibhausgase um mindestens 80 % reduzieren	4
These 2 Die Weichenstellungen heute prägen die Emissionen 2050	6
These 3 Eine vollständige Strombedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien ist möglich	8
These 4 Hohe Anteile von Grundlastkraftwerken sind mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien nicht vereinbar	12
These 5 Die Systementscheidung sollte zugunsten der erneuerbaren Energien erfolgen	18
Schlussfolgerungen.....	21
Glossar.....	23

Einleitung

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) erarbeitet zurzeit ein Sondergutachten zur Zukunft der Stromversorgung in Deutschland mit Blick auf das Jahr 2050. Als zentrale Herausforderung erachtet er den Übergang zu einer nachhaltigen Stromerzeugung, die Treibhausgasemissionen weitestgehend vermeidet. Der Fokus des Sondergutachtens und dieses Thesenpapiers ist auf die Elektrizitätserzeugung gerichtet, da diese derzeit einen großen Teil der deutschen Treibhausgasemissionen verursacht. Der Strombereich zeichnet sich durch extrem lange Investitionszyklen bei Kraftwerken und Netzen aus. Die Investitionsentscheidungen der nächsten zehn Jahre können deshalb die Emissionssituation bis nach 2060 bestimmen. Das deutsche Stromversorgungssystem muss dabei im europäischen Kontext betrachtet werden.

In diesem Thesenpapier möchte der SRU zentrale Thesen und Fragestellungen, die sich aus seinen bisherigen Überlegungen ergeben, vorab zur Diskussion stellen. Es zeichnen sich im Energiesektor Entscheidungen von großer Tragweite ab, deren mittelfristige Konsequenzen noch nicht hinreichend geklärt sind. Der SRU hält deshalb eine frühzeitig und breit geführte öffentliche Debatte zu diesem Thema für erforderlich. Mit diesem Thesenpapier möchte er den Anstoß zu einer solchen gesellschaftlichen Diskussion geben.

Für die Zukunft der Stromversorgung in Deutschland sind grundsätzlich vier verschiedene Optionen denkbar:

Option 1: Die schnelle Erneuerung des vorhandenen Kraftwerksparks (v. a. Kohlekraftwerke) ohne Einsatz von Kohlendioxidabscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage – CCS);

Option 2: Die spätere Erneuerung des vorhandenen Kraftwerksparks (v. a. Kohlekraftwerke) mit Einsatz von CCS ab circa 2020;

Option 3: Die Laufzeitverlängerung, der Ausbau und Neubau von Atomkraftwerken;

Option 4: Der Ausbau der erneuerbaren Energien.

Seit Jahren wird in Deutschland kontrovers diskutiert, welche dieser Optionen eine nachhaltige und sichere Stromversorgung am besten gewährleistet. Darüber hinaus muss aber auch geklärt werden, ob und inwieweit diese miteinander kombinierbar sind. Der SRU stellt hierzu fünf Thesen zur Diskussion, die in den nachfolgenden Kapiteln ausgeführt werden.

These 1 Bis 2050 müssen die Industrieländer ihre Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % reduzieren.

Dies ist notwendig, um einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern und eine faire Lastenverteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern zu ermöglichen.

These 2 Die Weichenstellungen heute prägen die Emissionen 2050.

Da viele Kraftwerkstypen eine Lebensdauer von einigen Jahrzehnten haben, muss der Zeithorizont der aktuellen energiepolitischen Diskussion erweitert werden. Investitionsentscheidungen heute dürfen die langfristig notwendige Emissionsreduktion nicht behindern. Es geht nicht mehr nur darum, ob wir unsere klimapolitischen Ziele bis 2020 oder 2030 erreichen, sondern wie wir heute die Grundlagen für einen erfolgreichen Klimaschutz bis 2050 legen können. Die aktuellen Neubaupläne für konventionelle *Grundlastkohlekraftwerke* (vgl. Glossar) ohne die Rückhaltung und Speicherung von CO₂ (Option 1) sind daher nicht mit den Klimaschutzzielen für 2050 vereinbar.

These 3 Eine vollständige Strombedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien ist möglich.

Hierfür ist jedoch eine Umstrukturierung des Systems nötig, die insbesondere den Ausbau von Elektrizitätsnetzen (vgl. Glossar), Leitungen für effiziente Fernübertragung und die Bereitstellung von Speicherkapazitäten einschließt. Da der Umbau von Netzen und Speicherkapazitäten einen zeitlichen Vorlauf erfordert, müssen bereits frühzeitig Richtungsentscheidungen getroffen werden. Diese Umstrukturierung ist möglich, bedarf jedoch eines starken politischen Gestaltungswillens.

These 4 Hohe Anteile von Grundlastkraftwerken sind mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien nicht vereinbar.

Die Einsatzmöglichkeiten von Grundlastkraftwerken werden bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien eingeschränkt, stattdessen werden schnellstartende Kraftwerke und *Regelenergie* (vgl. Glossar) benötigt. Die Optionen 1, 2 und 3 (grundlastbasierte Stromerzeugung) sind nicht mit Option 4 (Ausbau erneuerbarer Energien) kompatibel; eine Systementscheidung muss getroffen werden. Es ist technisch und ökonomisch nicht sinnvoll, beide Pfade gleichzeitig zu verfolgen.

These 5 Die Systementscheidung sollte zugunsten der erneuerbaren Energien erfolgen.

Die Energieträger Kohle und Kernenergie können keine nachhaltige und zukunftsfähige Stromversorgung sicherstellen. Die Kernenergie ist aufgrund der ungelösten

Endlagerproblematik und weiterer Risiken nicht nachhaltig. Das Wissen über die Chancen und Risiken der Kohlendioxidspeicherung, die Voraussetzung für eine weitere Nutzung der Kohle wäre, ist derzeit ungenügend. Da die Speicherkapazitäten für CO₂ und die Uranvorkommen begrenzt sind, könnten Option 2 und 3 den Umstieg auf erneuerbare Energien nur um wenige Jahrzehnte aufschieben.

These 1 Die Herausforderung: Bis 2050 müssen die Industrieländer ihre Treibhausgase um mindestens 80 % reduzieren

Für eine Erfolg versprechende Klimapolitik ist es erforderlich, dass die Industrieländer ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber dem Stand von 2000 reduzieren.

Der Rat der Europäischen Union hat das Ziel einer Anstiegsbegrenzung der globalen Durchschnittstemperatur auf 2° C seit 1996 wiederholt bekräftigt. Nach den Erkenntnissen des 4. Sachstandberichtes des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist davon auszugehen, dass dieses Ziel nur noch mit außergewöhnlichen Anstrengungen zu erreichen ist. Für das Jahr 2020 strebt die Europäische Union (EU) eine Treibhausgasreduktion von bis zu 30 % gegenüber dem Niveau von 1990 an, sofern andere Industrieländer sich zu vergleichbaren Reduktionen und die wirtschaftlich weiter fortgeschrittenen Entwicklungsländer zu einem angemessenen Beitrag verpflichten. Ziel der Bundesregierung ist es, die Emissionen Deutschlands bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Selbstverständlich muss die deutsche Energiepolitik dabei im europäischen und internationalen Rahmen betrachtet werden. Das Kyoto-Protokoll und die von der Kopenhagen-Konferenz erwartete Nachfolgeregelung sowie der europäische Emissionshandel spielen hier eine zentrale Rolle.

Es ist in der EU weitgehend Konsens, dass die Industrieländer bis zum Jahr 2050 ihre Treibhausgase um mindestens 60 bis 80 % reduzieren sollten. Im technischen Teil des IPCC-Berichts wird sogar eine globale Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 bis 85 % gegenüber dem Jahr 2000 für notwendig erachtet, um das 2° C-Ziel mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nicht zu überschreiten. Für die Industrieländer bedeutet dies Reduktionen von 80 bis 95 % gegenüber 1990. Auf diese Reduktionen wird in den internationalen Klimaschutzkonferenzen seit Bali immer wieder verwiesen. Auch die Europäische Kommission geht in ihrer Mitteilung zur Vorbereitung der Klimakonferenz von Kopenhagen mittlerweile von diesem anspruchsvolleren Zielkorridor aus. Der Elektrizitätssektor wird vor allem aus Kosten- und Effizienzgründen hierbei einen überproportionalen Beitrag leisten müssen.

