

# Kurzfassung

## Klimaschutz und Versorgungssicherheit

Entwicklung einer nachhaltigen  
Stromversorgung



# **Klimaschutz und Versorgungssicherheit**

## **Entwicklung einer nachhaltigen Stromversorgung**

von

Thomas Klaus, Charlotte Loreck, Klaus Mischen

Mit Unterstützung von:

Rolf Beckers, Alexander Boehringer, Sebastian Briem,  
Andreas Burger, Thomas Charissé, Marion Dreher,  
Christoph Erdmenger, Benno Hain, Christian Herforth,  
Helmut Kaschenz, Guido Knoche, Kai Kuhnhenh,  
Jürgen Landgrebe, Harry Lehmann, Kai Lipsius,  
Benjamin Lünenbürger, Werner Niederle, Diana Nissler,  
Andreas Ostermeier, Theresa Pfeifer, Axel Riedel,  
Sylvia Schwermer, Rainer Sternkopf, Carla Vollmer,  
Ulrike Wachsmann

Umweltbundesamt

Dessau-Roßlau, September 2009

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltbundesamt.de>  
verfügbar.

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Email: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.2 Thomas Klaus

Dessau-Roßlau, September 2009

## Kurzfassung

Deutschland hat sich, wie viele andere Staaten, bereits im Jahr 1992 in Rio de Janeiro dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung verpflichtet.

Für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems setzt die Tragfähigkeit des Naturhaushalts die Leitplanken. Nur innerhalb dieses Rahmens können wir andere Nachhaltigkeitsanforderungen, wie Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit, optimieren.

Die Studie „Klimaschutz und Versorgungssicherheit“ des Umweltbundesamtes (UBA) zeigt, wie eine nachhaltige Stromversorgung möglich ist. Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit sind vereinbar – auch mit Atomausstieg und ohne in den nächsten Jahren weitere konventionelle Kraftwerke ohne Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zu bauen.

## Klimaschutzziele

Der Klimawandel ist bereits Wirklichkeit. Die Bekämpfung der Klimaveränderungen und ihrer dramatischen Folgen ist eine der zentralen Herausforderungen dieses Jahrhunderts. Drastische Minderungen der Emissionen an Treibhausgasen und Maßnahmen zur Anpassung an die nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels sind politische Handlungsmaximen.

Um gravierende Folgen des Klimawandels zu vermeiden, muss die Erderwärmung dauerhaft auf maximal 2 Grad Celsius (°C) gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden. Dafür müssen die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 weltweit auf die Hälfte der Emissionen des Jahres 1990 sinken. Das bedeutet für die Industriestaaten, also auch für Deutschland, dass sie bis Mitte dieses Jahrhunderts ihre Treibhausgasemissionen um 80 Prozent (%) bis 95 % gegenüber 1990 mindern müssen.

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen tragen in Deutschland zu über 95 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen und zu rund 80 % aller Treibhausgasemissionen bei. Allein die Stromerzeugung, die in Deutschland zurzeit noch überwiegend auf fossilen Brennstoffen basiert, hat einen Anteil von rund 40 % an den gesamten deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Daher hat die Stromerzeugung eine Schlüsselrolle für die Reduzierung klimaschädlicher Emissionen. Klimaschutz ist jedoch nur eine Anforderung an eine nachhaltige Entwicklung.

## Der Weg zu einer nachhaltigen Stromversorgung

Um die langfristigen Klimaschutzziele im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung erfüllen zu können, muss ein grundlegender Wandel in der Stromversorgung stattfinden. Zentrale Elemente dafür sind der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien, die Senkung der Stromnachfrage durch Effizienzsteigerungen, der Ausbau der KWK und der Ausstieg aus der Atomenergienutzung.

Erneuerbare Energien müssen langfristig den überwiegenden Teil der Stromerzeugung übernehmen. Die Potentiale hierfür sind sowohl in Deutschland als auch weltweit vorhanden.

In einem ersten Schritt müssen wir bis 2020:

- den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung auf über 30 % und danach weiter steigern,
- die Stromnachfrage durch Effizienzsteigerungen um 11 % gegenüber dem Jahr 2005 senken und
- den Anteil der KWK an der Stromerzeugung auf 25 % erhöhen.

Da eine direkte Speicherung von Wechselstrom großtechnisch nicht möglich ist, muss jederzeit ein Leistungsausgleich zwischen Erzeugung (Einspeiseleistung) und Verbrauch (Last) erfolgen. Durch die schwankende Einspeisung und die Prognoseabweichungen bei Windenergie und Photovoltaik – die neben der Geothermie die größten Potentiale in Deutschland haben – ergeben sich hierfür große Herausforderungen.

Um große Mengen erneuerbarer Energien in die Stromversorgung zu integrieren, müssen und können wir neue technische Möglichkeiten nutzen. Die Frage lautet daher nicht, wie viel Strom aus erneuerbaren Energien das heutige Elektrizitätssystem verträgt, sondern: Wie muss unser zukünftiges Elektrizitätssystem aussehen, um Strom aus erneuerbaren Energien möglichst effektiv und kosteneffizient integrieren zu können?

Dazu sind die erneuerbaren Energien und auch die Nachfrageseite zukünftig stärker am Leistungsausgleich und bei der Bereitstellung von Regelleistung zu beteiligen, beispielsweise in virtuellen Kraftwerken. Zum Ausgleich von Einspeiseschwankungen aus erneuerbaren Energien bietet auch der großräumige europäische Leistungsausgleich erhebliche Potentiale. Als Ergänzung zu dem weiterhin schnell wachsenden Anteil erneuerbarer Energien ist zudem – für eine Übergangszeit – ein hochflexibler und emissionsarmer fossiler Kraftwerkspark erforderlich.

### **Das Phantom „Stromlücke“**

Aktuell geht es jedoch in der öffentlichen Diskussion weniger um die Entwicklung einer nachhaltigen Stromversorgung, als viel mehr um die Frage der Versorgungssicherheit und des zukünftigen Bedarfs an Kraftwerksneubauten.

Die dabei häufig genutzten Begriffe „Stromlücke“ und „Defizit“ an verfügbarer Kraftwerksleistung suggerieren die Gefahr großräumiger Stromausfälle (Blackouts). Dem ist aber nicht so: Großräumige Stromausfälle können nur eintreten, wenn sehr seltene Ereignisse die vorgeschriebenen Sicherheitsreserven für den Netzbetrieb übersteigen oder wenn gegen die Anforderungen an einen sicheren Netzbetrieb – zum Beispiel durch menschliches Versagen – verstoßen wird.

Bei den mit den Begriffen „Stromlücke“ und „Defizit“ an verfügbarer Kraftwerksleistung beschriebenen Situationen handelt es sich um Kapazitätsknappheiten. Diese führen in funktionierenden Märkten möglicherweise zu Preisspitzen, jedoch nicht zu großräumigen Stromausfällen. Anhand der aktuellen Entwicklung im Energiemarkt ist nicht erkennbar, dass der Strommarkt momentan nicht funktioniert oder zukünftig nicht funktionieren wird.

Nimmt man jedoch einen nicht funktionierenden Markt an, so sollten nicht die Symptome behandelt werden, wie dies mit Investitionsförderungen für den Neubau von Kraftwerken oder der Verlängerung der Laufzeiten von Atomkraftwerken (AKW) derzeit diskutiert wird, um mögliche Kapazitätsdefizite auszugleichen. Vielmehr sollten die möglichen Ursachen für den nicht funktionierenden Markt beseitigt werden, indem etwa das Marktdesign angepasst wird, um dauerhaft sichere Lösungen zu erhalten.

Zum Neubau von Kraftwerken gibt es grundsätzlich verschiedene Alternativen, die zugleich die Flexibilität am Strommarkt erhöhen. Hierzu gehören zum Beispiel:

- eine stärkere zeitliche Flexibilisierung der Nachfrage zur Steigerung der kurzfristigen Preiselastizität,
- die Senkung der gesamten Nachfrage durch Effizienzsteigerungen
- die Bereitstellung von Regelleistung durch regelbare Lasten,
- Laufzeitverlängerungen bei fossilen Bestandskraftwerken und
- in gewissem Umfang Stromimporte zum kurzfristigen Leistungsausgleich.

Diese Möglichkeiten haben insgesamt erhebliche technische Potentiale, und sie sind aus volkswirtschaftlicher Sicht in der Regel von Vorteil.

### **Keine neuen konventionellen Kraftwerke ohne KWK bis 2020 erforderlich**

Bis zum Jahr 2020 besteht – auch mit dem Atomausstieg – kein Neubaubedarf an konventionellen Kraftwerken ohne KWK über die derzeit in Bau befindlichen Anlagen hinaus. Dies gilt selbst dann, falls die Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK sowie für die Senkung der Stromnachfrage insgesamt deutlich verfehlt würden. Vor allem besteht bis zum Jahr 2020 kein Neubaubedarf an zusätzlichen konventionellen Grundlastkraftwerken ohne KWK.