Solche Verminderungsziele für die Industrienationen erscheinen nicht nur klimapolitisch zwingend, sie sind auch Grundbedingung und Voraussetzung einer fairen Lastenverteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern und damit Erfolg versprechender internationaler Klimaschutzabkommen. Das Konzept einer Konvergenz der pro-Kopf-Emissionen auf deutlich niedrigerem Niveau (contraction and convergence), wie es von den wissenschaftlichen Sachverständigenräten der Bundesregierung empfohlen wurde, ist mittlerweile offizielle Handlungsmaxime der

Bundesregierung in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie: „In ethischer Betrachtung hat jeder Mensch das gleiche Recht darauf, Ressourcen in Anspruch zu nehmen, solange sie nicht übernutzt werden.“

These 2 Die Weichenstellungen heute prägen die Emissionen 2050

Die in den nächsten Jahren gesetzten politischen Rahmenbedingungen werden den energietechnischen Entwicklungspfad bis 2050 entscheidend prägen. Investitionsentscheidungen heute dürfen die langfristig notwendigen Emissionsreduktionen nicht behindern. Es geht nicht mehr nur darum, ob wir unsere klimapolitischen Ziele bis 2020 oder 2030 erreichen, sondern wie wir heute die Grundlagen für einen erfolgreichen Klimaschutz bis 2050 legen können. Auch der europäische Emissionshandel kann in seiner heutigen Ausprägung aufgrund seines viel zu kurzen Zeithorizonts eine ernsthafte und kritische Reflektion über die mittelfristigen Auswirkungen heutiger Investitionsentscheidungen nicht ersetzen.

Der deutsche Kraftwerkspark steht vor einer grundlegenden Erneuerung. Für den Zeitraum 2007 bis 2020 wird die Außerbetriebnahme fossiler Kraftwerkskapazitäten auf 2,4 bis 33 GW geschätzt, für den Zeithorizont bis 2030 liegen die Schätzungen für den Erneuerungsbedarf im gesamten Kraftwerkspark im Bereich von 50 bis 80 GW. Die erheblichen Spannbreiten dieser Schätzungen deuten auf Flexibilitätsreserven hin. Die technische Lebensdauer auch älterer konventioneller Kraftwerke kann durch Modernisierungs- und Nachrüstinvestitionen erheblich verlängert werden. Zum Teil kann die Betriebsdauer bis zu 60 Jahre betragen. Auch in der EU besteht ein erheblicher Erneuerungsbedarf des Kraftwerksparks. Im Unterschied zu Deutschland fand in anderen europäischen Ländern die Erneuerung im letzten Jahrzehnt vor allem durch erneuerbare Energien und Gaskraftwerke statt, kaum durch Kohlekraftwerke. Generell wird die Betriebsdauer von kapitalintensiven Atom- und Kohlekraftwerken auf circa 40 Jahre angesetzt, diejenige von Windenergie- und Gaskraftwerken im Bereich von 20 bis 25 Jahren. Die Investitionsentscheidungen der nächsten 10 bis 20 Jahre werden damit den Kraftwerkspark und den Energiemix bis weit in dieses Jahrhundert hinein prägen. Dies gilt insbesondere im Falle der Erneuerung durch kapitalintensive Grundlastkraftwerke.

Wird für Deutschland eine CO₂-Reduktion von 80 % als Zielniveau angenommen, so ist hiermit nur ein sehr begrenzter Neubau an Kohlekraftwerken ohne CCS kompatibel. Die für das Bundesumweltministerium erstellte Leitstudie 2008 errechnet einen insgesamt noch vertretbaren Neubau von 9 GW an Kohlekraftwerken. Entsprechend niedriger wären die noch vertretbaren Kapazitäten konventioneller Kohlekraftwerke bei einem Zielniveau von minus 95 % für den Strombereich. Im Gegensatz hierzu sind derzeit neue Kohlekraftwerke mit einer Leistung von fast 28 GW in Bau oder in der konkreten Planung. Deutschland riskiert damit, sich die Chance auf einen klimaverträglichen Entwicklungspfad zu „verbauen“ und – bereits wegen des Gewichts seines kohlelastigen Kraftwerksparks – zusammen mit Polen und Ungarn längerfristig

eine negative klimapolitische Sonderrolle in der EU einzunehmen. Ob die Nachrüstung mit CCS dieses Problem nachträglich lösen kann, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch unklar; ein Neubau von Kohlekraftwerken in großer Zahl ist damit heute nicht zu rechtfertigen (s. These 5).

Bisher ist die Zeitperspektive 2050 zwar in zahlreichen programmatischen Dokumenten der Bundesregierung und der EU erwähnt, aber keinesfalls in der für langfristige Investitionsentscheidungen notwendigen Verbindlichkeit. Für den Emissionshandelssektor besteht nur ein offiziell festgelegter Reduktionspfad bis 2025. Ökonomisch und klimapolitisch problematisch wäre jedoch eine kurzfristige Optimierung mit dem Zeithorizont 2020/2030 ohne Berücksichtigung der langfristig zu erwartenden Knappheits- und Preissignale. Die Zwischenziele (Kyoto-Ziel, 2020-Ziel) sind mit heutigen Technologien bzw. deren inkrementeller Verbesserung (effiziente Kohlekraftwerke, Kraft-Wärme-Kopplung) sowie durch Energieträgerwechsel von Kohle auf Erdgas kostengünstig erreichbar. Der Ersatz eines alten durch ein neues Braun- oder Steinkohlekraftwerk senkt die spezifischen CO₂-Emissionen nur um circa 30 bis 35 %. Damit wäre aber ein zu hoher Sockel an Emissionen für Zeiträume bis weit über 2020/2030 strukturell festgelegt. Zwischenziele, die nur bis zur übernächsten Dekade reichen, schaffen damit verkehrte Anreize. Ein heute gebautes Kohlekraftwerk mag zwar wegen seiner höheren Effizienz mit dem Zielkorridor 2020 vereinbar sein, müsste aber vorzeitig, das heißt vor dem Ende der Regelbetriebsdauer von 40 Jahren, abgeschaltet oder zu sehr hohen Kosten mit CCS nachgerüstet werden, wenn nach 2030 die Emissionen stärker gesenkt werden müssen. Würden die Klimaschutzziele erst, wie in der Emissionshandelsrichtlinie vorgesehen, im Jahre 2025 an das langfristig Notwendige angepasst, wären somit Kapitalentwertungen unvermeidbar. Eine nachträgliche Anpassung der Reduktionsziele an das klimapolitisch Gebotene würde deshalb vermutlich einen erheblichen Widerstand der betroffenen Akteure hervorrufen. Ähnliche Probleme sind hinsichtlich der Infrastruktur für den Stromsektor zu erwarten. Die deutsche Energiepolitik muss ihre Zeitperspektive bis mindestens zum Jahr 2050 erweitern, wenn sie nicht auf ein Dilemma zwischen kurzfristig erforderlichen Strukturbrüchen mit massiver Kapitalentwertung und klimapolitischem Versagen zusteuern will.

These 3 Eine vollständige Strombedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien ist möglich

Bis zum Jahr 2050 kann der deutsche und europäische Strombedarf vollständig aus regenerativen Energiequellen gedeckt werden. Eine langfristig nachhaltige, klimafreundliche und umweltverträgliche Stromversorgung ist realisierbar.

100 % erneuerbare Energien sind möglich

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland hat sich in den letzten 10 Jahren von circa 5 auf über 15 % mehr als verdreifacht. Potenzialanalysen zeigen, dass der Primärenergiebedarf in der EU unter physikalischen und technischen Gesichtspunkten überwiegend aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Verschiedene Studien und Szenarioanalysen zeigen, dass insbesondere eine nahezu vollständige Stromversorgung mit erneuerbaren Energien bis 2050 technisch und ökonomisch möglich ist.

Nach der für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erstellten Leitstudie 2008 können im Jahr 2050 87 % der Bruttostromnachfrage durch erneuerbare Energien gedeckt werden (Leitszenario). Eine Szenariovariante der Leitstudie, die von einem noch stärkeren Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien ausgeht, nennt einen Wert von 94,4 %. Diese Aussagen basieren nicht auf reinen Mengenbilanzen; durch regenerative Energiequellen kann mit Unterstützung entsprechender Speichertechnik in jeder Sekunde des Jahres jede Stromnachfrage gedeckt werden.

In Deutschland wird die Windenergie mittelfristig die wichtigste Rolle spielen. Zudem wird die Bedeutung des europäischen Verbunds zunehmen. Insbesondere solarthermische Kraftwerke im Mittelmeerraum werden in den einschlägigen Szenarien zu einem wichtigen Pfeiler der europäischen Stromversorgung. Auch Strom aus solarthermischen Kraftwerken in Nordafrika kann perspektivisch zur Stromversorgung in Europa beitragen.

Kostenschätzungen für einen intensivierten Ausbau erneuerbarer Energieträger sind im Vergleich zu anderen Klimaschutzoptionen mit sehr großen Prognoseunsicherheiten verbunden und liegen entsprechend weit auseinander. Die Kontroverse um die Kostenabschätzung verschiedener Energieszenarien war einer der Gründe dafür, dass ein parteiübergreifender Konsens in der Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ nicht erreicht werden konnte. Eine differenzierte Erörterung dieser Kostendebatte ist in diesem Thesenpapier leider nicht möglich. Den durchaus plausiblen Hinweisen unter anderem aus der Leitstudie, dass die

langfristigen Systemkosten einer auf erneuerbaren Energien aufbauenden Stromversorgung sich zumindest in einem wirtschaftlich zumutbaren und mit anderen Alternativen vergleichbaren Rahmen bewegen und auf Dauer sogar zu niedrigeren Gesamtkosten führen können, sollte aber intensiver nachgegangen werden.

Effizienz ist Voraussetzung

Integraler Bestandteil aller Szenarien für den Ausbau erneuerbarer Energien ist die weitere Mobilisierung des noch erheblichen Effizienzpotenzials. Die Begrenzung und längerfristig die Senkung des Stromverbrauchs kann dazu beitragen, kostengünstige Klimaschutzpotenziale zu mobilisieren, die Versorgungssicherheit zu erhöhen und das Niveau des erforderlichen Energieangebots zu senken. Investitionen in Energieeffizienz können wirtschaftlicher sein als Investitionen in Anlagen zur Stromerzeugung. Hierfür ist die Steigerung der Effizienz auf allen Stufen der Energienutzung notwendig. Der weitgehende Umstieg auf erneuerbare Energien kann umso leichter gelingen, je stärker der Energiebedarf gesenkt wird. Da die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung hoch sind, wirkt sich die Reduzierung des Stromverbrauchs besonders positiv auf den Primärenergieverbrauch aus. In seinem Umweltgutachten 2008 hat der SRU vielfältige über die laufenden politischen Programme hinausreichende Maßnahmen vorgeschlagen.

Stromversorgung durch erneuerbare Energien braucht neue Infrastrukturen

Ein Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert es, das Elektrizitätsversorgungssystem an neue Anforderungen anzupassen. Für die Integration eines hohen Anteils erneuerbarer Energien, deren Beitrag im Falle der Wind- und Solarenergie variiert, sind ein flexibler Einsatz konventioneller Kraftwerke, der Ausbau der Speichersysteme für Strom, steuerbare regenerative Energieträger und ein effektives Nachfragemanagement notwendig. Der Ausbau der erneuerbaren Energien muss einerseits mit einer verstärkten Nutzung technischer und wirtschaftlicher Potenziale für ein flexibles Stromerzeugungssystem und andererseits mit einem Ausbau der Elektrizitätsnetze einhergehen.

Der Ausbau der Netze ist notwendig, um dezentralen und verbrauchsfernen Erzeugungsstrukturen gerecht zu werden und einen überregionalen Ausgleich der Produktions- und Bedarfsschwankungen zu ermöglichen. Perspektivisch müssen die Netze grenzüberschreitend ausgebaut und verknüpft werden. Effiziente Stromübertragung über weite Distanzen erfordert den Aufbau internationaler Hochspannungsverbindungen mit niedrigen Übertragungsverlusten („super grid“, z. B. durch Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung). Mit einem europäischen Verbundbetrieb können zudem regionale Lastspitzen abgefangen oder mögliche

Kraftwerksausfälle kompensiert werden, was sowohl die Versorgungssicherheit erhöhen als auch die Stromerzeugungskosten senken würde.

Darüber hinaus geht die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien mit erhöhten technischen Anforderungen an die Stromnetze einher, die in Richtung eines "smart grid" umgestaltet werden müssen. Durch Stromerzeugungsmanagement, intelligent ausgelegte Transportwege, Vernetzung dezentraler Anlagen und verstärktes Lastmanagement kann die Vorhersehbarkeit der Netzlast erhöht, die Netzleistung der Nachfrage angepasst und so die Leistungsfähigkeit des Stromnetzes deutlich verbessert werden. Die Bereitstellung von Grundlastkapazitäten aus konventionellen Erzeugungsanlagen würde dadurch weitgehend obsolet, und der Bedarf an Stromspeicherkapazitäten könnte gesenkt werden.

Schließlich wird der Entwicklung eines europäischen „Energieverbundes“ große Bedeutung zukommen. Die Anbindung solarthermischer Kraftwerke im Mittelmeerraum, der Offshore-Windenergie im Nordseeraum oder skandinavischer Pumpspeicherkraftwerke an die Verbrauchszentren ist in den einschlägigen Szenarien ein wichtiges Element einer relativ kostengünstigen Versorgung mit erneuerbaren Energien. Hierfür ist der Ausbau leistungsfähiger Fernverbindungen im Rahmen der transeuropäischen Energienetze wichtig. Erst ein „echter“ europäischer Energiebinnenmarkt mit freier Durchleitung, gewährleistet durch eine effektive Netzaufsicht, vermag damit eine kostengünstige arbeitsteilige Energiegewinnung im Bereich der erneuerbaren Energien zu gewährleisten. Insoweit hat die EU die erforderlichen Zuständigkeiten (Art. 95, 156 ff. EG-Vertrag). Problematisch ist allerdings, dass es der EU an einer flankierenden umfassenden Kompetenz im Bereich der Energiepolitik mangelt. Die EU kann zwar für einen freien Energiebinnenmarkt sorgen, sie kann aber nicht die Energiequellen, zum Beispiel 100 % erneuerbare Energien, für alle Mitgliedstaaten festlegen. Der durch den Netzausbau und die Liberalisierung gestärkte Binnenmarkt für Elektrizität kann damit mittelbar auch andere Energiequellen begünstigen.

Die Umsetzung einer Strategie zur weitgehenden Stromerzeugung auf Basis regenerativer Energiequellen stellt die Politik damit vor erhebliche Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich internationaler Kooperation, der Entwicklung grenzüberschreitender Anreizsysteme für die Marktentwicklung, eines zügigen Infrastrukturausbaus und einer angemessenen Öffentlichkeitsbeteiligung. Diese Herausforderungen sind ohne klare politische Entscheidungen und Prioritätensetzungen – auch in einem europäischen Rahmen – kaum möglich. Die notwendigen Entscheidungen können nur auf der Basis eines fairen Vergleichs der verfügbaren Systemoptionen im Rahmen einer breit aufgestellten energiepolitischen Diskussion getroffen werden.