Nur falls der Stromverbrauch ohne eine deutliche Zunahme der kurzfristigen Preiselastizität der Nachfrage erheblich stiege und die zuvor genannten Alternativen zum Kraftwerksneubau nur teilweise genutzt würden und falls zugleich die Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK deutlich verfehlt würden, so bestünde ein zusätzlicher Bedarf für konventionelle Neubaukraftwerke. Dieser Bedarf ergäbe sich vor allem für Mittellast-, Spitzenlast- und Reservekraftwerken, jedoch weniger für Grundlastkraftwerke. Sollte sich künftig andeuten, dass die Ziele deutlich verfehlt würden, sollten jedoch vorrangig die bestehenden Instrumente, wie zum Beispiel das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder das KWK-Gesetz, angepasst oder ergänzt werden.

Sollte – zusätzlich zu den bereits in Bau befindlichen Kraftwerken – ein erheblicher Teil der momentan bestehenden und vielfach weit fortgeschrittenen Kraftwerksneubauplanungen realisiert werden, besteht – statt eines weiteren Neubaubedarfs – vielmehr die Gefahr volkswirtschaftlich ineffizienter Überkapazitäten, vor allem im Bereich der Grundlast. Die Diskussion über Laufzeitverlängerungen der Atomkraftwerke verschärft das Risiko massiver Überkapazitäten im Grundlastbereich zusätzlich. Die teilweise zu beobachtende Investitionszurückhaltung bei Kraftwerksneubauten zeigt daher, dass einige Investoren dies erkannt haben und der Markt insofern funktioniert.

### **Zurzeit kein Handlungsdruck**

Vielfach wird über die Notwendigkeit einer sehr baldigen Entscheidung über den Neubau konventioneller Kraftwerke ohne KWK oder auch über Laufzeitverlängerungen für Atomkraftwerke diskutiert. Der in diesen Debatten suggerierte Handlungsdruck ist jedoch nicht gerechtfertigt, da die Versorgungssicherheit bis 2020 gewährleistet werden kann – wie oben dargestellt – auch mit Atomausstieg und ohne in den nächsten Jahren weitere konventionelle Kraftwerke ohne KWK zu bauen.

Für Reaktionen auf einen möglichen Kraftwerksbedarf für die Zeit nach 2020 sind bis etwa zum Jahr 2015 keine Entscheidungen erforderlich, da die durchschnittliche Realisierungsdauer neuer fossile Kraftwerke rund drei bis sieben Jahre beträgt.

In den nächsten Jahren besteht deshalb kein Handlungsbedarf, weder für einen Neubau konventioneller Kraftwerke ohne KWK noch für Laufzeitverlängerungen der dann noch betriebenen Atomkraftwerke.

Laufzeitverlängerungen für Atomkraftwerke stellen auch für die Zeit nach 2020 keine nutzbare Option dar, da die Atomenergie die Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung gravierend verletzt. Die Atomenergienutzung sollte daher schnellstmöglich beendet werden.

Entscheidungen über den Neubau konventioneller Kraftwerke ohne KWK können in einigen Jahren auf der Grundlage des dann zu erwartenden Kraftwerksbedarfs und vor allem des dann verfügbaren neuen Stands der Technik getroffen werden.

### **Wie sieht es nach 2020 aus?**

Langfristig – vor allem für die Zeit nach 2020 – stellen der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz neue Anforderungen an den konventionellen Kraftwerkspark: Obwohl zum Beispiel die fluktuierend einspeisende Windenergie selbst keine Grundlastkapazität darstellt und ihr Leistungskredit sehr niedrig ist, verringert sie die residuale Grundlast deutlich, das heißt den Teil der Grundlast, der von konventionellen Kraftwerken zu decken ist. Der Ausbau der erneuerbaren Energien insgesamt wird den Bedarf an konventionellen Grundlastkraftwerken – also Kraftwerke mit hohen Ausnutzungsdauern, wie Atom- und neue Kohlekraftwerke – zukünftig deutlich senken.

Langfristig brauchen wir zwar auch neue fossile Kraftwerke. Es besteht jedoch vor allem ein zusätzlicher Bedarf an Spitzenlast- und Reservekraftwerken und gegebenenfalls ein Bedarf an neuen Mittellastkraftwerken für den Ersatz von Bestandsanlagen. Ein erheblicher Neubaubedarf an konventionellen Grundlastkraftwerken für die Zeit nach 2020 ist – auch mit Atomausstieg – sehr unwahrscheinlich, vor allem falls die Ziele der Bundesregierung für den Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK weitgehend erreicht werden.