Nachhaltige Stromversorgung durch erneuerbare Energien kann und muss den Schutz der Biodiversität gewährleisten

Energieversorgung mit erneuerbaren Energien muss den Schutz der Biodiversität und den Umweltschutz von vornherein berücksichtigen. Eine wesentliche Bedrohung für die biologische Vielfalt in Mitteleuropa ist die derzeitige Flächennutzung und -zerschneidung. Ziel einer dauerhaft nachhaltigen und klimaverträglichen Energieversorgung muss es sein, weitere Belastungen der Biodiversität durch die Stromversorgung auch mit erneuerbaren Energien mit den Instrumenten der Landschafts- und Raumplanung zu vermeiden, sowie Schäden durch sorgfältige und umfassende Verträglichkeitsprüfungen bezüglich der Umwelt und speziell der biologischen Vielfalt auszuschließen. Räumliche und zeitliche Informationen auf allen Entscheidungsebenen sind notwendig, um mögliche negative Wirkungen einschätzen und minimieren zu können. Dies gilt insbesondere, weil die biologischen Wirkungen auf Arten und Populationen sowie die physikalisch-chemischen Wirkungen auf Wasser, Boden und Luft skalenabhängig sind. Die umweltpolitischen Ziele der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, der Wasserrahmenrichtlinie sowie entsprechender Schutzprogramme (z. B. des Integrierten Küstenzonenmanagements) müssen erfüllt werden.

Entsprechende Überlegungen müssen besonders auch bei Entscheidungen über die Nutzung von Freileitungen oder Erdkabeln berücksichtigt werden, die jeweils sehr unterschiedliche Eingriffstiefen implizieren. Beim Anbau von Biomasse müssen Nutzungskonkurrenzen in Land- und Forstwirtschaft angemessen berücksichtigt werden. Es sollten geeignete Standorte ausgewählt und mit ökologisch passenden Anbaupflanzen genutzt werden. Die Planung für Windkraftstandorte muss neben Auswirkungen auf die Vogelfauna auch mögliche Zerschneidungswirkungen und andere wesentliche ökologische Aspekte berücksichtigen. Die Wasserkraft darf nur an Standorten zusätzlich genutzt werden, an denen bisher unverbaute, naturnahe Gewässer nicht beeinträchtigt werden. Ökologische Begleitforschung, beispielsweise hinsichtlich der Folgen von Unterwasserlärm oder Vibrationen auf die Vorkommen von Schweinswalen und anderen Säugetieren, muss weiter vorangetrieben werden. So können die ökologischen Auswirkungen der intensivierten Nutzung regenerativer Energiequellen minimiert werden.

These 4 Hohe Anteile von Grundlastkraftwerken sind mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien nicht vereinbar

Der SRU geht davon aus, dass wir heute vor der Grundsatzentscheidung zwischen zwei unterschiedlichen Entwicklungspfaden für die zukünftige Stromversorgung stehen. Möglich ist entweder

- ein massiver Ausbau der regenerativen Energiequellen, der mit schnell startenden Kraftwerkskapazitäten (Gaskraftwerke), Stromspeichern und einem erheblichen Netzausbau kombiniert werden muss, oder
- der Ausbau einer Kraftwerksstruktur auf der Basis von Grundlastkraftwerken (Kohle mit CCS und/oder Kernkraftwerke) unter Verzicht auf einen weiteren substanziellen Ausbau der regenerativen Energiequellen Wind und Sonne zur Stromerzeugung, da ein hoher Anteil von Wind- und Sonnenenergie nicht sinnvoll mit einer grundlastorientierten Stromerzeugung kombiniert werden kann.

Die sich abzeichnende Entscheidung für den zurzeit diskutierten erheblichen Neubau von Grundlastkraftwerken wäre damit eine Entscheidung gegen einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien.

Die aktuelle Diskussion um die Zukunft der Stromversorgung in Deutschland wird häufig unter der Prämisse geführt, dass Kohlekraftwerke als notwendige Ergänzung der regenerativen Energiequellen für die Bereitstellung von sogenannter Grundlast erforderlich sind. Diese Kohlekraftwerke benötigt man insbesondere vor dem Hintergrund des gesetzlich verankerten Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie. Mit dieser Argumentation wird die energiepolitische Debatte auf die Frage: „**Kohle oder Kernenergie?**“ eingeschränkt.

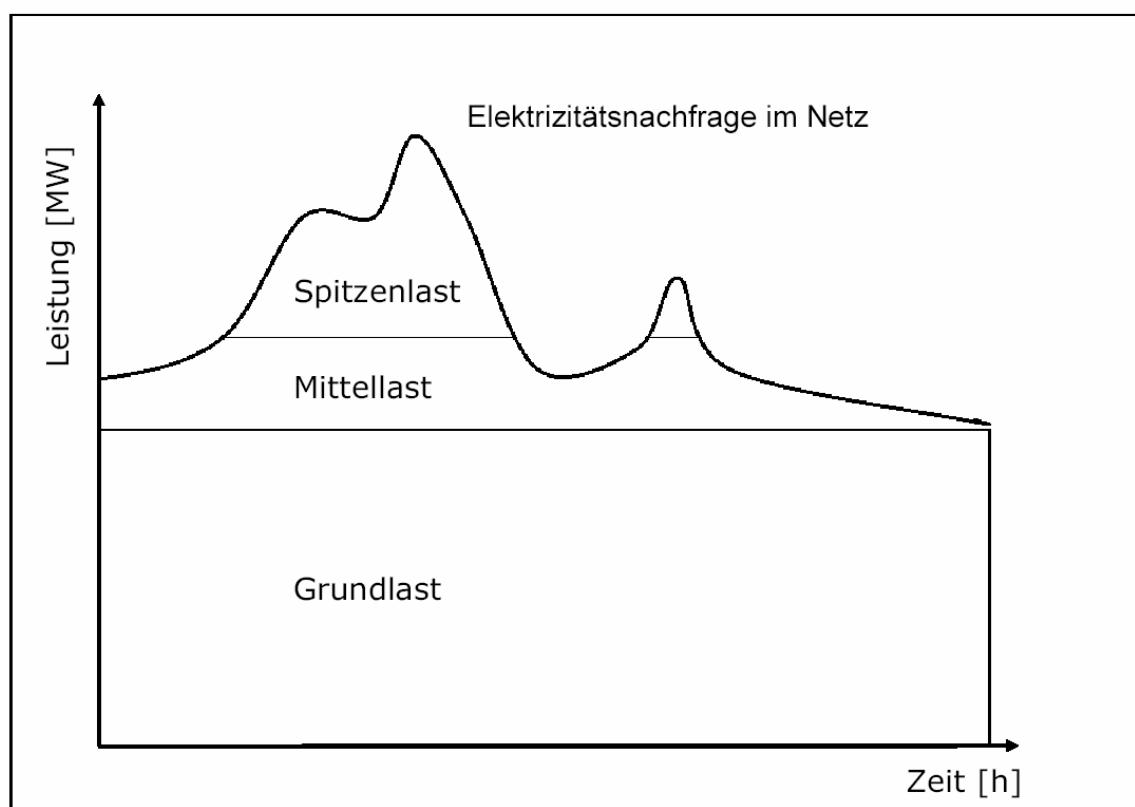
Eine sachliche Analyse zeigt hingegen, dass eine Stromversorgung ohne Kohle und Kernenergie auf der Basis regenerativer Energiequellen möglich ist und dass der erforderliche Ausbau von erneuerbaren Energien mit hohen Anteilen von Grundlastkraftwerken nicht vereinbar ist. Damit lautet die zentrale Frage zur Zukunft der Stromversorgung: „**Stromversorgung auf der Basis von Grundlastkraftwerken (Kohle und/oder Kernenergie) oder auf der Basis regenerativer Energiequellen?**“

Systematische Analysen der Eigenschaften der wichtigsten regenerativen Energiequellen in der Stromerzeugung auf der einen und der Eigenschaften von Grundlastkraftwerken (auf Kohle- oder Kernenergiebasis) auf der anderen Seite zeigen, dass gerade die vergleichsweise kostengünstige und in großem Umfang mögliche Nutzung der Windenergie an Land und auf See nicht mit den technischen und ökonomischen Charakteristika von Grundlastkraftwerken kompatibel ist.

In der bisherigen Elektrizitätsversorgung wird die Stromnachfrage im Tages- und Jahresverlauf durch regelbare Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerke gedeckt. Abbildung 1 zeigt dies anhand eines stilisierten Tagesverlaufs der Elektrizitätsnachfrage. Im Abstand von 15 Minuten wird über den jeweils anstehenden Einsatz der verschiedenen verfügbaren (regelbaren) Kraftwerke entschieden (*Dispatch*, vgl. Glossar) um jederzeit die Stromnachfrage vollständig decken zu können. Für diese Entscheidung spielen im Wesentlichen die variablen Kosten der verfügbaren Kraftwerke eine Rolle, die nach ihrer sogenannten Merit Order (der aufsteigenden Reihenfolge ihrer variablen Kosten) eingesetzt werden.

Abbildung 1

Schematische Darstellung der Deckung der täglichen Stromnachfrage im derzeitigen Elektrizitätssystem

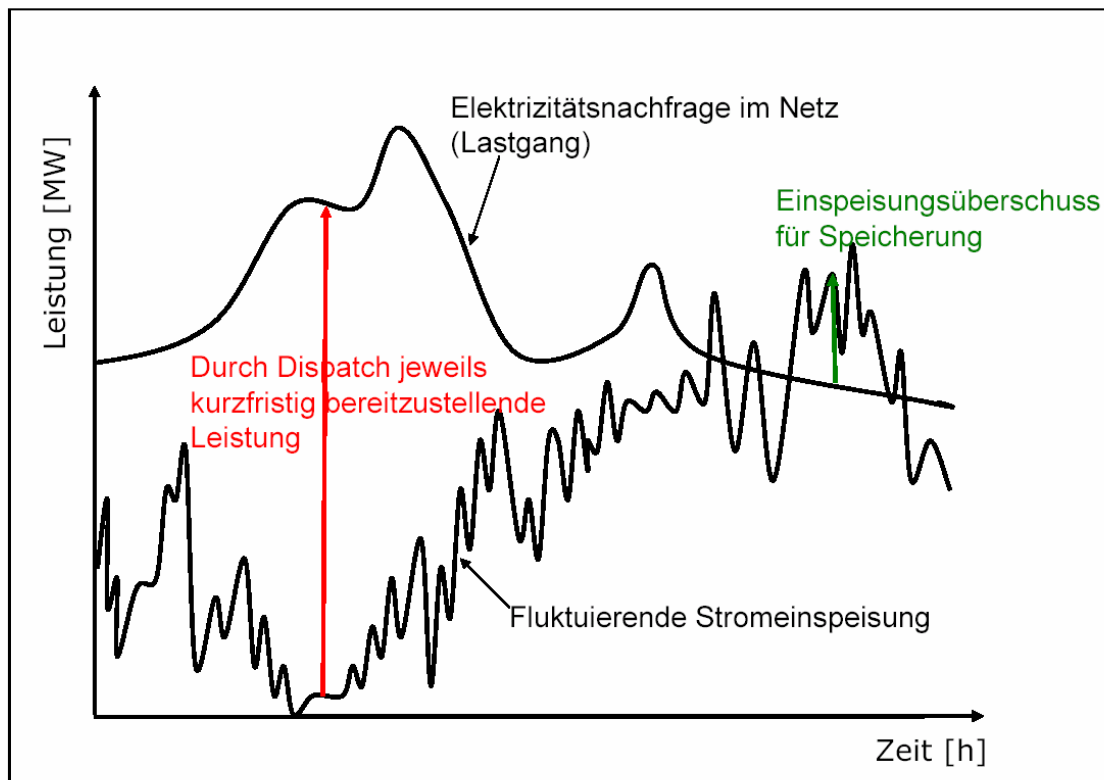


SRU/Thesenpapier Strom 2009/Abb. 1

Bei einem hohen Anteil praktisch nicht regelbarer Wind- und Sonnenenergie verändert sich die Einsatzentscheidung für regelbare Kraftwerke grundlegend, wie Abbildung 2 zeigt. Es gilt nun nicht mehr, die jeweilige Nachfrage im Netz mit regelbaren Kraftwerken zu bedienen, sondern nur noch, die Differenz zwischen der stark und eventuell schnell schwankenden Windenergie und der Nachfrage durch den Einsatz regelbarer Kraftwerke auszugleichen.

Abbildung 2

Schematische Darstellung der Deckung der täglichen Stromnachfrage in einem Elektrizitätssystem mit einem hohen Anteil von Windenergie



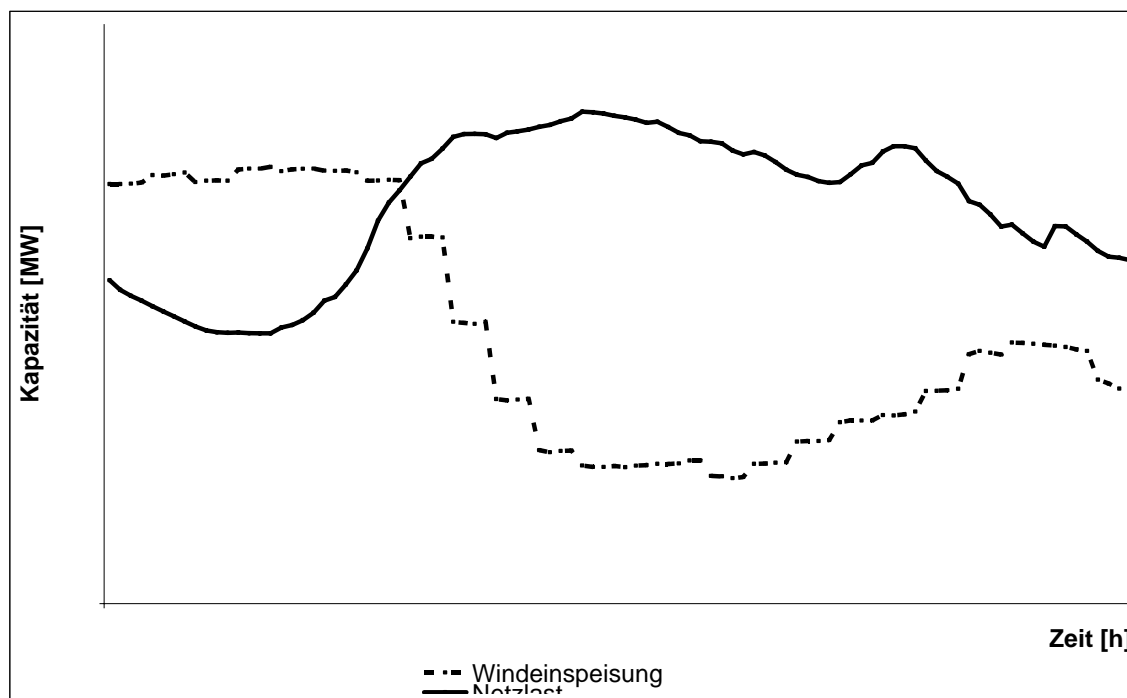
SRU/Thesenpapier Strom 2009/Abb. 2

Da Windenergie- und Solaranlagen im Gegensatz zu fast allen regelbaren Kraftwerken keinen Brennstoff benötigen und daher praktisch keine mit dem Betrieb variierenden Kosten haben, wird ihr Strom aus ökonomischen Gründen immer für die Deckung der Nachfrage eingesetzt, bevor auf regelbare Kraftwerke zur Deckung der verbleibenden Differenz zur Nachfrage zurückgegriffen wird.

Abbildung 3 zeigt am Beispiel einer möglichen zukünftigen Einspeisung von Windenergie auf der Basis hochgerechneter Einspeisungswerte der Windenergie (On- und Offshore) im Bereich des Netzes der E.ON Netz AG und des Verlaufs einer typischen täglichen Stromnachfrage, wie sich das Verhältnis zwischen regenerativer Stromerzeugung und Nachfrage darstellen kann.