Die in der öffentlichen Debatte um die Versorgungssicherheit geforderten Laufzeitverlängerungen für Atomkraftwerke oder die Förderung neuer – für die Grundlast bestimmter – konventioneller Kraftwerke sind also nicht nur überflüssig, sondern sie gehen auch in die falsche Richtung.

### **Nachhaltiges Energiesystem: mehr als Klimaschutz und Versorgungssicherheit**

Nachhaltigkeit ist mehr als Klimaschutz. Zu den Anforderungen an ein nachhaltiges Energieversorgungssystem gehören auch Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit, Risikoarmut und Fehlertoleranz, Ressourcenschonung sowie umfassende Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung externer Kosten.

Zu den nicht nachhaltigen Stromerzeugungstechniken gehört die Atomenergienutzung. Sie sollte schnellstmöglich beendet werden.

Auch die Kohleverstromung ist aus Gründen des Klima-, Landschaft- und Ressourcenschutzes keine nachhaltige Technik.



Ebenso ist die Abscheidung und Speicherung des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>), das so genannte carbon capture and storage (CCS), auf Basis fossiler Energieträger bei näherer Betrachtung nicht nachhaltig. Inwieweit CCS an fossilen Kraftwerken in Deutschland einen Beitrag für den Klimaschutz leisten kann, ist fraglich. Vor allem ist noch zu untersuchen, welche Kapazitäten sicherer Speicher tatsächlich zur Verfügung stehen und welche konkurrierenden Verwendungsoptionen für diese Speicher bestehen.

Global kann CCS, da die geologischen Speicher nur begrenzt vorhanden sind, eine Übergangstechnik für die Umstellung zu einem - überwiegend auf erneuerbaren Energien basierenden - nachhaltigen Energiesystem sein. Allerdings ist das Funktionieren der CCS-Technik noch nicht sichergestellt und mit ihrer großtechnischen Verfügbarkeit ist frühestens ab 2020 zu rechnen.

Für die Erfüllung der langfristigen Klimaschutzziele sind nicht nur drastische Emissionsminderungen bei der Stromerzeugung erforderlich, sondern auch in der Industrie. Die begrenzten, potentiell vorhandenen CO<sub>2</sub>-Speicher sollten daher vorrangig für die Senkung der prozessbedingten Emissionen, zum Beispiel aus der Stahl- und Zementherstellung, und – falls zukünftig erforderlich – für eine Dekarbonisierung der Atomsphäre zur Verfügung stehen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist dies geboten, solange noch keine belastbaren Informationen über die Kapazitäten der CO<sub>2</sub>-Speicher bestehen.

Auch die Stromerzeugung auf Erdgas-Basis ist im strengen Sinne nicht nachhaltig. Sie sollte deshalb auch nur für eine Übergangszeit bis zu einem hauptsächlich auf erneuerbaren Energien basierenden System zum Einsatz kommen. Sie führt jedoch zu deutlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen als die Stromerzeugung auf Basis von Kohle.

Langfristig bestehen ausreichend große Potentiale für eine nachhaltige Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien und Energieeffizienz.

### **Helfen neue fossile Kraftwerke dem Klimaschutz?**

In der öffentlichen Debatte gibt es das Argument, dass moderne Kohlekraftwerke gut für den Klimaschutz seien, weil ein neues Kohlekraftwerk pro Kilowattstunde Strom weniger CO<sub>2</sub> ausstößt als ein altes. Um zu beurteilen, welchen Beitrag eine solche CO<sub>2</sub>-Ersparnis beim erforderlichen Umbau des Kraftwerksparks leisten kann, ist jedoch ein Blick auf das Gesamtsystem notwendig:

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung zu begrenzen und langfristig zu senken, ist der Emissionshandel in der Europäischen Union (EU) – in Kombination mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz – das zentrale Instrument. Die Obergrenze der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Emissionshandel, das so genannte Cap, ist bis zum Jahr 2020 festgelegt. Es muss auch nach 2020 stark sinken, um die langfristigen – für 2050 anvisierten – Klimaschutzziele erreichen zu können.

Eine Betrachtung der langfristigen europäischen Klimaschutzziele und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraftwerke zeigt erstens: Die durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen dürfen im Jahr 2050 nur noch weniger als ein Drittel der heutigen Werte betragen, müssen also unter 150 g/kWh<sub>e</sub> sinken. Zweitens: Obwohl neue Kohlekraftwerke deutlich höhere Wirkungsgrade und deshalb geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde erreichen als alte Kohlekraftwerke, reichen diese Effizienzgewinne bei weitem nicht für eine CO<sub>2</sub>-Minderung in der Größenordnung aus, wie sie der Klimaschutz erfordert. Drittens: Unter den fossilen Alternativen ohne CCS führt nur der Ersatz alter Kohlekraftwerke durch neue hocheffiziente Erdgas-gefeuerte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke mittelfristig zu ausreichenden CO<sub>2</sub>-Minderungen.

Eine starke Kohlenutzung mit heutiger Kraftwerkstechnik würde zudem langfristig – das heißt weit nach 2020 und bei zukünftig stetig sinkendem Cap – den CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreis in die Höhe treiben.

Da die Amortisationszeit neuer fossiler Kraftwerke rund 20 Jahre und deren technische Lebensdauer über 40 Jahre beträgt, bestünde mit einem massiven Neubau an Kohlekraftwerken das Risiko der Festlegung auf einen emissionsintensiven fossilen Kraftwerkspark und das Risiko von Fehlinvestitionen für die Kraftwerksbetreiber.

Der Weiterbetrieb bestehender fossiler Kraftwerke bis 2020 ist europaweit nicht mit höheren Emissionen verbunden, da die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Zeitraum durch den Emissionshandel begrenzt ist.

Da wir zukünftig deutlich weniger konventionelle Grundlastkraftwerke brauchen werden als bisher, ist es für langfristig günstige CO<sub>2</sub>-Preise daher insgesamt von Vorteil, einige fossile Bestandskraftwerke für gewisse Zeit weiterhin zu betreiben, falls diese Kapazitäten notwendig sind, statt neue emissionsintensive Grundlastkraftwerke zu bauen.

### **Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung**

Für das Kriterium der umfassenden Wirtschaftlichkeit in der Stromversorgung sind die vollständigen externen Kosten der Energienutzung zu berücksichtigen, wie das der Emissionshandel für die externen Kosten der CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits teilweise leistet.

Unter Berücksichtigung der externen Umweltkosten liegen die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Stromerzeugung aus verschiedenen erneuerbaren Energien – wie zum Beispiel der Windenergie mit rund 8,0 ct/kWh – bereits heute unter denen der fossilen Stromerzeugung. Zudem wird sich das Kostenverhältnis zukünftig weiter zu Gunsten der erneuerbaren Energien verbessern.

Der Umbau des Kraftwerksparks im Sinne der Nachhaltigkeit ist mit umfangreichen, jedoch volkswirtschaftlich vorteilhaften Investitionen verbunden. Daher sollten wir jetzt die Chance nutzen, das Energiesystem entsprechend den zukünftigen Anforderungen zu gestalten.

### **Markthemmnisse beseitigen und Stromnetze ausbauen**

Wo der Markt bisher nicht optimal funktioniert, sollten Hemmnisse beseitigt werden. Dies gilt vor allem für den Gasmarkt, wo die Liberalisierung noch weniger weit fortgeschritten ist, jedoch auch für den Strommarkt. Der europaweite wie regionale Ausbau der Stromnetze muss vorangetrieben werden, um einen gesamteuropäischen Strommarkt zu schaffen, um erneuerbare Energien auch zukünftig integrieren und die europaweiten Potentiale erneuerbarer Energien optimal nutzen zu können.

## Handlungsempfehlungen

Zusammenfassend ergeben sich aus den langfristigen Zielen für einen nachhaltigen Kraftwerkspark die folgenden Handlungsempfehlungen an die Politik:

- Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK weiter vorantreiben,
- Stromnachfrage durch Effizienzsteigerungen senken,
- Erfolg der Instrumente für erneuerbare Energien, KWK und Effizienz kontrollieren,
- Atomausstieg wie gesetzlich festgelegt fortsetzen,
- Emissionshandels-Cap langfristig ambitioniert senken,
- Laufzeit fossiler Bestandskraftwerken nicht beschränken,
- Neubau von Kraftwerken ohne KWK nicht fördern,
- Liberalisierung des Erdgasmarktes fortsetzen,
- Transportwege und Bezugsquellen für Erdgas diversifizieren,
- Erdgas durch Effizienzmaßnahmen, vor allem im Wärmesektor, einsparen,
- Ausbau des Stromnetzes vorantreiben.

Die Kriterien der Nachhaltigkeit und insbesondere der Klimaschutz erfordern einen grundlegenden Umbau der Stromversorgung. Dieser Umbau braucht Zeit und ist mit großen Investitionen verbunden, die sich jedoch volkswirtschaftlich lohnen.

Entscheidungen, die wir heute über die weitere Entwicklung des Kraftwerksparks treffen, wirken mindestens bis zur Mitte des Jahrhunderts. Daher sollten wir bereits heute die richtigen Weichen für eine nachhaltige Entwicklung stellen.