Abbildung 3

Mögliche On- und Offshore-Windeinspeisung (hochskaliert) sowie typischer Netzlastverlauf in Schleswig-Holstein



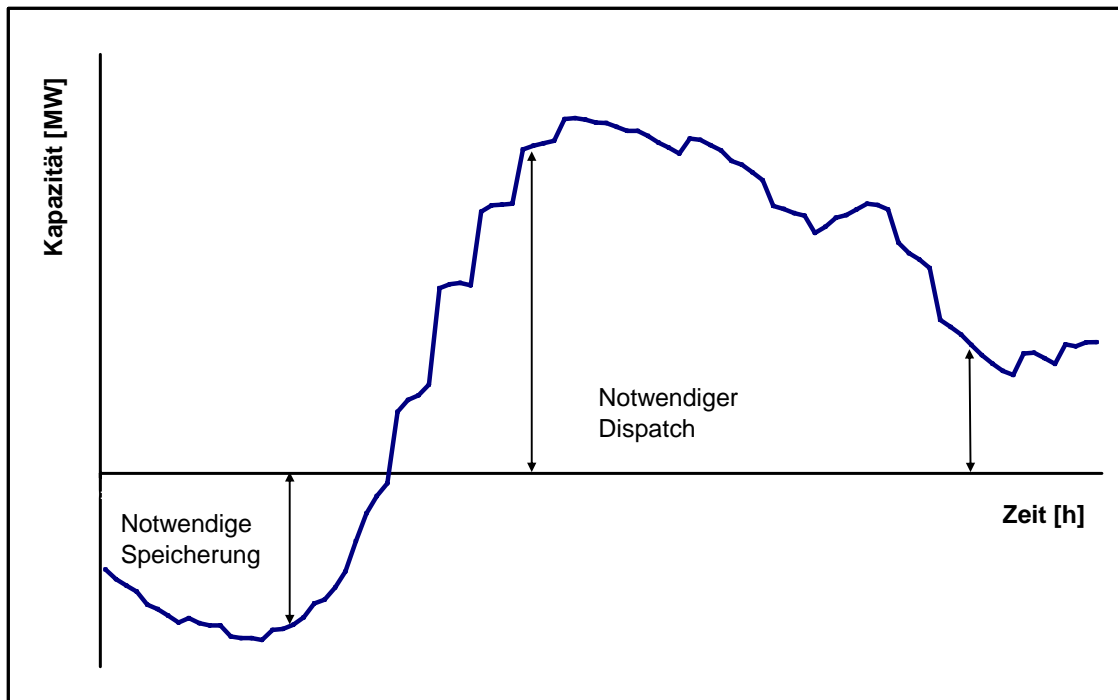
Der dargestellte Tagesverlauf der Windeinspeisung beruht auf aktuellen Daten der E.ON Netz AG, die unter der Annahme eines starken Ausbaus der On- und Offshore-Windenergie hochskaliert wurden.

SRU/Thesenpapier Strom 2009/Abb. 3

Bildet man die Differenz der beiden Kurven in Abbildung 3, so ergibt sich die in Abbildung 4 gezeigte Nachfrage nach regelbarer Stromerzeugung bzw. nach Stromspeichern auf der Basis von 15-Minuten-Intervallen.

Abbildung 4

Resultierender Speicher- sowie Dispatchbedarf im Tagesverlauf



SRU/Thesenpapier Strom 2009/Abb. 4

Aus Abbildung 4 wird klar, dass es in diesem Fall keine über den gesamten Tagesverlauf gleichbleibende Nachfrage nach regelbarer Kraftwerkskapazität mehr gibt. Das heißt, dass es in diesem Fall auch keine Nachfrage nach Grundlastkraftwerken mehr geben wird. Die verbleibende Nachfrage sollte aus ökonomischen und technischen Erwägungen vielmehr mit Kraftwerken abgedeckt werden, die dem Bereich der Mittel- oder Spitzenlast zuzuordnen sind.

Der Anteil der durch konventionelle Grundlastkraftwerke zu deckenden Netzlast würde auf einen Bruchteil der heute installierten Kraftwerksleistung zurückgehen, wenn sich entsprechend den Plänen der Bundesregierung und den Erfordernissen einer kostengünstigen, langfristig nachhaltigen Elektrizitätsversorgung auf der Basis regenerativer Energiequellen der Ausbau der Windenergie weiter fortsetzt. Diese Auffassung teilt auch die Leitstudie: „Bei sehr hohen Anteilen an EE (Erneuerbaren Energiequellen) [...] verschwindet die herkömmliche Grundlaststromerzeugung weitgehend, die verbleibenden fossilen Kondensationskraftwerke stellen dann ausschließlich die zu einer sicheren Stromversorgung erforderliche Leistung zur Verfügung.“

Auch von Seiten der Energieversorgungsunternehmen wird diese Problematik thematisiert. E.ON und Électricité de France haben kürzlich in einer Stellungnahme an die Britische Regierung deutlich gemacht, dass sie hohe Anteile an erneuerbaren

Energien für unvereinbar mit dem Neubau kapitalintensiver Grundlastkraftwerke halten. Sie sehen die noch verträgliche Obergrenze bei 25 bis 33 %.

In einem Energiesystem mit hohen Anteilen *fluktuierender Einspeisung* (vgl. Glossar) aus regenerativen Energiequellen verlieren damit Grundlastkraftwerke nicht nur entscheidend an Bedeutung, sie sind vielmehr aufgrund ihrer technischen Eigenschaften (nur sehr langsames Anfahren über Stunden möglich) auch nicht mehr geeignet, die notwendigen Aufgaben regelbarer Kraftwerkskapazitäten in dem neuen Energiesystem sinnvoll und kostengünstig zu erfüllen. Vielmehr werden schnell startende Kraftwerke und Kraftwerke mit gutem Regelverhalten benötigt. Dies bedeutet, dass bei den in nächster Zeit anstehenden Investitionsentscheidungen nicht Kohle- oder Kernkraftwerke gebaut werden sollten, sondern dass Kraftwerke mit geringeren Anfangsinvestitionen und eventuell höheren Brennstoffkosten, wie zum Beispiel gasbefeuerte Kraftwerke, zu bevorzugen sind.

These 5 Die Systementscheidung sollte zugunsten der erneuerbaren Energien erfolgen

Die Stromversorgung in Deutschland beruht heute zu gut 80 % auf fossilen Energieträgern und Kernenergie. Die bestehende Infrastruktur ist auf die bisher dominierenden Energieträger ausgerichtet, und die Umstellung des Systems stellt eine große Herausforderung dar (s. These 3). Dennoch sollte die Systementscheidung zugunsten der erneuerbaren Energien erfolgen, da die Energieträger Kohle und Kernenergie keine nachhaltige und zukunftsfähige Stromversorgung sicherstellen können. Wegen der begrenzten Speicherkapazitäten für Kohlendioxid und der begrenzten Uranvorkommen könnten Kohle und Kernenergie zudem den Umstieg auf erneuerbare Energien höchstens um wenige Jahrzehnte aufschieben.

Kohle mit CCS: Begrenzte Speicherkapazitäten für CO₂, Unsicherheiten und Risiken

Die weitere Stromproduktion aus Stein- und Braunkohle wäre wegen ihrer hohen Treibhausgasemissionen nur dann mit den Klimaschutzzielen vereinbar, wenn die CO₂-Abscheidung und -speicherung (CCS) in großem Maßstab realisiert würde. Ein nationaler Rechtsrahmen für die Nutzung von CCS wird derzeit mit großer Eile vorangetrieben. Dies hat der SRU kürzlich in einer Stellungnahme kritisch bewertet. Bisher ist jedoch nicht geklärt, ob der Einsatz von CCS im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus Kohle als Klimaschutzmaßnahme sinnvoll und effizient ist. Entscheidend ist hier zunächst die Frage nach den Kapazitäten für die unterirdische Speicherung von Kohlendioxid in Deutschland und weltweit. Verlässliche Zahlen hierzu liegen bisher nicht vor, sicher ist nur, dass sie begrenzt sind. Aktuelle Schätzungen zufolge beträgt die statische Reichweite der Speicher in Deutschland etwa 30 bis 60 Jahre. Es können allerdings direkte Konkurrenzen um die Nutzung der betreffenden unterirdischen Strukturen auftreten, etwa mit der Nutzung von Geothermie oder der Einrichtung von Druckluft- und Wärmespeichern, was den Systemkonflikt zu den erneuerbaren Energien potenziell verschärft.

Zudem ist eine langfristige Nutzungskonkurrenz absehbar: Der IPCC kommt zu dem Schluss, dass in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts globale Negativemissionen durch die Kombination der energetischen Nutzung von Biomasse mit CCS notwendig sind, um die Klimaschutzziele nicht zu verfehlen. Wenn diese Option offen gehalten werden soll, dürfen die unterirdischen Räume heute nicht mit CO₂ aus der Kohleverbrennung gefüllt werden.

Schon aufgrund der begrenzten Speicherkapazitäten kann CCS keine langfristige Lösung des Klimaproblems darstellen. Der Umstieg auf erneuerbare Energien könnte durch die Anwendung von CCS nur etwa um die Dauer einer Kraftwerksgeneration

verschoben werden. Hinzu kommen eine Reihe ungeklärter Fragen in Bezug auf die CCS-Technologie. Die ökologischen Risiken der Lagerung von CO₂ im Untergrund sind noch nicht ausreichend untersucht. Die CCS-Technologie selbst befindet sich in einem frühen Stadium der Entwicklung und ist heute noch nicht in großtechnischem Maßstab verfügbar. Die CO₂-Vermeidungskosten sind insbesondere bei der Nachrüstung bestehender Kraftwerke hoch, da mit erheblichen Wirkungsgradverlusten und entsprechend höheren Brennstoffkosten zu rechnen ist. Die Forderungen der Industrie nach staatlichen Subventionen legen nahe, dass CCS aus privatwirtschaftlicher Sicht selbst unter einem strengen Emissionshandelsregime keine lohnende CO₂-Vermeidungsstrategie darstellt.

Angesichts der Unsicherheiten in Bezug auf Speicherkapazitäten, Kostenentwicklung und ökologische Auswirkungen ist es aus Sicht des SRU nicht vertretbar, die anstehende Pfadentscheidung zugunsten der weiteren Kohlenutzung mit CCS zu treffen.

Kernenergie: Risiken, begrenzte Ressourcen, fehlende Endlager

Stromerzeugung aus Kernenergie ist weniger schädlich für das globale Klima als die Kohleverstromung. Dennoch ist die Atomkraft aufgrund der Risiken bei Betrieb und Transport und insbesondere aufgrund der Entsorgungsproblematik nicht nachhaltig. Der Ausstieg aus der Atomenergie wird nach wie vor von der Mehrheit der Deutschen befürwortet. Eine nationale Klimaschutzstrategie, die auf einen massiven Ausbau der Atomenergie setzen würde, wäre mit massiven Akzeptanzproblemen konfrontiert. Die Ausbaupläne früherer Jahrzehnte sind unter anderem an heftigen Protesten der Zivilgesellschaft gescheitert. Auch ein klimapolitisch begründeter Ausbau der Kernenergie wäre weder nachhaltig noch in Deutschland politisch durchsetzbar.

Die Atomkraft kommt bereits aufgrund begrenzter Ressourcen ebenfalls nicht als langfristige Lösung des Klimaproblems infrage. Kernenergie deckt derzeit nur rund 6 % des weltweiten Primärenergieverbrauchs. Die weltweit bekannten sicheren Uranreserven würden bei gleichbleibendem Verbrauch für 40 bis 63 Jahre reichen, je nachdem welcher Anteil des Bedarfs durch andere Quellen (Lagerbestände, abgereichertes Waffenuuran und Uran aus wiederaufgearbeiteten Brennstäben) gedeckt wird. Wenn mithilfe der Atomkraft die Treibhausgasemissionen aus der Stromerzeugung global signifikant reduziert werden sollen, müssten neue Kernkraftwerke in großer Zahl gebaut werden, und die Uranvorkommen wären in deutlich kürzerer Zeit erschöpft. Würde man andererseits verstärkt auf Wiederaufbereitung setzen, würde sich das Risiko der Proliferation (Verbreitung der Möglichkeit zum Bau von Atomwaffen) und des Missbrauchs kerntechnischen Materials für militärische oder terroristische Zwecke erheblich verschärfen.

Eine weitere Nutzung der Atomenergie ist aus Sicht des SRU aufgrund der ungelösten Entsorgungsproblematik und der Gefahr des Missbrauchs durch Terroristen nicht zu vertreten. Überdies ist sie aufgrund der begrenzten Reichweiten von Uran nicht mit einer langfristigen strategischen Planung für eine zukunftsfähige Stromversorgung vereinbar.

Schlussfolgerungen

Eine Stromversorgung aus regenerativen Energiequellen ist für Deutschland wie für die meisten Industrieländer bis zum Jahr 2050 realisierbar. Unter bestimmten Bedingungen kann eine Stromversorgung auf der Basis regenerativer Energiequellen ab 2020 sogar kostengünstiger sein als eine Stromversorgung auf der Basis fossiler Energieträger. Jeder Neubau und Ersatz von Kraftwerkskapazitäten ist auf das Ziel einer langfristig nachhaltigen und klimaverträglichen Stromversorgung mit einem Zeithorizont bis mindestens 2050 auszurichten.

Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele kommen für den Zeitraum bis 2050 ernsthaft nur die Alternativen Kohle mit CCS oder erneuerbare Energien infrage. Ein signifikanter Ausbau der Atomenergie erscheint politisch unrealistisch und ist mit unakzeptablen Risiken verbunden. Die Option Kohle mit CCS ist derzeit noch mit erheblichen Unsicherheiten hinsichtlich der verfügbaren Speicherkapazitäten für abgeschiedenes Kohlendioxid, möglicher Nutzungskonkurrenzen, der ökologischen Risiken, der technischen Machbarkeit und der Kostenentwicklung verbunden. Solange diese offenen Fragen nicht geklärt sind, sollte deshalb keine politische Weichenstellung zugunsten von CCS getroffen werden.

Beim Übergang in Richtung auf eine vollständig regenerative Stromversorgung muss auf schnell startende Kraftwerke mit gutem Regelverhalten, einen Ausbau der Stromspeicherkapazitäten und -technologien sowie den Ausbau der Stromnetze gesetzt werden. In den nächsten Jahren außer Betrieb gehende Kohle- und Kernkraftwerke sind durch eine Mischung aus regenerativen Energiequellen (im Wesentlichen Windenergie) und Gaskraftwerken zu ersetzen. Eine solche Strategie ist auch bei vergleichsweise hohen Gaspreisen günstiger als der weitere Bau von Grundlastkraftwerken. Die Herausforderung für den Ausbau der erneuerbaren Energien liegt vor allem darin, auf nationaler und europäischer Ebene die notwendige politische Unterstützung für einen Umbau von Energieangebot, -infrastruktur und flankierendem Ordnungsrahmen zu mobilisieren.

Aufgrund des Systemgegensatzes zwischen Kraftwerken, die technisch-ökonomisch auf Grundlast angelegt sind, und stark fluktuierenden regenerativen Energiequellen ist der geplante Neubau von erheblichen Kapazitäten von Kohlekraftwerken mit einer Übergangstrategie auf eine vollständig regenerative Energieversorgung unvereinbar.

Die derzeitigen Neubauplanungen für Kohlekraftwerke stehen daher in krassem Gegensatz zur notwendigen Weiterentwicklung des deutschen Elektrizitätssystems hin zu einem langfristig nachhaltigen und klimaverträglichen Energieversorgungssystem.

Die aktuelle Debatte um die „Alternative“ Kohle oder Kernenergie ist irreführend, denn beide Optionen resultieren in einer grundlastorientierten Elektrizitätsversorgung. Schon

heute erscheint der Neubau von Grundlastkraftwerken bei einer Ausnutzung der Kapazitäten aus erneuerbaren Energien bis auf eine geringe Restleistung nicht mehr sinnvoll und mittelfristig nicht wirtschaftlich. In einer Versorgungsstrategie auf der Basis von Kohlekraftwerken (mit oder ohne CCS) und Kernkraftwerken müsste der Anteil der regenerativen Energiequellen deutlich begrenzt werden, wenn diese Grundlastkraftwerke ökonomisch sinnvoll betrieben werden sollen.

Der SRU geht davon aus, dass eine vollständige Stromversorgung mit erneuerbaren Energien realisierbar, technisch und ökonomisch darstellbar ist und deutliche Vorzüge gegenüber anderen denkbaren Entwicklungspfaden hat. Die politischen Rahmenbedingungen für die anstehenden Investitionsentscheidungen sollten daher diese Option in den Mittelpunkt stellen.

Glossar

Dispatch

Unter *Dispatch* von Kraftwerken versteht man die alle 15 Minuten getroffene Entscheidung eines *Netzbetreibers* (wie z. B. E.ON Netz) darüber, mit welchen Kraftwerken in der nächsten Viertelstunde die Stromnachfrage gedeckt werden soll. Entscheidungen über den Betrieb von Kraftwerken werden im Wesentlichen auf der Basis der variablen Kosten der verschiedenen Kraftwerke im gesamten verfügbaren Kraftwerkspark getroffen (der sogenannten Merit Order). Je geringer die variablen Kosten eines Kraftwerks sind, desto eher wird es nach diesem Entscheidungskalkül für die aktuelle Stromerzeugung eingesetzt.

Energieübertragung/Netze

Wenn Energie an einem Ort erzeugt und an einem anderen Ort benötigt wird, muss sie übertragen (transportiert) werden. Der Transport elektrischer Energie erfolgt über Stromnetze bzw. das Verbundnetz, das die Verbraucher mit elektrischer Energie versorgt. Stromnetze werden mit verschiedenen, aber festgelegten Spannungen und bei Wechselstrom auch mit festgelegten Frequenzen betrieben. Strom wird mit dreiphasigem Wechselstrom bzw. Drehstrom unterschiedlicher Spannung transportiert und verteilt. Die Spannungshöhe wird der jeweiligen Aufgabe angepasst. Zur Verteilung und Fernübertragung großer Leistungen werden hohe Spannungen verwendet; dabei treten geringere Verluste auf.

Das Hochspannungsnetz sorgt für die Grobverteilung von elektrischer Energie. Das Mittelspannungsnetz verteilt den Strom an die Transformatorstationen des Niederspannungsnetzes oder größerer Verbraucher. Stadtwerke speisen ihren Strom in der Regel in das Mittelspannungsnetz ein. Niederspannungsnetze sind für die Feinverteilung zuständig; damit werden Haushalte, Industrie, Gewerbe und Verwaltungen versorgt. Im Bereich der Höchstspannung sind die *Netze* der einzelnen Übertragungsnetzbetreiber über Fernleitungen zum nationalen Verbundnetz zusammengeschlossen. Die Betreiber sind Mitglieder im UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity) und am europäischen Verbundsystem beteiligt.

Gleichstrom ist für die Energieverteilung auch in größeren Verteilzonen des heutigen Wechsellspannungsnetzes ungeeignet; für extrem große Entfernungen jedoch eröffnet die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) neue Perspektiven, da HGÜ mit deutlich niedrigeren Übertragungsverlusten verbunden ist.

Fluktuierende Einspeisung

Aufgrund seiner Wetter- und jahreszeitlichen Abhängigkeit unterliegt das Angebot an Solar- und Windenergie kurz- und langfristigen Schwankungen. Ohne den Einsatz von Speichern und gut regelbaren, schnell startenden Kraftwerken ist die Nutzung eines hohen Anteils von Sonnen- und Windenergie in der Elektrizitätsversorgung nicht möglich. Um jederzeit die Elektrizitätsnachfrage vollständig decken zu können, ist es erforderlich, die Nutzung größerer Mengen von Sonnen- und Windenergie mit schnell regelbaren Kraftwerks- und Speicherkapazitäten zu kombinieren, um so die Differenz zwischen regenerativer Stromerzeugung und Elektrizitätsnachfrage zu 100 % ausgleichen zu können.

Grundlast

Beim Stromverbrauch gibt es Stoßzeiten und Flauten – Spitzenwerte werden vor allem morgens, mittags und abends erreicht, während nachts der Verbrauch niedrig ist. Die Höhe der *Grundlast*, des ganztägig vorhandenen Sockels der Stromnachfrage, wird vom nächtlichen Verbrauch bestimmt (Industrieanlagen, Straßenbeleuchtung, Dauerverbraucher in Haushalt und Gewerbe, Füllen von Pumpspeicherkraftwerken, Nachtspeicherheizungen). Schwankungen im Stromverbrauch werden durch unterschiedliche Kraftwerkstypen abgedeckt. Zur Deckung der *Grundlast* werden derzeit *Grundlastkraftwerke* mit möglichst niedrigen variablen Stromgestehungskosten eingesetzt, die allerdings träge und nur sehr schwer zu regeln sind (Kernkraft-, Braunkohle-, Laufwasserkraftwerke). Wird die im Voraus abgeschätzte *Grundlastnachfrage* unterschritten, werden zusätzliche Verbraucher eingeschaltet (Pumpspeicher, Nachtspeicherheizungen) oder Strom in andere Stromnetze abgeführt. Wird der Grundverbrauch überschritten, müssen Mittel- und Spitzenlastkraftwerke eingesetzt werden.

Regelenergie

In der Stromversorgung wird *Regelenergie* eingesetzt, um im Zeitbereich bis zu einer Stunde nicht vorhersehbare Schwankungen des Stromverbrauchs und der Stromerzeugung (z. B. Kraftwerksausfälle) auszugleichen. Die Energie (Regelleistung) muss gegebenenfalls in weniger als einer Minute verfügbar sein. Daher wird die erforderliche Leistung mit der kurzfristigen Senkung oder Erhöhung der Leistung bereits im Betrieb befindlicher Kraftwerke bereitgestellt. In einer nächsten Stufe werden gut regelbare Kraftwerke (Spitzenlastkraftwerke) eingesetzt, deren Produktionskosten vergleichsweise hoch sind (z. B. Speicherwasser- und Gasturbinenkraftwerke).

Die bei der Nutzung von Windenergie entstehenden sehr kurzfristigen Schwankungen können in den regionalen Verteilungsnetzen ausgeglichen werden oder werden in

modernen, drehzahlvariablen Windkraftanlagen direkt abgepuffert, sie erzeugen somit keinen *Regelenergie*bedarf. Für Schwankungen des Windangebots im Bereich einiger Minuten (bis 15 Minuten) muss *Regelenergie* (die sogenannte Minutenreserve) bereitgestellt werden. Je genauer die Prognosesysteme für die Windenergieeinspeisung funktionieren, desto besser kann rechtzeitig kostengünstige Kraftwerksleistung im Rahmen des fünfzehnminütigen *Dispatches* zugeschaltet werden.

Mitglieder

Sachverständigenrat für Umweltfragen
Stand: 2009

Prof. Dr. Martin Faulstich

(Vorsitzender)

Professor für Rohstoff- und Energietechnologie
an der Technischen Universität München und
Direktor des Wissenschaftszentrums Straubing

Prof. Dr. Heidi Foth

(stellvertretende Vorsitzende)

Professorin für Umwelttoxikologie und
Direktorin des Instituts für Umwelttoxikologie
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Prof. Dr. Christian Calliess

Professor für öffentliches Recht und Europarecht
am Fachbereich Rechtswissenschaft
der Freien Universität Berlin

Prof. Dr. Olav Hohmeyer

Professor für Energie- und Ressourcenwirtschaft
an der Universität Flensburg

Prof. Dr. Karin Holm-Müller

Professorin für Ressourcen- und Umweltökonomik
an der landwirtschaftlichen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Prof. Dr. Manfred Niekisch

Professor für Internationalen Naturschutz
an der Universität Greifswald und
Direktor des Frankfurter Zoos

Prof. Dr. Miranda Schreurs

Professorin für Vergleichende Politikwissenschaft und
Leiterin der Forschungsstelle für Umweltpolitik
an der Freien Universität Berlin

Sachverständigenrat für Umweltfragen

Geschäftsstelle
Reichpietschufer 60, 7. OG.
10785 Berlin

Telefon: (030) 26 36 96-0
Fax: (030) 26 36 96-109
E-Mail: sru-info@uba.de
Internet: www.umweltrat.de